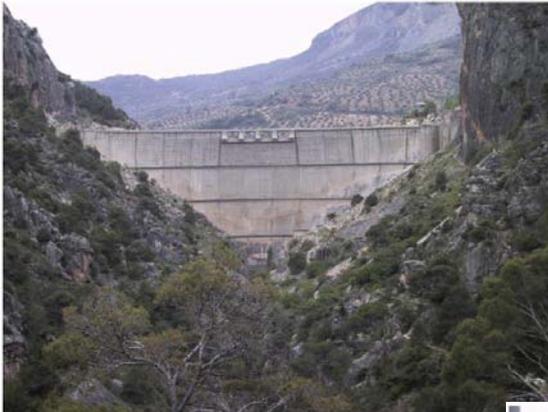


ELABORACIÓN DE DIRECTRICES PARA LA INCORPORACIÓN DE CRITERIOS DE CALIDAD EN LA MODELIZACIÓN DE ESQUEMAS DE UTILIZACIÓN CONJUNTA. APLICACIÓN AL ABASTECIMIENTO DEL CONJUNTO QUIEBRAJANO-VÍBORAS



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)

Maria Estirado Oliet (Agencia Andaluza del Agua)

Hidrogeología Regional

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

Antonio González Ramon (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 de Madrid)

Cálculo de los caudales ecológicos

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

Este informe contempla las siguientes asistencias técnicas:

Elaboración de directrices para la incorporación de criterios de calidad en la modelación de esquemas de utilización conjunta. Aplicación al abastecimiento conjunto Quiebrajano-Víboras: Aportaciones y Demandas.

Elaboración de directrices para la incorporación de criterios de calidad en la modelación de esquemas de utilización conjunta. Aplicación al abastecimiento conjunto Quiebrajano-Víboras: Formulación de hipótesis de simulación.

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 la **Delegación de Medio Ambiente de Jaén** (en la persona de *Inmaculada Ortuño*); de la **Delegación de Jaén de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir** (en la persona de *Juan de Dios Gallego*), de la **Sociedad Estatal AQUAVIR** (en la persona de *Antonio Sandoval*), de las empresas **Aqualia** (Jaén y Martos) e **HidroGestión** (Alcaudete), y de la **Diputación Provincial de Jaén**, de los **Ayuntamientos de Los Villares, Valdepeñas de Jaén y Fuensanta de Martos**.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	25
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	31
3. ANTECEDENTES	32
4. METODOLOGÍA	39
5. ESTUDIO DE LAS DEMANDAS, USOS Y CONSUMOS	43
5.1 DEMANDAS, USOS Y CONSUMOS	46
5.2 DEMANDA URBANA	48
5.3 DEMANDA DE RIEGOS	55
5.4 CAUDALES ECOLÓGICOS	62
5.5 DEMANDA TOTAL DEL SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS	73
6. DETERMINACIÓN DE LAS APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL	78
6.1 DATOS DE PARTIDA	78
6.2 DATOS MORFOMÉTRICOS DE LAS SUBCUENCAS	79
6.3 DATOS METEOROLÓGICOS	82
6.4 DATOS DE AFOROS EN CAUCES	86
6.5 SISTEMA HIDROLÓGICO SUPERFICIAL QUIEBRAJANO-VÍBORAS	88
6.5.1 SUBCUENCA DEL RÍO JAÉN	89
6.5.2 SUBCUENCA DEL RÍO VÍBORAS	92
6.6 TRATAMIENTO DE DATOS CLIMATOLÓGICOS	94
6.6.1 PRECIPITACIONES	96
6.6.2 TEMPERATURAS	100
6.7 DETERMINACIÓN DE LAS APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL	102
6.7.1 MODELO DE TEMEZ	104
6.8 CÁLCULO DE APORTACIONES POR SUBCUENCAS	113

6.8.1	SUBCUENCA EMBALSE QUIEBRAJANO	113
6.8.2	SUBCUENCA EMBALSE DEL VÍBORAS	116
6.8.3	SUBCUENCA ESTACIÓN AFOROS E-84	118
6.8.4	SUBCUENCA DEL RÍO JAÉN	120
6.8.5	SUBCUENCA DEL VÍBORAS	122
6.8.6	ACUÍFEROS PERIFÉRICOS	124
6.8.7	APORTACIONES DEL SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS	125
6.9	CALIBRACIÓN DE LAS SERIES DE APORTACIÓN	129
6.9.1	EMBALSE DEL QUIEBRAJANO	129
6.9.2	ESTACIÓN DE AFOROS E-84 (JAÉN)	134
6.9.3	ESTACIÓN DE AFOROS E-82	141
<u>7. ESTUDIO DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE AGUA Y ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA</u>		146
7.1	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO QUIEBRAJANO-VÍBORAS	147
7.1.1	SITUACIÓN SIN CONEXIÓN	148
7.1.2	SITUACIÓN FUTURA	154
7.2	RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS	157
7.2.1	RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO GRACIA-MORENITA	159
7.2.2	RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO GRAJALES	160
7.3	FUENTES NO CONVENCIONALES DE RECURSOS HÍDRICOS	161
7.3.1	UTILIZACIÓN DE AGUAS DEPURADAS EN REGADÍO	162
7.3.2	POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS	163
<u>8. MODELACIÓN DE ACUÍFEROS</u>		166
8.1	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.16/JABALCUZ	166
8.2	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.17/JAÉN	171
8.3	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.18/SAN CRISTÓBAL	173
8.4	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.66/GRAJALES-PANDERA-CARCHEL	173
8.5	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.22/MONTESINOS	177
8.6	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.28/MONTES ORIENTALES	179
8.7	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.70/GRACIA-VENTISQUERO	180
8.8	ACUÍFEROS AISLADOS	184
8.9	RESUMEN DE DATOS HIDROGEOLÓGICOS	187

8.10	MODELACIÓN DE ACUÍFEROS EN SIMGES	189
8.10.1	BOMBEOS ADICIONALES	196
8.10.2	RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS	205
9.	MODELACIÓN DEL SISTEMA SUPERFICIAL Y ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA	206
9.1.1	EMBALSES	207
9.1.2	DEMANDAS CONSIDERADAS EN SIMGES	221
9.1.3	TOMAS	226
9.1.4	APORTACIONES	229
9.1.5	CONDUCCIONES	231
9.1.6	RETORNOS	234
10.	MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA	236
10.1	GENERALIDADES DEL PROGRAMA AQUATOOL	238
10.2	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN SIMULADO	241
10.2.1	ESCENARIO DE GESTIÓN SIN CONEXIÓN	243
10.2.2	ESCENARIO DE GESTIÓN CON CONEXIÓN	244
10.3	SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN	245
10.3.1	CRITERIOS DE GARANTÍA UTILIZADOS	248
10.3.2	SIMULACIÓN ESCENARIO SIN CONEXIÓN	250
10.4	SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN	256
10.4.1	EMBALSE DEL QUIEBRAJANO	258
10.4.2	ACUÍFERO GRAJALES	259
10.4.3	EMBALSE DEL VÍBORAS	263
10.5	VARIANTES DE SIMULACIÓN AL ESCENARIO CON CONEXIÓN	269
10.5.1	ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS	269
10.5.2	ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO	283
10.6	COMPARACIÓN DE SIMULACIONES	287
10.6.1	INFLUENCIA DEL MANTENIMIENTO DEL RÉGIMEN ECOLÓGICO DE CAUDALES SOBRE LAS GARANTÍAS DEL SISTEMA	292
10.7	COSTES DEL AGUA EN ALTA	304
11.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	316

11.1 RESUMEN DEL ESTUDIO	316
11.1.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO	316
11.1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	318
11.1.3 COMPONENTES HIDROLÓGICOS DEL SISTEMA. RECURSOS	322
11.1.4 FUENTES DE SUMINISTRO E INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS	326
11.1.5 DEMANDAS	331
11.1.6 MODELO DE USO CONJUNTO	340
11.2 CONCLUSIONES	347
11.3 RECOMENDACIONES	354
11.4 ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS	356
11.4.1 PLAN DE SISTEMATIZACIÓN	356
11.4.2 PROGRAMA DE ACTUACIONES SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	359
12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	361

ANEJOS

- Anejo 1. Cálculos hidrológicos. Series de precipitación, temperaturas, evapotranspiración, aforos en cauces (CHG) y medidas de aforos en manantiales (IGME)
- 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. Reportaje fotográfico.
- Anejo 6. Estimación del régimen de caudales ambientales del Sistema Quiebrajano-Víboras.

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1.- Plano de Situación.
- Plano 2.- Hidrología. Subcuencas y cauces.
- Plano 3.- Acuíferos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras.
- Plano 4.- Estaciones de control.
- Plano 5.- Puntos de agua. Inventario del IGME.
- Plano 6.- Demandas dependientes del Sistema Quiebrajano-Víboras.
- Plano 7.- Infraestructuras del Sistema Quiebrajano-Víboras.
- Plano 8.- Esquema de los sistemas de abastecimiento.
- Plano 9.- Esquema topológico. Situación sin conexión.
- Plano 10.- Esquema topológico. Situación con conexión.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Capacidad de regulación del Sistema Quiebrajano-Víboras	49
Tabla 2.	Datos de suministro de aguas para abastecimiento urbano en el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	50
Tabla 3.	Superficies de cultivo y dotaciones consideradas en los diferentes centros de demanda agrícola del Sistema Quiebrajano-Víboras	59
Tabla 4.	Demandas para regadío en el Sistema Quiebrajano-Víboras	61
Tabla 5.	Caudales ecológicos para Río Grande en los Cañones de Mingo	69
Tabla 6.	Caudales ecológicos para el río San Juan	69
Tabla 7.	Caudales ecológicos para el río Grande(Alto Víboras)	70
Tabla 8.	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 SECO.	72
Tabla 9.	Demandas consolidadas en el Sistema Quiebrajano-Víboras	73
Tabla 10.	Parámetros morfométricos de las subcuencas consideradas en el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	81
Tabla 11.	Estaciones meteorológicas	82
Tabla 12.	Datos de precipitación estaciones INM.....	84
Tabla 13.	Datos de temperaturas estaciones INM	85
Tabla 14.	Estaciones de aforo consideradas (datos CHG)	87
Tabla 15.	Red hidrométrica del IGME.....	87
Tabla 16.	Superficies de las subcuencas asociadas al Sistema Quiebrajano-Víboras	89
Tabla 17.	Estaciones del INM consideradas en el estudio climatológico	96
Tabla 18.	Datos de precipitación según años tipo (serie 1951-2002)	97
Tabla 19.	Valores de ETP anuales (serie 1951-2002)	100
Tabla 20.	Comparativa de superficies permeables e impermeables en la zona objeto de estudio	103
Tabla 21.	Parámetros del modelo de P-E Temez modificado para las subcuencas simuladas	108
Tabla 22.	Parámetros del modelo P-E Temez modificado para simulación de acuíferos.....	110
Tabla 23.	Representatividad de las estaciones INM en la aportación de las subcuencas (Coeficientes de reparto mediante Polígonos de Thiessen)	112

Tabla 24.	Escorrentía superficial promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Jaén (estación de aforos E-84)	121
Tabla 25.	Escorrentía subterránea (caudal base) promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Jaén (estación de aforos E-84).....	121
Tabla 26.	Aportación promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Jaén (estación de aforos E-84)	122
Tabla 27.	Escorrentía superficial promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Víboras (estación de aforos E-82).....	123
Tabla 28.	Escorrentía subterránea (caudal base) promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Víboras (estación de aforos E-82) .	123
Tabla 29.	Aportación promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Víboras (estación de aforos E-82)	124
Tabla 30.	Aportación promedio mensual en régimen natural simulada para los acuíferos de Jabalcuz-Jaén-Ahilllos.....	125
Tabla 31.	Aportación simulada para el régimen natural en el Sistema Quiebrajano-Víboras (serie 1951-2002).....	126
Tabla 32.	Aportación específica y coeficientes de escorrentía, Simulación aportaciones régimen natural cuencas del río Jaén y Víboras.....	128
Tabla 33.	Aportaciones anuales registradas y obtenidas mediante el modelo P-E de Temez para la cuenca de recepción del embalse del Quiebrajano (datos de explotación del embalse, CHG)	130
Tabla 34.	Coefficientes de correlación entre serie foronómicas de las estaciones de la CHG ubicadas en la cuenca del Guadalbullón	135
Tabla 35.	Aportaciones anuales registradas y obtenidas mediante el modelo P-E de Temez para la cuenca de recepción del embalse del Quiebrajano (datos de explotación del embalse, CHG)	137
Tabla 36.	Relación entre el caudal drenado y el coeficiente de agotamiento en el acuífero de Grajales.....	140
Tabla 37.	Demandas urbanas satisfechas por los sistemas de abastecimiento de la Mancomunidad del Quiebrajano y la Comarca de Martos.....	146
Tabla 38.	Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.16/Jabalcuz	170
Tabla 39.	Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.17/Jaén	172
Tabla 40.	Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.66/Grajales-Pandera-Carchel	177

Tabla 41. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.22/Mentidero-Montesinos	178
Tabla 42. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.70/Gracia-Ventisquero	184
Tabla 43. Datos relevantes sobre los acuíferos aislados.....	187
Tabla 44. Resumen de datos relevantes sobre los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras (datos IGME-CHG, Normas de Explotación)	188
Tabla 45. Elementos de regulación de recursos hídricos en el Sistema Quiebrajano-Víboras	190
Tabla 46. Simulación de acuífero del Sistema Quiebrajano-Víboras mediante SIMGES	192
Tabla 47. Aprovechamientos de recursos subterráneos en el Sistema Quiebrajano-Víboras	192
Tabla 48. Valores de coeficiente de agotamiento concedidos en el modelo de Temez a los principales acuíferos del sistema según umbrales de caudal.....	196
Tabla 49. Bombeos directos declarados sobre los acuíferos del Sistema Quiebrajano-Víboras.....	199
Tabla 50. Caudales límites de explotación en acuíferos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras.....	200
Tabla 51. Caudales mínimos declarados en las conducciones Tipo 3 relacionadas con los acuíferos que presentan bombeos	201
Tabla 52. Valores del caudal límite explotación para acuíferos no sometidos a explotación mediante bombeos.....	203
Tabla 53. Elementos considerados en el esquema topológico generado para las simulaciones de la gestión planteadas mediante AQUATOOL del Sistema Quiebrajano-Víboras.....	206
Tabla 54. Datos del embalse del Quiebrajano. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento.....	208
Tabla 55. Evaporación en el embalse del Quiebrajano	210
Tabla 56. Datos de evaporación en el embalse del Quiebrajano.....	211
Tabla 57. Datos del embalse del Víboras. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento.....	217
Tabla 58. Evaporación en el embalse del Víboras	219
Tabla 59. Resultados analíticos de una muestra de agua tomada en el embalse del Víboras	219

Tabla 60.	Zonificación de los embalses del Sistema Quiebrajano-Víboras	221
Tabla 61.	Demandas consideradas en el modelo de simulación de la gestión	224
Tabla 62.	Resumen de demandas consideradas en SIMGES para los sistemas supramunicipales de abastecimiento	225
Tabla 63.	Aportaciones consideradas en el modelo de simulación (aportaciones en régimen natural obtenidas mediante la aplicación del método de Temez modificado)	230
Tabla 64.	Situación previa al desarrollo del proyecto de interconexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras.....	242
Tabla 65.	Valores de déficits utilizados en los cálculos de garantías	249
Tabla 66.	Criterios de garantía para los principales grupos de demandas en el ESCENARIO SIN CONEXIÓN	251
Tabla 67.	Simulación en la Situación Sin Conexión para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos.....	254
Tabla 68.	Criterios de garantía para la Comarca de Martos en las distintas alternativas del ESCENARIO SIN CONEXIÓN	256
Tabla 69.	Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN	258
Tabla 70.	Simulación en el ESCENARIO CON CONEXIÓN para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos.....	262
Tabla 71.	Resultados de la simulación en el acuífero Gracia-Morenita para el ESCENARIO CON CONEXIÓN bajo hipótesis de régimen natural o influenciado..	266
Tabla 72.	Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A...	270
Tabla 73.	Simulación en el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPOTESIS A para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos	272
Tabla 74.	Resultados de la simulación en el acuífero Gracia-Morenita para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A.....	273
Tabla 75.	Fuentes de suministro de aguas subterráneas Sistema Quiebrajano-Víboras. Alternativa recuperación acuíferos Jabalcuz y Castillo-La Ímora	275
Tabla 76.	Resultados de la simulación recuperación acuíferos Jabalcuz y Castillo-La Ímora	276
Tabla 77.	Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS B...	277

Tabla 78.	Relación entre el caudal ecológico crítico calculado y la esorrentía para el Régimen Natural del año Tipo Medio	278
Tabla 79.	Resultados de la simulación en el acuífero Gracia-Morenita para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS B.....	281
Tabla 80.	Simulación en el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPOTESIS B para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos	283
Tabla 81.	Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO	283
Tabla 82.	Comparativa escenarios simulación correspondientes a la impermeabilización del embalse del Quiebrajano.....	286
Tabla 83.	Comparativa de los criterios de garantía para los principales sistemas de abastecimiento	288
Tabla 84.	Comparativa de los criterios de garantía para las demandas agrícolas y los caudales ecológicos	289
Tabla 85.	Suministro y déficit en las simulaciones realizadas.....	290
Tabla 86.	Resumen comparativo de las simulaciones de gestión conjunta realizadas en el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	291
Tabla 87.	Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos fijado en el sistema Quiebrajano-Víboras.....	294
Tabla 88.	Resultados del máximo déficit mensual (MDM) para la simulación correspondiente a la Situación CON conexión	294
Tabla 89.	Aumento de la Garantía del Caudal Ecológico en el Alto Víboras mediante Bombes de las Reservas de los Embalses Subterráneos.....	297
Tabla 90.	Caudales ecológicos en el río Grande (alto Víboras) utilizando los sondeos SER en Cornicabra-Noguerones. Simulación CON conexión.....	299
Tabla 91.	Comparativa de los resultados de los indicadores de garantía para el escenario CON conexión considerando el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH del Guadalquivir y el calculado (caudales críticos)	303
Tabla 92.	Comparativa de los resultados de los indicadores de garantía para el escenario CON conexión sin embalse del Víboras, considerando el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH del Guadalquivir y el calculado (caudales críticos)	303

Tabla 93.	Comparativa de los resultados de los indicadores de garantía para el escenario CON conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano, considerando el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH del Guadalquivir y el calculado (caudales críticos)	304
Tabla 94.	Cálculo de costes específicos en alta correspondientes a las diferentes simulaciones de gestión consideradas	306
Tabla 95.	Resumen de las características de las simulaciones efectuadas mediante SIMGES	307
Tabla 96.	Resumen de garantías y costes en alta.....	309
Tabla 97.	Indicadores coste-garantía calculados para las demandas urbanas (abastecimiento a núcleos urbanos)	310
Tabla 98.	Cálculo de costes específicos en alta correspondientes a las diferentes simulaciones de gestión consideradas, incluyendo los sondeos ecológicos de regulación (tipo SER).	314
Tabla 99.	Indicadores coste-garantía calculados para las demandas urbanas (abastecimiento a núcleos urbanos), considerando sondeos tipo SER.....	315
Tabla 100.	Resumen de datos relevantes sobre los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras.....	329
Tabla 101.	Datos de Fuentes de Suministro en el Sistema Quiebrajano-Víboras ..	334
Tabla 102.	Capacidad de potabilización del Sistema Quiebrajano-Víboras	335
Tabla 103.	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 SECO.	340
Tabla 104.	Comparativa de los criterios de garantía para los principales sistemas de abastecimiento	342
Tabla 105.	Comparativa de los criterios de garantía para las demandas agrícolas y los caudales ecológicos	343
Tabla 106.	Suministro y déficit en las simulaciones realizadas.	344
Tabla 107.	Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS	345
Tabla 108.	Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO.....	345
Tabla 109.	Cálculo de costes específicos en alta correspondientes a las diferentes simulaciones de gestión consideradas	346

Tabla 110. Valoración económica estimativa de la implantación del Plan de Sistematización de los recursos hídricos del Sistema Quiebrajano-Víboras	358
Tabla 111. Valoración económica estimativa para la ejecución del Plan Estratégico de Actuaciones sobre los recursos subterráneos propuesto para el sistema Víboras-Quiebrajano.....	360

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 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	35
Figura 2. Esquemas Topológicos de la Comarca de Jaén y Mancomunidad del Víboras. 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	36
Figura 3. Situación geográfica de la zona de estudio. Sistema Quiebrajano-Víboras	45
Figura 4. Evolución registrada del consumo de agua en la ciudad de Jaén y de los volúmenes depuradoras en la EDAR de Jaén (Fuente: Aqualia-Jaén).....	47
Figura 5. Evolución registrada por la población de los municipios asociados al sistema de abastecimiento Quiebrajano-Víboras	52
Figura 6. Evolución registrada por la población de los municipios asociados al sistema de abastecimiento Quiebrajano-Víboras. Datos segregados por centros de demanda.....	53
Figura 7. Evolución comparada entre la población en los grandes núcleos de población del Sistema y el suministro de agua potable.....	53
Figura 8. Evolución registrada en el suministro de agua potable a los grandes centros de demanda urbana del Sistema Quiebrajano-Víboras.....	54
Figura 9. Distribución mensual del suministro de agua en los núcleos de población	55
Figura 10. Superficies regadas y tipos de cultivos en el Sistema Quiebrajano-Víboras. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía).....	56
Figura 11. Procedencia del agua aplicada en el riego en el Sistema Quiebrajano-Víboras. Fuente: Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía).....	57
Figura 12. Tipo de riego aplicado en parcela para el Sistema Quiebrajano-Víboras. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía).....	58

Figura 13. Dotación aplicada en parcela para el Sistema Quiebrajano-Víboras. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía).....	60
Figura 14. Distribución mensual de las dotaciones de riego según cultivos en el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	61
Figura 15. Régimen natural Cañones de Mingo.....	64
Figura 16. Régimen natural río Grande (Alto Víboras)	65
Figura 17. Régimen natural Nto. Río San Juan	65
Figura 18. Curvas APU-Caudal en Río Frío	68
Figura 19. Curvas APU-Caudales para el río San Juan.....	68
Figura 20. Análisis de caudales ecológicos en el río San Juan	71
Figura 21. Análisis de caudales en los Cañones de Mingo. Río Frío	71
Figura 22. Análisis de caudales en el río Grande (Alto Víboras).....	72
Figura 23. Distribución de las demandas promedio que registra el Sistema Quiebrajano-Víboras según usos	74
Figura 24. Distribución de las demandas máximas que registra el Sistema Quiebrajano-Víboras según usos	74
Figura 25. Riego de olivar y afloramientos permeables. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía)	77
Figura 26. Subcuencas definidas en el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	80
Figura 27. Estaciones meteorológicas (INM) utilizadas.....	83
Figura 28. Correlación datos precipitación-altitud	84
Figura 29. Correlación datos temperatura-altitud.....	85
Figura 30. Estaciones de aforos y red hidrométrica del IGME. Datos hidrológicos ...	86
Figura 31. Cuencas vertientes del Sistema Quiebrajano-Víboras.....	88
Figura 32. Subcuenca del embalse del Quiebrajano (cuenca de recepción del embalse del Quiebrajano)	90
Figura 33. Cuenca de recepción de la estación nº84 (Jaén) de la CHG	91
Figura 34. Cuenca de recepción de la estación de aforos E-82 (venta Pantalones) en el río Víboras.....	93
Figura 35. Estaciones meteorológicas empleadas para el estudio climatológico	95
Figura 36. Isolíneas Precipitación año tipo SECO más probable (en mm).....	98
Figura 37. Isolíneas precipitación año tipo MEDIO más probable (mm)	98
Figura 38. Isolíneas precipitación año tipo HÚMEDO más probable (en mm).....	99

Figura 39.	Distribución mensual de las precipitaciones más probables según años tipo	99
Figura 40.	Mapa de isolíneas de ETP	101
Figura 41.	Comparativa de precipitaciones mensuales para años tipo y ETP promedio	101
Figura 42.	Subcuencas vertientes consideradas en el análisis de aportaciones.....	103
Figura 43.	Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado	106
Figura 44.	Subcuencas consideradas para la aplicación del modelo precipitación-aportaciones de Temez	109
Figura 45.	Cálculo de las aportaciones (Polígonos de Thiessen).....	111
Figura 46.	Descomposición del hidrograma para la aportación correspondiente al embalse del Quiebrajano	113
Figura 47.	Aportación mensual media en el embalse del Quiebrajano. Hidrograma correspondiente a la simulación para la serie 1951-2001	114
Figura 48.	Ajuste mediante la distribución de Goodrich para las aportaciones simuladas mediante el modelo de Temez en el embalse del Quiebrajano (serie 1951-2002)	115
Figura 49.	Distribución mensual promedio de las aportaciones al embalse del Quiebrajano según años tipo	115
Figura 50.	Descomposición del hidrograma para la aportación correspondiente al embalse del Víboras	116
Figura 51.	Aportación mensual media en el embalse del Víboras. Hidrograma correspondiente a la simulación para la serie 1951-2001	116
Figura 52.	Ajuste mediante la distribución de Goodrich para las aportaciones simuladas mediante el modelo de Temez en el embalse del Víboras (serie 1951-2002)	117
Figura 53.	Distribución mensual promedio de las aportaciones al embalse del Víboras según años tipo.....	117
Figura 54.	Descomposición del hidrograma para la aportación correspondiente a la estación de aforos E-84	118
Figura 55.	Aportación mensual media en la estación de aforos E-84. Hidrograma correspondiente a la simulación para la serie 1951-2001	119

Figura 56. Ajuste mediante la distribución de Goodrich para las aportaciones simuladas mediante el modelo de Temez en la estación de aforos E-84 (serie 1951-2002)	119
Figura 57. Distribución mensual promedio de las aportaciones en la estación de aforos E-84 según años tipo	120
Figura 58. Comparación de las aportaciones anuales (serie obtenida mediante simulación) y las demandas máximas registradas en el Sistema Quiebrajano-Víboras	127
Figura 59. Comparación de las aportaciones mensuales medias (serie obtenida mediante simulación) y las demandas máximas registradas en el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	127
Figura 60. Serie aportación mensual registrada y simulada mediante el modelo P-E de Temez para el embalse del Quiebrajano (serie 1976-2002)	131
Figura 61. Comparativa de la aportación mensual promedio del río Quiebrajano registrada en el embalse Quiebrajano (periodo 1976-2002) y la simulada mediante el método P-E de Temez	131
Figura 62. Comparativa de la aportación mensual promedio registrada en el embalse del Quiebrajano (periodo 1976-2002) y la simulada mediante el método P-E de Temez	132
Figura 63. Comparativa entre la aportación registrada y la simulada mediante el modelo P-E de Temez para el embalse del Quiebrajano	132
Figura 64. Comparativa del diagrama acumulativo de frecuencias en los caudales mensuales registrados en el embalse Quiebrajano (datos de la CHG) y la serie obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	133
Figura 65. Comparativa del diagrama acumulativo de frecuencias en los caudales anuales registrados en el embalse La Concepción (datos de la CHG) y la serie obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado.....	134
Figura 66. Comparativa de aportaciones registradas en las estaciones de aforo E-84 (Jaén) y E-29 (Mengíbar) CHG.....	136
Figura 67. Serie aportación mensual registrada y simulada mediante el modelo P-E de Temez para la estación de aforos E-84 (serie 1975-1998)	138
Figura 68. Comparativa de la aportación mensual promedio del río Verde registrada para la estación de aforos E-84 (serie 1975-1998) y la simulada mediante el método P-E de Temez	138

Figura 69. Comparativa de la aportación anual promedio registrada en el embalse del Quiebrajano (periodo 1976-2002) y la simulada mediante el método P-E de Temez	139
Figura 70. Descarga subterránea conjunto acuífero Grajales-Pandera en el periodo de sequía 93-95. Comparativa de la serie Temez influenciada (recarga embalse y bombeos) con datos de captaciones en Mingo y Los Villares	140
Figura 71. Simulación descarga manantiales de Mingo periodo 1997-98	141
Figura 72. Serie aportación mensual registrada y simulada mediante el modelo P-E de Temez para la estación de aforos E-82 (serie 1973-1998)	142
Figura 73. Comparativa de la serie de aportaciones subterráneas generadas mediante el método de Temez y las detracciones para abastecimiento en el río Víboras	143
Figura 74. Comparativa de las series obtenidas mediante el modelo de Temez y los aforos puntuales efectuados por el IGME en el acuífero Ventisquero (manantiales de Valdepeñas)	144
Figura 75. Comparativa de las series obtenidas mediante el modelo de Temez y los aforos puntuales efectuados por el IGME en el acuífero Gracia-Morenita (Nacimiento del río San Juan)	145
Figura 76. Comparativa de las series obtenidas mediante el modelo de Temez y los aforos puntuales efectuados por el IGME en el acuífero Lias Jabalcuz (Fuente Los Prados)	145
Figura 77. Esquema del sistema de abastecimiento de la Mancomunidad del Quiebrajano	149
Figura 78. Esquema del sistema de abastecimiento a la Comarca de Martos	151
Figura 79. Sistema de abastecimiento a Jaén capital	153
Figura 80. Esquema de la interconexión de los subsistemas Canal de Martos y Mancomunidad del Quiebrajano	156
Figura 81. Simulación del efecto de la recarga artificial que ejerce el embalse Quiebrajano sobre el acuífero Grajales. Análisis de la descarga en los manantiales de Mingo	161
Figura 82. Acuíferos y Unidades Hidrogeológicas vinculadas al Sistema Quiebrajano-Víboras	167
Figura 83. Unidades hidrogeológicas Jaén-Jabalcuz	170
Figura 84. Unidades hidrogeológicas Grajales-Pandera-Carchel y San Cristóbal	174
Figura 85. Unidades hidrogeológicas Mentidero-Montesino, Gracia-Ventisquero y Montes Orientales (acuíferos del Alto Víboras)	179

Figura 86.	Acuíferos aislados de Ahillo y Caracolera	186
Figura 87.	Situación hidrológica de los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras	189
Figura 88.	Esquema de simulación de los acuíferos en SIMGES (Modelo Unicelular). Acuífero Gracia-Morenita	194
Figura 89.	Comparativa entre detracciones al río y el coeficiente de agotamiento para regímenes de explotación con caudales límite	201
Figura 90.	Comparativa entre detracciones al río y el coeficiente de agotamiento para regímenes de explotación con caudales límite	202
Figura 91.	Rango de aportaciones más probables al embalse del Quiebrajano	208
Figura 92.	Curvas características del embalse Quiebrajano	209
Figura 93.	Evolución del embalse Quiebrajano en el periodo 1989-2002	210
Figura 94.	Evaporación real en el embalse del Quiebrajano	211
Figura 95.	Pérdidas por infiltración en el vaso del embalse del Quiebrajano (altura de lámina 0 equivale a cota 717 m snm)	212
Figura 96.	Datos de explotación del embalse Quiebrajano. Fuente: CHG	213
Figura 97.	Explotación del embalse Quiebrajano periodo 1989-2002. Comparativa entregas-aportación-almacenamiento	214
Figura 98.	Análisis de garantías para el embalse del Quiebrajano (Serie 1989-2002)	214
Figura 99.	Rango de aportaciones más probables al embalse del Víboras	215
Figura 100.	Comparativa de series de Temez en régimen natural y régimen influenciado con la serie del documento XYZT del embalse del Víboras.....	216
Figura 101.	Curvas características del embalse del Víboras	217
Figura 102.	Descarga simulada mediante el modelo de Temez para el acuífero Gracia-Morenita	233
Figura 103.	Infraestructuras del sistema Quiebrajano-Víboras	247
Figura 104.	Subcuencas hidrológicas y acuíferos del Sistema Quiebrajano-Víboras. Infraestructuras de regulación.	248
Figura 105.	Volumen embalsado en el embalse Quiebrajano. Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN	251
Figura 106.	Descarga por los manantiales de Mingo. Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN	252
Figura 107.	Bombeos en el acuífero Grajales (sondeos Peñas de Castro y La Merced). Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN.....	253

Figura 108. Captaciones en el Canal de Martos (Alto Víboras). Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN	254
Figura 109. Volumen embalsado en el embalse Quiebrajano. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	258
Figura 110. Descarga por los manantiales de Mingo. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	259
Figura 111. Bombeos en el acuífero Grajales (sondeos Peñas de Castro y La Merced). Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	260
Figura 112. Suministro a través del Canal de Martos (captaciones en las Fuentes de Martos y sondeos Gracia-Morenita -Alto Víboras-). Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN.	261
Figura 113. Volumen embalsado en el embalse Víboras. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	263
Figura 114. Caudales suministrados desde el embalse Víboras. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	264
Figura 115. Simulación bombeos Víboras en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	265
Figura 116. Simulación recarga artificial en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN	265
Figura 117. Evolución de la descarga anual del Acuífero Gracia-Morenita. SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN.	267
Figura 118. Simulación de la evolución del volumen almacenado en el acuífero para la simulación ESCENARIO CON CONEXIÓN con bombeos en Gracia-Morenita y CON recarga artificial.	267
Figura 119. Simulación de la evolución del volumen almacenado en el acuífero para la simulación ESCENARIO CON CONEXIÓN con bombeos en Gracia-Morenita y SIN recarga artificial.	267
Figura 120. Simulación bombeos Víboras en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A .	271
Figura 121. Simulación recarga artificial en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A .	271
Figura 122. Simulación volumen almacenado en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A	273

Figura 123. Evolución de la descarga anual del Acuífero Gracia-Morenita. SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A.	274
Figura 124. Comparativa entre el caudal ecológico crítico calculado y la escorrentía para el Régimen Natural del año Tipo Medio	278
Figura 125. Comparativa de caudales en régimen natural, caudales ecológicos calculados y caudales ecológicos según PHC (Cañones Mingo).....	279
Figura 126. Comparativa de caudales en régimen natural, caudales ecológicos calculados y caudales ecológicos según PHC (Nto. río San Juan)	279
Figura 127. Comparativa de caudales en régimen natural, caudales ecológicos calculados y caudales ecológicos según PHC (Alto Víboras).....	280
Figura 128. Simulación bombeos Víboras en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS B .	281
Figura 129. Simulación recarga artificial en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS B .	281
Figura 130. Simulación volumen almacenado en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPOTESIS B	282
Figura 131. Volumen embalsado en el embalse Quebrajano. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO	284
Figura 132. Descarga por los manantiales de Mingo. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO.....	285
Figura 133. Bombeos en el acuífero Grajales (sondeos Peñas de Castro y La Merced). Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO	286
Figura 134. Máximo Déficit Mensual (MDM en hm ³) en las simulaciones realizadas frente a demandas urbanas consideradas (demandas máximas mensuales).....	290
Figura 135. Índices de garantía mensual obtenidos para los diferentes escenarios de simulación considerados	293
Figura 136. Índices de garantía volumétrica obtenidos para los diferentes escenarios de simulación considerados	293
Figura 137. Déficit máximo mensual obtenido para los diferentes escenarios de simulación considerados	293

Figura 138. Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para Cañones de Mingo	295
Figura 139. Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para el Nacimiento del río San Juan	295
Figura 140. Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para el río Grande (Alto Víboras)	296
Figura 141. Aumento de la Garantía del Caudal Ecológico en el Alto Víboras mediante Bombeos de las Reservas de los Embalses Subterráneos	297
Figura 142. Déficit mensual simulado mediante AQUATOOL. Escenario CON conexión con sondeos tipo SER en Cornicabra-Noguerones (193 l/s de capacidad de bombeo)	299
Figura 143. Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para el río Grande (Alto Víboras) disponiendo los sondeos tipo SER en el acuífero Cornicabra-Noguerones	300
Figura 144. Simulación de la evolución anual que registraría la descarga del embalse subterráneo de Conicabra-Noguerones como consecuencia de la implantación de una infraestructura de regulación ecológica mediante sondeos (sondeos SER) .	300
Figura 145. Simulación de la evolución mensual que registraría la descarga el embalse subterráneo de Conicabra-Noguerones como consecuencia de la implantación de una infraestructura de regulación ecológica mediante sondeos (sondeos SER)	301
Figura 146. Evolución que registrarían las reservas del embalse Cornicabra-Noguerones como consecuencia de la implantación de una infraestructura de regulación ecológica mediante sondeos (sondeos SER)	301
Figura 147. Costes del agua en el Sistema Quebrajano-Víboras	306
Figura 148. Comparativa costes-suministro para las simulaciones realizadas (en el suministro sólo se consideran el Canal del Quebrajano y el canal de Martos-Emb. Víboras) 307	
Figura 149. Comparativa costes-garantías volumétricas para las simulaciones realizadas (en el suministro sólo se consideran el Canal del Quebrajano y el canal de Martos-Emb. Víboras)	308
Figura 150. Comparativa costes-déficits para las simulaciones realizadas (en el suministro sólo se consideran el Canal del Quebrajano y el canal de Martos-Emb. Víboras) 308	
Figura 151. Indicadores garantía-costes.....	311

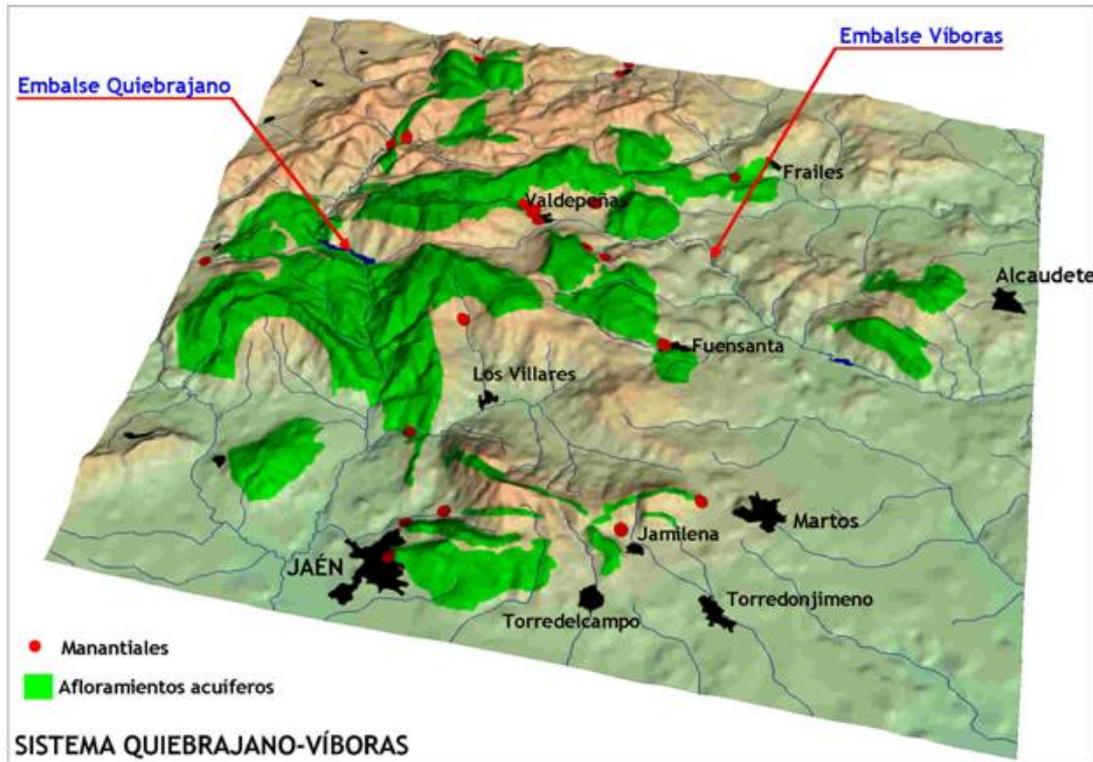
Figura 152.	Indicador déficit-costes	312
Figura 153.	Indicadores relativos garantía-costes	313
Figura 154.	Ubicación geográfica de los municipios abastecidos desde el Sistema Quiebrajano-Víboras.....	318
Figura 155.	Panorámica tridimensional del Sistema Quiebrajano-Víboras.....	319
Figura 156.	Cuencas vertientes del Sistema Quiebrajano-Víboras	323
Figura 157.	Aportaciones y aportaciones específicas en el Sistema Quiebrajano-Víboras para el régimen natural	324
Figura 158.	Comparación de las aportaciones anuales (serie obtenida mediante simulación) y las demandas máximas registradas en el Sistema Quiebrajano-Víboras	325
Figura 159.	Ajuste de Goodrich para las aportaciones del Sistema Quiebrajano-Víboras (subcuencas estaciones de aforos E-82 y E-84).....	325
Figura 160.	Infraestructuras del sistema Quiebrajano-Víboras	327
Figura 161.	Sistema Quiebrajano-Víboras. Infraestructuras de regulación.	328
Figura 162.	Situación hidrológica de los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras	330
Figura 163.	Demandas dependientes del Sistema Quiebrajano-Víboras.....	332
Figura 164.	Régimen de caudal ecológico en la zona hidroecológica Cañones de Mingo	338
Figura 165.	Régimen de caudal ecológico en la zona hidroecológica Alto Víboras (río Grande, aguas abajo de la Toma Fuentes de Martos)	339
Figura 166.	339
Figura 167.	Régimen de caudal ecológico en la zona hidroecológica Nacimiento del río San Juan	339

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema Quiebrajano-Víboras constituye el entramado hidráulico más importante de la provincia de Jaén, aportando recursos hídricos para el abastecimiento de una población próxima a 221.000 personas y permitiendo satisfacer la demanda de algo más de 4.100 ha de regadíos (huerta y olivar), sin menospreciar la importancia ambiental que constituyen los cursos fluviales asociados a la cabecera del río Víboras (río Grande), los cañones de Mingo (río Frío) y el Nacimiento del río San Juan.

Este sistema se compone de dos subsistemas que hasta fechas muy recientes (primeros meses de 2004) han funcionado de forma independiente: **Mancomunidad del Quiebrajano**, que abastece a la ciudad de Jaén y a municipios de la campiña de Jaén y Córdoba (Fuerte del Rey, Villadompardo, Escañuela, Arjona, Arjonilla, La Higuera, Porcuna, Lopera, Higuera de Calatrava, Santiago de Calatrava, Cañete de las Torres y Valenzuela); y el abastecimiento de la **Comarca de Martos**, que incluye los municipios de Martos, Toredelcampo, Torredonjimendo y Jamilena. Ambos subsistemas disponen de infraestructuras para la regulación de recursos hídricos superficiales y subterráneos, habiendo resuelto los problemas de desabastecimiento mediante el uso alternativo de ambos recursos y la reutilización de recursos no convencionales (aguas residuales) en función de criterios de disponibilidad, económicos o de oportunidad, sin que en ningún caso se hayan planteado pautas de gestión conjunta, labor dificultada, sin duda, por la diversidad de agentes que gestionan las infraestructuras hidráulicas.

Considerando los consumos de diferente índole (abastecimiento urbano, agrícola, industrias y abastecimiento a urbanizaciones), el sistema satisface una demanda total que se aproxima a los 40 hm³ anuales, tomando los recursos de diferentes fuentes de suministro de origen superficial y subterráneo, si bien, el 73% de la demanda se satisface con aguas subterráneas, lo que es función de la estacionalidad en los cauces públicos de esta cuenca y la existencia de importantes formaciones acuíferas.



El sistema de explotación Quiebrajano-Víboras ha sufrido en las últimas 3 décadas una significativa evolución en sus infraestructuras hidráulicas provocada por la necesidad de sostener, fundamentalmente, el abastecimiento urbano al conjunto de municipios que constituyen la Mancomunidad del Quiebrajano y los asociados a la Comarca de Martos. Por otra parte, es de resaltar el importante aumento que ha registrado la demanda agrícola como consecuencia de la transformación en regadío, mediante iniciativa privada, que han sufrido amplias zonas de olivares, lo que ha originado un notable aumento de la demanda total dependiente del sistema que, ha sido solventada mediante la captación de aguas subterráneas y la re-utilización de recursos no convencionales (aguas residuales depuradas y sin depurar).

Tradicionalmente el abastecimiento a Jaén capital se efectuaba con recursos subterráneos procedentes del manantial de río Frío (de donde también se abastece el municipio de Los Villares) y de captaciones de aguas subterráneas en el acuífero Castillo-La Ímora (sondeos de Santa Catalina y El Tomillo) y en menor medida de los manantiales de Mingo y de los sondeos de Peñas de Castro. La puesta en

funcionamiento del embalse del Quiebrajano (año 1976) y de las elevaciones de Mingo (que captan los drenajes naturales del acuífero Grajales) supuso una importante inyección de recursos para el abastecimiento urbano a Jaén, desarrollándose las infraestructuras de conducción, potabilización y regulación que permitieron mejorar el abastecimiento a la capital y abastecer a los núcleos de la campiña de Jaén y Córdoba adscritos a la MANCOMUNIDAD DEL QUIEBRAJANO (Fuerte del Rey, Villadompardo, Escañuela, Arjona, Arjonilla, La Higuera, Porcuna, Lopera, Higuera de Calatrava, Santiago de Calatrava, Cañete de las Torres y Valenzuela).

El abastecimiento a los núcleos de la COMARCA DE MARTOS (Martos, Torredonjimeno, Torredelcampo y Jamilena) y algunos pueblos aislados (Valdepeñas de Jaén, Fuensanta de Martos y Alcaudete) se ha solventado utilizando los recursos subterráneos asociados a los acuíferos de la cabecera del Víboras y de la unidad hidrogeológica de Jabalcuz, mediante el aprovechamiento de manantiales o la captación de aguas subterráneas mediante sondeos. La deficiencia de las infraestructuras hidráulicas de captación, conducción y potabilización, junto a la limitada cuantía de los recursos renovables de los acuíferos de la unidad Jabalcuz (2,70 hm³/a de promedio) originaba una situación de déficit coyuntural en el abastecimiento urbano en los periodos más secos, siendo habitual las restricciones en estos municipios en las épocas veraniegas.

Este esquema de aprovechamiento combinado de recursos superficiales y subterráneos ha servido para satisfacer la demanda a los núcleos de la Comarca de Martos y de la Mancomunidad del Quiebrajano bajo unos índices de garantía que no podrían catalogarse de satisfactorios a la luz de las situaciones coyunturales de escasez, las cuales se vieron seriamente agravadas durante el periodo de sequía asociado a los años 1992-1995, situación que exigió la ejecución de actuaciones inmediatas para sostener el abastecimiento urbano mediante la ejecución de obras de emergencia (sondeos del Víboras -acuífero Gracia-Morenita- para abastecimiento a la Comarca de Martos y sondeos de La Merced -acuífero Grajales- para el abastecimiento a la Mancomunidad del Quiebrajano).

A raíz de la situación acaecida durante el periodo de sequía 1992-1995 se han construido nuevas infraestructuras de regulación, conducción y potabilización, dando cumplimiento al Real Decreto-Ley 9/1998 de 28 de agosto (obras hidráulicas

de interés general) que bajo el título “Interconexión de los subsistemas del Víboras y Quiebrajano” han acometido el Ministerio de Medio y la Sociedad Estatal AQUAVIR. Estas actuaciones ya realizadas y en funcionamiento se resumen en los siguientes apartados:

- 1) Construcción del embalse del Víboras, con una capacidad de almacenamiento de 19,11 hm³.
- 2) Conexión entre los subsistemas de explotación Víboras y Quiebrajano mediante una conducción reversible, por lo que actualmente es factible el aporte de agua del subsistema Quiebrajano al subsistema Víboras y viceversa.
- 3) Incremento de la capacidad de potabilización de la ETAP de Martos (pasando de 160 l/s a 363 l/s) y disponiendo los elementos de desalinización necesarios para adecuar la calidad que presentan las aguas del embalse del Víboras (el vaso del embalse y parte de la cuenca de recepción se encuentran asociadas a formaciones salíferas -sulfatos-).
- 4) Conexión del embalse del Víboras con la ETAP de Martos, mediante la construcción de un sistema de bombeo aguas abajo del embalse de 190 m de altura de elevación, depósito de regulación intermedio (Cerro Quemado) y conducciones.
- 5) Mejora de la conducción del embalse del Quiebrajano hasta la ETAP de Jaén, disponiendo una nueva conducción con capacidad de transporte de 580 l/s (la antigua es un canal de gravedad con capacidad de transporte de 400 l/s de capacidad y numerosas pérdidas) que permite conducir a la ETAP de Jaén los recursos regulados en el embalse del Quiebrajano y los bombeados en los sondeos de La Merced y en las captaciones de Mingo II y III.

Además de estas actuaciones concretas, el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir está analizando la posibilidad de limitar las filtraciones que presenta el embalse del Quiebrajano a través de su vaso (estimadas en 2,29 hm³/a para el periodo 1989-2000 y en un rango de variación de 1,64 hm³/a a 8,19 hm³/a). Estas filtraciones constituyen una recarga artificial no programada del acuífero Grajales, cuya surgencia natural más importante (manantiales de Mingo), es captado para el abastecimiento a la Mancomunidad del Quiebrajano.

Estas actuaciones han dotado al Sistema Quiebrajano-Víboras de una mayor robustez en el aspecto de regulación, por cuanto se ha incrementado notablemente la capacidad de regulación, soslayando el problema asociado a la irregularidad de las aportaciones, y una notable diversificación en las posibilidades de gestión de los recursos hídricos, ya que van a permitir conectar los subsistemas Mancomunidad del Quiebrajano y Comarca de Martos mediante conducciones reversibles.

Hasta la fecha el desarrollo hidráulico del sistema no ha ido acompañado de un análisis detallado enfocado a la optimización en el uso de los recursos superficiales y subterráneos, aprovechando e integrando las peculiaridades que ambos presentan.

Valorando el grado de utilización y potencialidad de uso que presentan los recursos hídricos subterráneos en el Sistema Quiebrajano-Víboras y las nuevas infraestructuras que se están generando, se ha estimado conveniente optimizar la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas proponiendo el desarrollo de técnicas de uso conjunto que permitan aumentar la garantía en el suministro, incluso en periodos de escasez coyuntural y al mismo tiempo, diversificar las fuentes de suministro (fuentes de aguas no convencionales) y asegurar la función medioambiental de los recursos del sistema.

Conviene apuntar que las experiencias desarrolladas en España sobre la gestión conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos se han mostrado eficaces tanto para solventar deficiencias estructurales como coyunturales, no en vano, en determinadas áreas de demanda la integración de los recursos subterráneos supuso la respuesta adecuada a la situación de escasez derivada de la sequía sufrida en nuestro país en el periodo 1.993-1.995, sean los casos de Madrid, Granada, Jaén, Almería, etc., mientras en otros es práctica histórica (Marina Baja, Alicante, Barcelona, etc.).

Para la simulación de las posibles alternativas de uso conjunto que presenta el Sistema Quiebrajano-Víboras ha sido necesario caracterizar las infraestructuras hidráulicas de que dispone el sistema y las que han sido construidas. Asimismo, se han tomado datos sobre las demandas satisfechas por el subsistema de abastecimiento de la Mancomunidad del Quiebrajano y del subsistema de

abastecimiento a la Comarca de Martos (ambos gestionados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir), así como los caudales de origen subterráneo captados para el abastecimiento a diferentes poblaciones (Jaén, Martos, Torredelcampo, Torredonjimeno, Jamilena, Fuensanta de Martos, Valdepeñas de Jaén, Alcaudete y Los Villares) y aquellos destinados a otros usos (agricultura, industria y abastecimiento a urbanizaciones).

Junto con los datos de infraestructuras de regulación, conducción y potabilización se han tomado datos de las estaciones depuradoras de aguas residuales, como potenciales fuentes de suministro de recursos hídricos no convencionales. Asimismo, se han recopilado, analizado y tratado todos los datos climatológicos e hidrológicos disponibles para el periodo 1951-2002, con el objetivo de disponer de una serie suficientemente larga (51 años) de las aportaciones de cada uno de los elementos del sistema en régimen natural, descomponiendo las componentes superficial y subterránea.

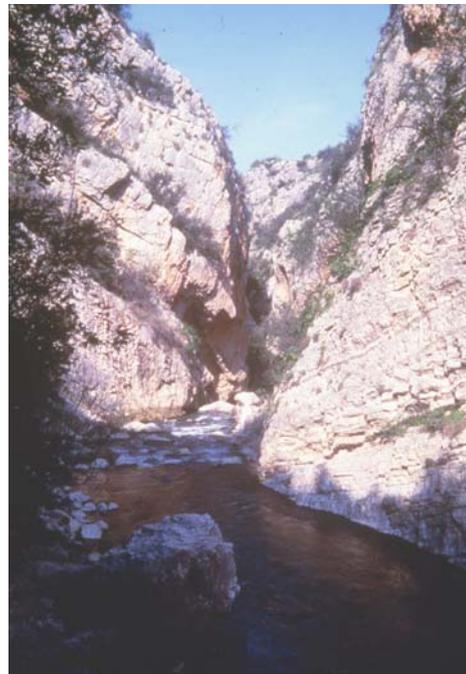
Por tanto, el trabajo desarrollado se apoya en tres pilares básicos: aportaciones, demandas e infraestructuras. Para la simulación de la gestión conjunta de los recursos hídricos se ha utilizado el paquete AQUATOOL (en el apartado 10.1 de la presente memoria se detallan las características de esta aplicación 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 criterios económicos y restricciones de calidad y medioambientales. A este último respecto, se ha aplicado 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:

- Analizar las alternativas de uso conjunto de los recursos superficiales y subterráneos del Sistema Quiebrajano-Víboras, 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.
- Incorporar criterios de gestión de recursos hídricos fundamentados en el coste del agua suministrada, mediante la consideración de restricciones en el uso de fuentes de suministro que presentan una deficiente calidad para el abastecimiento urbano y que redundan en un mayor coste del agua suministrada a los usuarios.
- 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.



Cañones de Mingo

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) y el 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”. En estos trabajos se recogían las actuaciones asociadas al Programa nº16 del Libro Blanco de las Aguas Subterráneas 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 presente estudio del Sistema Quebrajano-Víboras 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 sistemas de uso conjunto).

En el mencionado informe de la DGOHCA-IGME se seleccionaron un total de 27 esquemas 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 incluían los siguientes:

Sistema de Explotación Comarca de Jaén, donde se incluyen:

- Unidades Hidrogeológicas:
 - 05.17/Jaén
 - 05.19/Mancha Real-Pegalajar
 - 05.20/Almacén-Carluca
 - 05.21/Sierra Mágina
 - 05.28/Montes Orientales
 - Grajales-Pandera
- Principales Infraestructuras Hidráulicas:
 - Embalse del Quiebrajano.
 - Canal regadío Vegas de Jaén.
- Objetivo principal de la Utilización Conjunta:
 - Apoyo al embalse del Quiebrajano en la mejora del abastecimiento a Jaén capital y Comarca.

Sistema de Explotación Mancomunidad del Víboras, donde se incluyen:

- Unidades Hidrogeológicas:
 - 05.22/Mentidero-Montesinos
 - Ahillo-caracolera
 - Gracia-Morenita
 - Ventisquero-Cornicabra
- Principales Infraestructuras Hidráulicas:
 - Embalse del Quiebrajano
 - Canal regadío vegas de Jaén
- Objetivo principal de la Utilización Conjunta:
 - Apoyo al abastecimiento de la Mancomunidad del Víboras (Comarca de Martos).

El Sistema Quebrajano-Víboras analizado en el presente estudio corresponde a una porción de la unión de ambos sistemas de explotación seleccionados (ver figura 2).

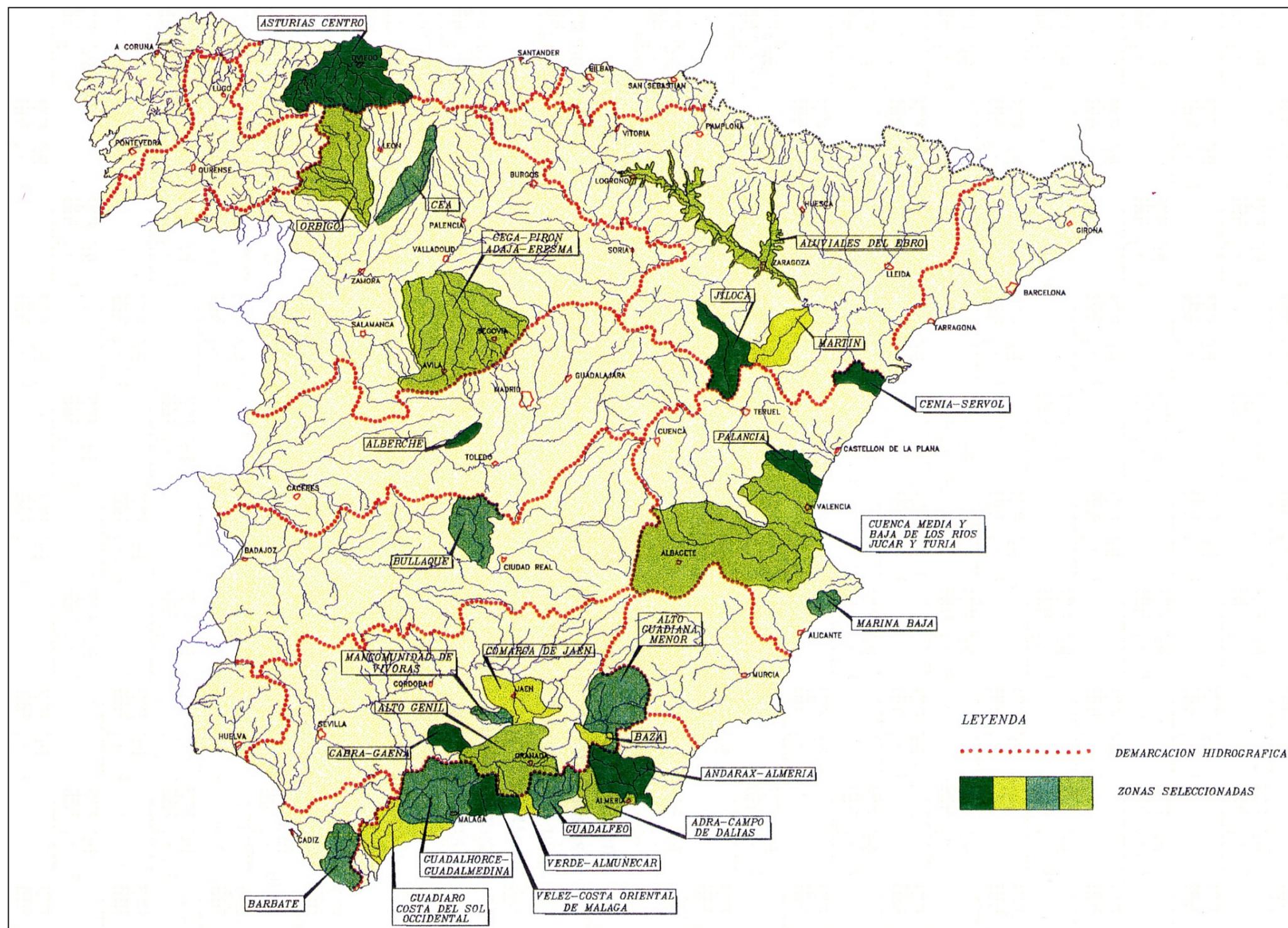


Figura 1. Situación de las zonas seleccionadas. INTEGRACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMA ESTATAL DE ESTUDIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LA UTILIZACIÓN COORDINADA DE LOS RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS

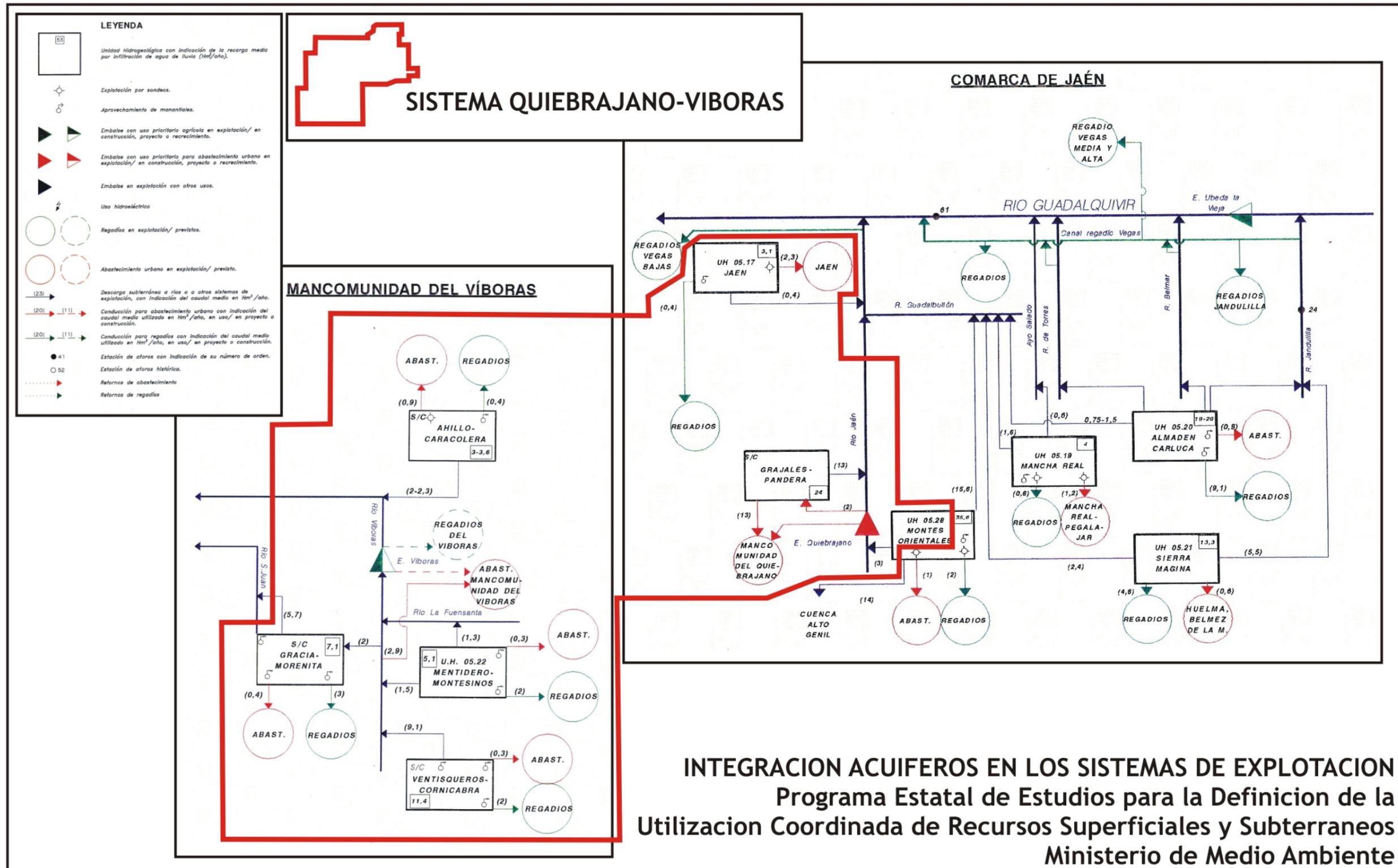


Figura 2. Esquemas Topológicos de la Comarca de Jaén y Mancomunidad del Víboras. INTEGRACIÓN DE LOS ACUIFEROS EN LOS SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMA ESTATAL DE ESTUDIOS PARA LA DEFINICIÓN DE LA UTILIZACIÓN COORDINADA DE LOS RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS

Asimismo, 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 Quiebrajano-Víboras.

Estudios Hidrogeológicos

El estudio hidrogeológico realizado por el IGME en 1986 (“Proyecto de Investigación para la Mejora del Abastecimiento de agua a los núcleos urbanos del sector sur occidental de la provincia de Jaén”) constituye el documento de referencia obligada, por la significación de los datos hidrogeológicos que se incluyen.

Otros trabajos hidrogeológicos posteriores llevados a cabo por la Dirección General de Obras Hidráulicas y el propio IGME son de ámbito más localizado, aportando datos concretos sobre alguno de los principales acuíferos objeto de análisis (Grajales-Pandera y Gracia-Morenita).

Por último, destacan como fuente de información 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 Quiebrajano-Víboras, así como de los aspectos relacionados con el balance, usos y calidad de las aguas.

Estudios de Regulación de recursos superficiales

Se ha considerado la información relativa a los embalses presentes en el Sistema Quebrajano-Víboras, esto es, los embalses Quebrajano y Víboras, utilizando para ello los correspondientes documentos XYZT y las Normas de Explotación, Conservación y Vigilancia de ambas 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.



Presa del Víboras

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, basada en la línea trazada por Sauquillo y Sánchez-González (1983) para este tipo de estudios.

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:

- Caracterización hidrológica del Sistema Quebrajano-Víboras, 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.
 - 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 depuradas).
 - d) Cuantificación de las demandas consuntivas y no consuntivas.
- Desarrollo y elaboración de un modelo de gestión conjunta del Sistema Quebrajano-Víboras para la simulación de alternativas de gestión que contemplen las infraestructuras generadas tras las actuaciones derivadas de la ejecución del proyecto de interconexión de los subsistemas del Víboras y Quebrajano y mejora de conducciones acometido por el Ministerio de Medio y la Sociedad Estatal AQUAVIR.

- Elaboración de conclusiones y recomendaciones sobre la gestión conjunta de los recursos del Sistema Quebrajano-Víboras a partir de las simulaciones realizadas, que permita integrar de manera eficaz los recursos subterráneos para resolver o reducir los problemas de abastecimiento urbano.

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 Quebrajano-Víboras, 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 presentan. 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 1951-2002 (51 años). Este trabajo se ha desarrollado en referencia a la restitución de series de precipitación y temperatura partiendo de los datos ofrecidos por el INM para un total de 7 estaciones; la restitución de series hidrológicas de aforos en cuatro estaciones de la CHG; el análisis de las series de descarga de manantiales de las redes de control hidrométrico del IGME y de las series de aportaciones a los embalses del Quebrajano y Víboras registradas por la CHG. Para el cálculo de las aportaciones en régimen natural se ha utilizado el método de Temez.
- 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, ayuntamientos y Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Asimismo, se ha recabado información sobre las nuevas infraestructuras de abastecimiento que han puesto en servicio AQUAVIR 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 los acuíferos asociados al Sistema Quebrajano-Víboras: Castillo-La Ímora, La Peña de Jaén, Cerro Fuente, Lías de Jabalcuz, Dogger de Jabalcuz, Mentidero, Montesinos, Fresnedilla-Pico Maleza, Grajales-Pandera-Carchel, Cornicabra-Noguerones, Gracia-Morenita, Ventisquero, Ahillo y Caracolera. Asimismo, se han obtenido datos sobre balances hidrogeológicos y aprovechamientos de aguas subterráneas de estos acuíferos, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de estas explotaciones.
- Cálculo de los caudales ecológicos en determinados cauces de las cuencas del río Frío (Cañones de Mingo), Grande (Alto Víboras) y San Juan (Nacimiento del río San Juan) 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 6).
- 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 Quebrajano-Víboras considerando varios escenarios:
 - **Situación previa** a la conexión del subsistema de la Mancomunidad del Quebrajano y el subsistema Víboras (Comarca de Martos).

- **Situación futura** una vez han entrado en funcionamiento las obras que está acometiendo la CHG en la conducción principal desde el embalse del Quiebrajano y las obras que está ejecutando AQUAVIR en el subsistema Víboras para la integración del embalse del Víboras y la conexión de este subsistema de abastecimiento con el de la Mancomunidad del Quiebrajano.
- **Escenario alternativo** que implica la explotación de los **sondeos del Víboras** (acuífero Gracia-Morenita) frente a la utilización del embalse del Víboras, aprovechando la mayor capacidad de la ETAP de Martos. Se considera que las conducciones desde las Fuentes de Martos hasta la ETAP de Martos se mantienen bajo las actuales circunstancias y que se dispone de las instalaciones de recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita.
- **Escenario que implica la impermeabilización del embalse Quiebrajano** una vez estén conectados los subsistemas Quiebrajano y Víboras y previendo la utilización del embalse del Víboras.
- Incorporación de critérios de calidad en la optimización de la gestión de recursos hídricos, considerando los datos hidroquímicos disponibles para las diferentes fuentes de suministro.
- Evaluación de los costes del agua de abastecimiento urbano en alta considerando las diferentes fuentes de suministro de que dispone el sistema y los datos suministrados por los organismos y empresas gestoras del abastecimiento y realizando un análisis económico comparativo preliminar del coste del agua bajo diferentes escenarios en la gestión de los recursos hídricos.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones para la gestión y aprovechamiento óptimos de los recursos superficiales y subterráneos del Sistema Quiebrajano-Víboras 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 Quebrajano-Víboras, 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 (delegación de Jaén).
- Delegación Provincial de la exconsejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.
- Delegación Provincial de Jaén de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- Oficina Comarcal Agraria de la Campiña de Jaén adscrita a la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía
- Diputación Provincial de Jaén
- Ayuntamientos de Los Villares, Fuensanta de Martos y Valdepeñas de Jaén
- Empresas de gestión de aguas: Aqualia (delegaciones de Jaén y Martos) e Hidrogestión (Alcaudete).

La zona objeto de estudio, Sistema Quebrajano-Víboras, constituye el principal sistema de abastecimiento de la provincia de Jaén, no en vano suministra agua al 30% de la población de la demarcación provincial.

Desde el punto de vista del abastecimiento, este sistema está compuesto de dos grandes subsistemas supramunicipales: la Mancomunidad del Quebrajano y el Canal de Martos; y por una serie de sistemas de abastecimiento municipales (Los Villares,

Alcaudete, Fuensanta de Martos y Valdepeñas de Jaén). Junto a los abastecimientos existen regadíos hortícolas (645 ha) y riego localizado del olivar (unas 3.640 ha).

La Mancomunidad del Quebrajano tiene como fuentes de suministro el embalse del Quebrajano y las captaciones de aguas subterráneas de Mingo y La Merced, apoyadas para el abastecimiento a Jaén capital por otra serie de captaciones de aguas subterráneas (Santa Catalina, El Tomillo y Peñas de Castro).

El Canal de Martos se nutre de las captaciones de aguas subterráneas que existen en los acuíferos del alto Víboras (Fuentes de Martos), aprovechando los numerosos manantiales vinculados a estos acuíferos (Montesinos, Cornicabra-Noguerones y Ventisquero) y una serie de sondeos que captan el acuífero Gracia-Morenita. Además, los municipios de la Comarca de Martos disponen de captaciones de aguas subterráneas en los acuíferos de Jaén-Jabalruz. Los abastecimientos municipales de Los Villares, Alcaudete, Fuensanta de Martos y Valdepeñas de Jaén se efectúan desde captaciones de aguas subterráneas en los acuíferos de la Pandera, Ahillo-Caracolera, Mentidero y Ventisquero, respectivamente. Las fuentes de suministro para el regadío proceden de captaciones de aguas subterráneas (sondeos y manantiales) y de las aguas residuales depuradas.

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 los consumos 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.
- Otros usos, donde se incluyen los abastecimientos industriales y urbanos (urbanizaciones) no vinculados a los sistemas municipales.

Las demandas a satisfacer en el sistema corresponden, por un lado, a los abastecimientos urbanos, incluyendo los grandes sistemas de abastecimiento (mancomunidad del Quebrajano y Canal de Martos) y los sistemas municipales, y por otra parte a los regadíos agrícolas (hortícolas y olivar).

Además hay que considerar como una demanda más el caudal ecológico a mantener en los ríos principales del sistema, definiendo como tales aquellos que la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ha incluido en el listado de hábitats de interés comunitario en la provincia de Jaén, dentro del apartado de "*aguas corrientes-tramos de cursos de agua con dinámica natural y semi-natural (lechos menores, medios y mayores), en los que la calidad del agua no presenta alteraciones significativas*" como hábitat natural tipo "*ríos mediterráneos de caudal permanente con *Glaucium flavum**" y que corresponden a los ríos Quebrajano, Frío, Grande y San Juan para la zona ámbito de presente estudio.

Para obtener datos sobre consumos de recursos hídricos en el sistema ha sido necesario acudir a organismos y entidades gestoras del agua o a organismos vinculados con los sectores productivos demandantes de agua.

En función de los datos ofrecidos por estos organismos y entidades ha sido factible establecer la evolución que ha registrado en los últimos años el consumo de agua potable en el sistema y fijar los caudales punta mensuales o demandas máximas mensuales que presentan los centros de demanda urbana, cifras que han sido utilizadas en el modelo de simulación de la gestión conjunta.

Respecto a los consumos de recursos hídricos en los núcleos se han considerado como referencia los datos de caudales tratados en los meses secos (sin lluvias) en las depuradoras de Jaén y Los Villares, considerando ambas instalaciones como representativas de un núcleo grande y otro pequeño y estimando los retornos registrados en función de los consumos.

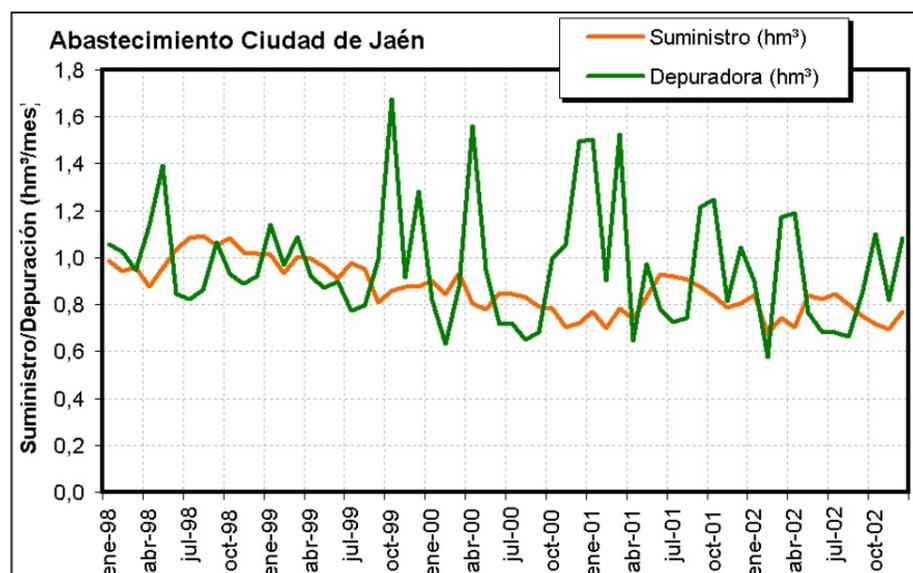


Figura 4. Evolución registrada del consumo de agua en la ciudad de Jaén y de los volúmenes depurados en la EDAR de Jaén (Fuente: Aqualia-Jaén)

En función de los datos disponibles sobre demandas y aguas depuradas en la ciudad de Jaén y el núcleo de Los Villares se fija el coeficiente de consumo urbano en 0,20, constituyendo los retornos en 80% de la demanda.

Para el consumo de agua en el sector agrícola no ha sido posible disponer de datos actualizados, puesto que en ninguno de los organismos administrativos de la Junta de Andalucía con competencias en Agricultura existen datos actualizados sobre consumos. Sólo existen datos de dotaciones de riego y hectáreas de riego en el

Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía de que dispone la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, tomando los datos correspondientes a los municipios vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras.

5.2 DEMANDA URBANA

Los datos de demanda para abastecimiento urbano (núcleos urbanos y urbanizaciones) se han obtenido a partir de los datos de suministro proporcionados por la CHG (Canal Quiebrajano y Canal de Martos), por las empresas de gestión de aguas potables (Aqualia e Hidrogestión), de informes del IGME y de consultas directas a los municipios. Con los datos recopilados se ha establecido la distribución de la demanda actual para abastecimiento urbano, evaluando tanto los valores promedio como los máximos registrados (Anejo 3).

La importancia que la demanda urbana presenta en el Sistema Quiebrajano-Víboras resulta evidente, no en vano absorbe el 64% de la demanda consuntiva del sistema. La demanda para abastecimiento urbano promedio anual del sistema se cifra en 27,11 hm³ (volumen de suministro promedio para el periodo 1993-2002), de la que algo más de un 54% la absorbe la ciudad de Jaén (14,67 hm³/a) y casi un 21% la Comarca de Martos (5,66 hm³/a).

Si se consideran los valores de suministro máximo, independientemente que éstos se produzcan en diferentes periodos para los distintos centros de demanda urbana, se obtiene que la demanda máxima del sistema asciende a 33,77 hm³/a. Así, la ciudad de Jaén ha alcanzado un nivel máximo de demanda anual de algo más de 19 hm³ y la Comarca de Martos casi 7 hm³.

Actualmente, el 71% de los recursos para abastecimiento urbano proceden de la captación de recursos subterráneos. Así, por término medio, se captan unos 754 l/s para abastecimiento urbano, de los que 217 l/s proceden del embalse del Quiebrajano y 537 l/s de captaciones de aguas subterráneas. Situación que se modificará con la puesta en funcionamiento del embalse del Víboras, desde el que se pretenden captar hasta 300 l/s. Además, el sistema cuenta como elementos de

reserva con los sondeos del Víboras, con capacidad para captar unos 150 l/s del acuífero Gracia-Morenita.

En total el Sistema Quebrajano-Víboras, una vez se han concluido las obras de interconexión de los subsistemas Quebrajano y Víboras, dispone de una capacidad de regulación máxima de recursos hídricos de unos 2 m³/s.

Ante una situación de sequía extrema como la acontecida en el periodo 1993-1995, la capacidad de regulación del Sistema Quebrajano-Víboras, sin contar con los posibles recursos que pudieran estar regulados en el embalse del Víboras, podría ascender de 929 l/s (628 l/s para el subsistema Quebrajano y 301 l/s para el subsistema Víboras -incluyendo los 150 l/s de los sondeos del Víboras-), cuando los caudales punta demandados son de 845 l/s (73.000 m³/d: 579 l/s para la Mancomunidad del Quebrajano y 266 l/s para la Comarca de Martos). Por tanto la situación es de equilibrio, que será favorable con la puesta en funcionamiento del embalse del Víboras.

FUENTES DE SUMINISTRO REGULACIÓN		Caudales captados año 1995		Caudales Captados Promedio (Periodo 1993-2002)		Capacidad Captación máxima (l/s)	Capacidad de captación en situación de sequía (l/s) ⁽¹⁾
		hm ³ /a	l/s	hm ³ /a	l/s		
Mancomunidad del Quebrajano	Embalse Quebrajano	0,96	30	6,84	217	398	30
	Sondeos La Merced	1,52	48	0,95	30	200	200
	Elevaciones Mingo II y Mingo III	9,95	315	4,09	130	360	315
Jaén capital	Elevación Mingo I	S/D		0,03	1	30	-
	Captación Los Villares	S/D		2,06	65	100	15
	Sondeos Peñas de Castro	S/D		2,41	76	122	38
	Sondeos Santa Catalina	S/D		1,65	52	113	26
	Sondeo El Tomillo	S/D		0,09	3	16	3
Comarca de Martos	Fuentes de Martos	4,35	138	4,15	132	162	138
	Sondeos y captaciones en acuíferos	S/D		1,51	48	50	13
	Embalse Víboras					300	-
	Sondeos Víboras					150	150
TOTALES				23,79	754	2.002	929

⁽¹⁾ Datos elaborados en función de los datos de suministro para el periodo 1993-2002, que incluyó la sequía del 1993-1995. Los sondeos del Víboras fueron construidos después de la sequía (finales de 1995).

Tabla 1. Capacidad de regulación del Sistema Quebrajano-Víboras

A la luz de estos datos, resulta evidente que el aprovechamiento de los embalses subterráneos de Grajales y Gracia-Morenila mediante los bombeos de La Merced y Víboras, respectivamente, pueden aportar 350 l/s de aguas subterráneas al sistema para abastecimiento en épocas de sequía que permitiría afrontar con garantías el suministro urbano (845 l/s).

Con los datos de suministros disponibles (periodo 1993-2002), los caudales que pueden aportar las fuentes de suministro disponibles antes del periodo de sequía (registrados en los años 1993 a 1995) y, por tanto, antes de que se acometieran las obras de emergencia, esto es, sin considerar los sondeos de La Merced y del Víboras y sin el embalse del Víboras, ascenderían a 579 l/s, que es insuficiente para dotar el abastecimiento urbano del Sistema Quebrajano-Víboras (845 l/s). Parece, por tanto, que las obras de regulación acometidas son necesarias para garantizar el suministro urbano del sistema.

CENTROS DE DEMANDA	Habitantes abastecidos	Volumen anual medio suministrado (hm ³ /a)	Volumen anual máximo suministrado (hm ³ /a)	Dotación media (l/hab/d)	Caudales punta de suministro (10 ³ ·m ³ /d)
Subsistema Martos	53.200	5,66	6,95	296	23
Subsistema Mancomunidad Quebrajano	32.381	3,45	4,02	296	12
Jaén capital	111.400	14,76	19,03	368	38
Alcaudete	11.260	0,90	0,99	222	3
Los Villares	4.770	0,96	1,10	559	3
Valdepeñas de Jaén	4.500	0,80	0,92	494	3
Fuensanta de Martos	3.340	0,66	0,76	549	2
Sistema Quebrajano-Víboras	220.851	27,19	33,77	342	83

Tabla 2. Datos de suministro de aguas para abastecimiento urbano en el Sistema Quebrajano-Víboras

Considerando los datos disponibles sobre suministro urbano se puede establecer como valor promedio de dotación urbana la cifra de 342 l/hab/día, existiendo una marcada desigualdad entre los núcleos de la Comarca de Martos, Alcaudete y de la campiña de Jaén-Córdoba (Mancomunidad Quebrajano), que disponen de una dotación media de 222 a 296 l/hab/d, respecto a los núcleos aislados próximos a los acuíferos de cabecera, que disponen de dotaciones superiores a 494 l/hab/d, como reflejo de la mayor disponibilidad de recursos hídricos. La dotación de Jaén capital se fija en 368 l/hab/d.

Considerando que el consumo real de agua para usos urbanos corresponde a sólo el 20% del suministro y cifrando éste en un promedio anual de 27,19 hm³, se puede evaluar el consumo neto en 5,42 hm³/a, retornando parte del resto del agua consumida al propio sistema (excepto los núcleos de Alcaudete y los situados en la campiña de Jaén-Córdoba adscritos a la Mancomunidad del Quebrajano). Los retornos de aguas residuales urbanas al propio sistema serían de 18,21 hm³/a y a cauces externos al sistema 3,54 hm³/a.

Una parte de estos retornos de aguas residuales urbanas al sistema (18,21 hm³/a) están sujetos a depuración en las EDAR de Los Villares (que trata un promedio anual de 0,89 hm³, con un caudal pico de 5.850 m³/d) y en la EDAR de Jaén (que trata un promedio anual de 11,6 hm³, con un caudal pico de 56.000 m³/d), de manera que el 68,6% de las aguas residuales urbanas constituyen aguas residuales depuradas, mientras que el 31,4% restante constituyen aguas residuales no depuradas que retornan a los cauces públicos. Tanto las aguas residuales depuradas como las no depuradas son objeto de una intensiva reutilización en el sistema para uso agrícola, fundamentalmente, e incluso para uso urbano (exige potabilización: aguas residuales depuradas de Los Villares se captan en las elevaciones de Mingo para el abastecimiento a la Mancomunidad del Quebrajano y aguas residuales sin depurar de Valdepeñas se captan parcialmente para abastecimiento a la Comarca de Martos).

Para evaluar la evolución registrada por las demandas de aguas urbanas en el Sistema Quebrajano-Víboras es necesario analizar como ha progresado la población. Para ello se ha acudido a las bases de datos del INE, donde existe información sobre la evolución de población.

Según los datos del INE, la población de los núcleos que se abastecen del Sistema Quebrajano-Víboras ha estado marcada por la elevada tasa de crecimiento vegetativo registrado en la primera mitad del siglo XX, por la emigración sufrida por los pueblos en el periodo 1950-1980, por la inmigración registrada por la ciudad de Jaén en este mismo periodo y el mantenimiento o ligero crecimiento de la población en los últimos 20 años.

Los últimos años (1995-2003) se aprecia una cierta tendencia al crecimiento de la población, más notable en los grandes municipios (Jaén, Martos, Torredelcampo y Torredonjimeno), mientras en el resto la tendencia es al mantenimiento o ligera pérdida de población. A nivel del sistema, para el periodo 1995-2003 se fija una tasa de crecimiento promedio anual de población de 1.711 habitantes, lo que implica, a priori, un incremento anual en la demanda urbana progresiva de 213.000 m³, tan sólo un 0,8% del volumen anual de suministro registrado en los últimos años.

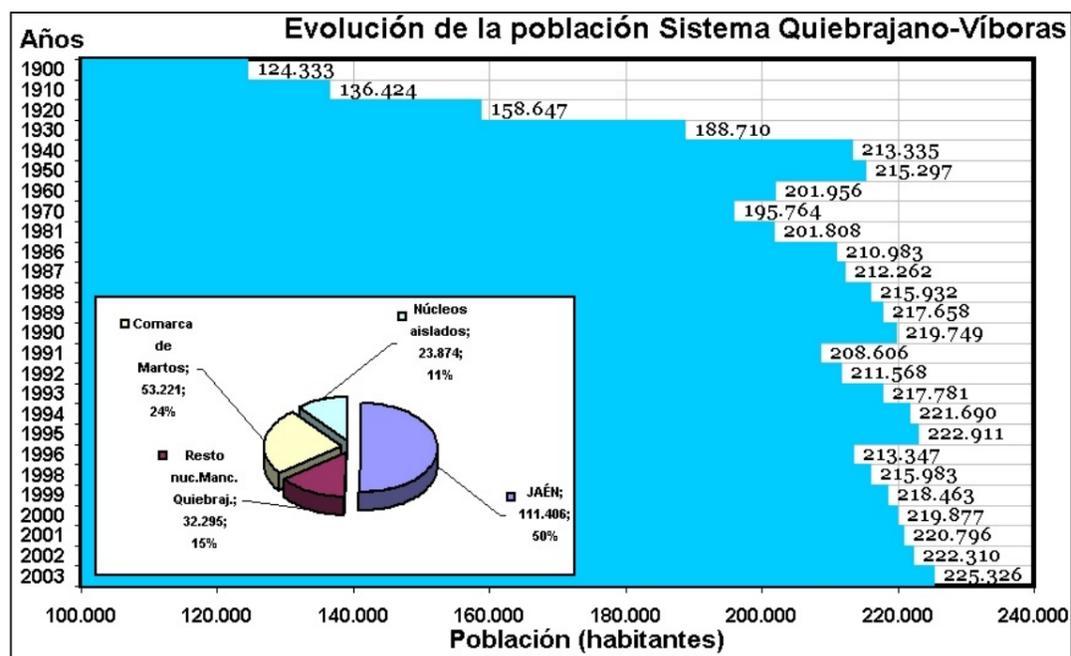


Figura 5. Evolución registrada por la población de los municipios asociados al sistema de abastecimiento Quiebrajano-Víboras

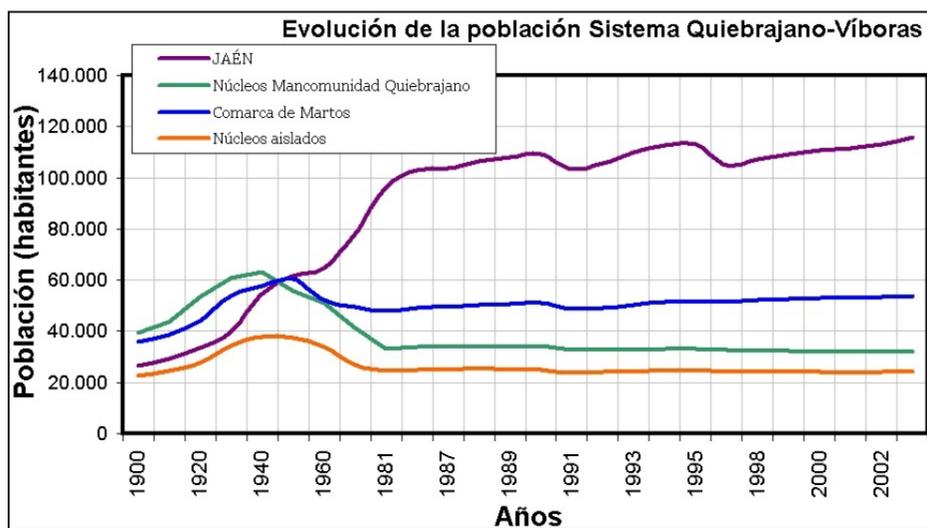


Figura 6. Evolución registrada por la población de los municipios asociados al sistema de abastecimiento Quebrajano-Víboras. Datos segregados por centros de demanda

Pero si se analizan de forma conjunta los suministros de agua a los grandes centros de demanda del sistema (Jaén capital y Canal de Martos) se observa que el incremento en la tasa de población no ha ido acompañado de un aumento del suministro de agua (figura 7). Esta circunstancia contrapuesta puede derivarse de las políticas de concienciación ciudadana que se han realizado para disminuir el consumo de agua en la ciudad de Jaén, además de las obras ejecutadas por Aqualia para reducir las pérdidas en las redes de suministro.

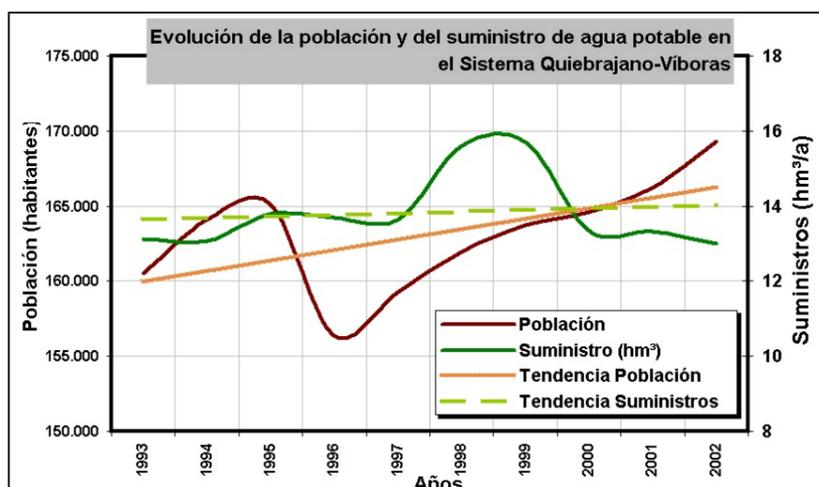


Figura 7. Evolución comparada entre la población en los grandes núcleos de población del Sistema y el suministro de agua potable

Ante esta situación no se puede establecer que sea necesario prever en un futuro inmediato un aumento significativo de la demanda urbana, de manera que se ha considerado como hipótesis conservadora utilizar como datos de referencia para las demandas urbanas en el modelo de simulación de la gestión conjunta, los valores máximos mensuales de consumos registrados en el periodo de que se dispone de datos sobre suministros.

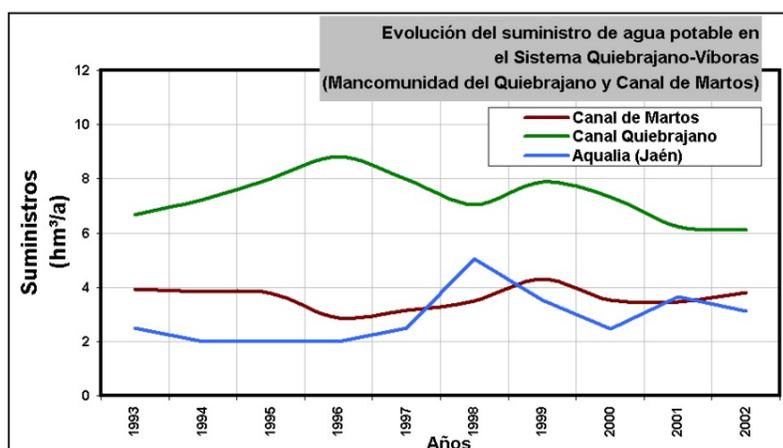


Figura 8. Evolución registrada en el suministro de agua potable a los grandes centros de demanda urbana del Sistema Quiebrajano-Víboras

La distribución mensual de la demanda viene fijada por los datos de suministros obtenidos, de tal manera que un 35,5% del consumo anual se centra en los meses estivales (junio a septiembre) y resulta significativo el mayor porcentaje correspondiente al mes de enero respecto al resto de meses del invierno, lo cual puede asociarse al hecho que la recogida de la aceituna se centra en este mes (periodo diciembre a marzo).

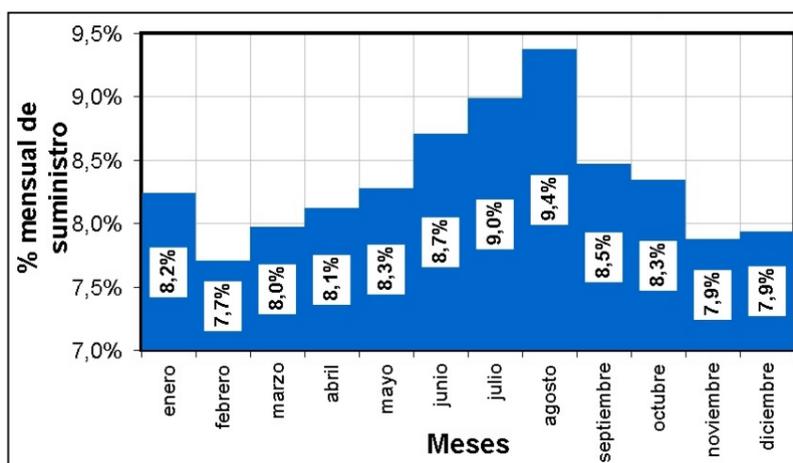


Figura 9. Distribución mensual del suministro de agua en los núcleos de población

5.3 DEMANDA DE RIEGOS

Para la aplicación del modelo de simulación de la gestión conjunta de recursos hídricos es necesario caracterizar perfectamente cada uno de los "centros de demanda" mediante datos de consumo medios mensuales, así como establecer la priorización en la satisfacción de los mismos.

Por tanto, se han recopilado datos sobre utilización de recursos subterráneos para satisfacer dotaciones en regadíos agrícolas. Para ello se han formulado consultas a organismos de la Junta de Andalucía y se ha utilizado la información existente en el Inventario de Regadíos de que dispone la Junta de Andalucía.

Así, en la figura 10 se muestra la distribución de zonas regadas existentes en el Sistema Quiebrajano-Víboras, segregando según se trata de riegos hortícolas o de olivar. Y en la figura 9 se muestran los datos de que dispone la Junta de Andalucía sobre la procedencia del agua empleada en el riego hortícola y del olivar.

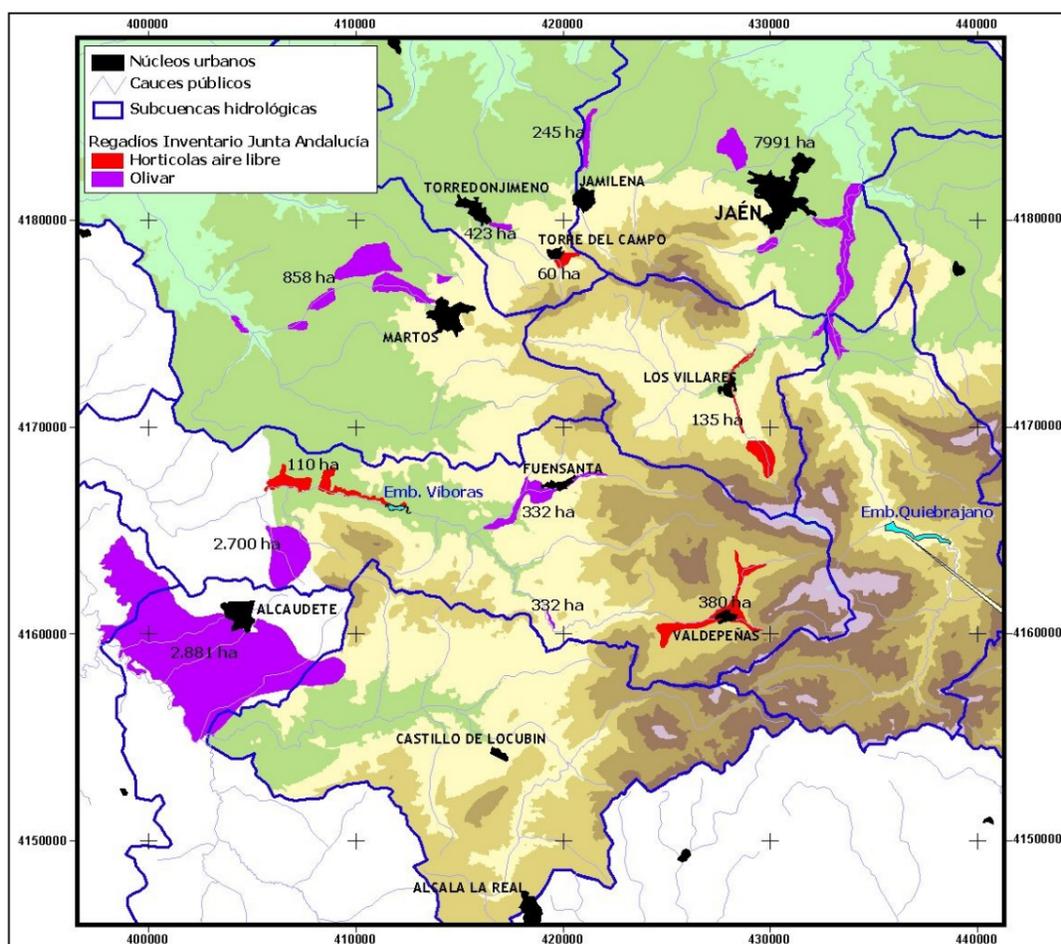


Figura 10. Superficies regadas y tipos de cultivos en el Sistema Quiebrajano-Viboras. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía)

Tomando como referencia los datos del Inventario de Regadíos de la Junta de Andalucía y los escasos datos que han podido ser recogidos en la zona respecto a la superficie regada y el origen del agua empleada, se ha empleado el procedimiento habitual para evaluar la demanda de agua para riego, que consta de los siguientes pasos:

- Fijar la distribución actual de cultivos.
- Utilizar los datos meteorológicos existentes sobre precipitación y evapotranspiración (se aplica la fórmula de Penman-Monteith), para calcular la evapotranspiración media del cultivo de referencia y aplicando el

correspondiente coeficiente de cultivo, fijar las dotaciones medias netas de cada cultivo.

- Contemplar la eficiencia del riego (donde se considera el sistema de conducción y el método de aplicación del riego en la parcela).

En el Apéndice 3 se presenta el proceso de cálculo seguido, obteniéndose las necesidades reales de agua o dotaciones necesarias para los cultivos existentes en la zona (hortícolas y olivar), aplicando los sistemas y eficiencias de riego consideradas para cada subzona.

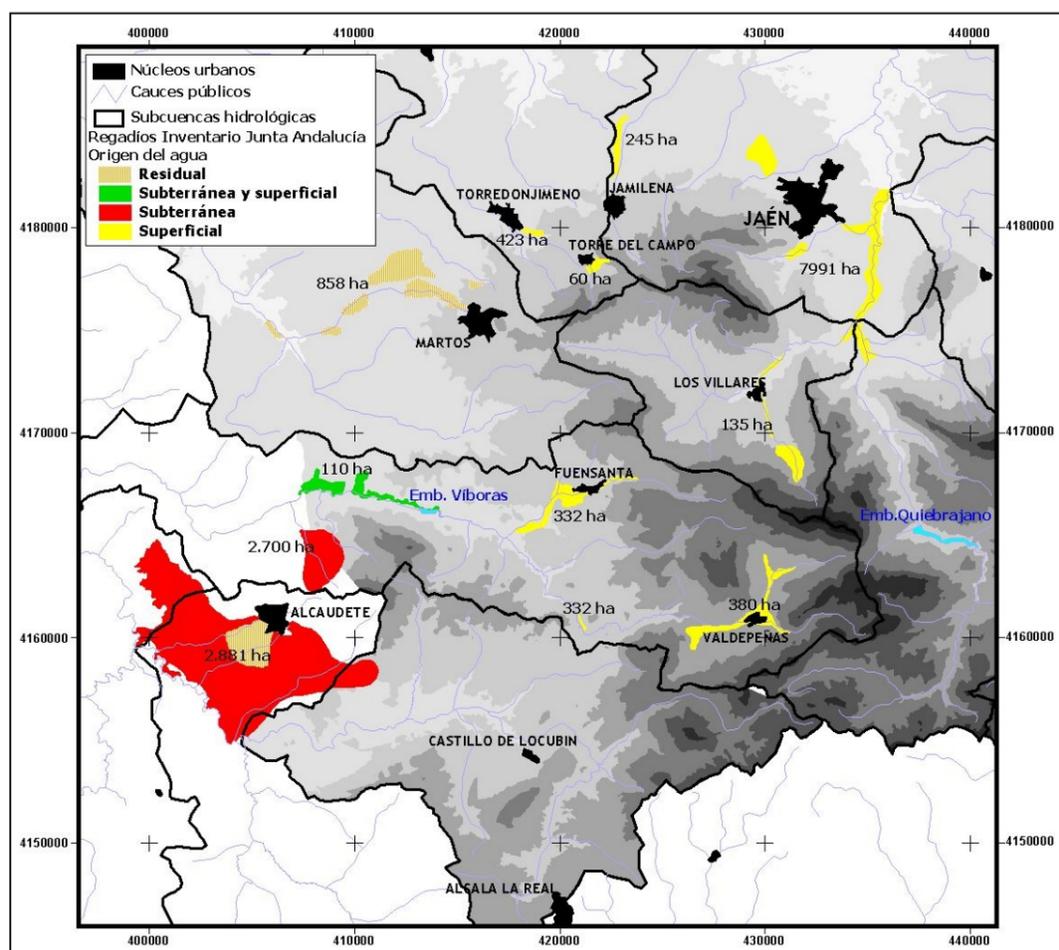


Figura 11. Procedencia del agua aplicada en el riego en el Sistema Quebrajano-Víboras. Fuente: Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía)

Para el riego del olivar se ha considerado que la mayor parte se efectúa mediante riego por goteo (riego localizado). En cambio para los riegos hortícolas se han considerado diferentes eficiencias en el riego por gravedad.

Asimismo, gran parte de los riegos tradicionales de Jaén que se efectuaban mediante suministros procedentes del río Quebrajano, actualmente se efectúan reutilizando las aguas residuales de la EDAR de Jaén, habiendo sufrido esta zona una transformación a riego por goteo por iniciativa privada, abandonando sustancialmente el riego por gravedad.

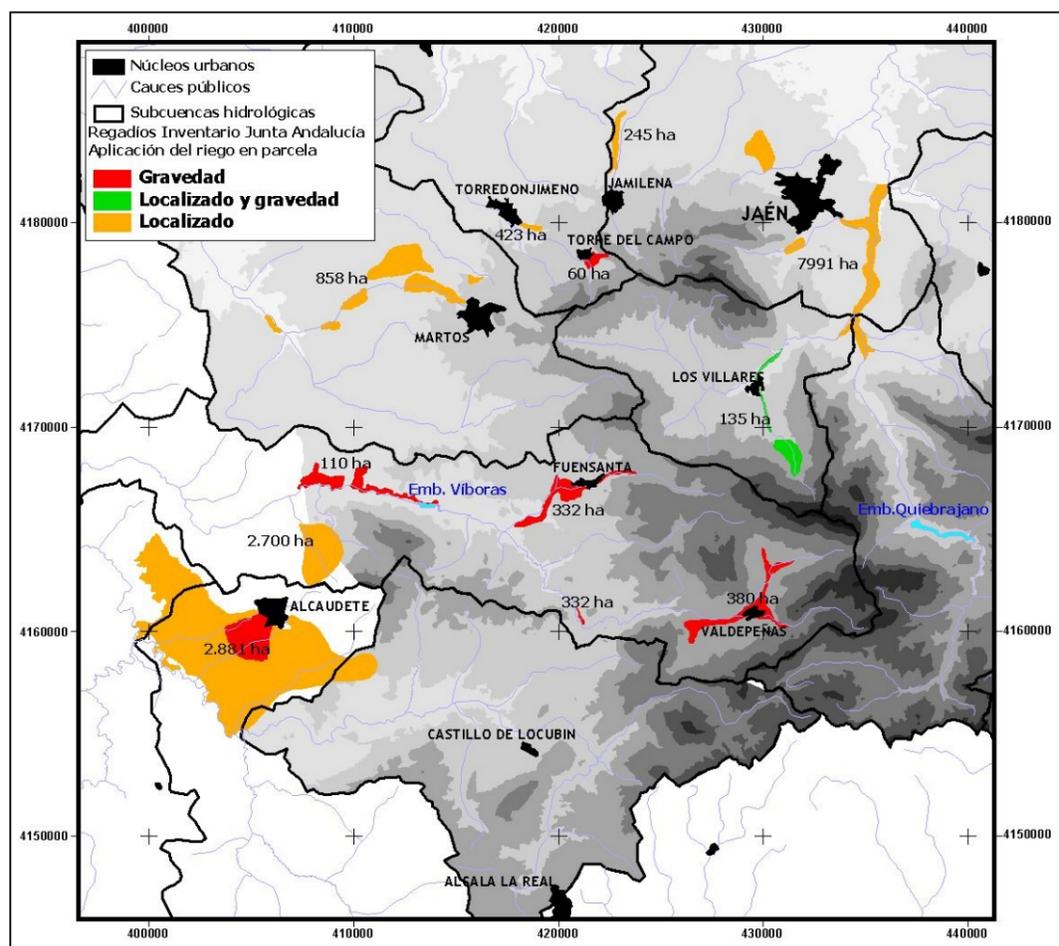


Figura 12. Tipo de riego aplicado en parcela para el Sistema Quiebrajano-Víboras. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía)

Para fijar las dotaciones anuales y su distribución mensual en el riego del olivar también se han considerado los datos provenientes de las recomendaciones de riego para el olivar en la provincia de Jaén que emite la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, considerando la naturaleza franco-arcillosa de los suelos de la campiña de Jaén, la densidad de la plantación (olivares por ha) y el volumen de la copa de los olivos por hectárea (m³/ha). Se han considerado, al objeto de efectuar la simulación de la gestión desde el lado de la seguridad, los valores máximos de dotaciones que se fijan en estas recomendaciones de riego para el olivar.

Densidad plantación (Olivos/ha)	Dotación máxima de riego (l/olivo/d)					Total riego (m ³ /ha/año)
	junio	julio	agosto	septiemb	octubre ⁽¹⁾	
80	110	110	110	110	30	1.150
100	100	100	100	100	40	1.340
150	85	85	85	85	30	1.760
200	80	80	80	80	20	2.120

⁽¹⁾ Si el mes de octubre registrara una pluviometría inferior a 50 mm la dosis de riego habría que aumentarla

Fuente: Programación de riegos en olivar en la provincia de Jaén

Así para el riego del olivar se ha fijado una dotación media de 2.500 m³/ha/año en los riegos localizados y 4.000 m³/ha/año en los riegos por gravedad que aún quedan, mientras que para el riego hortícola se han fijado valores que oscilan entre 4.600 a 6.000 m³/ha/año (tabla 3).

Demandas regadío	Origen	Superficie (ha)	Cultivo	Dotación (m ³ /ha/año)
Riegos Alcaudete	Acuífero Caracolera	800	Olivar	2.500
	ARU Alcaudete	405		2.500
Riegos Fuensanta (Mentidero)	Manantiales Mentidero	268	Olivar	4.000
Jaén Quiebrajano	EDAR Jaén	278	Olivar	2.500
	Acuífero La Peña	280		2.500
	Acuífero Castillo-La Ímora	176		2.500
Riegos Jamilena	Acuífero Cerro Fuente	54	Hortícolas aire libre	4.600
Riegos Torredelcampo	Manantiales Lías Jabalcuz	400	Olivar	2.500
Martos	ARU Martos	858	Olivar	2.500
Riegos Bajo Víboras	Acuífero Ahillos	110	Hortícolas aire libre	4.600
Riegos Valdepeñas	Manantiales Ventisquero	326	Hortícolas aire libre	6.000
Riegos Los Villares	Manantiales Río Frio	155	Hortícolas aire libre	4.600

Tabla 3. Superficies de cultivo y dotaciones consideradas en los diferentes centros de demanda agrícola del Sistema Quiebrajano-Víboras

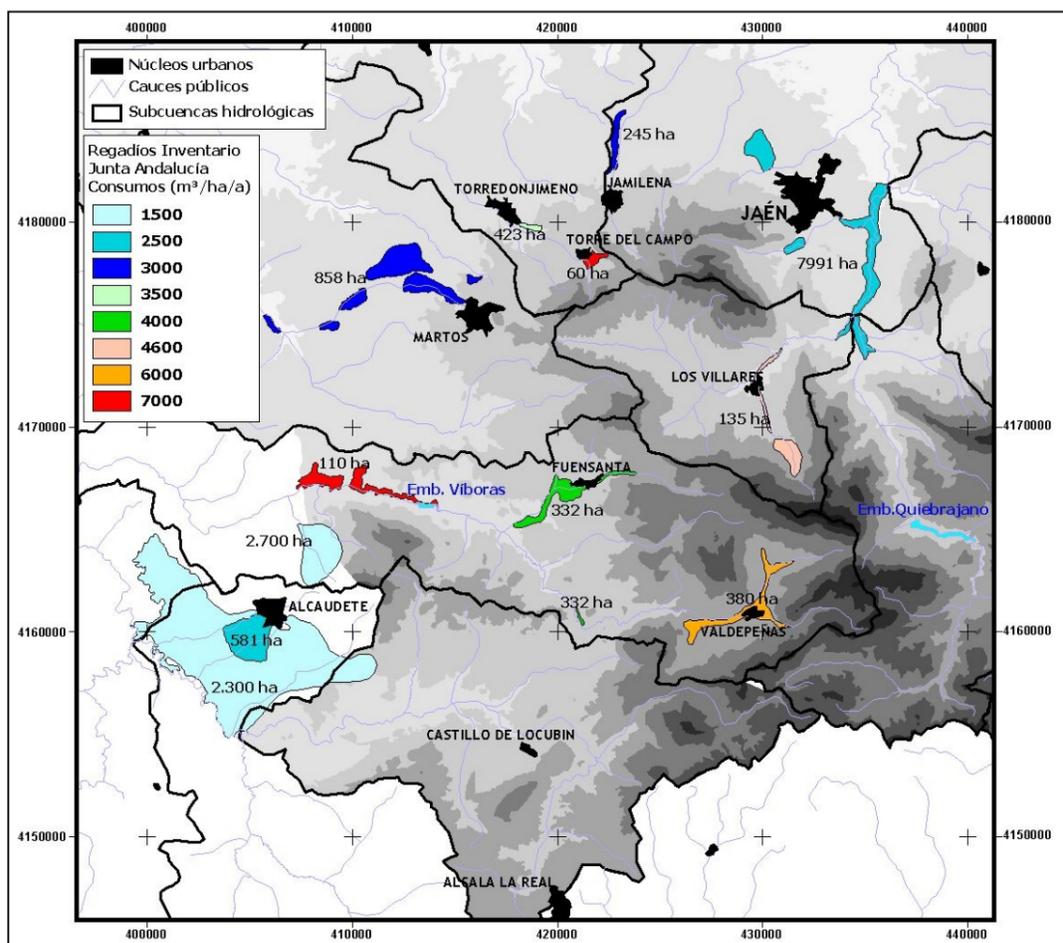


Figura 13. Dotación aplicada en parcela para el Sistema Quiebrajano-Víboras. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía)

De acuerdo con los datos calculados se han considerado un total de 3.196 ha con riego localizado de olivar y 268 ha de olivar que riegan por gravedad. Para el riego hortícola se han considerado un total de 645 ha con riego por gravedad (riego tradicional).

El reparto mensual calculado para las dotaciones reales de agua (necesidades de agua de los cultivos) (figura 12) implica un mayor consumo en el periodo mayo a octubre (97% del total).

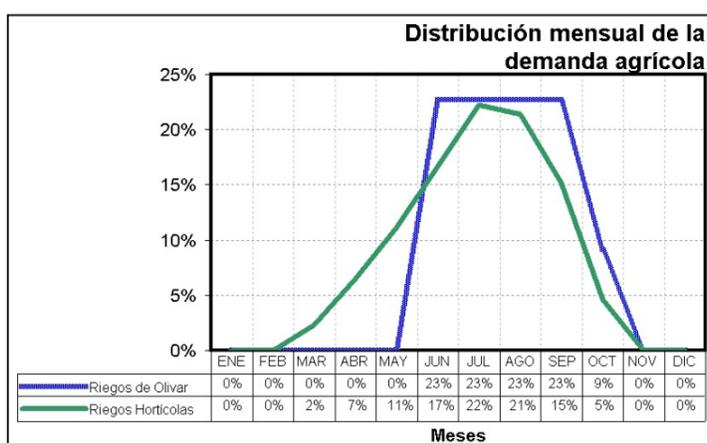


Figura 14. Distribución mensual de las dotaciones de riego según cultivos en el Sistema Quiebrajano-Víboras

Por tanto, los regadíos existentes corresponden a huertas (645 ha) y riegos localizados de olivar (3.464 ha), que se abastecen de recursos subterráneos y de aguas residuales depuradas (EDAR de Jaén) y no depuradas (Martos y Alcaudete). Para la distribución mensual de la demanda se han utilizado las recomendaciones de riegos en olivar y los resultados obtenidos del cálculo usado para fijar las necesidades de agua de los cultivos (Anejo 3).

Demandas regadío	Origen	Superf. (ha)	Demanda (ha)	Cultivo	Dotación (m ³ /ha/año)
Riegos Alcaudete	Caracolera	800	2,00	Olivar	2.500
	ARU Alcaudete	405	1,01		2.500
Riegos Fuensanta (Mentidero)	Mns. Mentidero	268	1,07	Olivar	4.000
Jaén-Quiebrajano	CR EDAR Jaén	278	0,69	Olivar	2.500
	La Peña	280	0,70		2.500
	Castillo-La Ímora	176	0,44		2.500
Riegos Jamilena	Cerro Fuente	54	0,25	Hortícolas aire libre	4.600
Riegos Torredelcampo	Mns. Lías Jabalcuz	400	1,00	Olivar	2.500
Martos	ARU Martos	858	2,15	Olivar	2.500
Bodeguillas-Noguerones	Ahillos	110	0,51	Hortícolas aire libre	4.600
Riegos Valdepeñas	Mns. Ventisquero	326	1,96	Hortícolas aire libre	6.000
Riegos Los Villares	Mns. Río Frío	155	0,71	Hortícolas aire libre	4.600
TOTALES		4.110	12,49		

Tabla 4. Demandas para regadío en el Sistema Quiebrajano-Víboras

El 69% de la demanda agrícola se satisface con recursos subterráneos captados en las diferentes unidades hidrogeológicas, 2,76 hm³/a se captan mediante bombeos para el riego de 900 ha y 5,87 hm³/a mediante captación directa en manantiales para dotar unas 1.670 ha. Las aguas residuales depuradas (3,85 hm³/a) permite regar 1.540 ha.

En el caso de las demandas agrícolas resulta complicado calcular cifras exactas sobre retornos al sistema. Para este estudio se ha considerado que el consumo neto es del 60% de la demanda y que el retorno al sistema es del 40% en el riego por gravedad; mientras que para el riego localizado del olivar, teniendo en cuenta, además, que se trata de un zona con suelos franco-arcillosos, se estima que el retorno al sistema es prácticamente nulo.

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. Más aún, los modelos de gestión conjunta, que se utilizan en estos momentos, sólo atienden a parámetros cuantitativos, que optimizan el reparto de los recursos hídricos con el único objeto de satisfacer unos determinados volúmenes de demanda, obviando criterios de 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 objetivo 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 Quebrajano-Víboras 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 hidroecológica en el sistema. Éstos se han establecido respetando diferentes cuantías de caudales ecológicos en las zonas más sensibles del sistema y verificando como esta “reserva de caudales ecológicos” influye sobre los índices de garantía del sistema en la satisfacción de las demandas consuntivas.

El establecimiento del caudal ecológico 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 Quebrajano-Víboras y el listado de hábitats de interés comunitario en la provincia de Jaén que ha concretado la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, se han fijado como zonas de interés hidroecológico las siguientes:

- Cañones de Mingo (río Frío), antes de la confluencia con el río Quebrajano (regulado por el embalse del Quebrajano).
- Alto Víboras (río Grande), aguas arriba del embalse del Víboras.
- Nacimiento del río San Juan, descarga natural del acuífero Gracia-
Morenita.

Estos cursos fluviales corresponden a hábitats natural tipo “ríos mediterráneos de caudal permanente con *Glaucium flavum*”, incluidos en la clasificación de “aguas corrientes-tramos de cursos de agua con dinámica natural y semi-natural (lechos menores, medios y mayores), en los que la calidad del agua no presenta alteraciones significativas” y que presentan como característica común la importante aportación de aguas subterráneas procedentes de la descarga natural de

acuíferos (manantiales y surgencias). A continuación se detallan las características hidrológicas de los cauces seleccionados:

- Los **Cañones de Mingo** en el tramo que se presentan asociado al cauce del río Frío antes de su confluencia con el río Quebrajano. Esta zona recibe la descarga subterránea del acuífero Grajales-Pandera y la escorrentía superficial asociada al río Frío. En régimen natural la aportación media anual es de 34,50 hm³ y la mínima 11,90 hm³. Si se considera la recarga artificial no programada que constituyen las pérdidas en el vaso del embalse del Quebrajano, la aportación media anual es de 30,83 hm³ y la mínima 11,25 hm³.

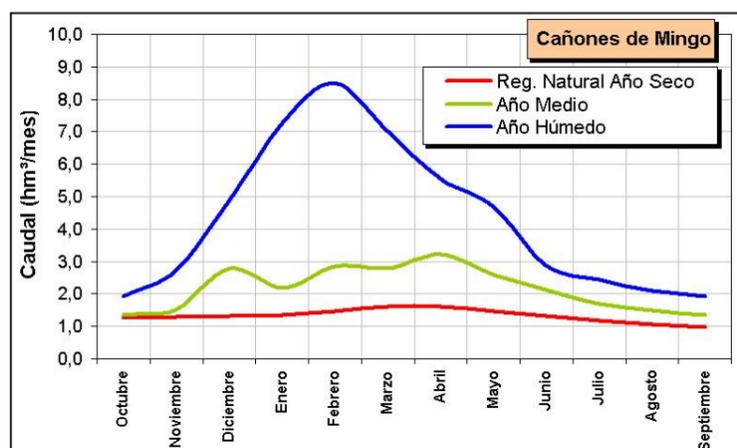


Figura 15. Régimen natural Cañones de Mingo

- El río Grande o Alto Víboras, aguas arriba del embalse del Víboras. Este cauce recibe la descarga de los acuíferos kársticos de Cornicabra-Noguerones, Ventisquero, Mentidero y Montesinos y la escorrentía superficial asociada a la cuenca vertiente al embalse del Víboras. En régimen natural la aportación media anual es de 42,11 hm³ y la mínima 8,33 hm³.

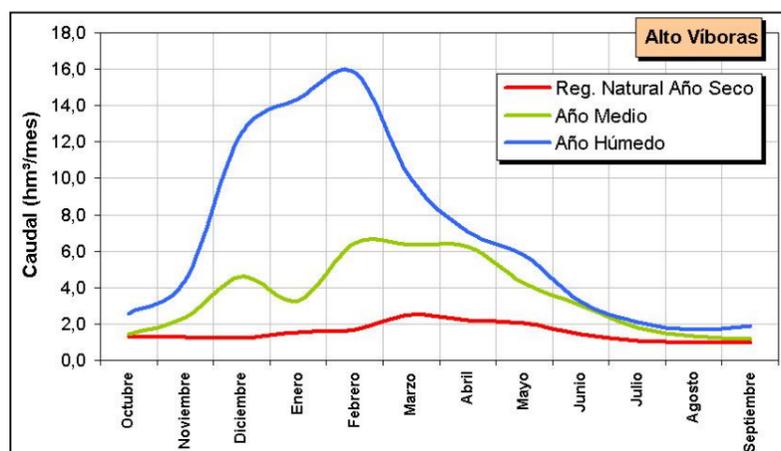


Figura 16. Régimen natural río Grande (Alto Víboras)

- El Nacimiento del río San Juan que, aunque se ubica fuera del Sistema Quiebrajano-Víboras, corresponde al drenaje de un acuífero que está vinculado al sistema (acuífero Gracia-Morenita). En régimen natural la aportación media anual es de 9,60 hm³ y la mínima 4,50 hm³.

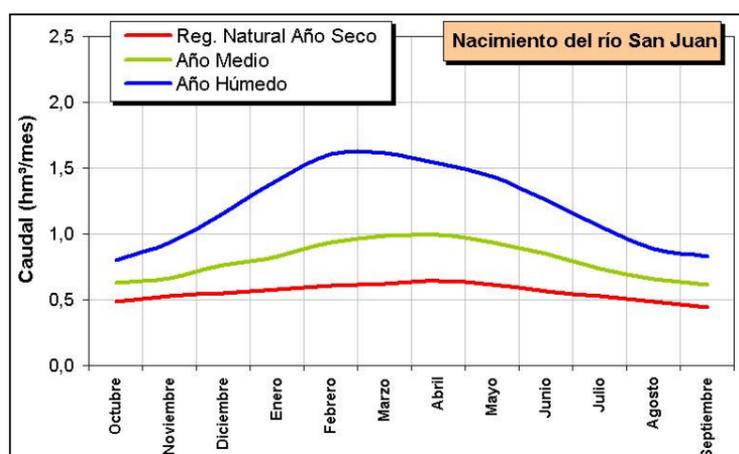


Figura 17. Régimen natural Nto. Río San Juan

Las simulaciones se han efectuado considerando las peculiaridades que presentan los caudales circulantes por las tres zonas hidroecológicas consideradas.

- Zona hidroecológica Cañones de Mingo: Esta zona recoge en régimen natural la descarga del acuífero más importante del Sistema Quiebrajano-Víboras (Grajales-Pandera) y la escorrentía de la cuenca del río Frío. Estas aportaciones

están sometidas a un régimen influenciado asociado a la captación de manantiales (Nacimiento de río Frío y Mingo), a los bombeos en sondeos (La Merced y Peñas de Castro) y a los vertidos de aguas residuales depuradas de Los Villares. La presencia de un gran sistema kárstico propicia un comportamiento dual:

- Una significativa diferencia entre los caudales promedio y los mínimos como consecuencia de la elevada difusividad del aparato kárstico.
 - Una cierta regulación sobre las aportaciones que propicia un amortiguamiento de los caudales mínimos.
-
- Zona hidroecológica Alto Víboras: Esta zona recoge en régimen natural la descarga de los acuíferos kársticos de Cornicabra-Noguerones, Ventisquero, Mentidero y Montesinos y la escorrentía superficial del río Grande y el arroyo de la Fuensanta. Estas aportaciones están sometidas a un régimen influenciado asociado a la captación de manantiales para abastecimiento a Valdepeñas de Jaén, Fuensanta y la Comarca de Martos, y para riegos tradicionales y de olivar y a los vertidos de aguas residuales depuradas de Valdepeñas de Jaén. Esta zona presenta un comportamiento hidrológico similar a los Cañones de Mingo.
 - Zona hidroecológica Nacimiento río San Juan: Esta zona recoge en régimen natural la descarga del acuífero kárstico de Gracia-Morenita. El hecho que la aportación sea exclusivamente subterránea implica una cierta modulación de los caudales.

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 garanticen la conservación de los procesos que se producen en los sistemas fluviales en condiciones no influenciadas (Anejo 6).

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 caudal crítico**, 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.

En concreto, se ha utilizado el método IFIM (García de Jalón et al, 1993 y García de Jalón et al, 1997), que analiza las variaciones del hábitat con el caudal y las preferencias de la fauna por ese hábitat (Anejo 6). 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.

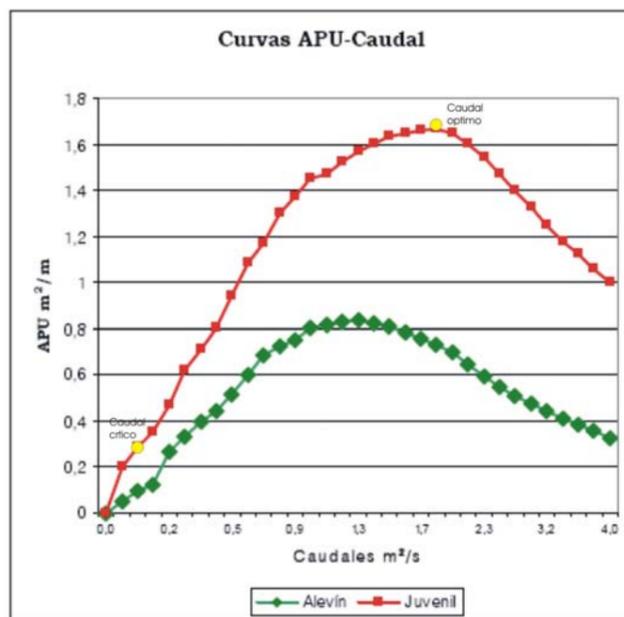


Figura 18. Curvas APU-Caudal en Río Frío

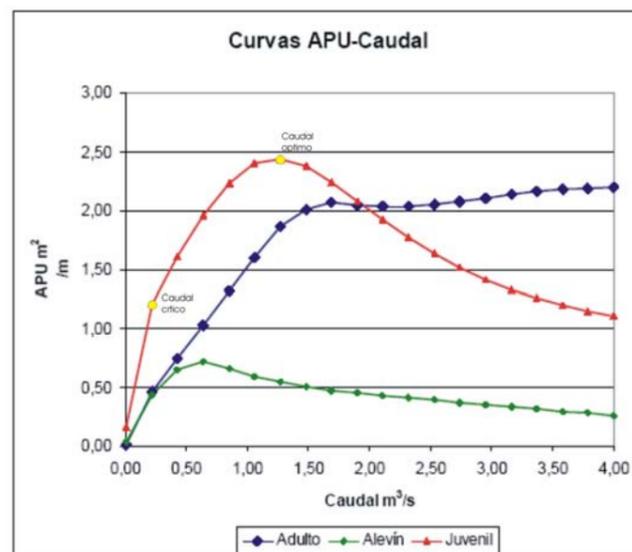


Figura 19. Curvas APU-Caudales para el río San Juan

En las tablas siguientes se incluyen los resultados obtenidos para el río San Juan y para el Río Frío en los Cañones de Mingo.

Datos en hm ³ /mes	Caudal crítico	Caudal medio	Caudal óptimo
Octubre	0,62	1,79	3,63
Noviembre	0,80	2,36	4,77
Diciembre	1,17	3,40	6,87
Enero	1,32	3,84	7,83
Febrero	1,35	3,89	7,91
Marzo	1,32	3,84	7,80
Abril	1,35	3,94	7,98
Mayo	1,22	3,50	7,13
Junio	0,83	2,41	4,90
Julio	0,73	2,07	4,22
Agosto	0,62	1,81	3,71
Septiembre	0,57	1,66	3,37

Tabla 5. Caudales ecológicos para Río Grande en los Cañones de Mingo

Datos en hm ³ /mes	Caudal crítico	Caudal medio	Caudal óptimo
Octubre	0,34	0,77	0,93
Noviembre	0,43	1,00	1,20
Diciembre	0,67	1,55	1,87
Enero	0,65	1,52	1,82
Febrero	0,75	1,74	2,09
Marzo	0,75	1,74	2,09
Abril	0,58	1,34	1,61
Mayo	0,50	1,17	1,40
Junio	0,43	1,00	1,20
Julio	0,37	0,86	1,03
Agosto	0,32	0,75	0,91
Septiembre	0,31	0,71	0,86

Tabla 6. Caudales ecológicos para el río San Juan

En el caso del río Víboras, el criterio tomado para establecer los caudales ecológicos ha sido diferente, ya que cuando se realizaron los trabajos de campo, el cauce del Alto Víboras estaba seco en razón que todos los caudales circulantes se estaban derivando para el abastecimiento a la Comarca de Martos. Por tanto, para este cauce se ha optado por mantener la misma distribución mensual de los caudales críticos fijados en Cañones de Mingo, aplicando esta distribución mensual a los caudales de escorrentía calculados mediante la restitución al régimen natural.

Datos en hm ³ /mes	Caudal crítico	Caudal medio	Caudal óptimo
Octubre	0,72	2,01	3,61
Noviembre	0,90	2,26	5,82
Diciembre	0,89	2,93	12,50
Enero	0,96	4,86	13,67
Febrero	1,21	6,48	29,41
Marzo	1,65	6,48	18,72
Abril	1,73	6,54	17,14
Mayo	1,45	4,51	10,67
Junio	1,01	3,47	7,40
Julio	0,86	2,36	4,45
Agosto	0,74	2,04	3,76
Septiembre	0,69	1,88	3,53

Tabla 7. Caudales ecológicos para el río Grande(Alto Víboras)

En las simulaciones realizadas para analizar la gestión integral del sistema Quebrajano-Víboras, se ha tomado como caudal ecológico el correspondiente al caudal crítico, ya que este caudal corresponde a caudal mínimo que sería necesario respetar en los cauces analizados para asegurar unas condiciones hidroecológicas adecuadas, independientemente del régimen de escorrentía que se considere en el cauce.

En los siguientes gráficos se compara los caudales ecológicos críticos fijados con la distribución de probabilidad de las escorrentías 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 95%, en los tres cauces analizados. Mientras que, la probabilidad de que el cauce mantenga caudales, en régimen natural, superiores al caudal ecológico óptimo es inferior al 25%. Incluso acontece que, para los Cañones de Mingo o en el Alto Víboras, el caudal óptimo supera los caudales de escorrentía fijados para el régimen natural, de manera que sólo podría reproducirse este caudal en situaciones extremas.

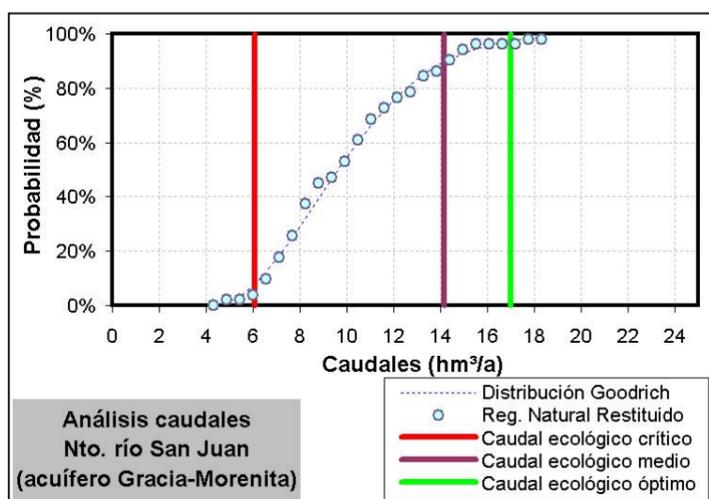


Figura 20. *Análisis de caudales ecológicos en el río San Juan*

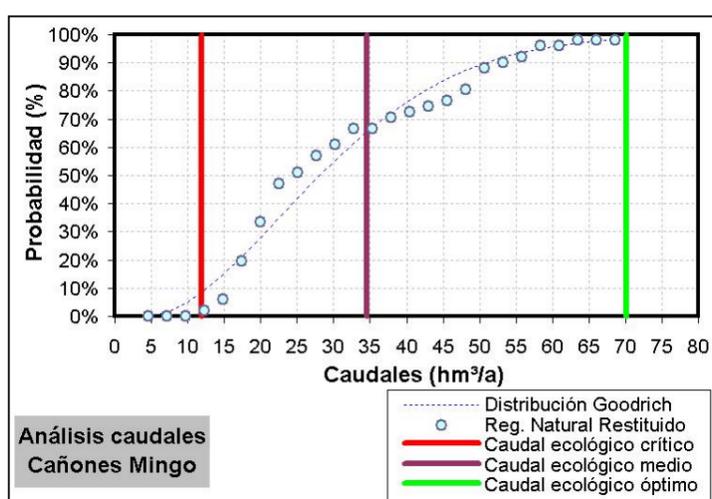


Figura 21. *Análisis de caudales en los Cañones de Mingo. Río Frío*

Atendiendo a las circunstancias mencionadas y que el modelo de simulación adoptado (SIMGES) sólo permite considerar una única serie de datos mensuales para los caudales ecológicos, la cual se fija para todo el periodo de simulación considerado, si se concreta como caudal ecológico en el modelo de simulación los resultados de caudal ecológico medio u óptimo resultarían unos resultados sesgados respecto a las garantías de las demandas consuntivas del sistema (abastecimiento y agrícola), sobre todo en años secos.

Parece, por tanto, más lógico fijar como caudales ecológicos los correspondientes al caudal 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 ecológico de los cauces.

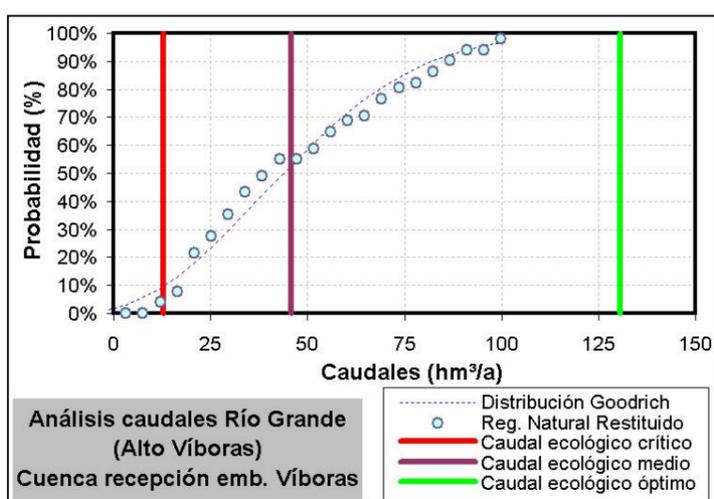


Figura 22. Análisis de caudales en el río Grande (Alto Víboras)

MESES	CAUDAL ECOLÓG. CRÍTICO (hm ³)				ESCORRENTÍA RÉG. NATURAL (AÑO TIPO SECO) (hm ³)				Ratio entre el Caudal Ecológ. Crítico y el Rég.Nat. año Tipo Seco
	Caños de Mingo (Río Frío)	Nacimiento del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	SUMA	Caños de Mingo (Río Frío)	Nacimiento del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	SUMA	
Octubre	0,62	0,34	0,72	1,68	1,27	0,48	1,35	3,11	63,4%
Noviembre	0,80	0,43	0,90	2,13	1,29	0,53	1,26	3,08	70,7%
Diciembre	1,17	0,67	0,89	2,73	1,33	0,55	1,20	3,08	88,7%
Enero	1,32	0,65	0,96	2,93	1,35	0,58	1,52	3,45	90,1%
Febrero	1,35	0,75	1,21	3,31	1,48	0,61	1,68	3,77	89,0%
Marzo	1,32	0,75	1,65	3,73	1,61	0,62	2,50	4,73	83,2%
Abril	1,35	0,58	1,73	3,65	1,62	0,64	2,21	4,47	80,1%
Mayo	1,22	0,50	1,45	3,17	1,47	0,62	2,02	4,11	78,7%
Junio	0,83	0,43	1,01	2,27	1,32	0,57	1,42	3,30	70,2%
Julio	0,73	0,37	0,86	1,95	1,17	0,53	1,10	2,80	68,5%
Agosto	0,62	0,32	0,74	1,68	1,06	0,48	0,97	2,51	66,4%
Septiembre	0,57	0,31	0,69	1,56	0,97	0,45	0,99	2,40	67,3%
ANUAL	11,90	6,08	12,81	30,79	15,92	6,66	18,22	40,80	77,5%
PROMEDIO	0,99	0,51	1,07	2,57	1,33	0,55	1,52	3,40	

Tabla 8. 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 SECO.

5.5 DEMANDA TOTAL DEL SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS

Las consultas realizadas a organismos y entidades gestoras del recurso hídrico, junto con los cálculos efectuados han permitido establecer la demanda promedio que registra el Sistema Quiebrajano-Víboras, segregando según usos. Asimismo, en función de los datos de partida se han establecido las demandas máximas que registra dicho sistema.

SECTOR DE DEMANDA		DEMANDAS CONSUNTIVAS (hm ³ /año)		DEMANDAS NO CONSUNTIVAS (hm ³ /año)
		Promedio	Máximo	
URBANA	Mancomunidad Quiebrajano (excepto Jaén)	3,45	4,02	
	Jaén capital	14,67	19,03	
	Comarca de Martos	5,66	6,95	
	Resto de Municipios ^(a)	3,32	3,22	
RIEGOS	Regadíos hortícolas	3,43	3,43	
	Regadíos localizados de olivar	9,06	9,06	
OTRAS DEMANDAS ^(b)		0,61	0,61	
CAUDAL ECOLÓGICO	Cañones de Mingo			11,90
	Nto. Río San Juan			6,08
	Víboras			12,81
SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS		40,20	46,87	30,79^(c)

(a) Valdepeñas de Jaén, Los Villares, Fuensanta de Martos y Alcaudete

(b) Captaciones de aguas subterráneas para uso industrial y abastecimiento a urbanizaciones

(c) Considerando los CAUDALES ECOLÓGICOS CRÍTICOS.

Tabla 9. Demandas consolidadas en el Sistema Quiebrajano-Víboras

La demanda total del Sistema Quiebrajano-Víboras (SQV) asciende a un promedio anual de 71 hm³, de la que un 56,6% es demanda consuntiva (40,2 hm³/a) y el 43,4% restante corresponden a caudales ecológicos (30,8 hm³/a). Las demandas consuntivas máximas se han fijado en 46,87 hm³/a.

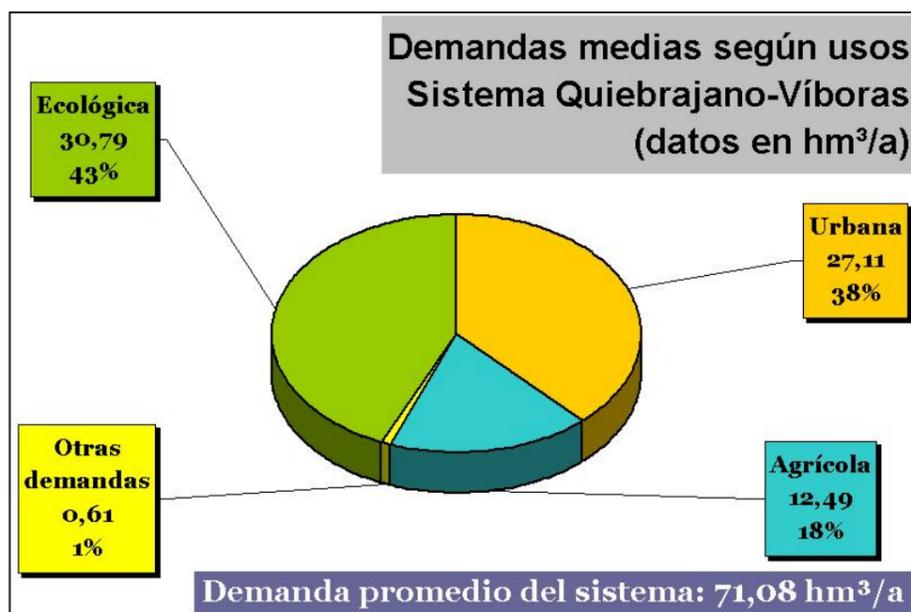


Figura 23. Distribución de las demandas promedio que registra el Sistema Quiebrajano-Víboras según usos

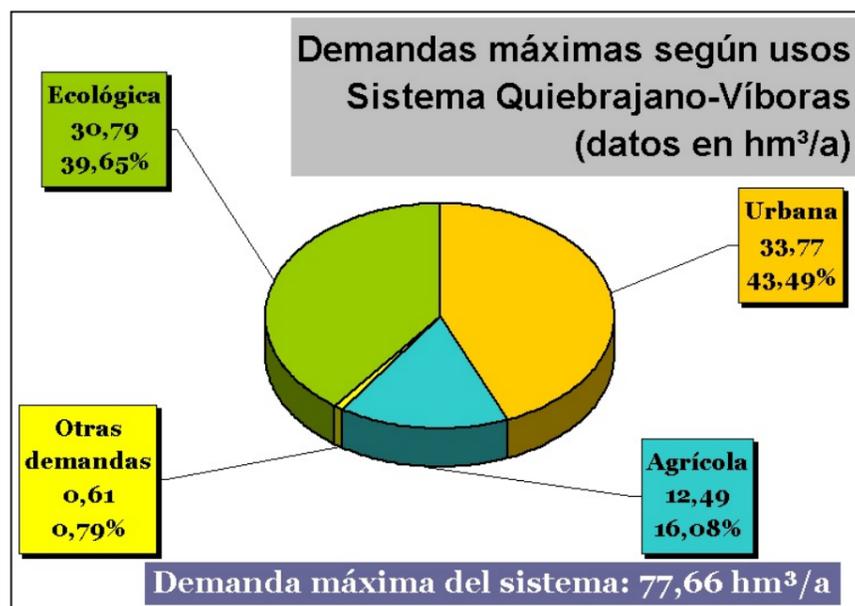


Figura 24. Distribución de las demandas máximas que registra el Sistema Quiebrajano-Víboras según usos

No obstante, unos 3,85 hm³/a de las demandas consuntivas agrícolas son satisfechos con recursos alternativos procedentes de aguas residuales urbanas depuradas en la EDAR de Jaén y las ARU de Alcaudete y Martos.

Por tanto, actualmente la demanda neta anual media de recursos hídricos que presenta el Sistema Quiebrajano-Víboras es de 36,43 hm³.

Asimismo, los vertidos depurados de la EDAR Los Villares (0,78 hm³/a) son captados junto con las surgencias de Mingo y los sobrantes del río Frío para abastecimiento a la Mancomunidad del Quiebrajano, previas potabilización en la ETAP de Jaén; y los vertidos sin depurar de Valdepeñas de Jaén (0,64 hm³/a) son parcialmente captados en las Fuentes de Martos (alto Víboras) para abastecimiento a la Comarca de Martos, previa potabilización en la ETAP de Martos. Así, podría cifrarse

Considerando las cifras de retorno fijadas para la demanda urbana, de los 27,19 hm³/a que por término promedio se consumen en el sistema, un 80% constituirían retornos al Dominio Público Hidráulico en forma de aguas residuales depuradas o sin depurar. Así, 21,75 hm³/a retornarían al sistema, si bien, una parte de estos retornos se registran a cauces externos al propio sistema (3,54 hm³/a), no siendo objeto de posible reutilización. Por tanto, los retornos de aguas residuales urbanas al propio sistema serían de 18,21 hm³/a, de los que se reutilizan 3,85 hm³/a para riego y algo más de 1,40 hm³/a para abastecimiento urbano (exigen potabilización -0,78 hm³/a de la EDAR de Los Villares y 0,64 hm³/a de ARU de Valdepeñas de Jaén-).

Por tanto, actualmente se reutilizan en el propio sistema un 29% de los retornos urbanos reutilizables y el consumo neto anual medio de recursos del Sistema Quiebrajano-Víboras para abastecimiento sería de 5,15 hm³/a (64,77 l/hab/d).

Suministro anual medio para abastecimiento en el SQV	27,19	hm ³ /a
Retornos a cauces (80% del suministro urbano)	21,75	hm ³ /a
	Cauces internos	18,21 hm ³ /a
	Cauces externos	3,54 hm ³ /a
Volumen anual medio reutilizable en el SQV de retornos urbanos	18,21	hm ³ /a
	Reutilización de retornos urbanos	5,27 hm ³ /a
	Agricultura	3,85 hm ³ /a
	Abastecimiento ⁽¹⁾	1,42 hm ³ /a
Suministro anual medio neto	25,77	hm ³ /a
Volumen anual medio reutilizable en el SQV de retornos urbanos	20,62	hm ³ /a
Consumo neto de recursos hídricos en la demanda urbana	5,15	hm ³ /a

⁽¹⁾ Exigen potabilización -0,78 hm³/a de la EDAR de Los Villares y 0,64 hm³/a de ARU de Valdepeñas de Jaén-

Los consumos agrícolas vinculados a los riesgos tradicionales hortícolas, que demandan $3,43 \text{ hm}^3/\text{a}$, con una dotación media de $5.307 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, originan unos retornos al sistema que se han cifrado en el 40% de la demanda, así, se pueden evaluar estos retornos en $1,37 \text{ hm}^3/\text{a}$ y un consumo neto de $2,06 \text{ hm}^3/\text{a}$.

Parte de los retornos procedentes del riego por gravedad en las cuencas altas (alto Víboras -riegos de Valdepeñas cifrados en $1,96 \text{ hm}^3/\text{a}$ - y río Frío -riegos Los Villares, cifrados en $0,71 \text{ hm}^3/\text{a}$ -) son parcialmente aprovechados en el abastecimiento urbano (elevaciones de Mingo para la Mancomunidad del Quebrajano y Fuentes de Martos para la Comarca de Martos), exigiendo potabilización.

Por el contrario, para el riego localizado de olivar, con una demanda de $9,06 \text{ hm}^3/\text{a}$ y una dotación media de $2.616 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{a}$, no se consideran retornos, dado el alto grado de eficiencia que se consigue con este sistema de riego y el hecho que la mayor parte de la superficie de riego localizado de olivar se efectúa fuera de los afloramientos acuíferos, por lo que no existe posibilidad de infiltración efectiva hacia los almacenamientos subterráneos. Si bien, el volumen de retornos de aguas urbanas depuradas y sin depurar que se destinan a uso agrícola ($3,85 \text{ hm}^3/\text{a}$) se ha considerado que se emplean en riegos de olivar.

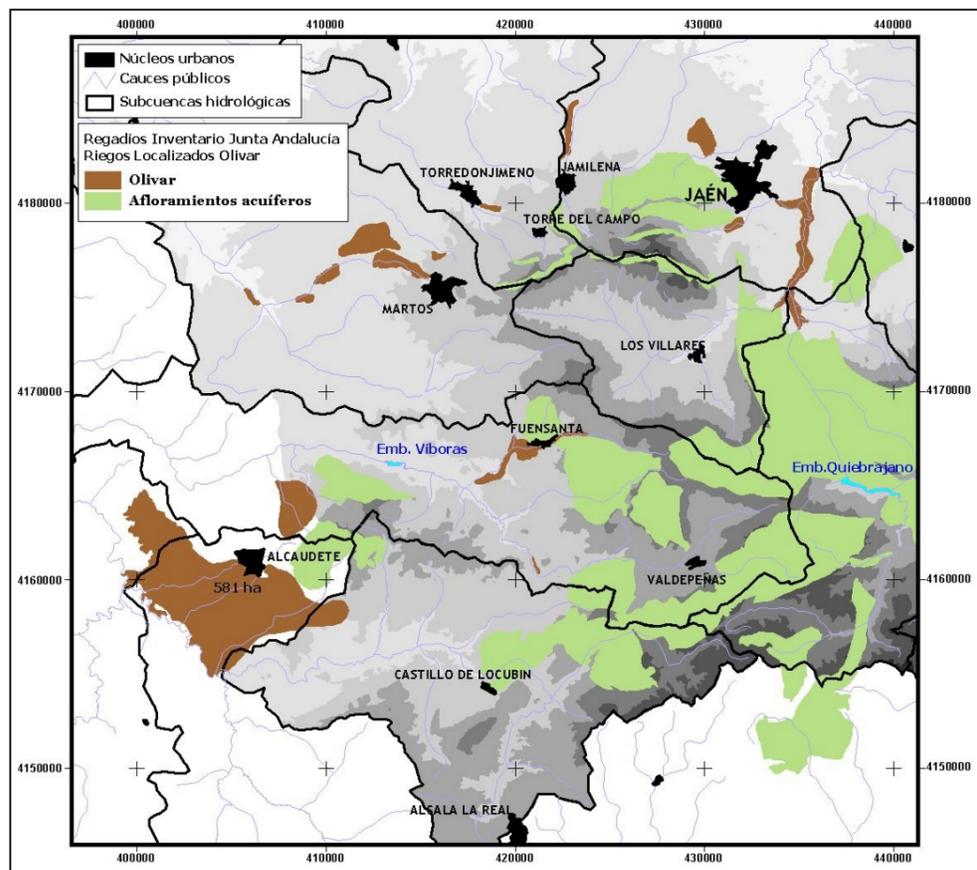


Figura 25. Riego de olivar y afloramientos permeables. Fuente: Inventario Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía)

6. DETERMINACIÓN DE LAS APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL

Para el desarrollo de 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 actúan por superposición.

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 (51 años periodo 1951-2002) que se fundamenta en el desarrollo 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 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.

6.1 DATOS DE PARTIDA

El modelo matemático que se ha desarrollado mediante la presente asistencia técnica para la simulación de la gestión conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos del Sistema Quebrajano-Víboras, exige disponer de las aportaciones de 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 de las subcuencas.
- Datos meteorológicos.
- Datos hidrológicos.
- Datos de infraestructuras.
- Datos de demandas.

6.2 DATOS MORFOMÉTRICOS DE LAS SUBCUENCAS

El sistema objeto de análisis ha sido dividido en dos grandes subcuencas o subsistemas hidrológicos: el río Jaén (subsistema Quiebrajano) y el río Víboras (subsistema Víboras). La delimitación de las subcuencas se ha efectuado considerando las cuencas vertientes correspondientes a las estaciones de aforos de que dispone la CHG, en función de que la calibración posterior del modelo P-A se fundamenta en las series de aforos existentes.

Considerando que en la subcuenca del río Jaén se dispone de datos de aportaciones en el embalse del Quiebrajano y aforos en la estación nº 84 de la CHG (Jaén), para los cálculos del modelo P-A se han delimitado las siguientes subcuencas (ver figura 24):

- Cuenca de recepción del embalse del Quiebrajano (Alto Quiebrajano)
- Cuenca del Frío-Eliche (río Frío).
- Cuenca del Quiebrajano comprendida entre el embalse y la confluencia con el río Frío (Bajo Quiebrajano).
- Cuenca del río Jaén entre la confluencia de los ríos Quiebrajano y Frío y la estación de aforos nº 84 de la CHG (río Jaén).

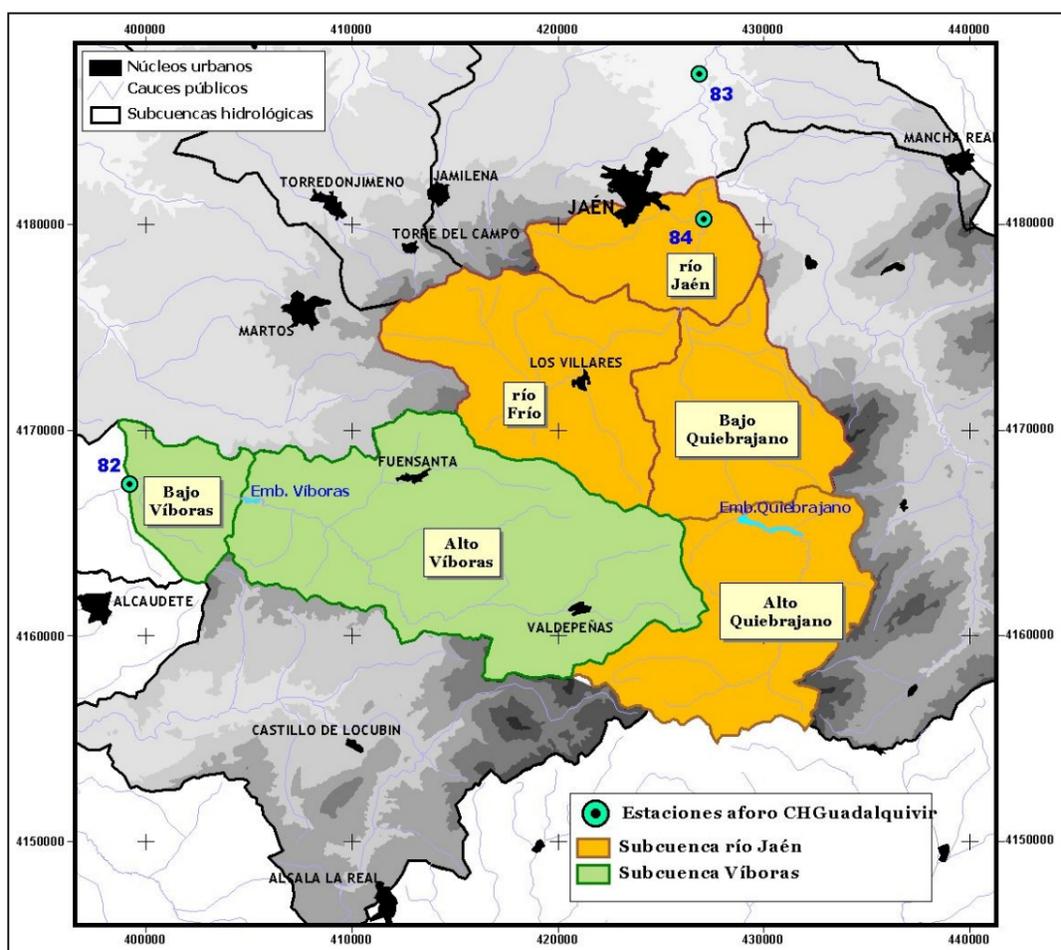


Figura 26. Subcuencas definidas en el Sistema Quiebrajano-Víboras

En el subsistema Víboras sólo se dispone de una estación de aforos, la nº 82 (Venta Pantalones), situadas aguas abajo del embalse del Víboras, de aquí que para los cálculos del modelo P-A se han delimitado las siguientes subcuencas (ver figura 24):

- Cuenca de recepción del embalse del Víboras (Alto Víboras), que comprende las subcuencas del río Grande y el arroyo de Fuensanta de Martos, principales receptores de la descarga subterránea de los acuíferos situados en la cabecera del Víboras.
- Cuenca del río Víboras comprendida entre el embalse del Víboras y la estación de aforos nº 82 de la CHG (Bajo Víboras).

Para la delimitación de las diferentes subcuencas se ha partido de un Modelo Digital del Elevaciones (MDE) que permite el trazado de curvas de nivel con una equidistancia de 5 m.

Utilizando el MDE ha sido posible calcular los parámetros morfométricos característicos de las diferentes subcuencas diferenciadas (tabla 9), que han sido objeto de análisis en el modelo P-A desarrollado.

Subcuenca	Cotas Topográficas (m snm)			Datos del canal principal			Datos de las subcuencas	
	Máxima	Mínima	Promedio	Longitud (km)	Diferencia de cota (m)	Pendiente (%)	Área (km ²)	Perímetro (km)
Embalse Quiebrajano	1.815	720	1.216	24,76	580	2,34	97,25	55,13
Río Frío	1.838	440	899	17,95	395	2,20	99,45	49,48
Bajo Quiebrajano	1.825	440	887	13,62	275	2,02	74,13	42,68
Alto Víboras + Bajo Víboras	1.860	460	929	42,64	1.050	2,43	214,25	83,91
E-84 (Jaén)	1.838	405	885	41,33	895	2,16	293,40	-
E-82 (Venta Pantalones)	1.860	460	929	42,64	1.050	2,43	214,25	83,91

Tabla 10. *Parámetros morfométricos de las subcuencas consideradas en el Sistema Quiebrajano-Víboras*

6.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos hidrometeorológicos utilizados proceden de las estaciones de control del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Concretamente las estaciones próximas corresponden a las incluidas en la tabla 10.

Estación Meteorológica			Coordenadas UTM		Altitud m snm	Activa
Número	Denominación	Provincia	X	Y		
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	GRANADA	448190	4138552	890	SI
5545E	COLOMERA EL LEON	GRANADA	436742	4136781	860	SI
5578U	MONTEFRIO 'HUERTA SAN FRANCISCO'	GRANADA	409933	4137027	810	SI
5159I	PANTANO DE PEDRO MARIN	JAEN	463761	4195763	310	NO
5171A	VILLATORRES-VILLARGORDO 'COLEGIO'	JAEN	436124	4199815	345	SI
5252	LINARES-TORRUBIA	JAEN	441799	4208403	290	SI
5264B	MANCHA REAL SEA	JAEN	446338	4182791	765	NO
5270	JAEN-INSTITUTO	JAEN	430599	4181521	510	NO
5330A	TORREDONJIMENO 'INSTITUTO'	JAEN	415711	4180242	591	SI
5335	ARJONA	JAEN	407313	4199320	410	SI
5337	ARJONILLA	JAEN	402722	4203381	348	SI
5339	MARMOLEJO-SAN JULIAN	JAEN	395206	4207173	190	NO
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	JAEN	419777	4150334	920	SI
5403	ALMEDINILLA	CORDOBA	403497	4144188	620	SI
5604E	CARCABUEY-ALGAR	CORDOBA	381243	4143551	740	NO

Tabla 11. Estaciones meteorológicas

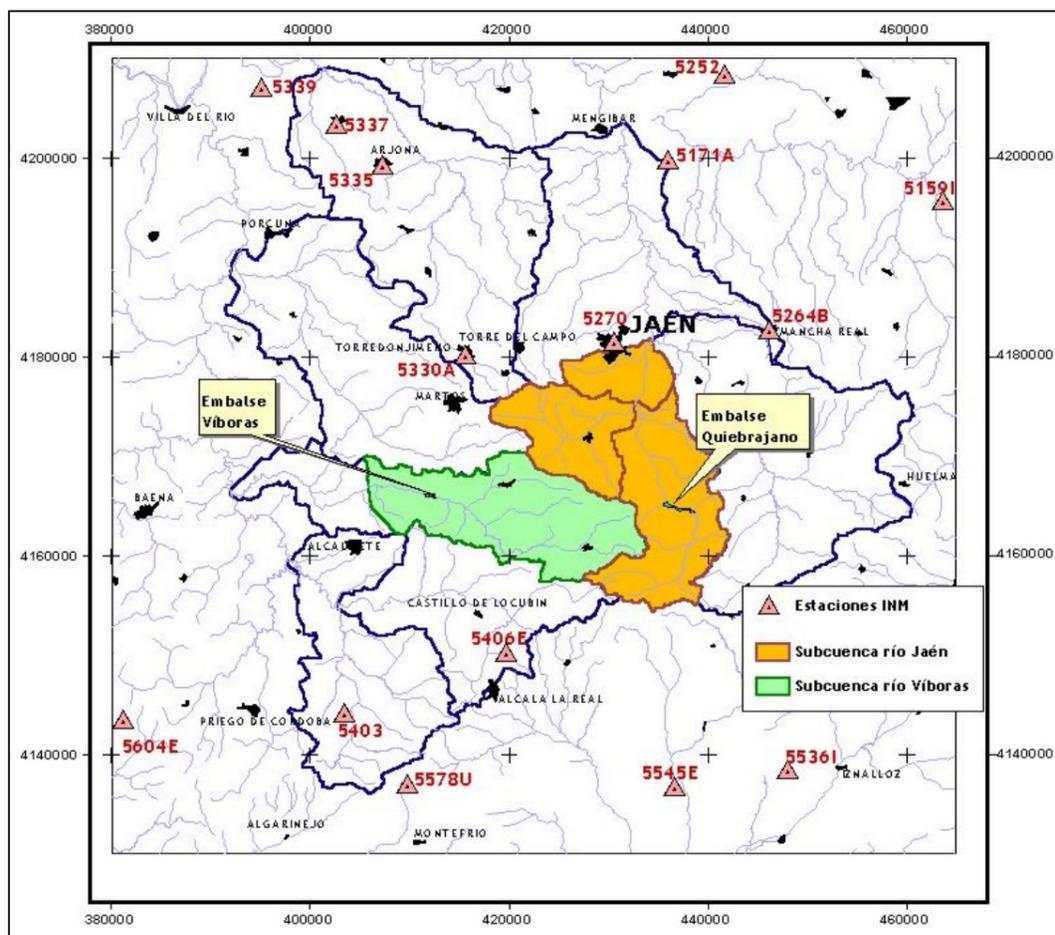


Figura 27. Estaciones meteorológicas (INM) utilizadas

Respecto a los datos de precipitaciones y temperaturas, en la tabla 11 se muestran las series de datos de precipitación disponibles y los valores medio y máximo registrados para la precipitación mensual; mientras que en la tabla 12 se indican los correspondientes datos de temperaturas (series, datos de temperatura mensual promedio mínima, media y máxima).

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, 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 28).

INDICATIVO INM	Serie de datos		Datos de Precipitación mensual (en mm)	
	Año inicial	Año final	Media	Máxima
5159I	1973	1998	32,58	199,7
5171A	1974	2002	35,10	211,5
5252	1950	2002	39,42	212,0
5264B	1967	1996	42,72	219,2
5270	1950	1983	47,26	294,3
5330A	1956	2002	51,16	310,3
5335	1951	2002	49,72	281,8
5337	1950	2002	51,97	301,5
5339	1959	1963	61,36	237,4
5403	1969	2002	48,51	326,0
5406E	1974	2002	54,95	312,3
5536I	1974	2002	49,94	310,0
5545E	1977	2002	50,46	315,3
5578U	1973	2002	52,91	330,0
5604E	1969	1990	65,40	352,4
Mínimo			32,58	199,70
Q 25%			44,99	228,30
Mediana			49,94	301,50
Promedio			48,90	280,91
Q 75%			52,44	313,80
Máximo			65,40	352,40
Desv. Están.			8,81	50,64
Coeficiente de Variación			0,18	0,18

Tabla 12. Datos de precipitación estaciones INM

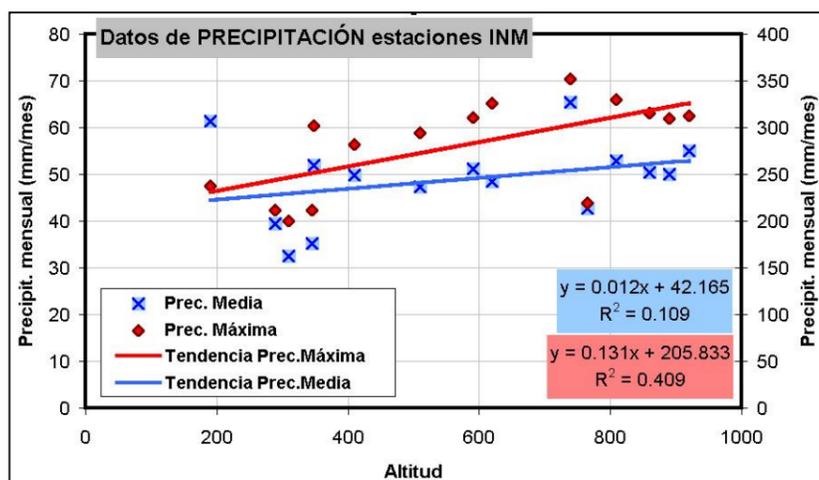


Figura 28. Correlación datos precipitación-altitud

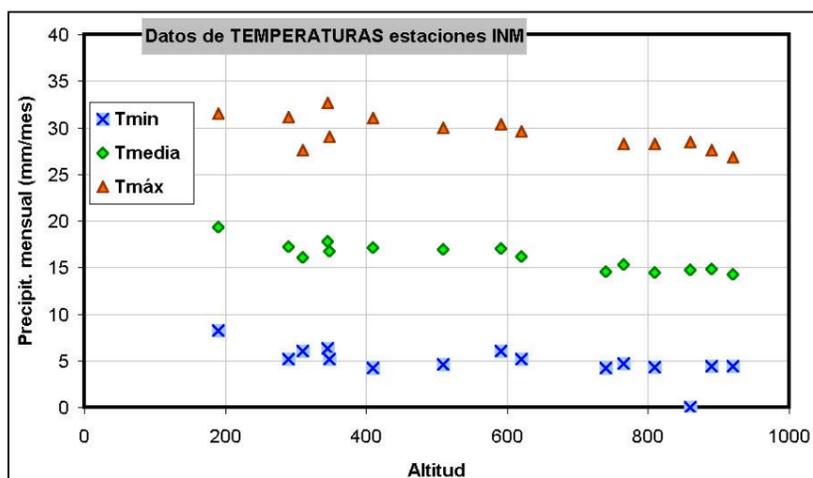


Figura 29. Correlación datos temperatura-altitud

INDICATIVO INM	Serie de datos		Datos de Temperatura Media Mensual (en °C)		
	Año inicial	Año final	T min	T media	T máx
5159I	1972	1998	6,0	16,1	27,6
5171A	1974	2002	6,3	17,8	32,6
5252	1968	2002	5,2	17,3	31,1
5264B	1966	1996	4,7	15,3	28,2
5270	1950	1983	4,6	16,9	30,0
5330A	1958	2002	6,0	17,1	30,3
5335	1951	2002	4,2	17,2	31,0
5337	1958	2000	5,2	16,8	29,0
5339	1958	1985	8,2	19,3	31,5
5403	1973	1997	5,2	16,2	29,6
5406E	1974	2002	4,4	14,2	26,8
5536I	1975	2002	4,4	14,8	27,6
5545E	1977	2002	0,0	14,7	28,4
5578U	1975	2002	4,3	14,4	28,2
5604E	1969	1990	4,2	14,5	29,3
		Minimo	0,0	14,2	26,8
		Q 25%	4,4	14,8	28,2
		Mediana	4,7	16,2	29,3
		Promedio	4,9	16,2	29,4
		Q 75%	5,6	17,1	30,7
		Máximo	8,2	19,3	32,6
		Dev. Están.	1,7	1,5	1,7
		Coefficiente de Variación	0,4	0,1	0,1

Tabla 13. Datos de temperaturas estaciones 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), las aportaciones registradas en los embalses del Quiebrajano y Víboras y los datos de la red hidrométrica del IGME existentes en los acuíferos objeto de análisis.

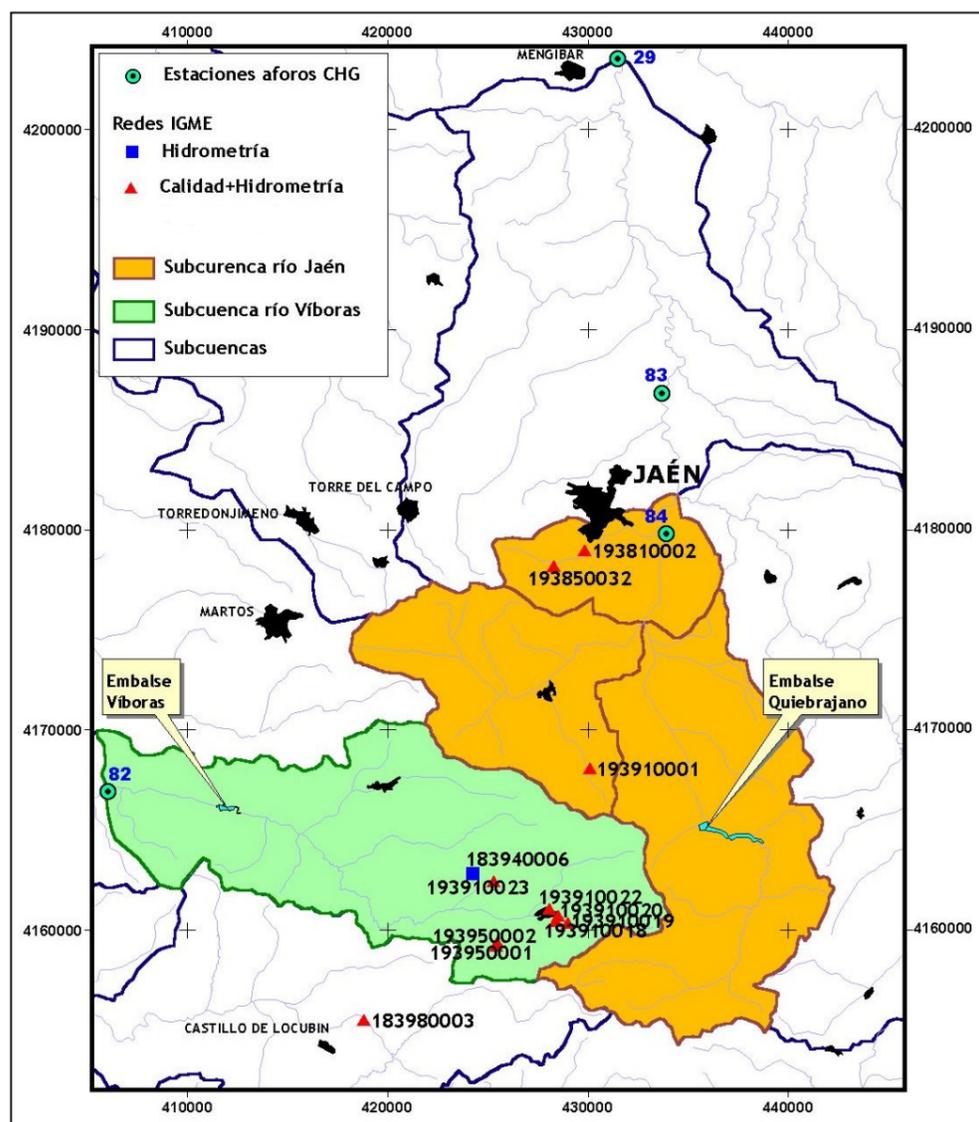


Figura 30. Estaciones de aforos y red hidrométrica del IGME. Datos hidrológicos

Estación de aforos			Coordenadas		Cuenca vertiente (km ²)	Aportación mensual (hm ³ /mes)		Aportación mensual específica (hm ³ /km ²)	
Código	Nombre	Cauce	X	Y		Media	Máxima	Media	Máxima
E-84	Jaén	Río Jaén	433926	4179750	293,40	3,4	32,5	0,012	0,111
E-83	Puente Nuevo	Río Guadalbullón	433709	4186790	238,90	8,9	238,9	0,011	0,294
E-29	Mengíbar	Río Guadalbullón	431529	4203490	1.106,30	16,6	193,1	0,015	0,175
E-82	Venta Pantalones	Río Víboras	406055	4166870	214,25	4,6	81,17	0,022	0,379

Tabla 14. Estaciones de aforo consideradas (datos CHG)

Las estaciones de aforos asociadas a la zona de estudio corresponden con la E-83, E-84, E-82 y la E-29. Para las aportaciones específicas promedio mensual de las estaciones destaca el mayor valor que adquiere la E-82, la cual recoge las escorrentías subterráneas de los acuíferos del alto Víboras.

NIPA	CAUCE	Inicio	Final	Num. Medidas	Acuífero	Caudales registrados (l/s)		
						Mínimo	Promedio	Máximo
1839-4-0006	F/CHIRCALES	Ene-83	Sep-89	26	Montesinos	23,01	37,16	298,75
1839-8-0003	SAN JUAN	Ene-83	Nov-01	75	Gracia-Morenita	94	318,5	965,75
1840-4-0013	F/REY Y GALLARDOS	Ene-83	Nov-01	70	Alcalá Real-Santa Ana	0	5,47	22,92
1938-1-0002	F/LA PEÑA	Ene-83	Nov-01	73	La Peña de Jaén	0	8,89	181,40
1938-5-0032	F/LOS PRADOS	Ene-84	Nov-01	73	Lías de Jabalcuz	0,1	24,37	108,70
1939-1-0001	M/RIO FRIO	Ene-83	Nov-01	62	Pandera	0	17,26	125,67
1939-1-0018	F/DEL VADILLO	Ene-83	Sep-01	58	Ventisquero	0	114,2	912,00
1939-1-0019	M/EL CHORRILLO	Ene-83	Nov-01	80	Ventisquero	10,99	25,33	66,08
1939-1-0020	M/EL ESTANQUILLO	Ene-83	Nov-01	73	Ventisquero	4,19	78,84	347,12
1939-1-0022	F/EL CHORRO	Feb-83	Nov-01	66	Ventisquero	0	31,34	120,22
1939-1-0023	F/CHIRCALES	Ene-83	Nov-01	70	Montesinos	17	47,84	298,75
1939-5-0001	F/DEL PAPEL ALTA	Ene-83	Nov-01	68	Cornicabra-Noguerones	1	9,00	35,74
1939-5-0002	F/DEL PAPEL BAJA	Ene-83	Nov-01	73	Cornicabra-Noguerones	4	32,91	101,00

Tabla 15. Red hidrométrica del IGME

6.5 SISTEMA HIDROLÓGICO SUPERFICIAL QUIEBRAJANO-VÍBORAS

El sistema hidrológico superficial se vertebra en función de dos cauces principales: el río Jaén y el río Víboras.

El río Jaén es un afluente del río Guadalbullón y presenta una cuenca vertiente de 322 km², hasta su confluencia con el río Guadalbullón en la pedanía de Puente Nuevo, estando constituida por las subcuencas del Quiebrajano, Frío y una serie de arroyos que aparecen entre las localidades de Puente de la Reina (donde confluyen los ríos Frío y Quiebrajano) y Puente Nuevo (Reguchillo, Fuente de San Cristóbal y Tejerina).

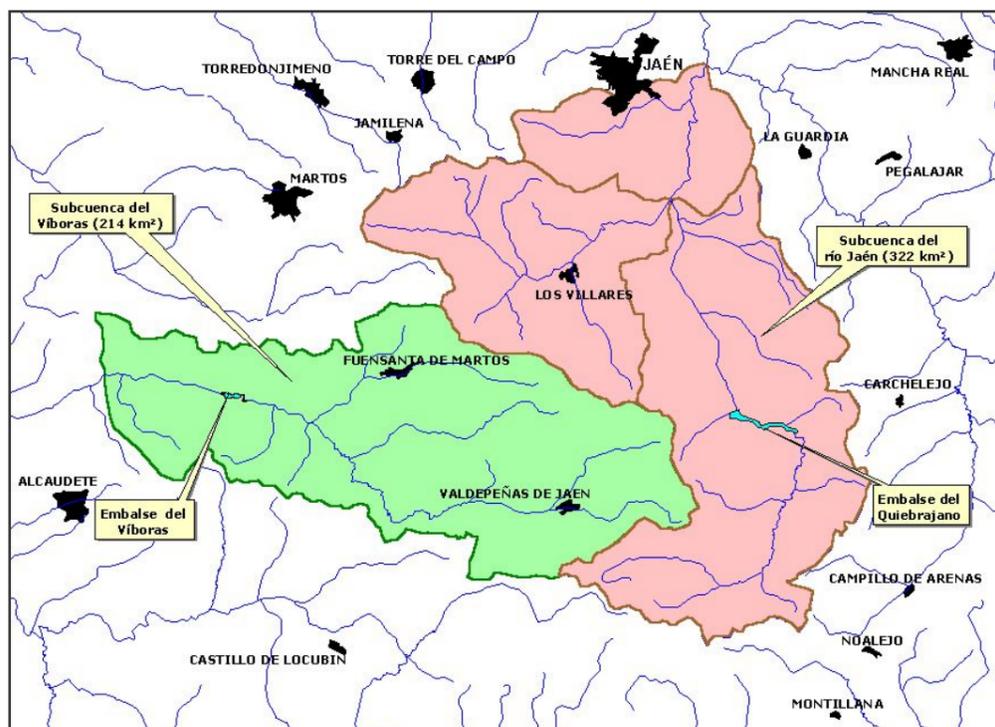


Figura 31. *Cuencas vertientes del Sistema Quiebrajano-Víboras*

La subcuenca del Víboras, hasta la estación foronómica de la CHG en Venta Pantalones (E-82), presenta una cuenca vertiente de 214 km², que comprende como cauces principales el río Grande y el arroyo de la Fuensanta

La subcuenca del río Jaén está parcialmente regulada por el embalse del Quiebrajano y las tomas para abastecimiento del manantial de Río Frío y los Cañones de Mingo.

Asimismo, la subcuenca del Víboras se encuentra parcialmente regulada por el embalse del Víboras, de reciente construcción, y las tomas para abastecimiento del Conjunto de Martos (Fuentes de Martos).

Subcuencas	Cuencas de recepción	Superficie (km ²)	Superficie afloramientos permeables (km ²)	% Superf. Permeable
Río Jaén	Embalse Quiebrajano	97,25	39,09	40,20%
	Bajo Quiebrajano	74,14	55,46	74,81%
	Río Quiebrajano	171,38	94,55	55,17%
	Río Frío-Eliche	99,45	13,28	13,36%
	Río Jaén hasta E-84	22,57	4,54	20,10%
	E-84	293,40	112,37	38,30%
Río Víboras	Río Grande	153,15	59,04	38,55%
	Resto hasta embalse Víboras	29,72	1,08	3,65%
	Embalse Víboras	182,87	60,13	32,88%
	E-82	214,25	66,21	30,90%
	SUMA	507,66	178,58	35,18%

Tabla 16. Superficies de las subcuencas asociadas al Sistema Quiebrajano-Víboras

6.5.1 Subcuenca del río Jaén

La cuenca de recepción de la estación de aforos nº84 (Jaén) de la CHG está incluida dentro de la subcuenca del río Jaén, de 322,01 km² de superficie, y está constituida por los siguientes elementos principales:

- Subcuenca del embalse del Quiebrajano, de 97,25 km² de superficie, corresponde a la cuenca de recepción del embalse. Presenta una elevación media de 1.216 m snm, oscilando entre la cota 720 y la 1.815 m snm.

Presenta unos afloramientos de materiales permeables de 39,1 km², lo que supone un 40% de la cuenca de recepción del embalse.

La red de drenaje de esta subcuenca presenta una disposición rectangular, como respuesta a posibles causas estructurales geológicas. El curso principal presenta una longitud de casi 25 km, con una pendiente media del 2,35%.

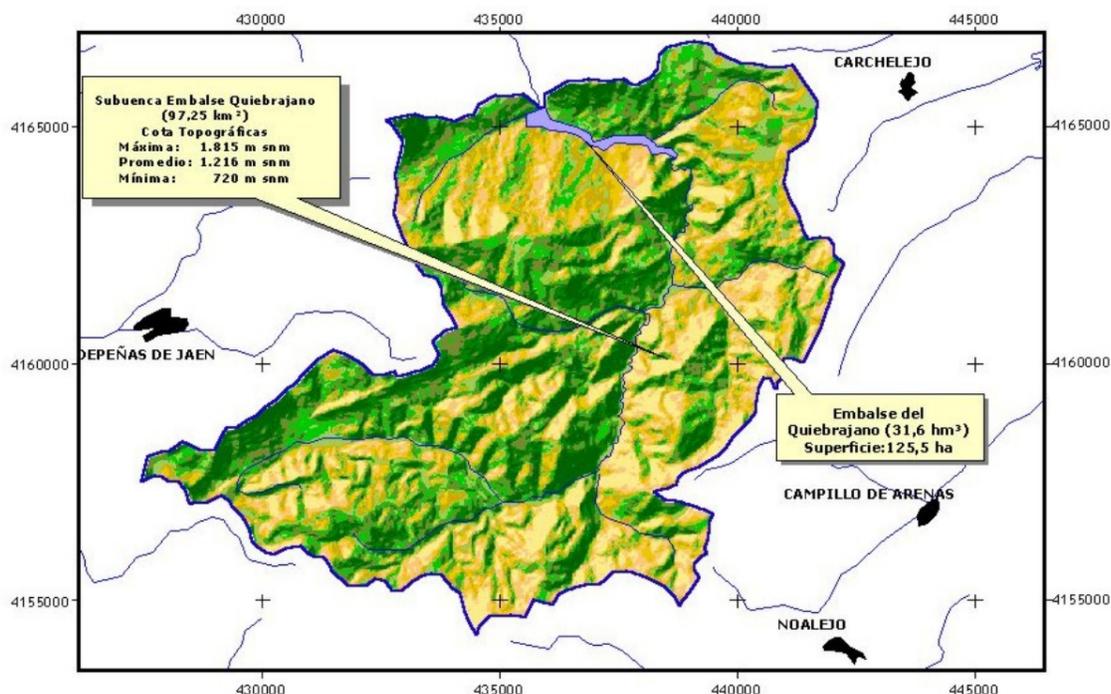


Figura 32. Subcuenca del embalse del Quiebrajano (cuenca de recepción del embalse del Quiebrajano)

- Subcuenca del río Frío, de 99,5 km² de superficie. Presenta una elevación media de 899 m snm, oscilando entre la cota 440 y la 1.838 m snm.

Presenta unos afloramientos de materiales permeables de 13,26 km², lo que supone un 13% de la superficie.

La red de drenaje de esta subcuenca presenta una disposición dispar según se considere el río Eliche o el río Frío (aguas arriba de Los Villares). Para el primero la red es dendrítica, como respuesta a un substrato margoso y el cauce presenta una pendiente media del 2,23%. Para el segundo, la red de drenaje, aunque de carácter dendrítico, es menos densa, como respuesta a un

substrato margo-arenoso y el cauce principal presenta una pendiente más acusada (11,33%).

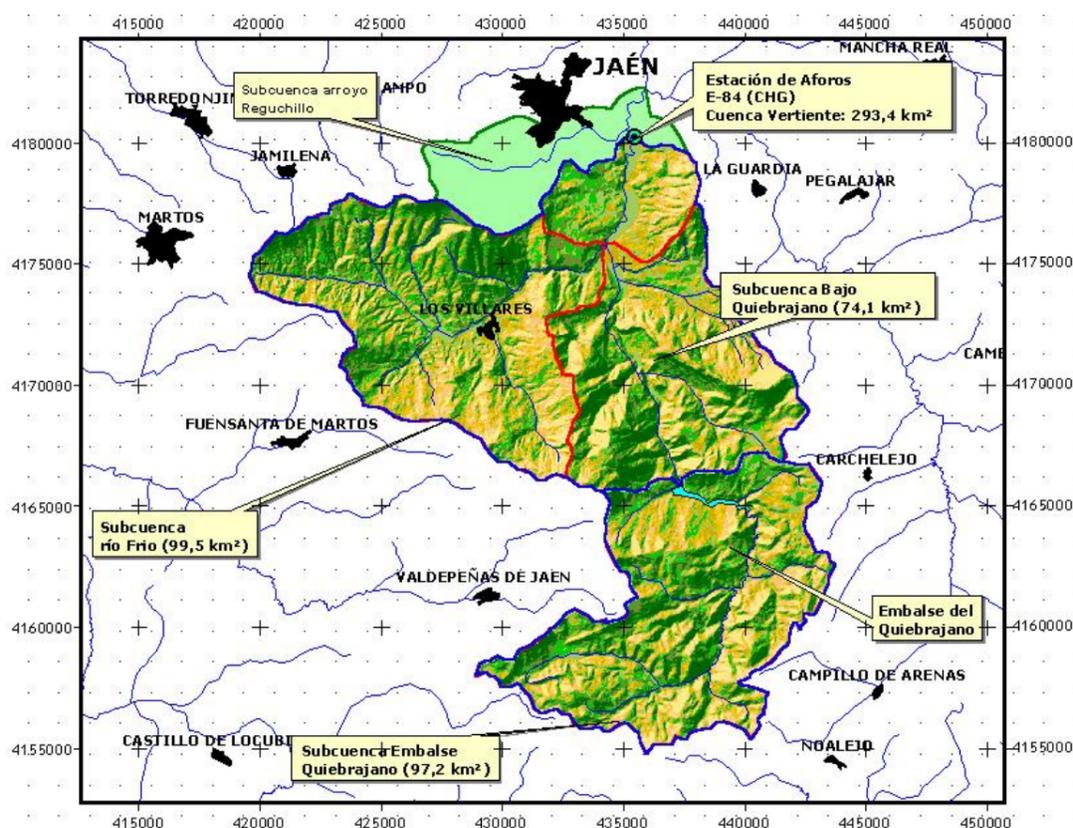


Figura 33. Cuenca de recepción de la estación nº84 (Jaén) de la CHG

- Subcuenca del Bajo Quiebrajano, de 74,14 km² de superficie. Presenta una elevación media de 887 m snm, oscilando entre la cota 440 y la 1.825 m snm.

Presenta unos afloramientos de materiales permeables de 55,46 km², lo que supone un 75% de la superficie.

La red de drenaje de esta subcuenca presenta una disposición condicionada por las estructuras geológicas, de hecho una gran parte del cauce del río Quiebrajano, aguas abajo de la presa, discurre a favor de una gran fractura de dirección NW-SE. La red de drenaje es de baja densidad, como corresponde a un substrato muy permeable y el cauce presenta una pendiente media del 2,02%.

La cuenca de recepción de la estación 84-CHG (Jaén), que ocupa el 91% de la subcuenca del río Jaén, presenta una superficie total de 293,40 km², de la que algo más de un 38% (112,39 km²) corresponde a afloramientos permeables (calizas y dolomías), situándose su cota mínima a 405 m snm y la máxima a 1.838 m snm.

La subcuenca del río Jaén corresponde a la suma de la cuenca de recepción de la estación de aforos nº84-CHG más la pequeña cuenca del arroyo Reguchillo (28,61 km²), el cual recoge los drenajes subterráneos de los acuíferos Lías de Jabalcuz (manantiales Baños de Jabalcúz -193850004- y Los Prados -193850032-) y de La Peña de Jaén (manantial de La Peña -193810002-).

6.5.2 Subcuenca del río Víboras

La cuenca de recepción de la estación de aforos nº82 (Venta Pantalones) de la CHG está incluida dentro de la cuenca del río Víboras, de 289,20 km² de superficie, el cual, a su vez, es un afluente del río Guadajoz.

El embalse del Víboras, de reciente construcción, está ubicado dentro de la cuenca de recepción de la estación de aforos nº 82-CHG. Así, la cuenca de recepción del citado embalse, de 182,87 km², supone algo más del 85% de la cuenca de recepción de la mencionada estación de aforos.

La cuenca alta del río Víboras está constituida por el río Grande y el arroyo de Fuensanta de Martos, los cuales recogen el drenaje subterráneo de los acuíferos existentes en la cabecera del Víboras (unidades hidrogeológicas de Mentidero-Montesinos -05.22- y Gracia-Ventisquero -05.70-), excepto el acuífero Gracia-Morenita, que drena hacia el río San Juan.

La cuenca de recepción de la estación de aforos nº82-CHG presenta una cota media de 929 m snm, oscilando entre 1.860 m snm y 460 m snm. La pendiente media del cauce principal es del 3,48%. La superficie ocupada por los afloramientos permeables es de 66,21 km², lo que constituye sólo el 31% de la superficie total.

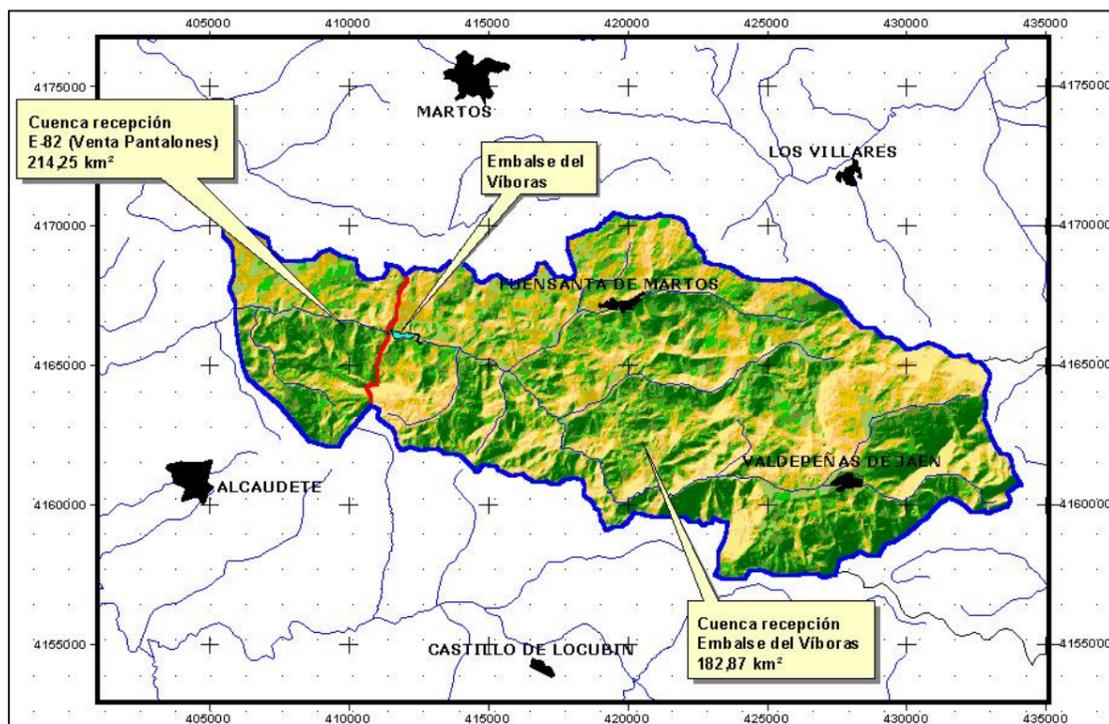


Figura 34. Cuenca de recepción de la estación de aforos E-82 (venta Pantalones) en el río Viberas

Los afloramientos permeables vinculados a la cuenca del Viberas se sitúa en la cabecera de la misma, aguas arriba del embalse del Viberas, de tal forma que este embalse, en principio, permite la regulación del drenaje subterráneo (caudal base) que recibe esta cuenca, situación bien distinta a la cuenca del río Jaén, en la que los principales drenajes subterráneos se sitúan aguas debajo de la presa del Quiebrajano, por lo que este embalse no permite la regulación de dichos caudales procedentes de la escorrentía subterránea.

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:

$$X_{\text{mínima}} = 380.000$$

$$X_{\text{máxima}} = 465.000$$

$$Y_{\text{mínima}} = 4.130.000$$

$$Y_{\text{máxima}} = 4.210.000$$

Es decir, aproximadamente un rectángulo de 85 km de este a oeste por 80 km de norte a sur, con centro geográfico situado en un punto aproximadamente equidistante entre los núcleos de Los Villares y Valdepeñas de Jaén.

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 isólinas de ETP para años tipo seco, medio y húmedo.

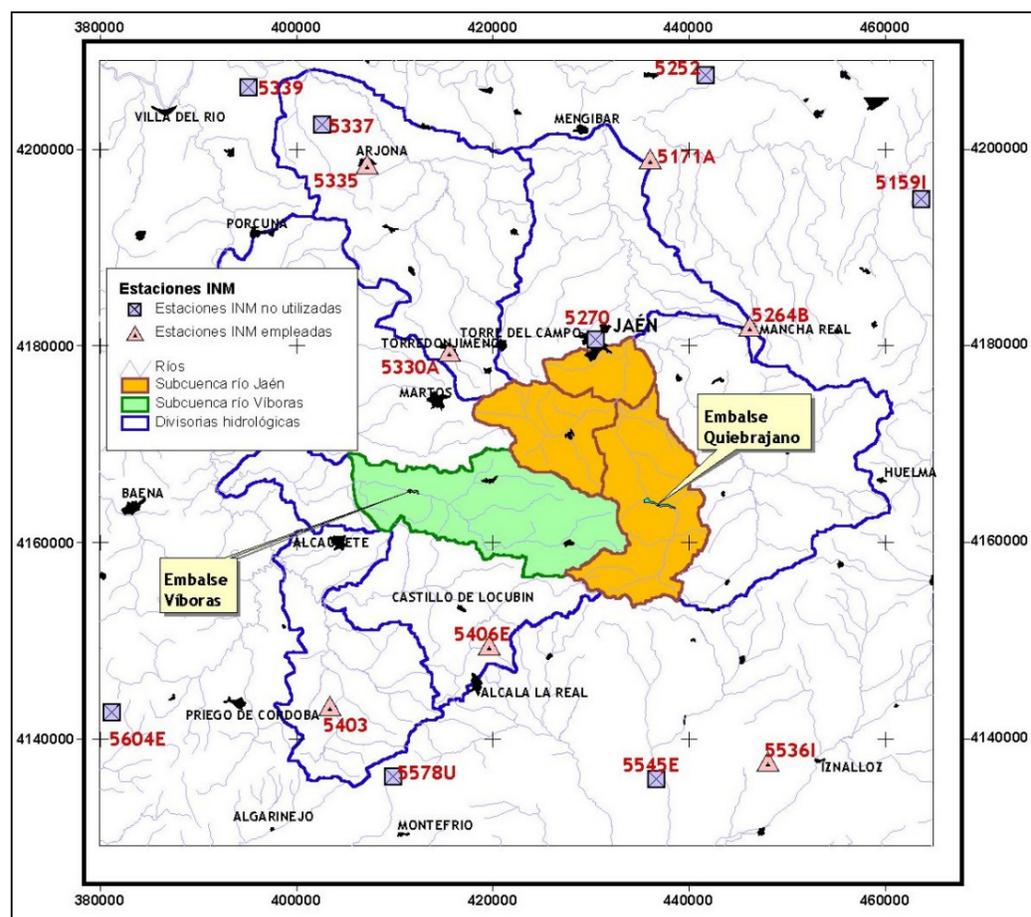


Figura 35. Estaciones meteorológicas empleadas para el estudio climatológico

En el anejo 1 se detallan los datos de partida utilizados y las series restituidas para el periodo 1951-2002.

Se han seleccionado para el estudio 7 estaciones termopluviométricas, una de cuales ha sido considerada como completa o de referencia (5335-Arjona), a partir de la cual han sido restituida el resto de estaciones.

Número	Estación Meteorológica		Coordenadas UTM		Altitud m snm	Activa
	Denominación	Provincia	X	Y		
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	GRANADA	448190	4138552	890,00	SI
5171A	VILLATORRES-VILLARGORDO 'COLEGIO'	JAEN	436124	4199815	345,00	SI
5264B	MANCHA REAL SEA	JAEN	446338	4182791	765,00	NO
5330A	TORREDONJIMENO 'INSTITUTO'	JAEN	415711	4180242	591,00	SI
5335	ARJONA	JAEN	407313	4199320	410,00	SI
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	JAEN	419777	4150334	920,00	SI
5403	ALMEDINILLA	CORDOBA	403497	4144188	620,00	SI

Tabla 17. Estaciones del INM consideradas en el estudio climatológico

6.6.1 Precipitaciones

A partir de las series de precipitación restituidas para las 7 estaciones de referencia, correspondiente al periodo 1951-2002, 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 561 y 573 mm/año, para el año seco el rango más probable de precipitación sería 387 a 407 mm/año y para el año tipo húmedo 886 a 995 mm/año.

Estación INM	Año Tipo	P (mm/a)	PRECIPITACION MENSUAL (mm/a)												
			ENE	FEN	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
5335	ARJONA	Seco	378,3	30,0	36,5	40,9	56,3	34,1	11,4	0,4	4,6	7,8	35,5	54,5	66,4
		Medio	562,4	66,1	62,1	69,6	57,6	45,5	14,7	4,1	2,6	27,0	61,1	74,1	77,9
		Húmedo	903,5	140,4	113,3	84,0	58,8	34,4	26,1	12,7	6,7	58,9	108,8	107,0	152,3
5171A	VILLATORRES-VILLARGORDO 'COLEGIO'	Seco	311,4	32,7	33,8	30,5	33,9	35,2	20,1	5,3	4,7	8,7	23,6	31,9	51,1
		Medio	420,4	44,0	47,1	45,5	49,9	32,0	20,9	8,3	2,6	14,6	44,6	65,1	45,7
		Húmedo	713,9	104,3	97,3	38,4	51,4	49,2	41,2	11,4	5,1	48,7	62,7	81,3	122,9
5264B	MANCHA REAL-SEA	Seco	414,6	37,2	42,5	40,1	50,4	44,9	33,9	15,8	8,2	12,1	34,1	55,5	39,7
		Medio	559,1	65,5	72,0	58,9	66,8	41,3	33,6	11,5	8,6	23,6	61,2	49,1	67,0
		Húmedo	867,9	146,6	56,9	67,5	71,0	93,5	32,3	11,3	19,0	72,3	40,4	130,8	126,2
5330A	TORREDONJIMENO 'INSTITUTO'	Seco	414,3	38,2	47,2	43,1	59,3	45,5	23,9	2,0	7,4	7,0	30,3	54,5	55,8
		Medio	579,2	70,4	68,0	60,4	68,8	46,3	24,5	8,8	3,3	19,1	61,4	79,9	68,2
		Húmedo	922,1	131,1	114,7	67,9	64,9	61,2	42,6	16,1	8,3	71,7	83,8	106,3	153,5
5403	ALMEDINILLA	Seco	400,4	31,4	27,6	41,2	65,3	30,6	25,0	10,8	4,0	10,2	28,2	54,3	71,7
		Medio	567,2	79,3	74,5	61,3	59,8	44,5	24,1	8,7	3,4	15,1	55,8	78,6	62,1
		Húmedo	955,0	128,8	128,8	48,4	64,9	65,6	53,1	13,0	13,0	71,7	45,6	116,4	205,8
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	Seco	400,4	31,4	27,6	41,2	65,3	30,6	25,0	10,8	4,0	10,2	28,2	54,3	71,7
		Medio	567,2	79,3	74,5	61,3	59,8	44,5	24,1	8,7	3,4	15,1	55,8	78,6	62,1
		Húmedo	955,0	128,8	128,8	48,4	64,9	65,6	53,1	13,0	13,0	71,7	45,6	116,4	205,8
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	Seco	395,1	45,5	36,5	45,5	47,3	35,9	28,8	13,2	1,0	10,1	39,9	49,2	42,2
		Medio	592,6	69,1	73,3	60,2	67,0	52,6	23,0	3,3	4,2	17,5	41,8	89,1	91,5
		Húmedo	984,2	179,5	141,4	57,3	74,4	44,7	47,9	12,5	3,6	59,4	82,2	111,4	170,1

Año Tipo	Seco	Medio	Húmedo
Mínimo	311,4	420,4	713,9
Q25%	386,7	560,7	885,7
Mediana	400,4	567,2	922,1
Media	387,8	549,7	900,2
Q75%	407,4	573,2	955,0
Máximo	414,6	592,6	984,2
Desv.Est.	35,9	58,2	90,7
CV	10,8	9,5	9,9

Distribución mensual de precipitaciones más probables
AÑO TIPO MEDIO

Mes	Precipitación (mm/mes)
ENE	69.1
FEN	72.0
MAR	60.4
ABR	59.8
MAY	44.5
JUN	24.1
JUL	8.7
AGO	3.4
SEP	17.5
OCT	55.8
NOV	78.6
DIC	67.0

Tabla 18. Datos de precipitación según años tipo (serie 1951-2002)

Se han trazado las isolíneas de precipitación, mediante interpolación por krikeage, para un año tipo seco, medio y húmedo más probable utilizando los valores de las estaciones (ver figuras 34 a 36).

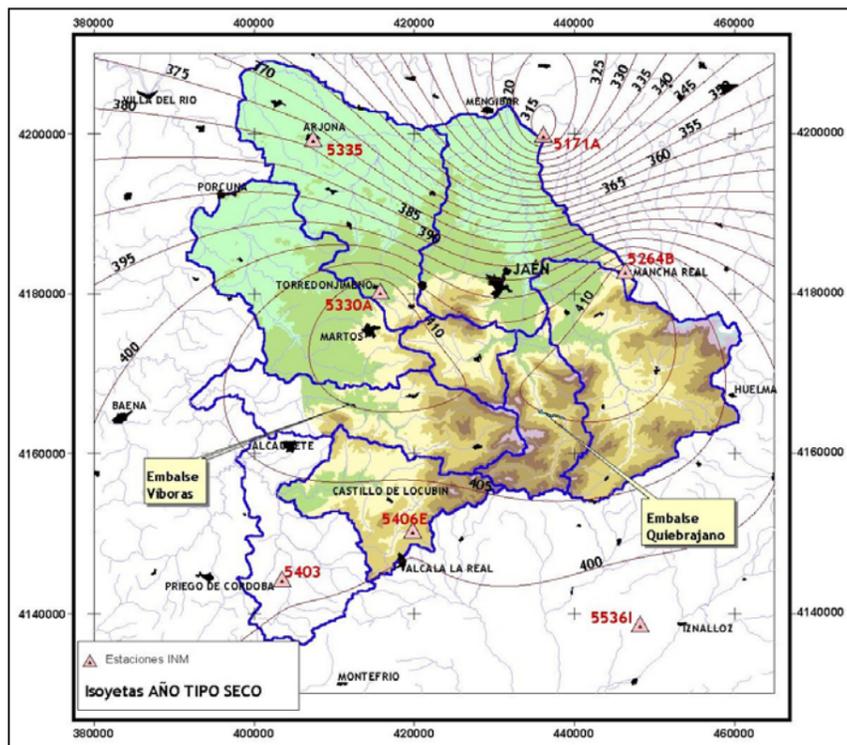


Figura 36. *Isolíneas Precipitación año tipo SECO más probable (en mm)*

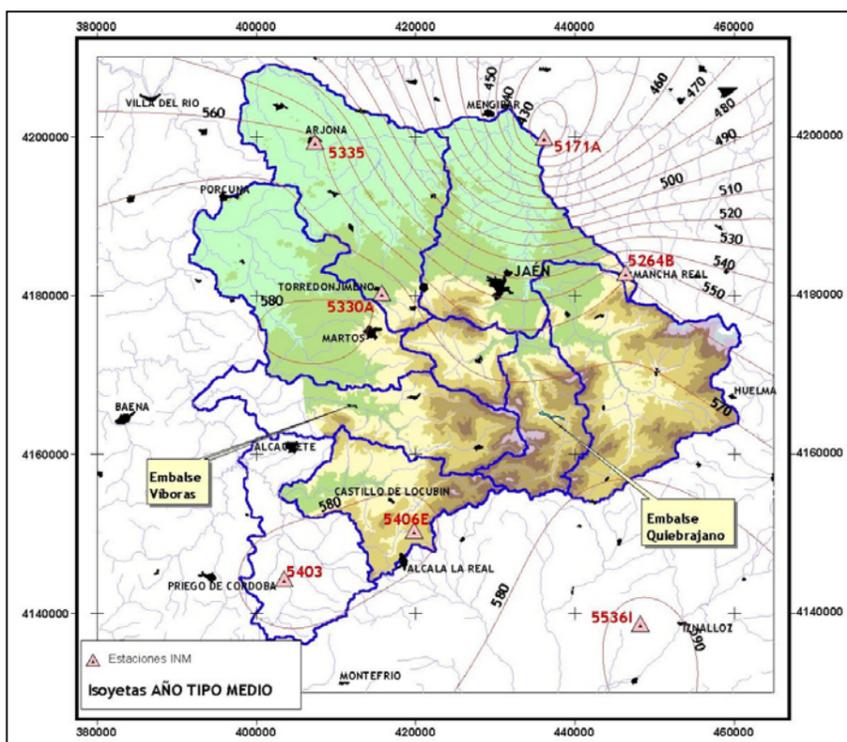


Figura 37. *Isolíneas precipitación año tipo MEDIO más probable (mm)*

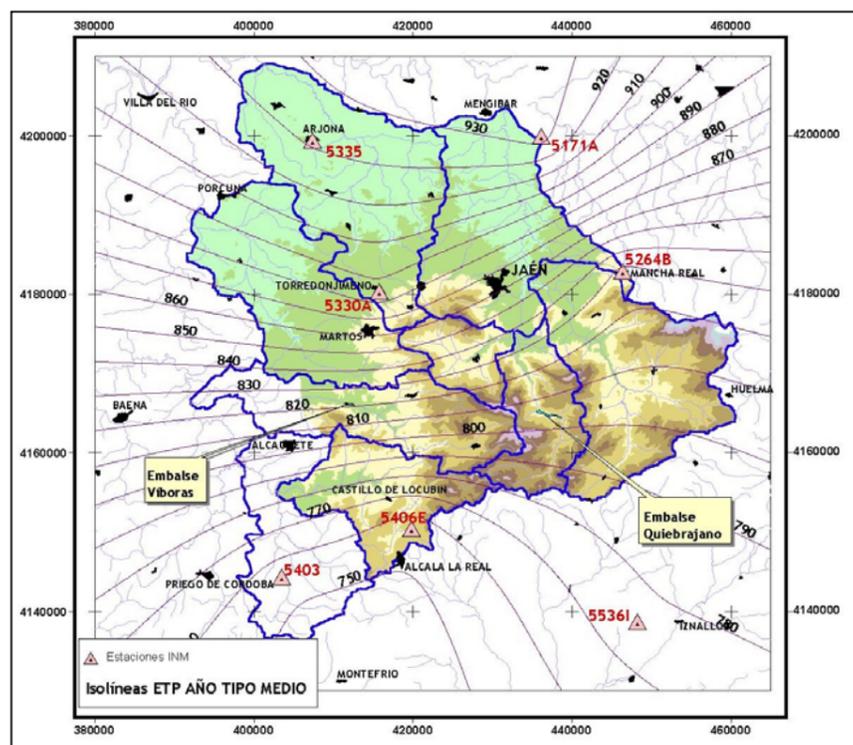


Figura 38. *Isolíneas precipitación año tipo HÚMEDO más probable (en mm)*

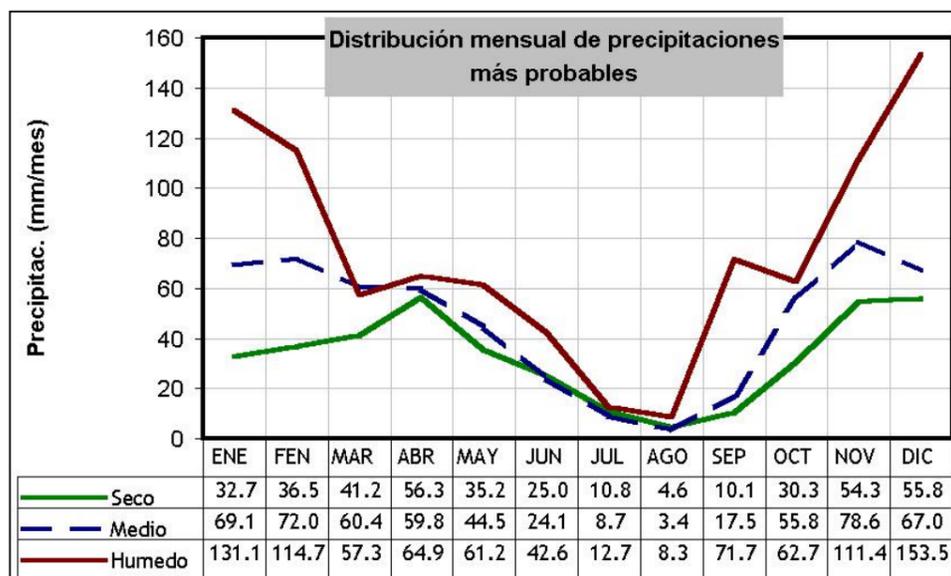


Figura 39. *Distribución mensual de las precipitaciones más probables según años tipo*

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 1951-2002, 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 1951-2002.

ESTACIÓN		ETP promedio (mm.)	Precipitación Promedio (mm/año)
5335	ARJONA	915,57	582,0
5171A	VILLATORRES-VILLARGORDO 'COLEGIO'	936,25	436,2
5264B	MANCHA REAL-SEA	824,92	524,8
5330A	TORREDONJIMENO 'INSTITUTO'	882,48	594,4
5403	ALMEDINILLA	816,41	591,5
5406E	ALCALA LA REAL 'CHARILLA'	752,36	591,5
5536I	IZNALLOZ 'EL FRAGE'	777,34	588,3
Promedio zonal		843,62	558,38

Tabla 19. Valores de ETP anuales (serie 1951-2002)

Se ha elaborado un mapa de curvas de igual ETP para un año tipo medio (550 mm/año) (ver figura 38), utilizando técnicas de interpolación por krikeage.

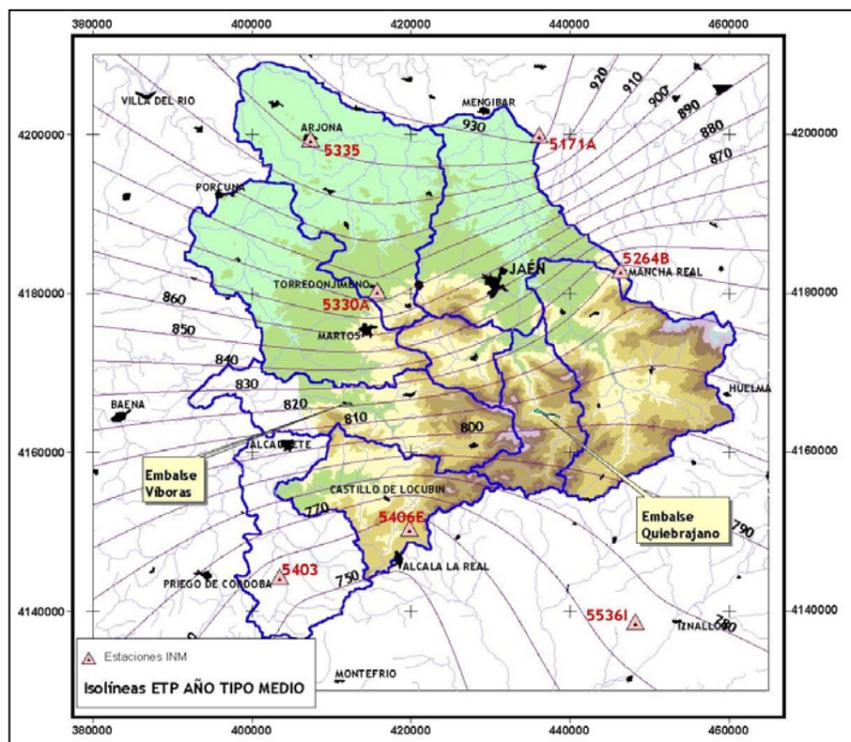


Figura 40. Mapa de isolíneas de ETP

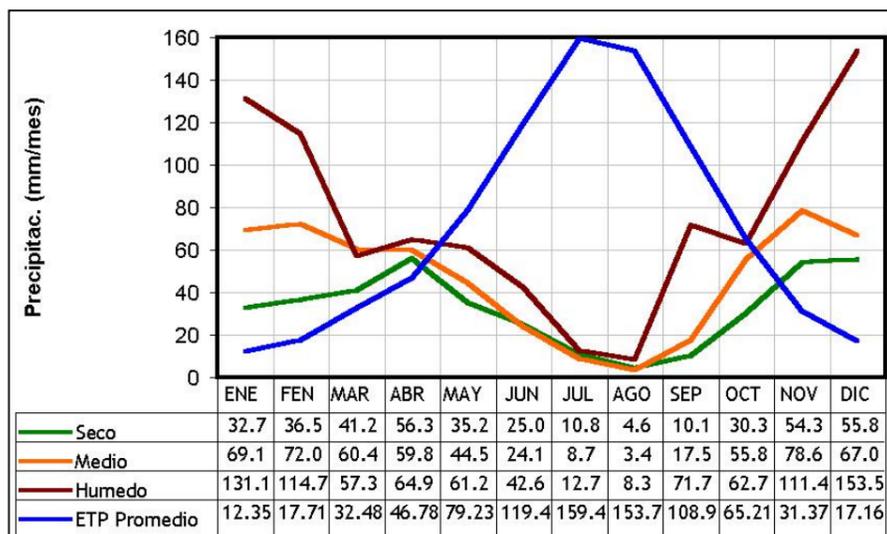


Figura 41. Comparativa de precipitaciones mensuales para años tipo y ETP promedio

6.7 DETERMINACIÓN DE LAS APORTACIONES EN RÉGIMEN NATURAL

Para el cálculo de las aportaciones en régimen natural se ha aplicado un modelo precipitación-escorrentía o precipitación-aportación (modelo P-E) de parámetros agregados, en concreto, el modelo Temez, el cual permite obtener los caudales de escorrentía superficial y la infiltración, mediante la consideración de una serie de parámetros característicos de las cuencas a simular y partiendo de los datos de precipitación y evapotranspiración.

A su vez, ha sido utilizado un modelo de agotamiento para el cálculo de la escorrentía subterránea. Este tipo de modelos es comúnmente utilizado en acuíferos con un drenaje puntual como es el caso de los existentes en las cuencas modelizadas.

Para la construcción de los modelos de agotamiento se han considerado los datos de infiltración procedentes del modelo Temez de precipitación-escorrentía aplicado, pudiendo, por tanto, considerarse que la metodología aplicada corresponde a un **modelo P-E Temez modificado**.

Para la calibración de los parámetros del modelo P-E de Temez se han utilizado las series de aportaciones registradas en las estaciones de aforo de la CHG, las series de aportación al embalse del Quiebrajano y las series hidrométricas asociadas a las redes de control del IGME.

El periodo de simulación ha correspondido al comprendido entre los años 1951-2002, en total 51 años, intervalo en el que se reproducen series secas y húmedas suficientemente representativas de la climatología característica de la región simulada.

El paso de tiempo de simulación considerado ha sido mensual, lo que viene implícitamente exigido por el modelo utilizado para la simulación de la gestión (SIMGES).

Los datos de partida para la realización de los cálculos hidrológicos consisten en las superficies de las subcuencas, los datos de climatológicos (precipitación y

temperaturas mensuales -ETP-) y los datos foronómicos de la CHG para cauces y embalses y del IGME para los mananciales.

Como se ha comentado anteriormente, el modelo precipitación-escorrentía aplicado corresponde a un modelo de P-E de Temez modificado, el cual ha sido aplicado a las subcuencas definidas para las cuencas vertientes de las estaciones de aforos E-84 (Jaén) y E-82 (Venta Pantalones).

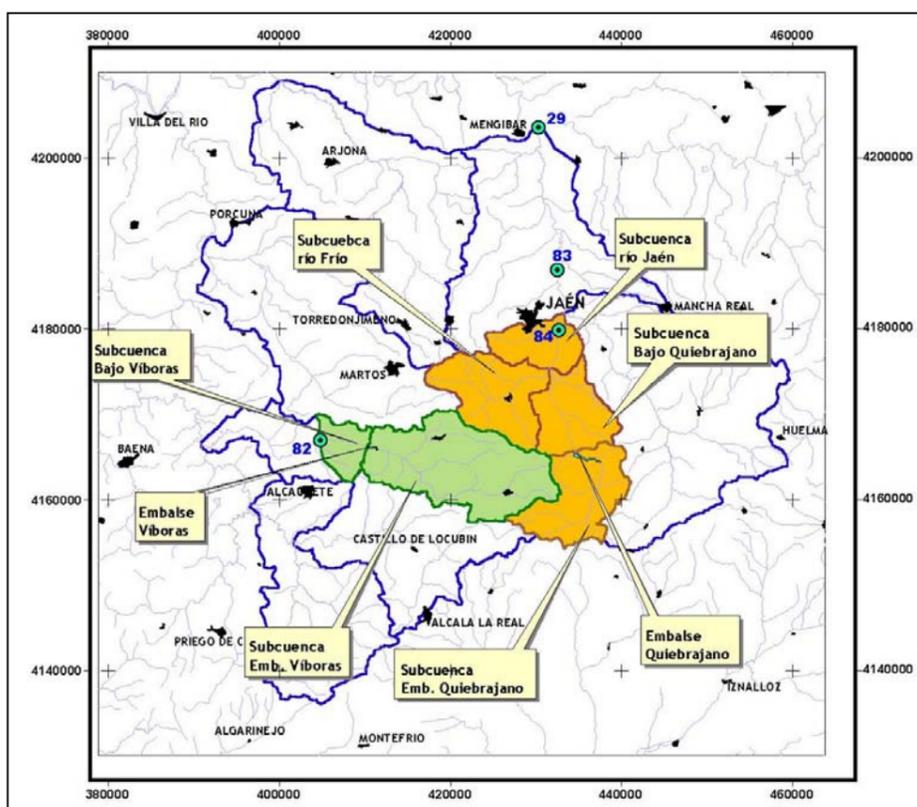


Figura 42. Subcuencas vertientes consideradas en el análisis de aportaciones

Estaciones de aforo		Subcuenca vertiente		
Identificador	Cauce	Afloramientos permeables asociados a acuíferos (km ²)	Afloramientos semipermeables, impermeables y permeables asociados a acuíferos muy locales y sin interés hidrogeológico(km ²)	Suma (km ²)
E-84 (Jaén)	Río Jaén	112,37	181,03	293,40
E-82 (Venta Pantalones)	Río Víboras	66,21	148,04	214,25
Suma		178,58	329,07	507,65
Porcentajes		35,18%	64,82%	

Tabla 20. Comparativa de superficies permeables e impermeables en la zona objeto de estudio

A continuación se resume el modelo agregado precipitación aportación que ha sido utilizado para generar las series de aportación en régimen natural para el periodo 1951-2002 en las estaciones de aforo E-82 y E-84, segregando cada uno de los elementos hidrológicos de los que éstas se componen.

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 aportación total que recibe el río en el intervalo de tiempo de cálculo considerando será la suma de la escorrentía superficial directa (E) más la aportación freática (A_f), la cual se calcula mediante la expresión:

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

donde:

A_{\min} , aportación mínima (agotamiento de las reservas de la capa freática 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 de la capa freática
- D, duración del intervalo de tiempo (paso de discretización temporal)
- I, infiltración (aumento de las reservas de la capa freática)

Tomando las expresiones (1) y (2) la aportación que recibe 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 aportación subterránea. Así, se ha calculado el desagüe asociado a los acuíferos presentes en las cuencas y subcuencas objeto de simulación, que corresponde, en términos generales, a sistemas karstificados con drenaje puntual (manantiales), mediante una formulación basada en la curva de agotamiento de Maillet:

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

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:

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

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

donde:

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 $3,858 \cdot 10^{-7}$

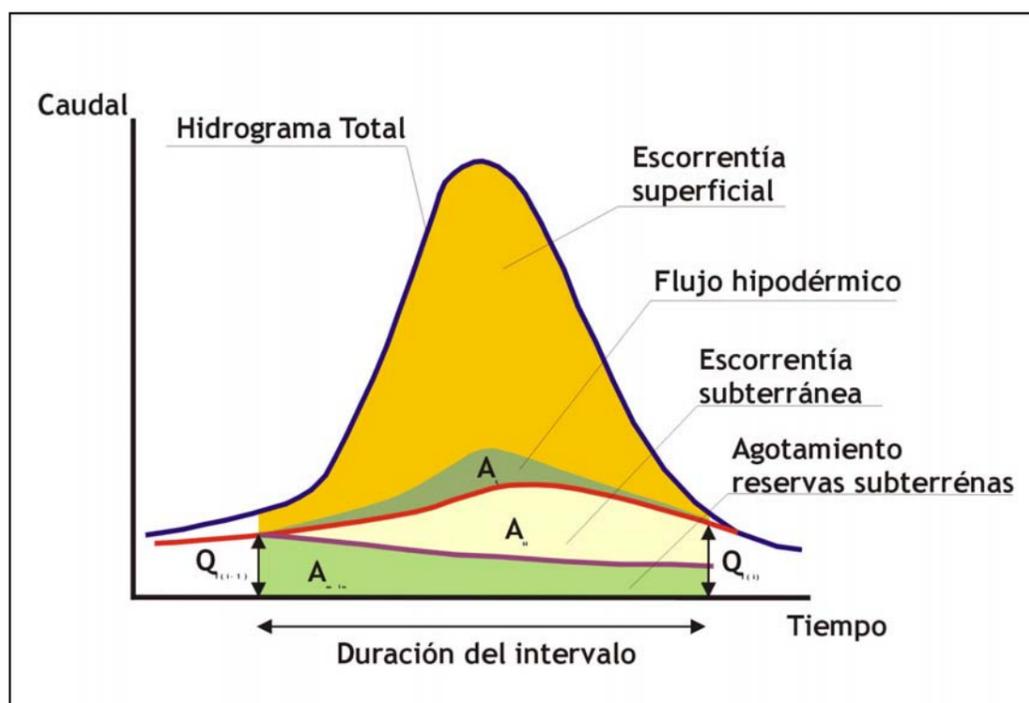


Figura 43. Componentes de la aportación en un intervalo de tiempo (modelo Temez modificado)

Así, la aportación freática proporcionada por el método de Temez (expresión 2) 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 $A_H = 0$

Y por tanto:

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

donde:

A^*_F , es la aportación subterránea, cuyo cálculo se apoya en el propuesto por Temez y la fórmula de Maillet ($A^*_F \geq A_F$)

Para el cálculo de la escorrentía superficial estricta 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:

$$A_T = A_E + (A_S + A_H) \quad (10)$$

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

$$V_T = A_E \cdot S_T + A_S + A_H \cdot S_{imp} \quad (11)$$

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 ($H_{m\acute{a}x} - H_{i-1}$), 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:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{(S_{per}I_{aq} + S_{imp}I_{nq})}{(S_{per} + S_{imp})} \quad (12)$$

Utilizando las series foronómicas de aportaciones al embalse del Quiebrajano, las series registradas en las estaciones de la CHG (E-84, E-82) y los datos hidrométricos del IGME ha sido posible calibrar el valor de estos parámetros en la subcuencas del río Jaén y Víboras.

Así, en la tabla 20 se muestran los valores concedidos a los parámetros del modelo para las diferentes cuencas y subcuencas simuladas.

	Embalse Quiebrajano	Bajo Quiebrajano	Río Frío	E-84 (resto) Río Jaén	Embalse Víboras	E-82 (resto)
β	0,65	0,65	0,65	0,65	0,80	0,80
$H_{m\acute{a}x}$ (mm/mes)	150,00	180,00	300,0	180,00	150,00	300,00
$I_{m\acute{a}x}$ (mm/mes)	127,93	123,84	24,4	123,84	118,43	96,16
$I_{m\acute{a}x}$ (Permeb.)	250,00	190,00	150,0	190,00	350,00	300,00
$I_{m\acute{a}x}$ (Imperm.)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
C	0,75	0,35	0,40	0,35	0,25	0,45
Cuenca vertiente (km ²)	97,2	74,1	99,4	22,57	182,9	31,4
Superficie Permeable (km ²)	39,09	55,46	13,28	4,54	60,13	6,08
%Permeable	40,2%	74,8%	13,4%	20,1%	32,9%	19,4%

Tabla 21. *Parámetros del modelo de P-E Temez modificado para las subcuencas simuladas*



Figura 44. Subcuencas consideradas para la aplicación del modelo precipitación-aportaciones de Temez

Los valores de los diferentes coeficientes y parámetros han sido calibrados considerando los datos de aportaciones al embalse del Quiebrajano y las series foronómicas de las estaciones E-84 y E-82. Para los acuíferos implicados se han considerado las series hidrométricas del IGME, las cuales corresponden a valores de caudal instantáneo drenado por los manantiales, por lo que deben ser considerados como una referencia de cálculo más que como un objetivo, ya que en los puntos de control del IGME no existen estaciones de aforo como ocurre con las de la CHG.

Para las subcuencas simuladas se han diferenciado las superficies permeables e impermeables al objeto de calcular un valor del $I_{\text{máx}}$ más ajustado a la realidad de la cuenca. Para ello se han digitalizado los afloramientos permeables de los acuíferos y se han calculado las superficies de los mismos que quedan incluidas dentro de las subcuencas simuladas.

En total, la superficie simulada ha sido de 507,7 km², de la que un 35,2% corresponde a afloramientos permeables (sólo acuíferos carbonatados -178,6 km²-) y el 64,8% restante a afloramientos semipermeables e impermeables.

SUBCUENCAS		Acuíferos	Superficie Permeable (km ²)	α (días ⁻¹)	Qf ₀ (l/s)	Infil. Máx. en afloram. permeables (mm/mes) I _{aq}	Infiltración Promedio mensual (mm/mes)
Embalse Quiebrajano	7	Fresnedilla-Pico Maleza	8,36	0,0055	40,70	250	7
Río Frió	14	Pandera	18,51	0,0045	45,54	150	18
Bajo Quiebrajano	9	Grajales ^a	86,27	0,0035	388,03	190	20
	16	Carchel	4,84	0,0035	7,30	50	11
Río Jaén	17	San Cristóbal	11,57	0,0045	12,55	35	9
Embalse del Víboras	5	Cornicabra-Noguerones	12,41	0,0035	43,18	255	22
	12	Mentidero	18,88	0,0045	81,95	165	14
	13	Montesinos	7,47	0,0025	52,20	360	31
	15	Ventisquero ^a	24,39	0,0027	282,18	345	30
Bajo Víboras	1	Ahillo	9,65	0,0050	25,77	150	18
	2	Caracolera	6,40	0,0040	39,91	300	22
Jabalruz	4	Cerro Fuente	1,55	0,0085	4,28	80	11
	6	Dogger Jabalruz	4,63	0,0090	30,29	115	16
	11	Lías Jabalruz	0,75	0,0150	11,40	250	35
Jaén	3	Castillo-La Ímora	13,57	0,0200	13,81	85	12
	10	La Peña de Jaén	4,42	0,0250	14,13	120	17
San Juan	8	Gracia-Morenita ^a	30,32	0,0035	140,41	300	26

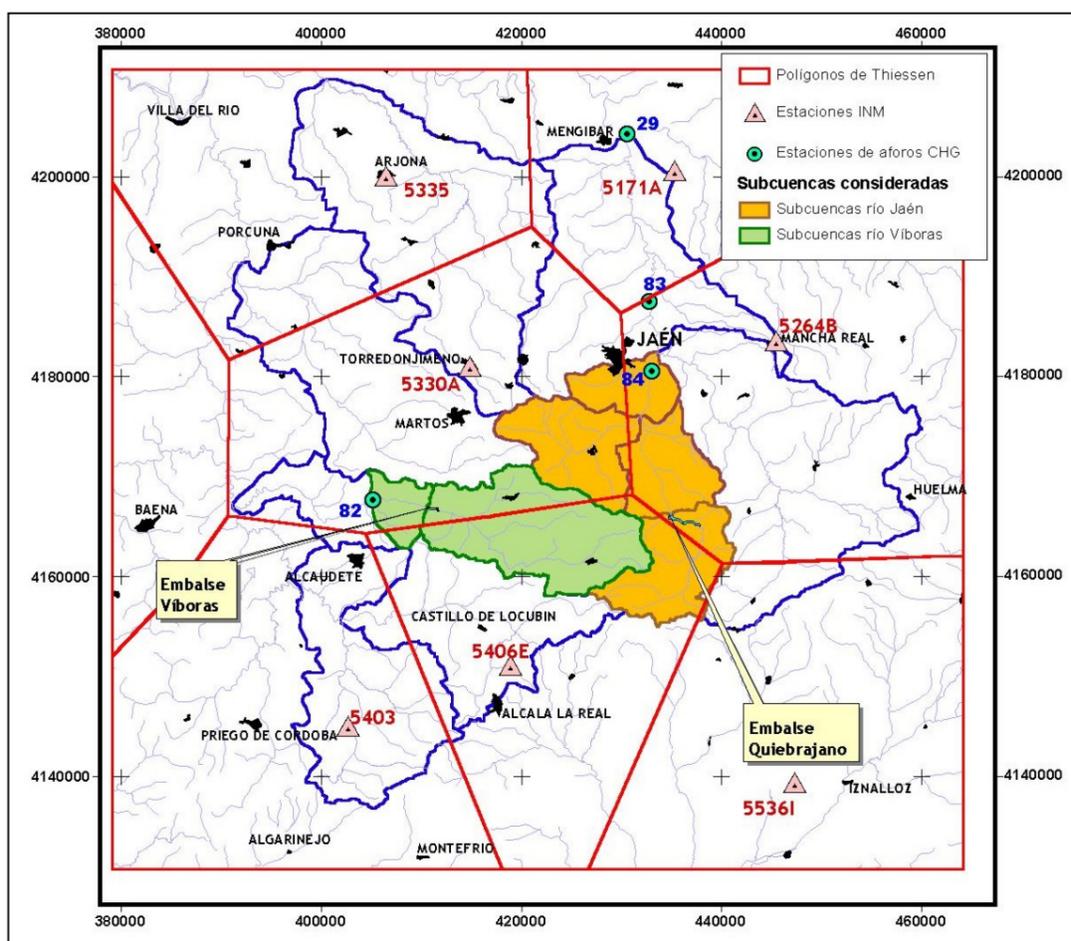
^a La significación del drenaje de estos acuíferos ha obligado a considerar coeficientes de agotamiento variables en función del caudal

Tabla 22. *Parámetros del modelo P-E Temez modificado para simulación de acuíferos*

Los datos de caudales de drenaje subterráneo inicial (Qf₀) para cada acuífero se han tomado con referencia los datos hidrométricos del IGME, ya que no existen datos concretos al respecto. En la tabla 21 se incluyen los valores finalmente concedidos a los caudales drenados por los acuíferos en el instante previo al periodo de simulación.

En algunos acuíferos ha sido necesario modificar la superficie permeable para considerar la recarga que reciben desde materiales semipermeable suprayacentes.

Para ello se ha fijado el concepto de superficie de recarga adicional, que para el acuífero Gracia-Morenita es de 8,44 km² (margas cretácicas), para el acuífero Lías de Jabalcuz 2,00 km² (margas y margocalizas del Cretácico Superior) y para el acuífero



Dogger de Jabalcuz 4,63 km² (margas y margocalizas del Cretácico Superior) .

Figura 45. Cálculo de las aportaciones (Polígonos de Thiessen)

Respecto a las precipitaciones, se han considerado las precipitaciones mensuales correspondientes a un total de 7 estaciones del INM. Para el cálculo de la aportación de agua de lluvia a cada una de las subcuencas consideradas se han trazado los correspondientes polígonos de Thiessen (ver figura 43), utilizados como referencia para establecer la cuota de reparto de la significación de las precipitaciones registradas en cada una de las estaciones sobre las subcuencas analizadas.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se ha partido de los datos mensuales de temperaturas disponibles y se ha calculado mediante el método de Thornthwaite. La asignación de los valores de ETP a cada subcuenca se ha fijado en función de los polígonos de Thiessen. En las simulaciones se ha considerado que los valores de humedad en el suelo para el inicio del periodo de simulación (H_0) son nulos, supuesto aceptable considerando las características climatológicas de la zona de estudio y que los intervalos de simulación corresponden a meses distribuidos en años hidrológicos (octubre-septiembre), por tanto, es factible, que en el instante inicial de la simulación, que coincide con el final del estiaje, los suelos no dispongan de humedad remanente.

SUPERFICIES	5335	5171A	5264B	5330A	5403	5406E	5536I	Suma (ha)
Embalse Quiebrajano	0	0	2.336	0	0	7.255	134	9725
Bajo Quiebrajano	0	0	6.617	351	0	446	0	7414
Río Frío	0	0	297	9.279	0	369	0	9945
E-84 (resto)Río Jaén	0	0	1.850	408	0	0	0	2257
Embalse Víboras	0	0	0	5.144	0	13.142	0	18287
E-82 (resto)	0	0	0	2.660	0	478	0	3139
Suma	0	0	11.099	0	0	21.691	134	50.765
% respecto total	0%	0%	22%	0%	0%	43%	0%	100%
COEFICIENTES DE REPARTO	5335	5171A	5264B	5330A	5403	5406E	5536I	
Embalse Quiebrajano	0,000	0,000	0,240	0,000	0,000	0,746	0,014	
Bajo Quiebrajano	0,000	0,000	0,893	0,047	0,000	0,060	0,000	
Río Frío	0,000	0,000	0,030	0,933	0,000	0,037	0,000	
E-84 (resto)Río Jaén	0,000	0,000	0,820	0,181	0,000	0,000	0,000	
Embalse Víboras	0,000	0,000	0,000	0,281	0,000	0,719	0,000	
E-82 (resto)	0,000	0,000	0,000	0,848	0,000	0,152	0,000	

Tabla 23. Representatividad de las estaciones INM en la aportación de las subcuencas (Coeficientes de reparto mediante Polígonos de Thiessen)

6.8 CÁLCULO DE APORTACIONES POR SUBCUENCAS

Considerando los resultados obtenidos de la aplicación del modelo P-E de Temez modificado (ver anejo nº2), se han obtenido los siguientes datos para cada cuenca y subcuenca simuladas:

- Aportación mensual superficial (hm^3/mes) en régimen natural procedente de la composición de la escorrentía estrictamente superficial y la escorrentía hipodérmica.
- Aportación mensual (hm^3/mes) en régimen natural procedente de la escorrentía subterránea.

6.8.1 Subcuenca Embalse Quiebrajano

En la figura 44 se incluyen la serie de aportación calculada en régimen natural (datos mensuales para el periodo 1951-2002) para el embalse del Quiebrajano correspondiente a su cuenca vertiente natural, distinguiendo la componente superficial y la subterránea.

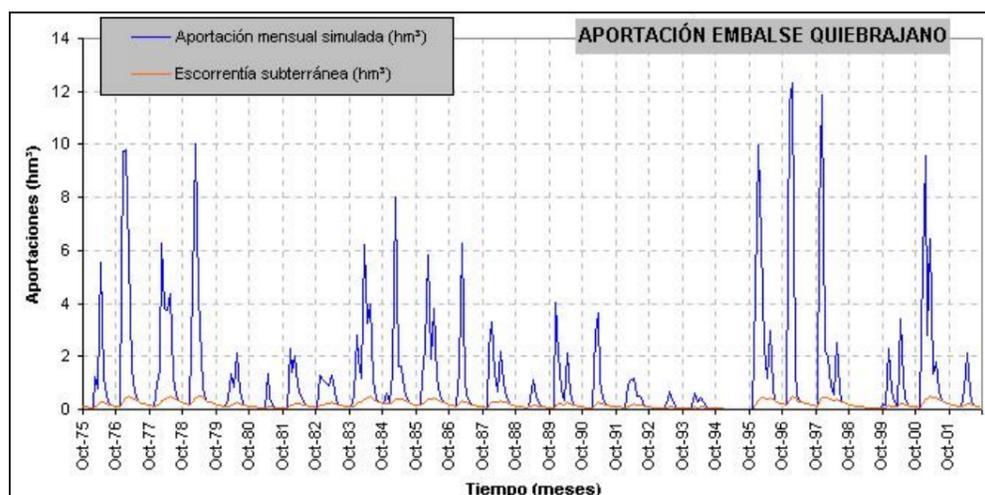


Figura 46. Descomposición del hidrograma para la aportación correspondiente al embalse del Quiebrajano

En la figura 45, se ofrecen los resultados obtenidos, pero correspondientes a los promedios mensuales.

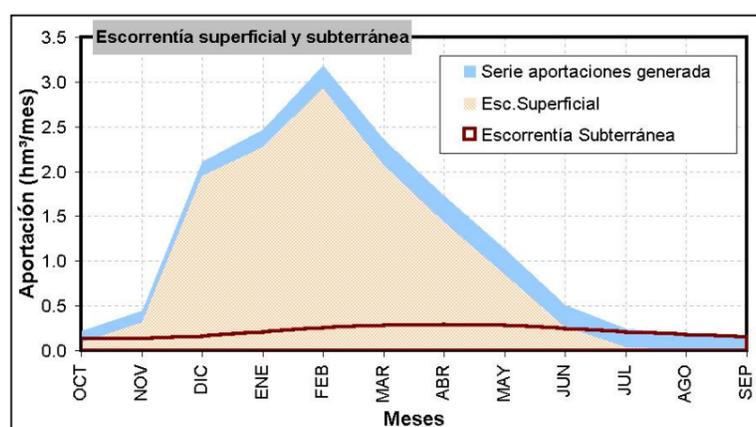


Figura 47. Aportación mensual media en el embalse del Quiebrajano. Hidrograma correspondiente a la simulación para la serie 1951-2001

En el desarrollo de un modelo de simulación de la gestión, carece de sentido práctico separar la escorrentía hipodérmica de la superficial, ya que teniendo en cuenta que el intervalo de simulación considerado corresponde al mes, la escorrentía hipodérmica no ejerce ninguna función reguladora, pudiendo tratarse conjuntamente con la estrictamente superficial. Bajo esta apreciación se han tratado los datos obtenidos con el modelo P-E Temez modificado en el modelo de gestión conjunta desarrollado, de forma que, la escorrentía superficial recoge la estrictamente superficial más la hipodérmica.

Se ha realizado un análisis de la aportación simulada al embalse del Quiebrajano ajustando la serie obtenida mediante la función de Goodrich, que permite fijar la aportación para los años tipo seco, medio y húmedo. Así, se ha fijado que la aportación media para años secos sería de 4 hm³, para años medios de 14,5 hm³ y para años húmedos 31 hm³.

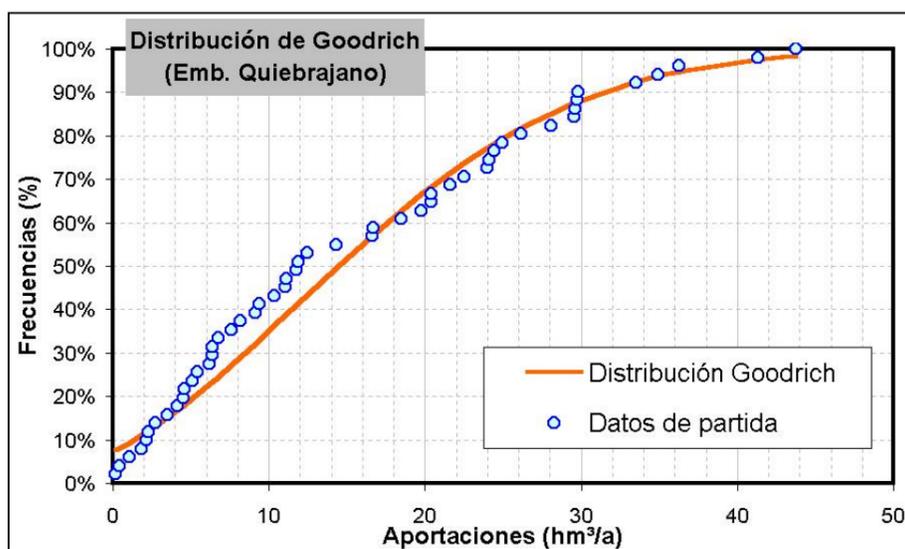


Figura 48. Ajuste mediante la distribución de Goodrich para las aportaciones simuladas mediante el modelo de Temez en el embalse del Quiebrajano (serie 1951-2002)

Asimismo, se podrían fijar los siguientes umbrales en la clasificación de las aportaciones al embalse: años secos < 7,5 hm³, años medios 7,5 a 24 hm³/a y años húmedos > 24 hm³.

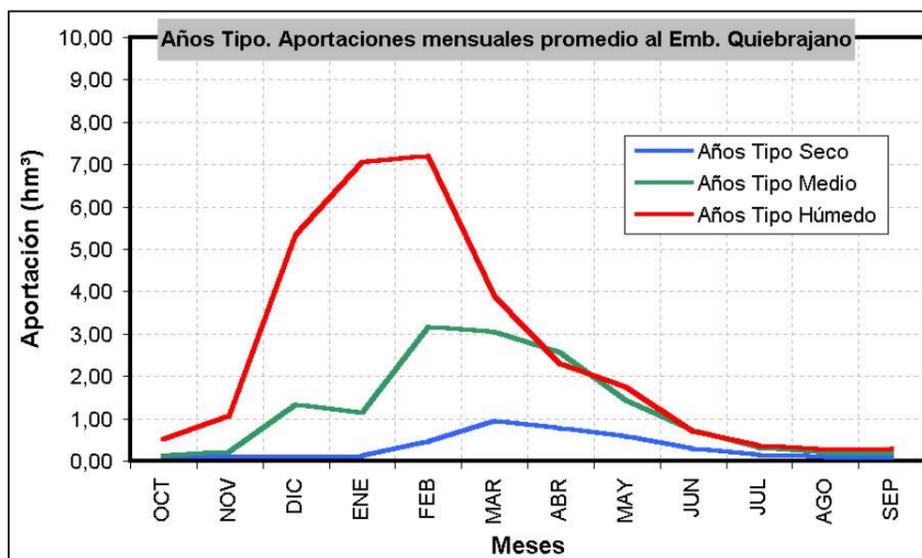


Figura 49. Distribución mensual promedio de las aportaciones al embalse del Quiebrajano según años tipo

6.8.2 Subcuenca Embalse del Víboras

En la figura 48 se incluyen la serie de aportación calculada en régimen natural (datos mensuales para el periodo 1951-2002) para el embalse del Víboras, correspondiente a su cuenca vertiente natural, distinguiendo la componente superficial y la subterránea.

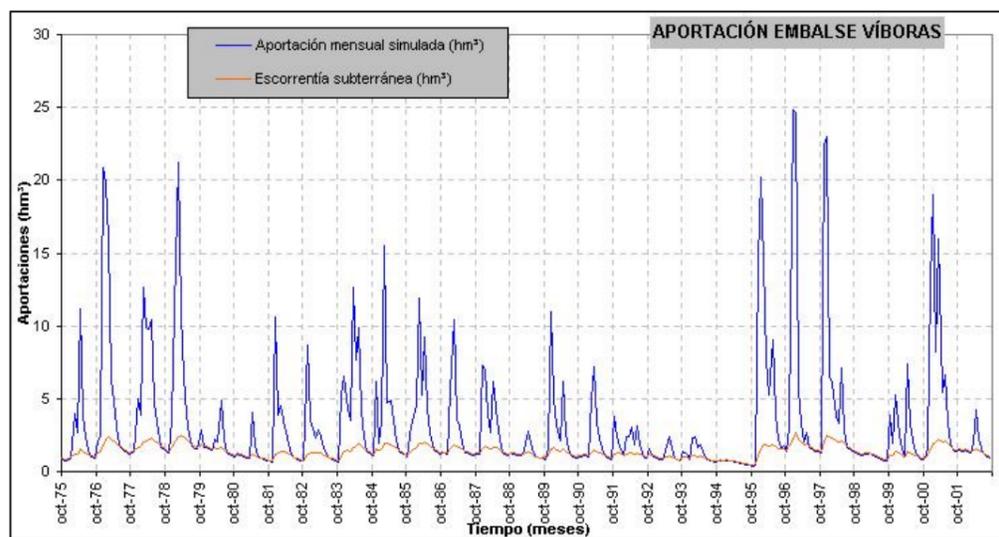


Figura 50. Descomposición del hidrograma para la aportación correspondiente al embalse del Víboras

En la figura 49, se ofrecen los resultados obtenidos, pero correspondientes a los promedios mensuales.

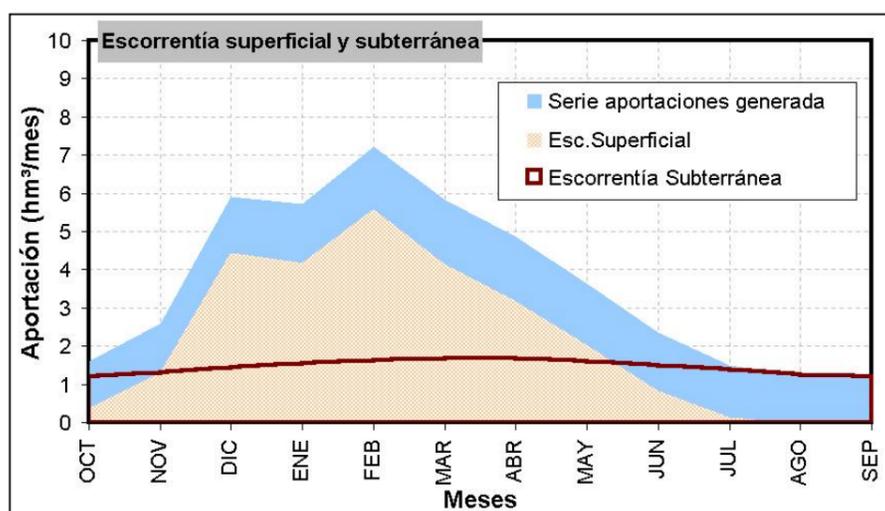


Figura 51. Aportación mensual media en el embalse del Víboras. Hidrograma correspondiente a la simulación para la serie 1951-2001

Al igual que se ha ejecutado para el embalse del Quebrajano, se ha realizado un análisis de la aportación simulada al embalse del Víboras, ajustando la serie obtenida mediante la función de Goodrich, que permite fijar la aportación para los años tipo seco, medio y húmedo. Así, se ha fijado que la aportación media para años secos sería de 18 hm³, para años medios de 42 hm³ y para años húmedos 81 hm³.

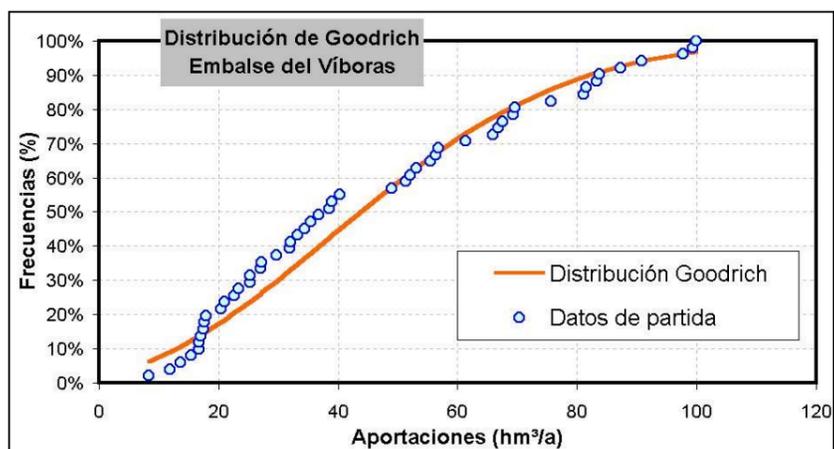


Figura 52. Ajuste mediante la distribución de Goodrich para las aportaciones simuladas mediante el modelo de Temez en el embalse del Víboras (serie 1951-2002)

Así, podrían fijarse los siguientes umbrales en la clasificación de las aportaciones al embalse: años secos < 27 hm³, años medios 27 a 66 hm³/a y años húmedos > 66 hm³.

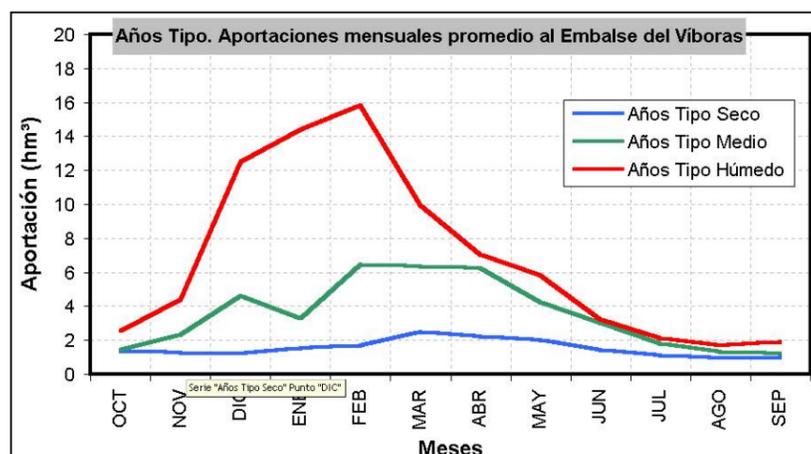


Figura 53. Distribución mensual promedio de las aportaciones al embalse del Víboras según años tipo

6.8.3 Subcuenca Estación Aforos E-84

Al igual que se han analizado las aportaciones obtenidas mediante la aplicación del método de Temez a los embalses del Quiebrajano y Víboras, a continuación se presenta el análisis de aportaciones en régimen natural a la estación de aforos E-84, la cual recoge los importantes drenajes subterráneos de los acuíferos Grajales y Pandera, que descargan aguas abajo de la presa del Quiebrajano.

Así, en la figura 52 se incluyen la serie de aportación calculada en régimen natural (datos mensuales para el periodo 1951-2002) para la estación de aforos E-84, distinguiendo la componente superficial y la subterránea.

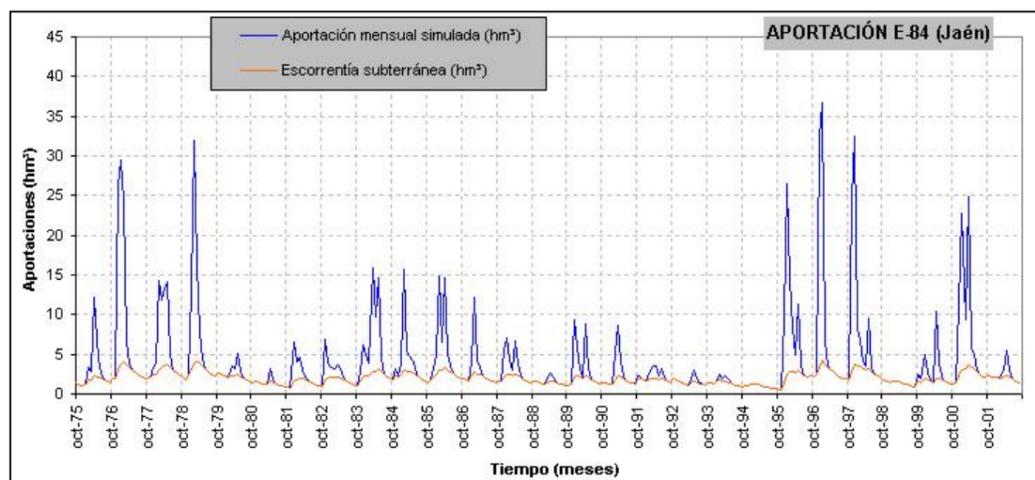


Figura 54. Descomposición del hidrograma para la aportación correspondiente a la estación de aforos E-84

En la figura 53, se ofrecen los resultados obtenidos, pero correspondientes a los promedios mensuales.

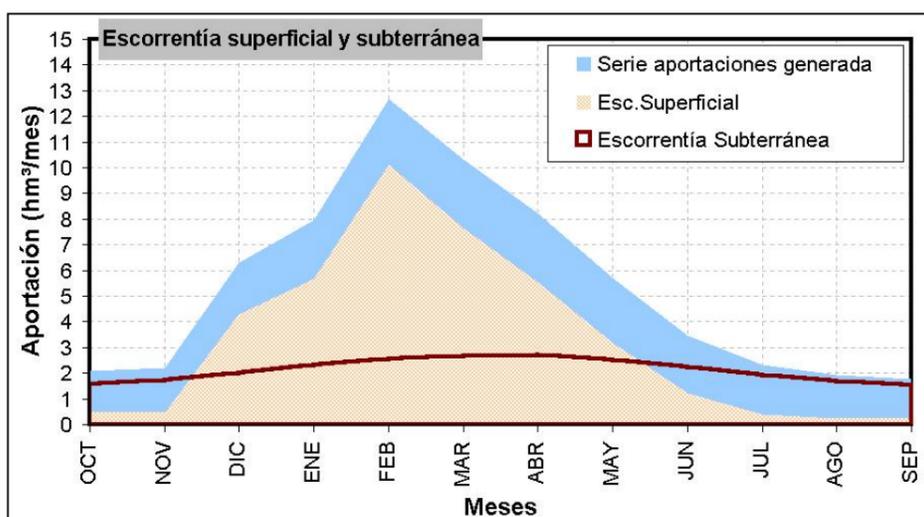


Figura 55. Aportación mensual media en la estación de aforos E-84. Hidrograma correspondiente a la simulación para la serie 1951-2001

También para la serie de aportaciones en régimen natural obtenida para la estación de aforos E-84 se ha realizado un análisis ajustando la serie obtenida mediante la función de Goodrich, que permite fijar la aportación para los años tipo seco, medio y húmedo. Así, se ha fijado que la aportación media para años secos sería de 22 hm³, para años medios de 47 hm³ y para años húmedos 102 hm³.

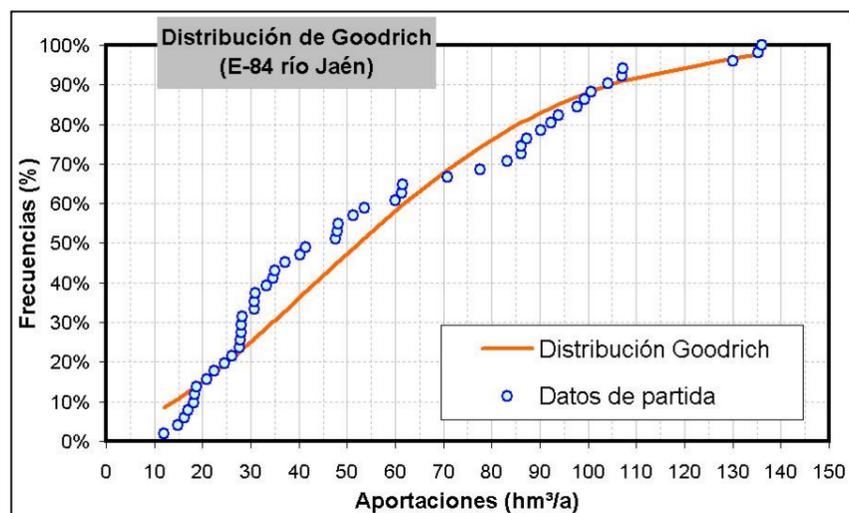


Figura 56. Ajuste mediante la distribución de Goodrich para las aportaciones simuladas mediante el modelo de Temez en la estación de aforos E-84 (serie 1951-2002)

Asimismo, se podrían fijar los siguientes umbrales en la clasificación de las aportaciones al embalse: años secos $< 31 \text{ hm}^3$, años medios $31 \text{ a } 83 \text{ hm}^3/\text{a}$ y años húmedos $> 83 \text{ hm}^3$.

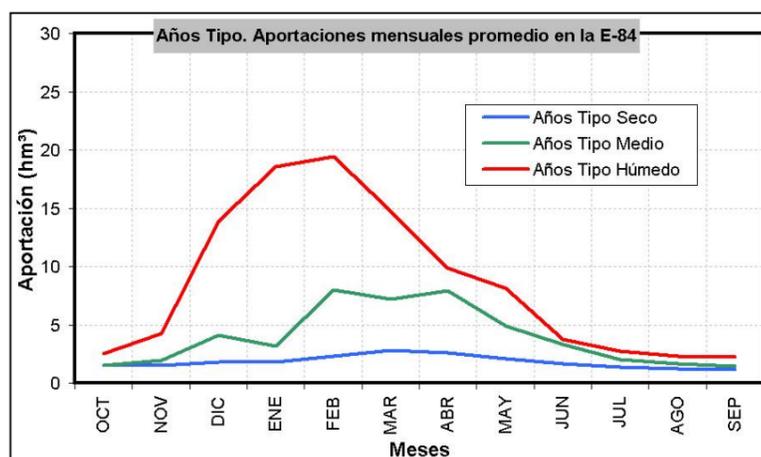


Figura 57. Distribución mensual promedio de las aportaciones en la estación de aforos E-84 según años tipo

Una vez analizados las series de aportación obtenidas mediante el modelo de Temez para el régimen natural, utilizando este modelo precipitación-aportación desarrollado, se han calculado las aportaciones de las cuencas vertientes correspondiente a las subcuencas definidas.

6.8.4 Subcuenca del río Jaén

Esta subcuenca incluye las subcuencas de los ríos Quiebrajano y Frío, y la parte correspondiente a la subcuenca del río Jaén hasta la estación de aforos E-84 de la CHG. A esta subcuenca, de $293,4 \text{ km}^2$ de extensión, le corresponde una aportación promedio anual de $56,77 \text{ hm}^3$, con las distribuciones mensuales que se muestran en las tablas 23 a 24.

Esta subcuenca presenta una aportación anual específica promedio de 193 mm , para una cuenca de recepción en la que el 38% de la superficie es permeable.

MESES	Embalse Quebrajano	Río Jaén ^a	Río Frío	Suma
OCT	0,10	0,09	0,02	0,22
NOV	0,30	0,30	0,19	0,79
DIC	1,92	1,41	1,09	4,43
ENE	2,33	1,71	1,23	5,27
FEB	3,20	2,35	1,67	7,22
MAR	2,30	2,02	1,17	5,49
ABR	1,58	1,59	0,95	4,12
MAY	0,94	0,99	0,56	2,49
JUN	0,32	0,28	0,08	0,68
JUL	0,05	0,03	0,00	0,08
AGO	0,00	0,00	0,00	0,00
SEP	0,01	0,01	0,00	0,02
Anual	13,06	10,79	6,95	30,81

^a Se incluye la subcuenca del Quebrajano aguas abajo del embalse y la subcuenca del río Jaén hasta la estación de aforos E-84

Tabla 24. Escorrentía superficial promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Jaén (estación de aforos E-84)

MESES	Embalse Quebrajano	Río Jaén ^a	Río Frío	Suma
OCT	0,14	1,21	0,25	1,60
NOV	0,13	1,33	0,28	1,74
DIC	0,17	1,55	0,32	2,03
ENE	0,20	1,76	0,35	2,32
FEB	0,26	1,96	0,39	2,62
MAR	0,29	2,06	0,41	2,75
ABR	0,30	2,05	0,41	2,77
MAY	0,29	1,91	0,39	2,58
JUN	0,26	1,68	0,35	2,28
JUL	0,22	1,45	0,30	1,97
AGO	0,18	1,27	0,27	1,72
SEP	0,16	1,17	0,24	1,57
Anual	2,60	19,40	3,96	25,96

^a Se incluye la subcuenca del Quebrajano aguas abajo del embalse y la subcuenca del río Jaén hasta la estación de aforos E-84

Tabla 25. Escorrentía subterránea (caudal base) promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Jaén (estación de aforos E-84)

MESES	Embalse Quiebrajano	Río Jaén ^a	Río Frío	Suma
OCT	0,24	1,31	0,27	1,82
NOV	0,43	1,63	0,46	2,53
DIC	2,09	2,96	1,41	6,46
ENE	2,53	3,48	1,58	7,59
FEB	3,46	4,31	2,06	9,83
MAR	2,59	4,08	1,57	8,24
ABR	1,89	3,64	1,36	6,89
MAY	1,23	2,90	0,94	5,08
JUN	0,57	1,96	0,43	2,96
JUL	0,27	1,48	0,30	2,05
AGO	0,19	1,27	0,27	1,72
SEP	0,17	1,17	0,24	1,59
Anual	15,66	30,20	10,91	56,77

^a Se incluye la subcuenca del Quiebrajano aguas abajo del embalse y la subcuenca del río Jaén hasta la estación de aforos E-84

Tabla 26. *Aportación promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Jaén (estación de aforos E-84)*

6.8.5 Subcuenca del Víboras

Esta subcuenca incluye la subcuenca del río Víboras hasta la estación de aforos E-82 de la CHG (Venta Pantalones), situadas aguas abajo del embalse del Víboras. A esta subcuenca, de 214,3 km² de extensión, le corresponde una aportación promedio anual de 47,87 hm³, con las distribuciones mensuales que se muestran en las tablas 26 a 27.

Esta subcuenca presenta una aportación anual específica promedio de 223 mm, para una cuenca de recepción en la que el 31% de la superficie es permeable. La aportación específica es algo superior a la subcuenca del río Jaén, por la circunstancia que se produce una transferencia subterránea de recursos a favor de los acuíferos que afloran en la cuenca alta del Quiebrajano y descargan hacia el río Grande (alto Víboras) (acuíferos Ventisquero y Cornicabra-Noguerones).

MESES	Embalse del Víboras	Bajo Víboras ^a	Suma
OCT	0,50	0,00	0,50
NOV	1,29	0,00	1,29
DIC	4,39	0,00	4,39
ENE	4,43	0,00	4,43
FEB	6,04	0,21	6,24
MAR	4,49	0,23	4,72
ABR	3,51	0,20	3,71
MAY	2,35	0,24	2,59
JUN	1,03	0,13	1,17
JUL	0,25	0,10	0,35
AGO	0,02	0,04	0,07
SEP	0,12	0,00	0,12
Anual	28,42	1,15	29,57

^a Se incluye la subcuenca del Víboras aguas abajo del embalse hasta la estación de aforos E-82

Tabla 27. *Escorrentía superficial promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Víboras (estación de aforos E-82)*

MESES	Embalse del Víboras	Bajo Víboras ^a	Suma
OCT	1,23	0,04	1,27
NOV	1,32	0,03	1,35
DIC	1,46	0,04	1,49
ENE	1,56	0,04	1,60
FEB	1,66	0,05	1,71
MAR	1,70	0,05	1,75
ABR	1,71	0,06	1,76
MAY	1,65	0,06	1,70
JUN	1,54	0,05	1,59
JUL	1,41	0,05	1,46
AGO	1,29	0,04	1,33
SEP	1,22	0,04	1,25
Anual	17,74	0,53	18,27

^a Se incluye la subcuenca del Víboras aguas abajo del embalse hasta la estación de aforos E-82

Tabla 28. *Escorrentía subterránea (caudal base) promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Víboras (estación de aforos E-82)*

MESES	Embalse del Víboras	Bajo Víboras ^a	Suma
OCT	1,73	0,04	1,76
NOV	2,60	0,03	2,64
DIC	5,85	0,04	5,88
ENE	5,99	0,04	6,03
FEB	7,70	0,25	7,95
MAR	6,20	0,28	6,47
ABR	5,21	0,26	5,48
MAY	4,00	0,30	4,29
JUN	2,57	0,19	2,76
JUL	1,66	0,14	1,80
AGO	1,31	0,08	1,40
SEP	1,33	0,04	1,37
Anual	46,16	1,69	47,84

^a Se incluye la subcuenca del Víboras aguas abajo del embalse hasta la estación de aforos E-82

Tabla 29. *Aportación promedio mensual en régimen natural simulada para la subcuenca del río Víboras (estación de aforos E-82)*

6.8.6 Acuíferos periféricos

El Sistema Quebrajano-Víboras presenta como fuentes de recursos, no sólo las aportaciones de las subcuencas de los ríos Jaén y Víboras, existen, además, una serie de acuíferos situados en las proximidades de estas subcuencas que son captados para usos urbanos y agrícolas, pero que descargan hacia otras subcuencas.

Estos acuíferos se incluyen dentro de las unidades hidrogeológicas 05.16/Jabalruz (Lías de Jabalruz, Cerro Fuente y Dogger de Jabalruz), 05.17/Jaén (Castillo-La Ímora y La Peña de Jaén) y 05.70/Gracia-Ventisquero (Gracia-Morenita), además del acuífero aislados de Ahillos.

Para estos acuíferos se ha calculado la aportación en régimen natural utilizando el modelo de Temez, aplicando coeficientes y parámetros similares a los obtenidos para las subcuencas analizadas. En la tabla 29 se resumen los resultados obtenidos, donde se indica la descarga subterránea media anual. Estos acuíferos periféricos presentan unos recursos renovables medios anuales de 21,25 hm³ y son

intensamente explotados, excepto el de Gracia-Morenita, para satisfacer demandas del Sistema Quebrajano-Víboras.

MESES	Sierra Ahillos	Gracia-Morenita	Acuíferos Jaén-Jabalruz	Suma
OCT	0,24	0,72	0,25	1,21
NOV	0,26	0,79	0,39	1,44
DIC	0,30	0,92	0,57	1,79
ENE	0,33	1,04	0,70	2,07
FEB	0,37	1,16	0,83	2,36
MAR	0,38	1,20	0,83	2,41
ABR	0,39	1,19	0,77	2,35
MAY	0,37	1,12	0,61	2,10
JUN	0,33	1,01	0,41	1,75
JUL	0,29	0,89	0,27	1,44
AGO	0,25	0,78	0,18	1,21
SEP	0,23	0,72	0,16	1,11
Anual	3,75	11,54	5,97	21,25

Tabla 30. *Aportación promedio mensual en régimen natural simulada para los acuíferos de Jabalruz-Jaén-Ahillos*

6.8.7 Aportaciones del Sistema Quebrajano-Víboras

Las subcuencas hidrográficas y acuíferos periféricos que constituyen las fuentes de suministro del Sistema Quebrajano-Víboras presentan una aportación media anual de 125,86 hm³, frente a unas demandas máximas anuales de 71 hm³ (40,2 hm³ correspondientes a usos consuntivos y 30,8 hm³ a caudales ecológicos). Por tanto, en la situación actual las demandas alcanzan un 56% de los recursos renovables medios.

MESES	Subcuenca río Jaén	Subcuenca río Víboras	Acuíferos periféricos	Suma
OCT	1,82	1,76	1,21	4,80
NOV	2,53	2,64	1,44	6,61
DIC	6,46	5,88	1,79	14,13
ENE	7,59	6,03	2,07	15,69
FEB	9,83	7,95	2,36	20,14
MAR	8,24	6,47	2,41	17,13
ABR	6,89	5,48	2,35	14,72
MAY	5,08	4,29	2,10	11,47
JUN	2,96	2,76	1,75	7,47
JUL	2,05	1,80	1,44	5,30
AGO	1,72	1,40	1,21	4,33
SEP	1,59	1,37	1,11	4,07
Anual	56,77	47,84	21,25	125,86

Tabla 31. *Aportación simulada para el régimen natural en el Sistema Quebrajano-Víboras (serie 1951-2002)*

No obstante la aportación mínima simulada para el periodo 1951-2002 en el sistema asciende a 28,18 hm³ (11,92 hm³ para el río Jaén, 8,35 hm³ para el río Víboras y 7,47 hm³ para los acuíferos periféricos: 0,80 hm³ Ahillos, 5,24 hm³ Gracia-Morenita y 1,43 hm³ Jabalcuz-Jaén), inferior a la demanda anual promedio del sistema.

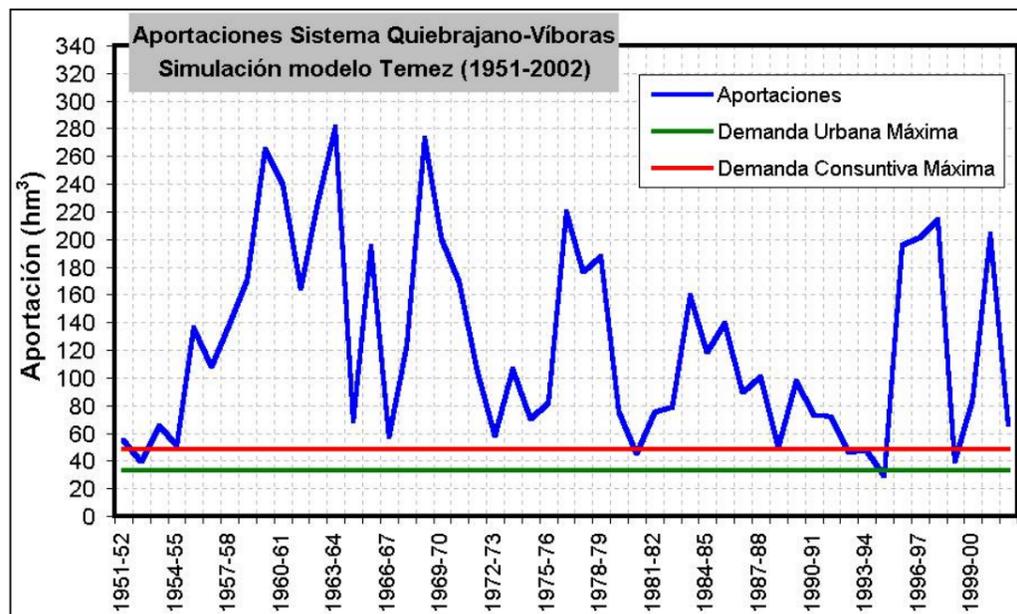


Figura 58. Comparación de las aportaciones anuales (serie obtenida mediante simulación) y las demandas máximas registradas en el Sistema Quebrajano-Víboras

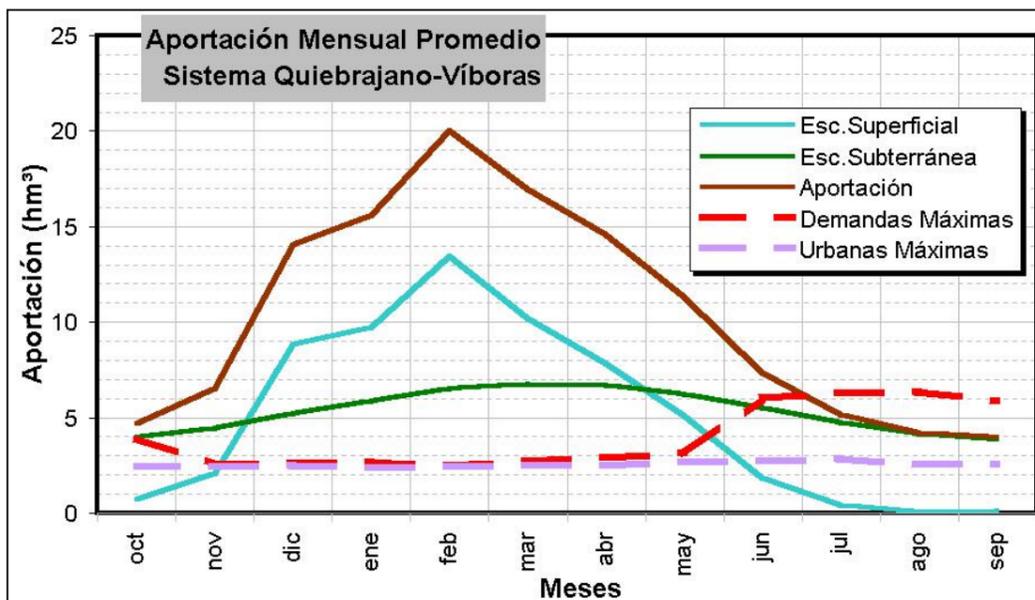


Figura 59. Comparación de las aportaciones mensuales medias (serie obtenida mediante simulación) y las demandas máximas registradas en el Sistema Quebrajano-Víboras

Como se observa en las figuras 56 y 57, el Sistema Quebrajano-Víboras exige de regulación para la satisfacción de las demandas, el objetivo del presente proyecto es articular el esquema de gestión que optimiza el concurso de las diferentes infraestructuras hidráulicas existentes en la regulación de las aportaciones.

Para finalizar, en la tabla 32 se resumen las características hidrológicas principales de las subcuencas objeto de análisis. El coeficiente de lluvia útil sería de 0,298 (206 mm/año), esto es, el 29,7% de la precipitación se transforma en aportación, de la que un 57,7% pasa a escorrentía superficial (119 mm/año) y un 42,3% (87 mm/año) a infiltración hacia los acuíferos.

	Embalse Quebrajano	Río Jaén ^a	Río Frío	E-84	Embalse Víboras	Bajo Víboras ^b	E-82	Jaén-Víboras
Precipitación promedio anual (mm)	666	619	625	619	681	681	681	655
Aportación Específica Promedio (mm/a)	161	312	110	193	252	54	223	206
Coef. Escorrentía Superficial ^c	0,202	0,180	0,112	0,170	0,228	0,054	0,203	0,182
Coef. Infiltración ^d								0,116
Superficie total (km ²)	97,2	96,7	99,4	293,4	182,9	31,4	214,3	507,7
Superf. Permeable (km ²)	39,1	60,0	13,3	112,4	60,1	6,1	66,2	178,6
Superf. Impermeable (km ²)	58,2	36,7	86,2	181,0	122,7	25,3	148,0	329,1
Aportac. Específica Subterránea (mm/a)	27	201	40	88	97	17	85	87
Aportac. Específica Superficial (mm/a)	134	112	70	105	155	37	138	119

^a Se incluye la subcuenca del Quebrajano aguas abajo del embalse y la subcuenca del río Jaén hasta la estación de aforos E-84

^b Se incluye la subcuenca del Víboras aguas abajo del embalse hasta la estación de aforos E-82

^c Porcentaje de la precipitación que se transforma en escorrentía superficial

^d Porcentaje de la precipitación que se transforma en escorrentía subterránea (sólo se puede establecer en el conjunto por las transferencias laterales subterráneas que se producen entre subcuencas)

Tabla 32. Aportación específica y coeficientes de escorrentía, Simulación aportaciones régimen natural cuencas del río Jaén y Víboras

6.9 CALIBRACIÓN DE LAS SERIES DE APORTACIÓN

Al objeto de establecer la bondad de la calibración obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado, en la cuencas de los ríos Jaén y Víboras, donde se dispone de series foronómicas mensual de la CHG (estaciones E-84, E-82 y aportaciones al embalse del Quiebrajano), se ha calculado el quasi-coeficiente de correlación (QCC) que muestran las aportaciones anuales registradas y las simuladas, el cual se calcula mediante la expresión:

$$QCC = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (A_i - A'_i)^2}{\sum (A'_i - A'_m)^2}} \quad (13)$$

donde:

QCC, quasi-coeficiente de correlación que muestra la bondad de la simulación actuando como un coeficiente de correlación, es decir, cuando más se aproxime a la unidad mejor resulta el ajuste,

A_i , aportación mensual registrada en el año i -ésimo

A'_i , aportación mensual simulada en el año i -ésimo

A'_m , aportación media anual simulada

6.9.1 Embalse del Quiebrajano

Partiendo de las series de aportación registradas para el embalse del Quiebrajano en el periodo 1976-2002 (con una laguna entre 1985-1989) y las series de aportación obtenidas mediante la aplicación del método de Temez, se ha obtenido un quasi-coeficiente de correlación para las aportaciones anuales de 0,955, mientras que para las aportaciones mensuales se obtiene un coeficiente de 0,909, valores que permiten calificar el ajuste como muy bueno.

Esta comparativa presenta un especial interés por tratarse de un subcuenca que sigue funcionando en régimen natural.

AÑO	Aportación Simulada (hm ³ /a)	Aportación Registrada (hm ³ /a)	Estadísticos	Aportación Simulada (hm ³ /a)	Aportación Registrada (hm ³ /a)
1976-77	28,95	36,47	Mínimo	0,22	0,39
1977-78	23,24	24,79	Q25%	5,01	3,73
1978-79	23,50	29,23	Q50%	8,94	8,59
1979-80	6,48	7,75	Promedio	13,47	13,64
1980-81	2,66	2,11	Q75%	23,44	25,43
1981-82	7,88	11,40	Máximo	29,09	36,47
1982-83	7,27	6,64	Desv. Est.	10,81	11,55
1983-84	21,76	16,39	Cv	0,802	0,847
1984-85	16,09	20,80			
1989-90	10,69	6,75			
1990-91	8,83	7,06			
1991-92	5,19	9,43			
1992-93	1,80	2,38			
1993-94	2,17	2,02			
1994-95	0,22	0,39			
1995-96	28,99	25,64			
1996-97	27,63	28,58			
1997-98	28,88	27,26			
1998-99	1,06	0,53			
1999-00	9,05	3,58			
2000-01	29,09	26,79			
2001-02	4,95	4,18			

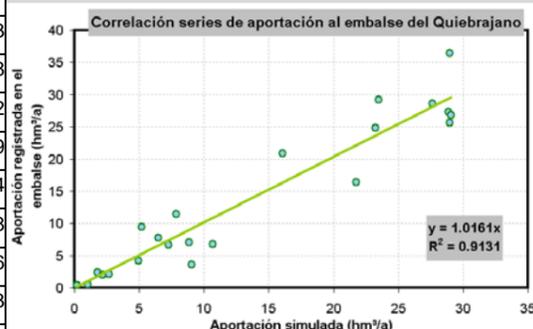


Tabla 33. Aportaciones anuales registradas y obtenidas mediante el modelo P-E de Temez para la cuenca de recepción del embalse del Quebrajano (datos de explotación del embalse, CHG)

Asimismo, también se observan que los ajustes son muy buenos si se comparan los datos mensuales registrados y simulados (figura 58), los datos promedio mensuales registrados y simulados (figura 59), la serie anual registrada y simulada (figura 57) o los caudales clasificados (figura 61).

Estas circunstancias permiten llevar a cabo la simulación de la gestión del embalse del Quebrajano con garantías respecto a la serie de aportaciones empleada para el río Quebrajano.

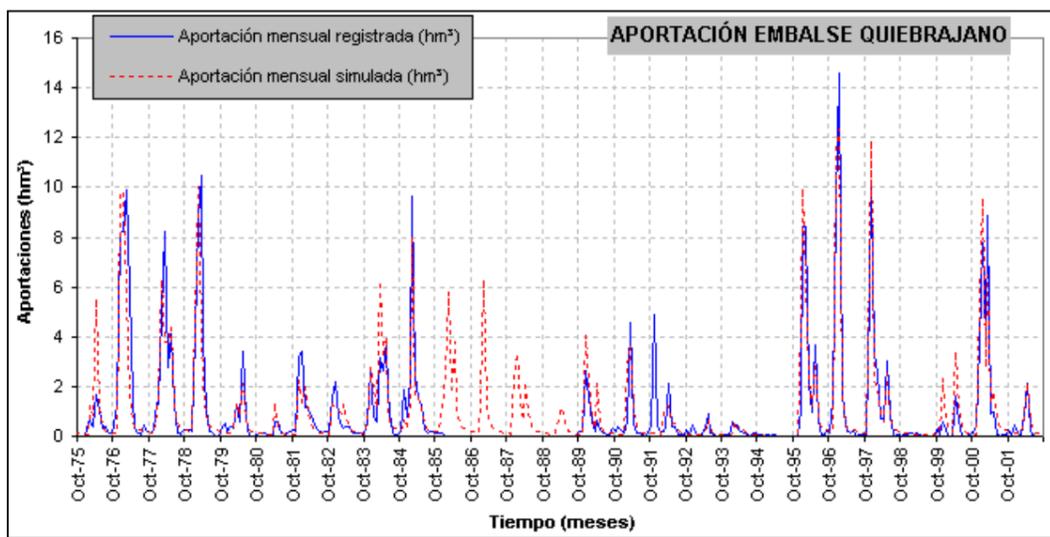


Figura 60. Serie aportación mensual registrada y simulada mediante el modelo P-E de Temez para el embalse del Quiebrajano (serie 1976-2002)

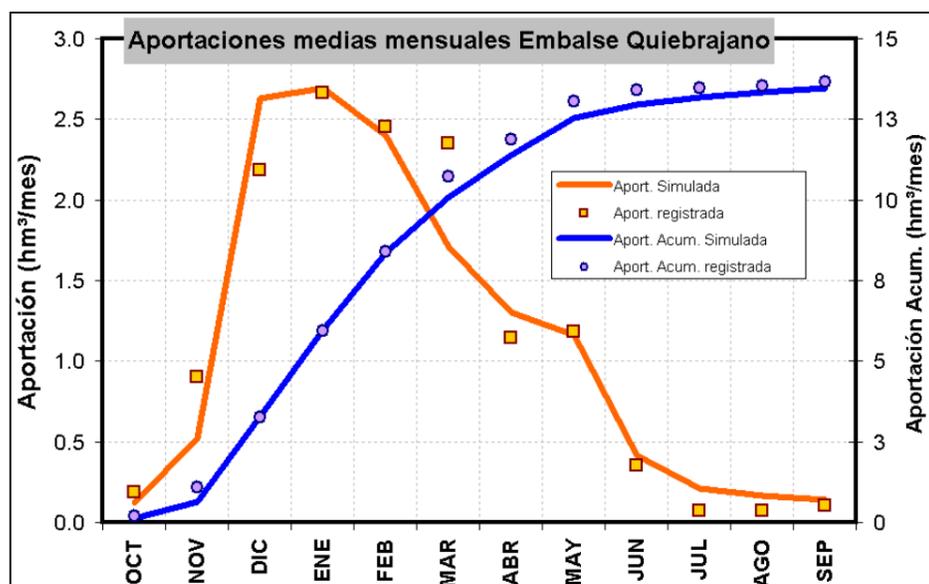


Figura 61. Comparativa de la aportación mensual promedio del río Quiebrajano registrada en el embalse Quiebrajano (periodo 1976-2002) y la simulada mediante el método P-E de Temez

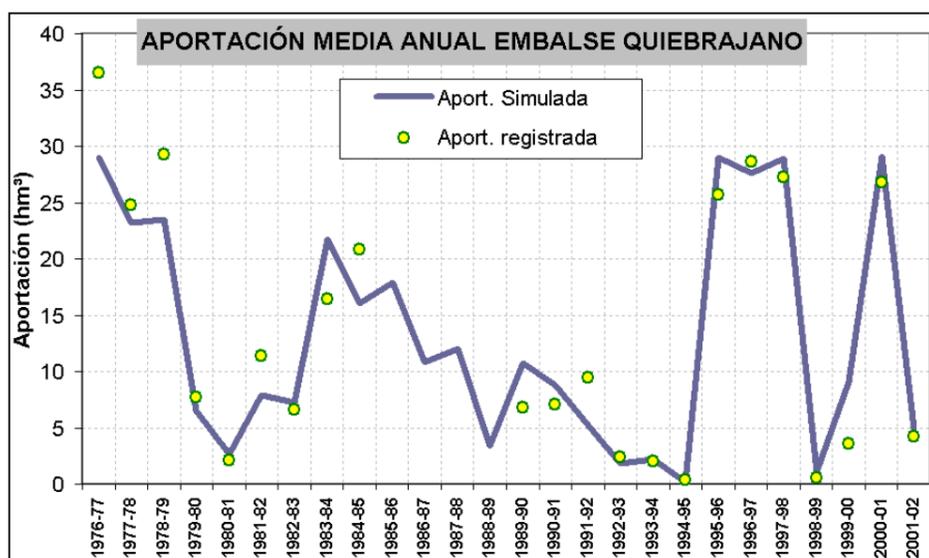


Figura 62. Comparativa de la aportación mensual promedio registrada en el embalse del Quiebrajano (periodo 1976-2002) y la simulada mediante el método P-E de Temez

En la figura 61 se plasma una comparativa de los caudales clasificados obtenidos para la simulación mediante el modelo P-E de Temez modificado utilizado y la serie de aportaciones registrada.

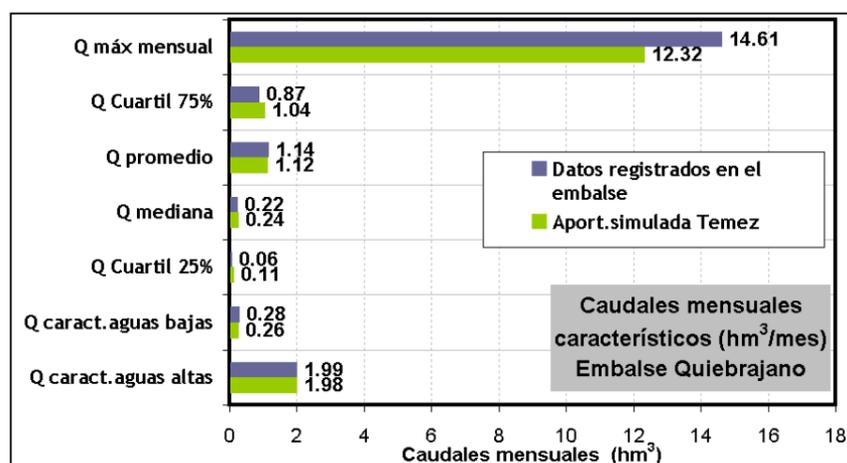


Figura 63. Comparativa entre la aportación registrada y la simulada mediante el modelo P-E de Temez para el embalse del Quiebrajano

En esta figura se muestra como la serie simulada se aproxima con bastante exactitud a la serie registrada en el embalse Quiebrajano, con la única salvedad de la peor calibración para los episodios de aportación más intensa, lo cual tiene una

relevancia menor en el estudio de regulación que se ha realizado y cuyos resultados se muestran en el presente informe.

Otra muestra de la bondad de la serie de aportaciones considerada en la simulación se muestra en las figuras 62 y 63, donde se comparan las curvas acumulativas de frecuencias de la serie registrada en el embalse Quiebrajano (datos CHG) y la serie obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado, tanto a nivel mensual como anual.

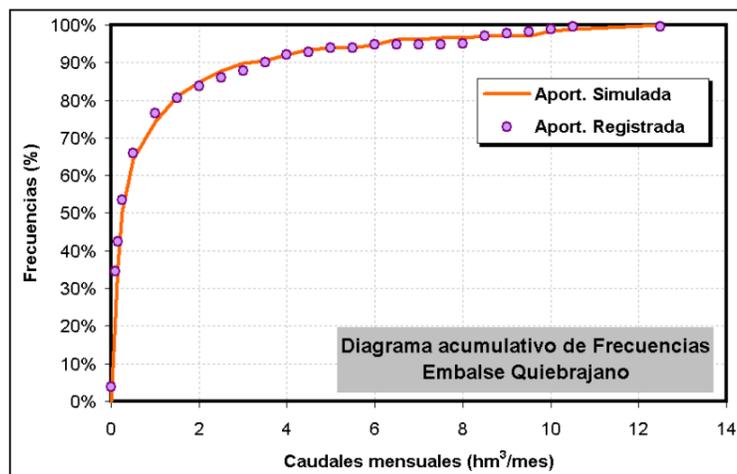


Figura 64. Comparativa del diagrama acumulativo de frecuencias en los caudales mensuales registrados en el embalse Quiebrajano (datos de la CHG) y la serie obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

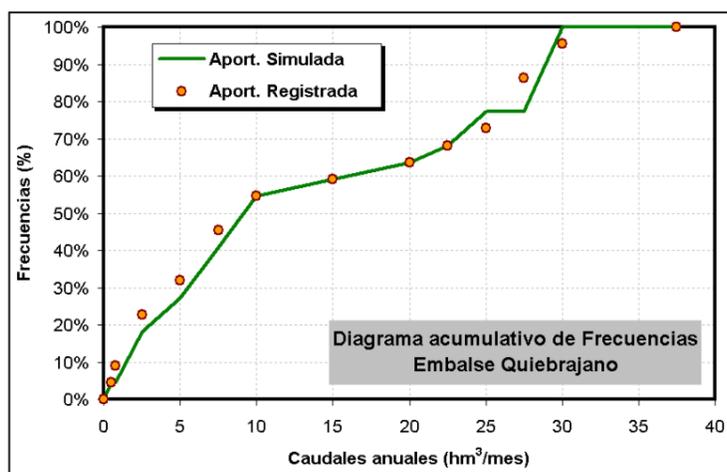


Figura 65. Comparativa del diagrama acumulativo de frecuencias en los caudales anuales registrados en el embalse La Concepción (datos de la CHG) y la serie obtenida mediante el modelo P-E de Temez modificado

6.9.2 Estación de aforos E-84 (Jaén)

La serie de aportaciones registradas en la subcuenca vertiente de la estación de aforos E-84 de la CHG corresponde a un régimen influenciado, tanto por la regulación ejercida por el embalse del Quebrajano como por las captaciones que se llevan a cabo para abastecimiento y riego en las principales surgencias (Nacimiento de río Frió y Manantiales de Mingo), como por los vertidos de la EDAR de Los Villares.

Por tanto, el análisis comparativo de las series de aportación obtenidas mediante el modelo de Temez y las series foronómicas de la CHG exigen la restitución de éstas últimas al régimen natural.

Las series foronómicas de la E-84 corresponden al periodo 1974-1998, existiendo saltos intermedios. La restitución de esta serie podría realizarse a partir de la estación E-29, pero las series presentan un grado de correlación mediocre.

	Embalse Quiebrajano	E83	E84	E29
Embalse Quiebrajano	1,000			
E83	0,678	1,000		
E84	0,752	0,631	1,000	
E29	0,767	0,600	0,603	1,000

Tabla 34. *Coefficientes de correlación entre serie foronómicas de las estaciones de la CHG ubicadas en la cuenca del Guadalbullón*

Utilizando los datos diarios suministrados por la CHG sobre la gestión del embalse (evolución de la cota de embalse, sueltas controladas, vertidos y pérdidas por evaporación) para el periodo 1989-2002, los datos de abastecimiento a Jaén (ofrecidos por Aqualia para el periodo 1998-2002) y estimando los caudales captados en Los Villares (abastecimiento y regadío) se ha restituido la serie de aportaciones generadas mediante el modelo de Temez desde el régimen natural al régimen influenciado, comparando la misma con la serie de aforos de la estación E-84 (CHG).

El análisis de los datos disponibles sobre la estación de aforos E-84 indica que ésta presenta anomalías en su funcionamiento. Basta comparar los datos registrados en la misma con los de la estación E-29 (ver figura 64), observando registros de caudales, para determinados meses superiores en la estación E-84 (cuenca vertiente de 293,4 km²) que en la E-29 (cuenca vertiente de 1.106,31 km²). Por tanto los datos registrados en la E-84 deberán ser considerados con las consiguientes reservas, no obstante, son los únicos datos disponibles de calibración de las series de aportación calculadas mediante la aplicación del método de Temez y a ellas se hará referencia.

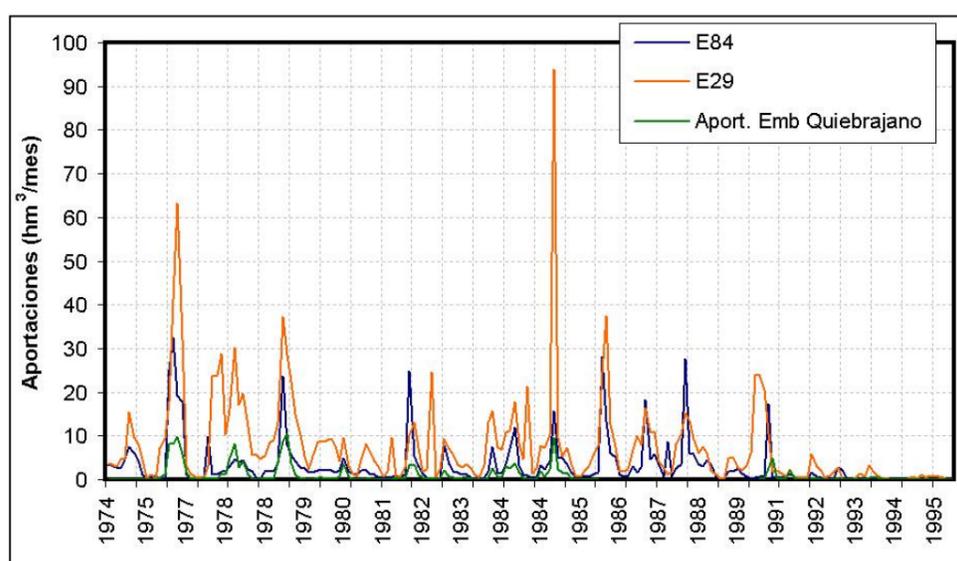


Figura 66. Comparativa de aportaciones registradas en las estaciones de aforo E-84 (Jaén) y E-29 (Mengíbar) CHG

Es probable para los registros en que la aportación registrada en la E-84 es muy superior a la fijada para la E-29, es posible un error tipográfico en los datos ofrecidos por CHG que han sido corregidos¹.

Así, partiendo de las series de aportación registradas en la estación de aforos E-84 en el periodo 1974-1998 (con datos ausentes y lagunas para los años 1975-76 y 1990-91) y las series de aportación obtenidas mediante la aplicación del método de Temez afectadas por las detracciones en manantiales, los bombeos en el acuífero Grajales (Peñas de Castro y La Merced), el efecto de regulación del embalse del Quiebrajano y los vertidos de ARU de Los Villares, esto es la serie simulada para el régimen influenciado, se ha obtenido un quasi-coeficiente de correlación para las aportaciones anuales de 0,844, mientras que para las aportaciones mensuales se obtiene un coeficiente de 0,843, valores que permiten calificar el ajuste como bueno.

¹ Feb-86, dato 28,10 corrección 8,10/Feb-87, dato 18,30 corrección 8,30/Dic-87, dato 27,70 corrección 7,70/Dic-89, dato 17,40 corrección 7,40

Años	Aportación Simulada (hm ³ /a)	Aportación Registrada (hm ³ /a)	Estadísticos	Aportación Simulada (hm ³ /a)	Aportación Registrada (hm ³ /a)
1974-75	24,56	37,70	Mínimo	2,73	0,60
1976-77	77,98	106,00	Q25%	20,33	20,90
1977-78	54,13	27,00	Q50%	28,15	37,70
1978-79	66,56	59,80	Promedio	37,09	36,52
1979-80	24,14	23,60	Q75%	54,13	43,50
1980-81	14,39	10,10	Máximo	83,73	106,00
1981-82	20,33	42,60	Desv. Est.	24,83	26,04
1982-83	25,80	20,90	Cv	0,669	0,713
1983-84	48,87	40,70			
1984-85	31,35	43,50			
1985-86	43,53	44,50			
1986-87	26,22	40,10			
1987-88	28,15	41,50			
1988-89	15,29	9,30			
1989-90	31,81	21,50			
1992-93	11,74	14,00			
1993-94	7,85	1,40			
1994-95	2,73	0,60			
1995-96	57,02	37,24			
1996-97	83,73	62,35			
1997-98	82,72	82,64			

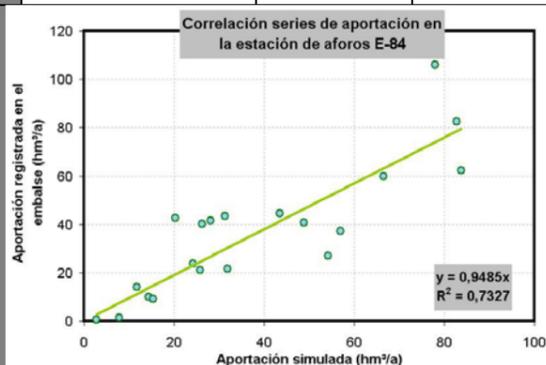


Tabla 35. Aportaciones anuales registradas y obtenidas mediante el modelo P-E de Temez para la cuenca de recepción del embalse del Quiebrajano (datos de explotación del embalse, CHG)

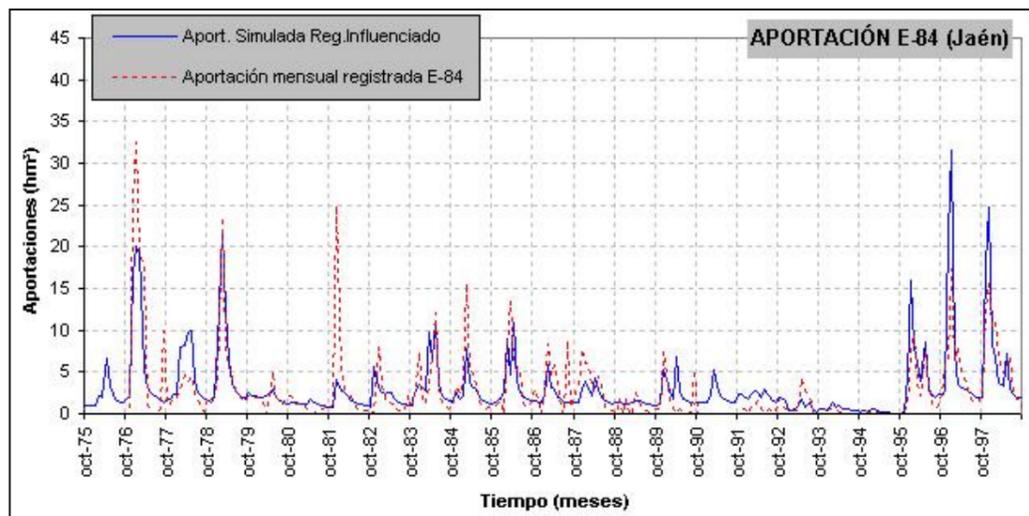


Figura 67. Serie aportación mensual registrada y simulada mediante el modelo P-E de Temez para la estación de aforos E-84 (serie 1975-1998)

Si sólo se considera el periodo para el que se dispone de datos de detracciones en los manantiales de Mingo (1993-2002) y se comparan las series foronómicas registradas en la estación E-84 (1993-1998) y la serie de Temez en régimen influenciado, el coeficiente de correlación que se obtiene es de 0,858, por lo que el ajuste se puede calificar de bueno, con las reservas que genera la serie foronómica de la E-84.

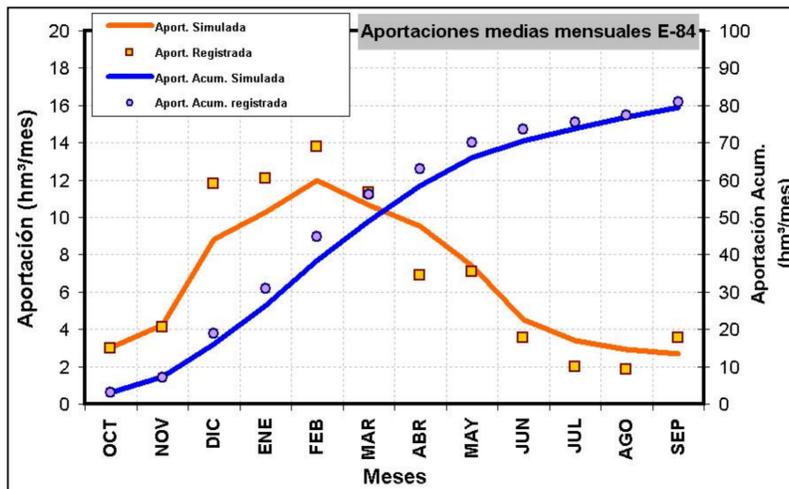


Figura 68. Comparativa de la aportación mensual promedio del río Verde registrada para la estación de aforos E-84 (serie 1975-1998) y la simulada mediante el método P-E de Temez

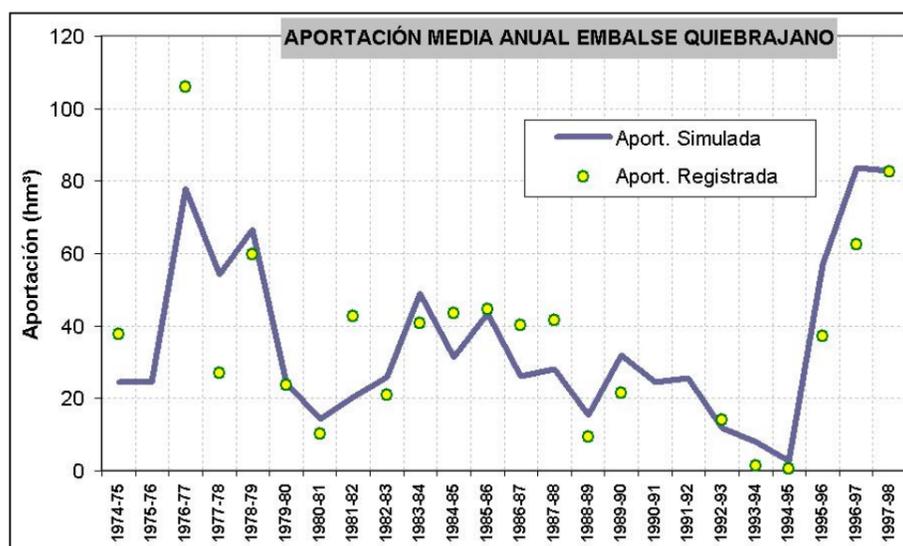


Figura 69. Comparativa de la aportación anual promedio registrada en el embalse del Quiebrajano (periodo 1976-2002) y la simulada mediante el método P-E de Temez

Dadas las incertidumbres que genera la serie foronómica de la estación E-84 y la imposibilidad de generar una serie sintética fiable a partir de la serie de la E-29, también se han comparado las aportaciones subterráneas ofrecidas por el modelo de Temez con las tomas efectuadas en Mingo y río Frío, considerando tanto la recarga del embalse del Quiebrajano sobre el acuífero de Grajales como los bombeos de Peñas de Castro y La Merced.

Para el periodo 1993-95, de extrema sequía, se obtiene una diferencia entre los caudales ofrecidos por el modelo de Temez en régimen influenciado, esto es, considerando la recarga del embalse del Quiebrajano sobre el acuífero de Grajales como los bombeos de Peñas de Castro y La Merced, de tan sólo 13 l/s para el mes agosto-95.

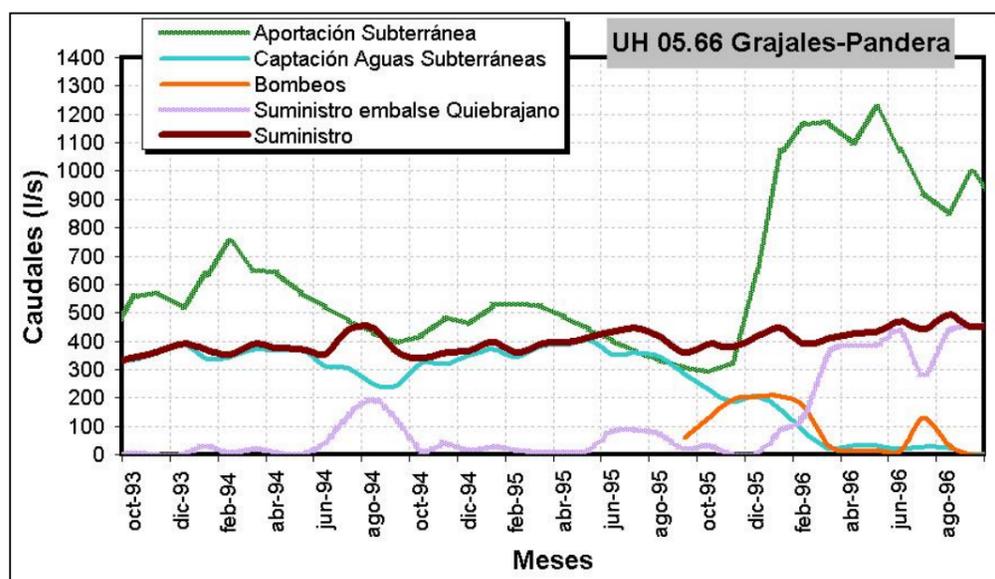


Figura 70. Descarga subterránea conjunto acuífero Grajales-Pandera en el periodo de sequía 93-95. Comparativa de la serie Temez influenciada (recarga embalse y bombeos) con datos de captaciones en Mingo y Los Villares

Para la simulación mediante el método de Temez del acuífero Grajales, dada su extensión e importancia cuantitativa de los drenajes por los manantiales de Mingo se ha establecido una diferenciación en el coeficiente de agotamiento según caudales, ya que la respuesta dinámica del acuífero depende de la carga hidráulica (relación coeficiente de agotamiento con la transmisividad). Así, se ha establecido una relación entre caudales de descarga y coeficiente de agotamiento que permite mejorar la simulación de la descarga mediante el método de Temez.

Rango de Caudal de descarga	Coefficiente de agotamiento $\alpha(\text{días}^{-1})$
>1400 l/s	0,0095
500 a 1.400 l/s	0,0055
<500 l/s	0,0035

Tabla 36. Relación entre el caudal drenado y el coeficiente de agotamiento en el acuífero de Grajales

Para constatar la validez de estos parámetros se dispone de una serie de aforos realizados por la DGOHCA en el periodo 1997-98, en la figura 69 se muestra la serie simulada mediante el método de Temez, considerando la clasificación de coeficientes de descarga según caudales de la tabla 35.

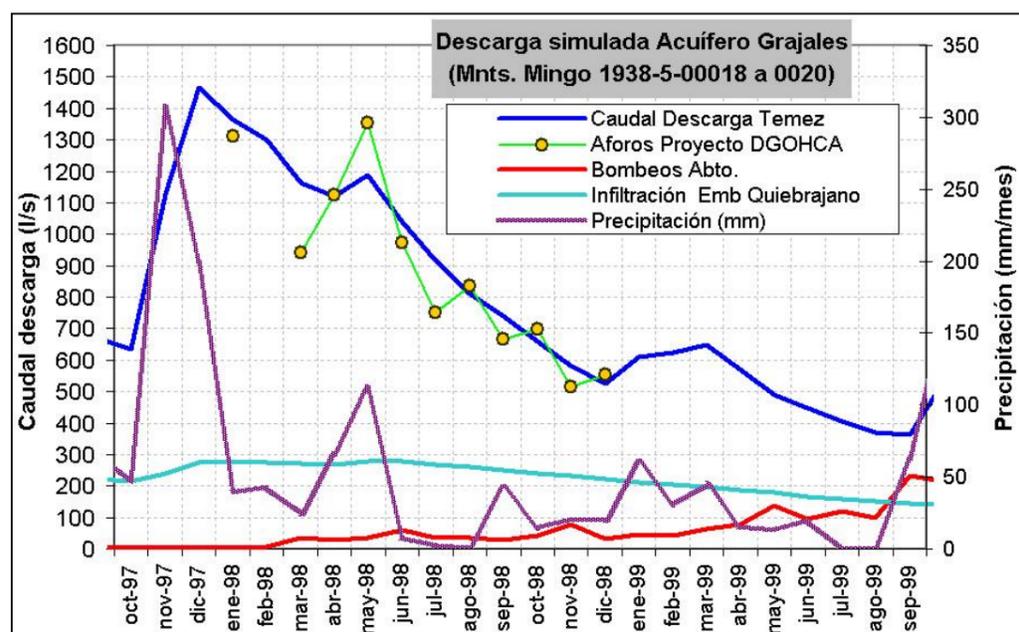


Figura 71. Simulación descarga manantiales de Mingo periodo 1997-98

6.9.3 Estación de aforos E-82

Para la cuenca del Víboras se dispone de los datos registrados en la estación de aforos E-82 (Venta Pantalones), situada aguas abajo del embalse del Víboras.

Los datos de aportaciones en esta estación de aforos presentan una aportación específica mensual promedio de 21,6 mm, frente a los 6,1 mm/mes del embalse del Quiebrajano, los 11,4 mm/mes de la E-84, los 10,8 mm/mes de la E-83 y los 9,6 mm/mes de la E-29. Parece evidente que los datos foronómicos de esta estación están sobrevalorados. Por tanto, cualquier intento de calibración considerando los mismos puede conducir a errores.

No obstante, considerando las series de aportación registradas en la estación de aforos E-82 en el periodo 1973-1998 (con datos ausentes y lagunas para los años 1982-83, 1984-85, 1990-91, 1992-93), eliminando previamente los datos considerados como anómalos, y las series de aportación obtenidas mediante la aplicación del método de Temez afectadas por las detracciones para abastecimiento al Canal de Martos, Valdepeñas de Jaén y Fuensanta de Martos, se ha obtenido un coeficiente de correlación para las aportaciones anuales de 0,793, mientras que para las aportaciones mensuales se obtiene un coeficiente de 0,714, valores que permiten calificar el ajuste como aceptable a bueno. Si sólo se consideran los datos mensuales para el periodo 1993-1998, el coeficiente de correlación entre la serie generada y la registrada en la E-82 es de 0,890.

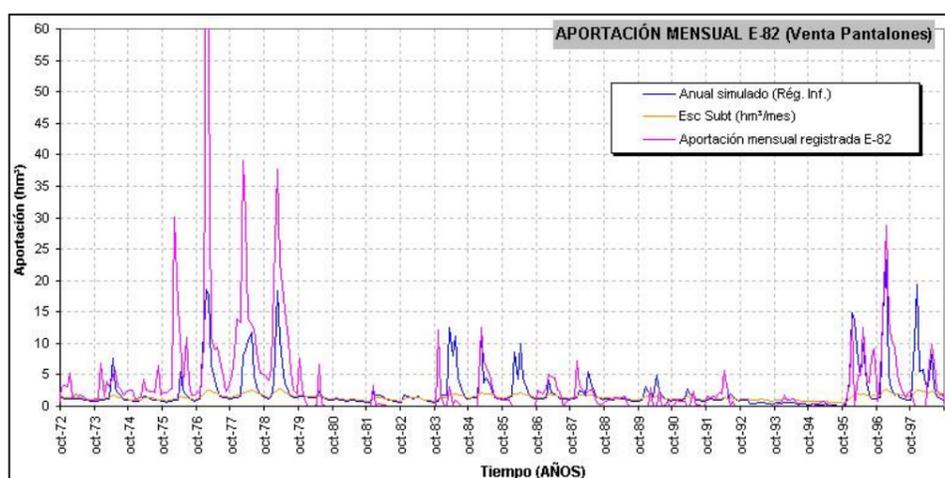


Figura 72. Serie aportación mensual registrada y simulada mediante el modelo P-E de Temez para la estación de aforos E-82 (serie 1973-1998)

Dadas las incertidumbres que genera la serie foronómica de la estación E-82 y la imposibilidad de generar una serie sintética, se han comparado las aportaciones subterráneas ofrecidas por el modelo de Temez con las tomas efectuadas en el río Grande para abastecimiento a la Comarca de Martos, considerando las tomas en Valdepeñas de Jaén (acuífero Ventisquero).

Para el periodo 1993-95, de extrema sequía, se obtiene una diferencia entre los caudales ofrecidos por el modelo de Temez en régimen influenciado, esto es, considerando las detracciones para abastecimiento, de tan sólo 23 l/s para el mes

octubre-95. En estos cálculos se ha considerado la recarga diferida que recibe el acuífero Gracia-Morenita desde el cauce del río Grande.

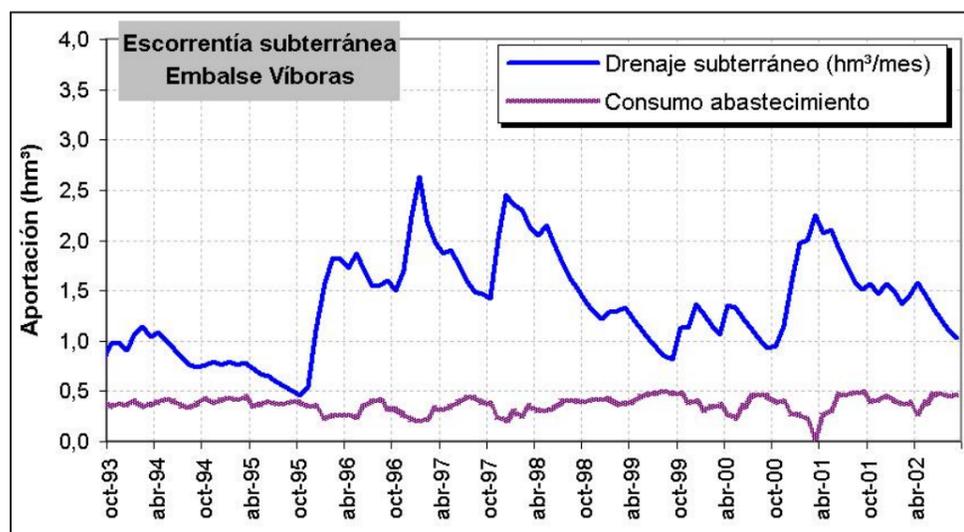


Figura 73. Comparativa de la serie de aportaciones subterráneas generadas mediante el método de Temez y las detracciones para abastecimiento en el río Víboras

Además, se han considerado los caudales aforados por el IGME en las redes de control que éste mantiene desde 1982 en los acuíferos del Alto Víboras y cabecera del río San Juan.

En la figura 72 se muestran los resultados conseguidos mediante la aplicación del método de Temez para el acuífero de Ventisquero, donde se disponía de una serie más detallada para el periodo 1994-1999. Es necesario considerar que los datos del IGME corresponden a aforos puntuales (caudales instantáneos). Por otra parte, los resultados del modelo de Temez hacen referencia a la descarga que recibe el río Grande desde el acuífero, mientras que los datos del IGME hacen referencia a las descargas puntuales más importantes (Chorro -193910022-, Vadillo -193910018-, Chorrillo-193910019- y Estanquillo -193910020-).

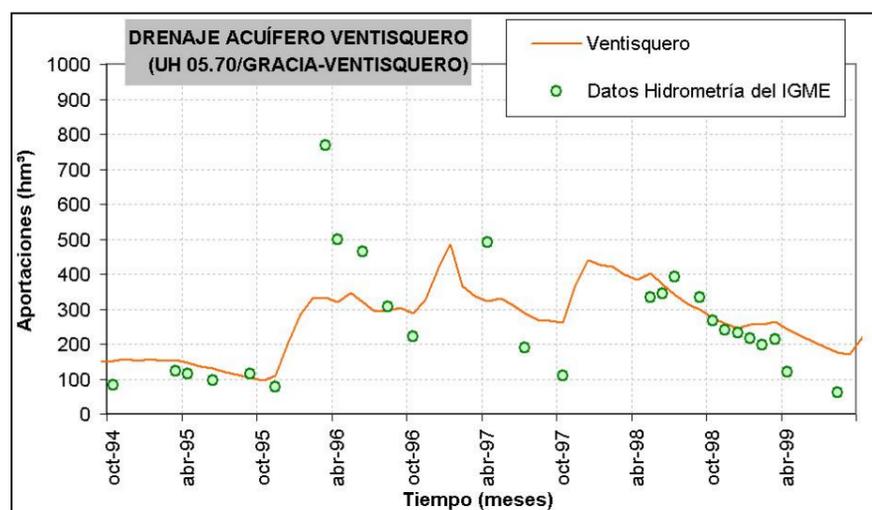


Figura 74. Comparativa de las series obtenidas mediante el modelo de Temez y los aforos puntuales efectuados por el IGME en el acuífero Ventisquero (manantiales de Valdepeñas)

Para el acuífero Gracia-Morenita se ha seguido una hipótesis de simulación similar a la considerada para el conjunto acuífero Grajales-Pandera, estableciendo dos valores del coeficiente de agotamiento en función del umbral de caudal drenado. Así, para caudales superiores a los 400 l/s en la descarga por el manantial del Nacimiento del río San Juan, se ha aplicado un coeficiente de $0,0065 \text{ días}^{-1}$, mientras que para valores inferiores a este caudal se ha consignado un coeficiente de $0,0035 \text{ días}^{-1}$, siendo este último el verdaderamente interesante para el estudio de regulación, pues ofrece el agotamiento del acuífero en periodos de menor recarga (figura 73).

En la figura 74 se ofrece el resultado obtenido para el acuífero Lías de Jabalcuz para el periodo 1984-2001, comparando los resultados ofrecidos por el modelo de Temez y los aforos realizados en el manantial Fuente Los Prados (193850032), principal punto de descarga de este acuífero,.

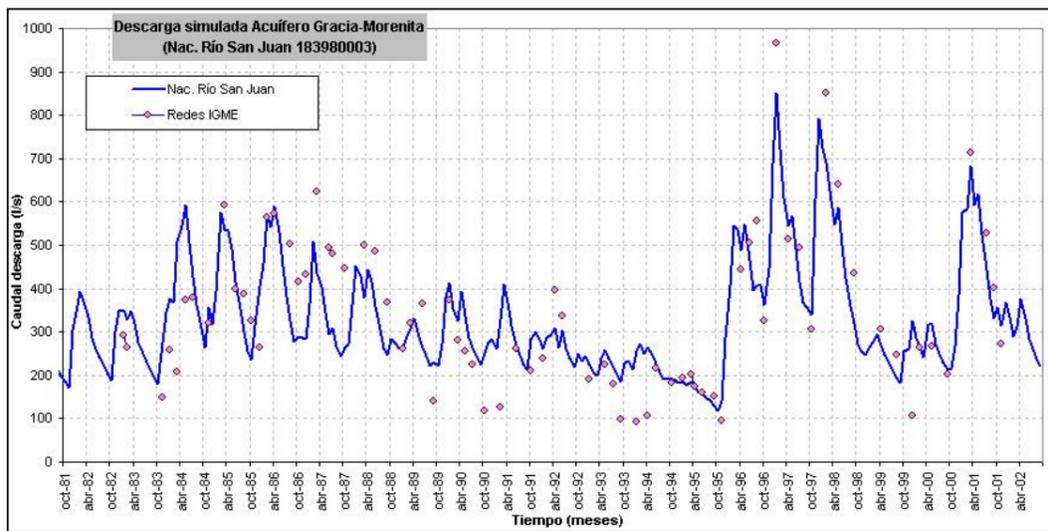


Figura 75. Comparativa de las series obtenidas mediante el modelo de Temez y los aforos puntuales efectuados por el IGME en el acuífero Gracia-Morenita (Nacimiento del río San Juan)

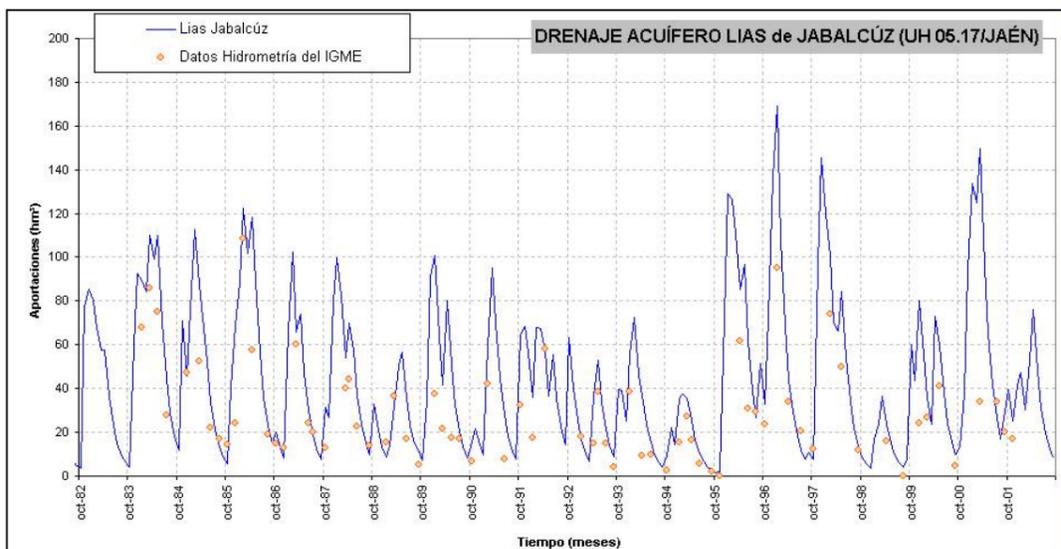


Figura 76. Comparativa de las series obtenidas mediante el modelo de Temez y los aforos puntuales efectuados por el IGME en el acuífero Lias Jabalcuz (Fuente Los Prados)

7. ESTUDIO DE LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE AGUA Y ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

Las infraestructuras de abastecimiento existentes se asocian a dos sistemas de suministro de aguas potables:

- El sistema de la Mancomunidad del Quiebrajano², el cual abastece a Jaén capital y los núcleos de la Mancomunidad del Quiebrajano (pueblos de la campiña de Jaén y Córdoba), que suministra agua potable para una población de 143.781 habitantes. El consumo medio anual es de 18,12 hm³, con un máximo histórico de 23,05 hm³.
- El sistema de la Comarca de Martos, que abastece a los municipios de Martos, Torredonjimeno, Jamilena y Torredelcampo, suministrando aguas potables para una población de 53.200 habitantes, con un consumo medio anual de 5,66 hm³ y una punta de 6,95 hm³/a.

CENTROS DE DEMANDA		Habitantes abastecidos	Volumen anual medio suministrado (hm ³ /a)	Volumen anual máximo suministrado (hm ³ /a)	Dotación media (l/hab/d)	Dotación punta (l/hab/d)
Sistema Martos		53.200	5,66	6,95	296	363
Sistema Mancomunidad Quiebrajano	Jaén capital	111.400	14,67	19,03	366	474
	Campiña Jaén-Córdoba	32.381	3,45	4,02	296	345

Tabla 37. Demandas urbanas satisfechas por los sistemas de abastecimiento de la Mancomunidad del Quiebrajano y la Comarca de Martos

² Incluyendo el sistema de abastecimiento de Jaén capital, gestionado por la empresa de servicios Aqualia (grupo FCC)

Junto a estas grandes infraestructuras de abastecimiento, existen otras de menor entidad que sirven para el abastecimiento a los núcleos incluidos en los términos municipales de Fuensanta de Martos, Valdepeñas de Jaén, Los Villares y Alcaudete. Así como los sistemas de riego de olivar y huertas existentes en la zona ámbito de estudio.

Los sistemas de abastecimiento, tanto los supramunicipales como los municipales, disponen de infraestructuras de conducción, regulación, potabilización y depuración que han sido consideradas en el presente estudio, las cuales se describen en posteriores apartados.

En este estudio se han analizado tanto las infraestructuras en funcionamiento al comienzo de los trabajos (finales del año 2002), como las derivadas de las actuaciones que se están llevando a cabo en función del proyecto de interconexión de los subsistemas del Víboras y Quiebrajano y la adecuación de la ETAP de Martos.

7.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO QUIEBRAJANO-VÍBORAS

A continuación se describen los sistemas de abastecimiento del Quiebrajano y del Canal de Martos, poniendo especial atención a las características hidráulicas de los mismos y describiendo las nuevas obras que se están llevando a cabo a colación del proyecto de "Interconexión de los subsistemas del Víboras y Quiebrajano".

Junto a estos grandes sistemas de abastecimiento existen sistemas municipales que captan recursos subterráneos para abastecimiento a Jaén capital, Los Villares, Valdepeñas de Jaén, Fuensanta de Martos y Alcaudete. Asimismo, los municipios de la Comarca de Martos (Martos, Torredonjimeno, Torredelcampo y Jamilena) disponen de sistemas de abastecimiento propios basados en la captación de aguas subterráneas.

7.1.1 Situación SIN conexión

Hasta fechas recientes el sistema Quiebrajano-Víboras ha funcionado con dos subsistemas de abastecimiento independientes: la Mancomunidad del Quiebrajano y el Canal de Martos, a los que hay que sumar los sistemas de abastecimiento municipales.

7.1.1.1 Mancomunidad del Quiebrajano

Este sistema de abastecimiento está gestionado por la CHG, la cual realiza la captación y el transporte en alta del agua para el abastecimiento a Jaén capital y núcleos de la Campiña de Jaén-Córdoba (Fuerte del Rey, Villadompardo, Escañuela, Arjona, Arjonilla, La Higuera, Porcuna, Lopera, Higuera de Calatrava, Santiago de Calatrava, Cañete de las Torres y Valenzuela), en total más de 140.000 habitantes, y dispone de 100,83 km de conducciones.

Las fuentes de suministro de este sistema corresponden al embalse del Quiebrajano, las captaciones de CHG en los manantiales de Mingo (Mingo II y Mingo III) y los sondeos de La Merced (captan el acuífero de Grajales).

La conducción desde las fuentes de suministro (canal del Quiebrajano) corresponde a una conducción por gravedad de 21 km de longitud que parte del embalse del Quiebrajano, donde existen tres tomas situadas a cotas 735, 750 y 764 m snm, que culmina en la ETAP de Jaén, con capacidad para tratar 450 l/s. Esta conducción, que responde a un canal cerrado de 0,70x0,85 m, presenta pérdidas estimadas en un 15% del caudal circulante y una capacidad de conducción por gravedad de 400 l/s.

A esta conducción principal acceden dos conducciones que transportan el agua captada en los manantiales de Mingo (tubería de 350 mm de diámetro y capacidad de 360 l/s) y en los sondeos de La Merced (tubería de 500 mm de diámetro y capacidad de 200 l/s).

Las captaciones de Mingo corresponden a dos elevaciones (Mingo II y Mingo III) con capacidad individual de 180 l/s. Las captaciones de La Merced corresponden

a dos sondeos de 330 m de profundidad y 400 mm de diámetro, con una capacidad de bombeo individual de 100 l/s.

A la salida de la ETAP de Jaén se sitúa un depósito de regulación (DGR: Depósito Regulador General), donde el agua llega mediante una tubería de fibrocemento de 400 mm. Desde el DGR parten dos tuberías de fibrocemento, de 400 m de diámetro, para el abastecimiento a Jaén (con una aportación de 250 l/s) y otra para el abastecimiento a municipios de la Campiña de Jaén-Córdoba (con una aportación de 130 l/s).

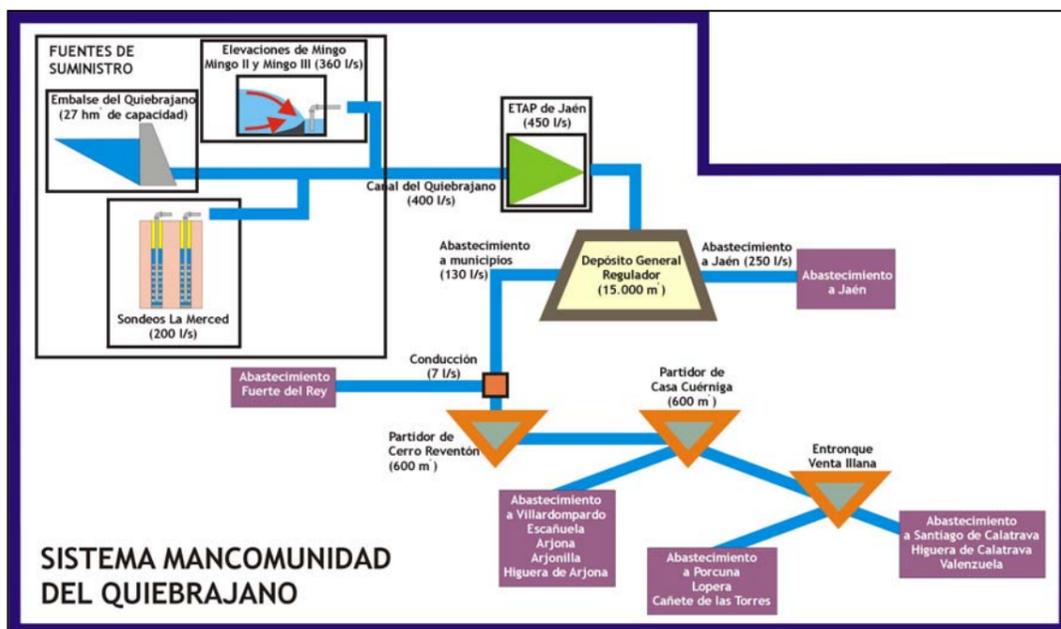


Figura 77. Esquema del sistema de abastecimiento de la Mancomunidad del Quebrajano

7.1.1.2 Canal de Martos

Este sistema de abastecimiento a los municipios de la Comarca de Martos está gestionado por la CHG. Las fuentes de suministro corresponden a captaciones que se efectúan sobre los acuíferos del Alto Víboras (Fuentes de Martos), en particular sobre las descargas del acuífero Montesinos (Arroyo de los Corteses) y de los acuíferos Cornicabra-Noguerones y Ventisquero (río Susana y Arroyo del Papel).

El agua captada se conduce por gravedad mediante dos tuberías de fibrocemento de 20 km de longitud, una de 300 mm con capacidad para transportar 95 l/s y otra de 400 mm que puede transportar 70 l/s. En total estas conducciones presentan una capacidad de 164 l/s, entregando el agua a la ETAP de Martos, que presenta una capacidad de tratamiento de 160 l/s.

Antes de la llegar a la ETAP y desde la tubería de 300 mm (procedente de las tomas en el río Susana y Aº del Papel- Azud de Castellón-), se entrega el agua bruta para el abastecimiento a las pedanías de Las Casillas, Sierra Grande y Carrasca (unos 3,5 l/s).

Desde el depósito de regulación situado en la ETAP, de 1.380 m³ de capacidad, se entrega el agua a Martos, donde es necesario elevar el agua hasta el depósito regulador de Martos, mediante dos equipos de moto-bombas de 65 l/s de capacidad cada uno, y al resto de municipios, donde el agua llega por gravedad. Para Torredelcampo la capacidad de entrega es de 80 l/s, para Torredonjimeno de 80 l/s, mientras que para Jamilena, donde es necesario efectuar una nueva elevación, la capacidad de entrega es de 15 l/s.

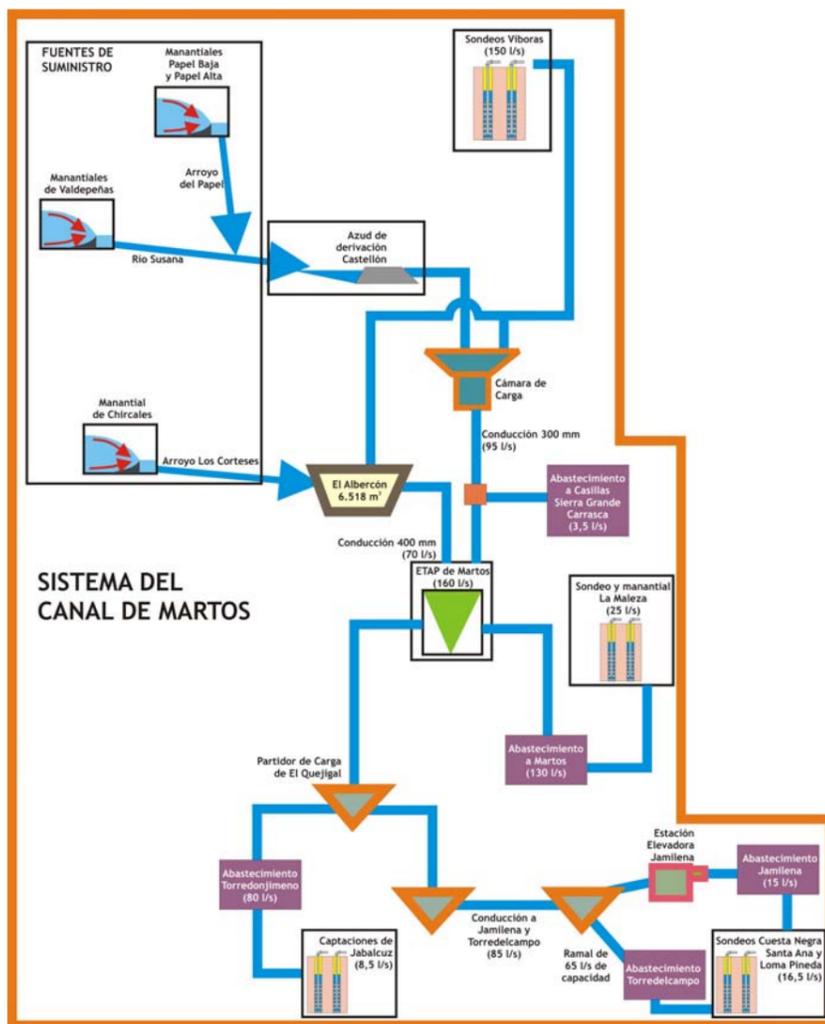


Figura 78. Esquema del sistema de abastecimiento a la Comarca de Martos

7.1.1.3 Sistemas municipales

A continuación se resumen las características de los abastecimientos de índole municipal (aunque en ocasiones existen empresas de servicios que desempeñan la función gestora).

El abastecimiento a **Jaén capital** se ejecuta a partir de la aportación que recibe del Canal del Quebrajano desde la ETAP de Jaén y mediante una serie de captaciones de que dispone la empresa de gestión de aguas de Jaén (Aqualia, grupo FCC).

Las fuentes de suministro propias de Jaén corresponden a captaciones en el manantial de Mingo (Mingo I) y en el manantial de río Frío, y a sondeos en los acuíferos Castillo-La Ímora (sondeos de Santa Catalina y El Tomillo) y Grajales (sondeos de Peñas de Castro).

El agua captada en el manantial de río Frío es transportada mediante un canal (canal de Los Villares) que transcurre paralelo, pero a distinta cota, que el Canal del Quebrajano. El agua se conduce por gravedad por una conducción muy deficiente que tiene una capacidad de 100 l/s. El agua a su llegada a Jaén se filtra en los Filtros de San Felipe (canal desarenador y cuatro cubas de filtrado).

Los sondeos de Peñas de Castro corresponden a dos pozos de 300 metros de profundidad dotados de grupos electrobombas de 260 CV (situados a 200 m de profundidad) que impulsan el agua por una conducción forzada de 500 mm de diámetro hasta la estación de cloración municipal.

Los sondeos de Santa Catalina corresponden a tres pozos dotados con electrobombas de 100 CV, 60 CV y 35 CV de potencia que elevan el agua hasta un aljibe donde es clorada, desde aquí se conduce a los depósitos municipales.

El sondeo de El Tomillo está situado en la parta alta del perímetro urbano. El agua captada pasa a la red de distribución una vez clorada.

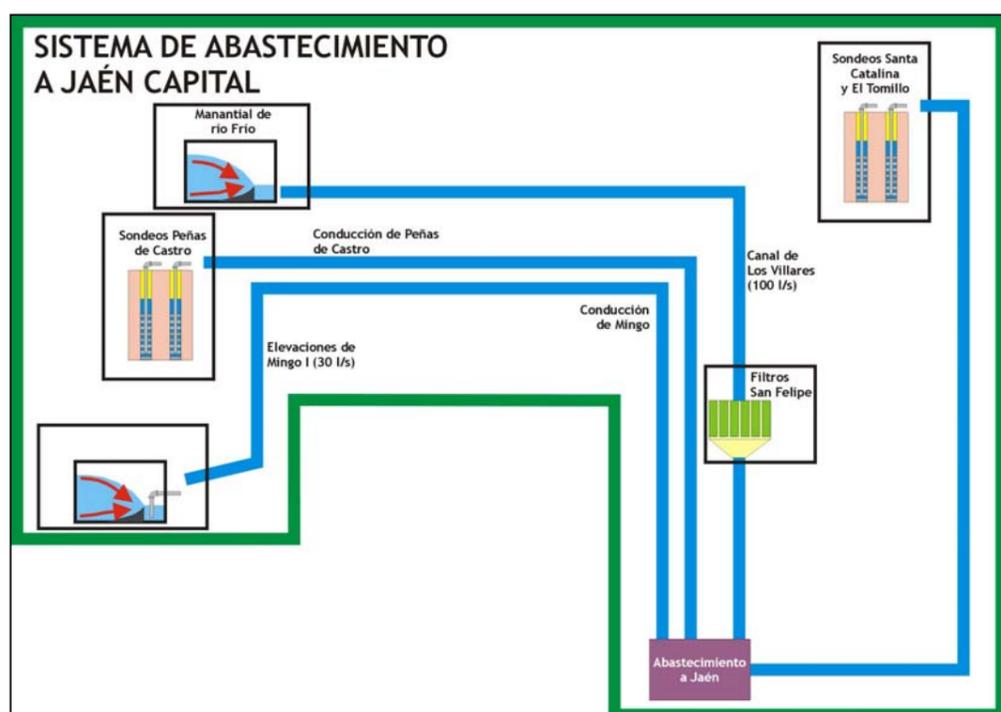


Figura 79. Sistema de abastecimiento a Jaén capital

El abastecimiento a Los Villares se lleva a cabo mediante la captación del manantial de río Frío.

El abastecimiento a Valdepeñas de Jaén se ejecuta mediante la captación de los manantiales de Valdepeñas (río Susana).

El abastecimiento a Fuensanta de Martos y El Encinar se ejecuta desde mediante la captación de las descargas del acuífero Mentidero hacia el arroyo de la Fuensanta.

El abastecimiento a Alcaudete se ejecuta a partir de dos sondeos (Cerro de la Cal I y Cerro de la Cal II) situados en el acuífero de Ahillos. El abastecimiento a las pedanías de Bobadilla y Noguerones se realiza desde un sondeo que regula el manantial de Fuente la Higuera, descarga natural del acuífero Caracolera.

7.1.2 Situación Futura

Junto a las infraestructuras descritas anteriormente se están llevando a cabo una serie de proyectos acogidos al Real Decreto-Ley 9/1998 de 28 de agosto (obras hidráulicas de interés general) bajo el título “Interconexión de los subsistemas del Víboras y Quiebrajano”.

Así, los proyectos más importantes que se están acometiendo corresponden a las obras de emergencia que el Ministerio de Medio Ambiente está ejecutando en el sistema Quiebrajano y las que están desarrollando AQUAVIR para la interconexión de los subsistemas de abastecimiento del Quiebrajano y del Víboras y la adecuación de la ETAP de Martos (por valor de 46,35 millones de euros), obras que permitirán incorporar al sistema el embalse del Víboras.

Las obras que está ejecutando la CHG para la mejora de la conducción del Canal del Quiebrajano supondrá disponer de una tubería de fundición dúctil 700 mm de diámetro, con capacidad de transporte para 50.000 m³/d (580 l/s) que recogerá el agua procedente de las fuentes de suministro existentes (sondeos La Merced, elevaciones de Mingo y embalse Quiebrajano) y conducirá el agua hasta la ETAP de Jaén. Esta actuación implica, además de esta conducción, la construcción de una arqueta de hormigón para la recogida de los recursos procedentes de las fuentes de suministro y un depósito de regulación complementario al Depósito General de Regulación existente.

7.1.2.1 Interconexión sistemas Quiebrajano-Víboras

Esta actuación tiene como objetivo aumentar la garantía en el suministro de agua potable al sistema que abastece a la Mancomunidad de municipios del Quiebrajano y la Comarca de Martos, mediante la conexión de los recursos captados en las Fuentes de Martos y en el embalse del Víboras con el sistema de abastecimiento del Quiebrajano, de tal manera que sea factible enviar agua desde la ETAP de Martos (la cual está siendo remodelada aumentando su capacidad en 200 l/s y adecuándola a la deficiente calidad previsible de las aguas del embalse del Víboras -celdas de desalinización-) hacia Jaén y los pueblos vinculados al Canal del Quiebrajano y viceversa, esto es, desde el sistema

Quebrajano hacia los municipios de la Comarca de Martos. Esta actuación, que dotará de una mayor flexibilidad al sistema de abastecimiento, exige el desarrollo de una serie de infraestructuras, éstas son:

- Adecuación de la ETAP de Martos, para alcanzar una capacidad de tratamiento de 363 l/s.
- Conducción general desde el embalse del Víboras hasta la ETAP de Martos. Se dispondrá un sistema de impulsión aguas abajo del embalse con capacidad de bombeo para 300 l/s (dos líneas de bombeo de 150 l/s) y altura de elevación 190 m, tomando como niveles máximo y mínimo operativos en el embalse las cotas 539,40 y 518,00 m snm respectivamente. Esta conducción de impulsión será de acero y fundición y 500 mm de diámetro, con una longitud de 1,94 km hasta un depósito regulador (Cerro Quemado) de 10.000 m³ de capacidad, desde aquí a la ETAP de Martos la conducción será por gravedad (8.329 m) mediante tubería de fundición y 500 mm de diámetro.
- Conducción desde la ETAP de Martos hasta la derivación de Jaén. Corresponderá a una tubería de fundición de diámetro variable (700 a 300 mm), longitud total 23,376 km y conducción por gravedad. Esta infraestructura implica una capacidad de transporte hacia Jaén de 257 l/s para el tramo ETAP Martos-Torredonjimeno, de 211 l/s desde Torredonjimeno a Torredelcampo, y de 146 l/s en el tramo Torredelcampo a la Derivación a Jaén. El ramal de Torredonjimeno tendrá una capacidad de 46 l/s y el de Torredelcampo-Jamilena 65 l/s.
- Adecuación de la conducción de abastecimiento de Jaén-Partidor del Reventón para su funcionamiento reversible. Esta conducción, de 8,894 km de longitud, conectará mediante una tubería de 350 mm con conducción por gravedad y funcionamiento reversible, el Partidor del Reventón con el Depósito General de Regulación (DGR) y permitirá un funcionamiento reversible: capacidad de 39 l/s de Martos a Jaén y de 107 l/s desde el DGR hacia el Partidor del Reventón.
- Conexión de los sondeos del río Víboras con la ETAP de Martos. Estos sondeos disponen de una capacidad de bombeo de 150 l/s y la posibilidad de efectuar recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita con aguas procedentes del arroyo del Papel (acuífero Cornicabra-Noguerones), para lo que se construyó el sistema de decantación y conducción del agua de recarga.

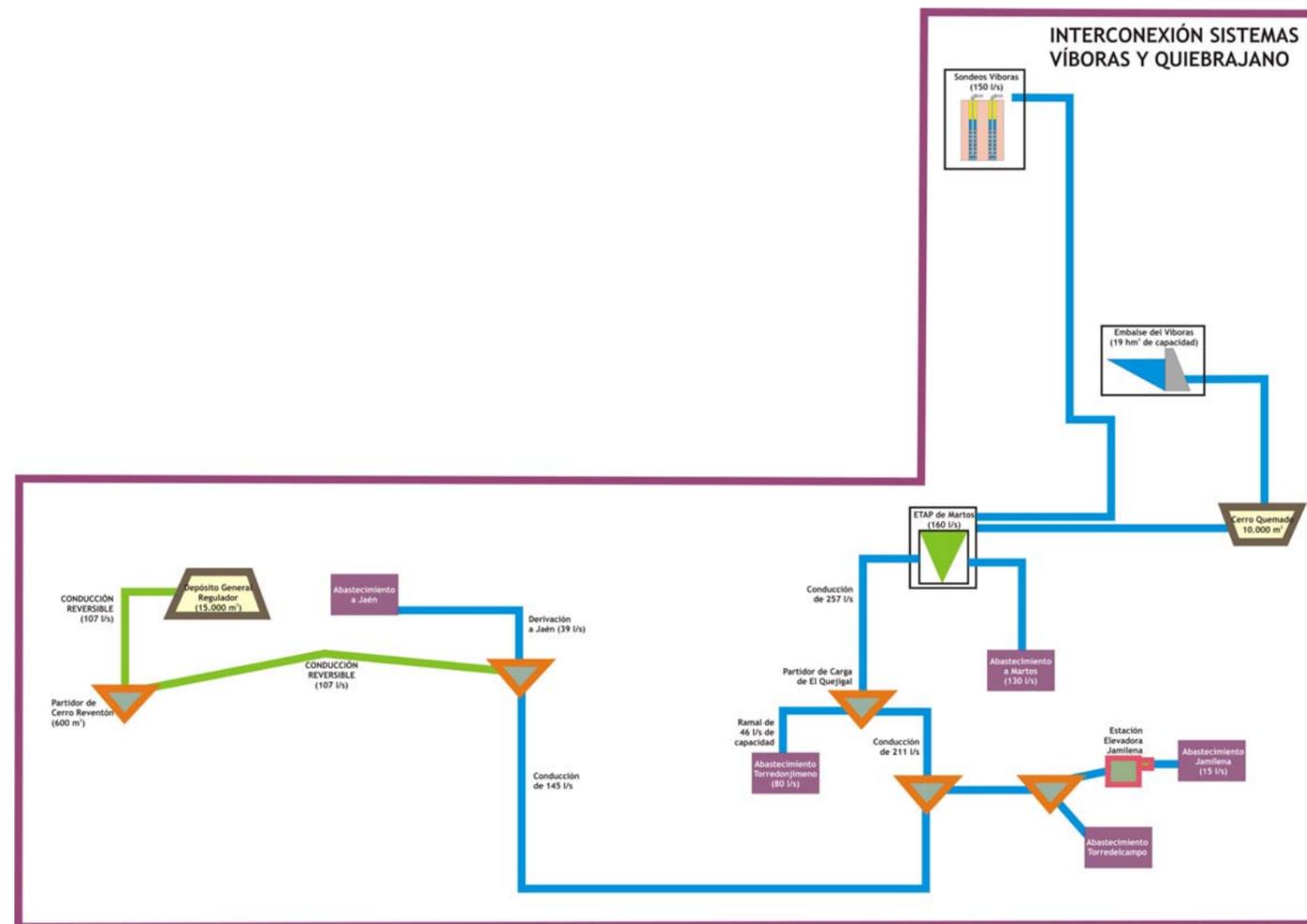


Figura 80. Esquema de la interconexión de los subsistemas Canal de Martos y Mancomunidad del Quebrajano

7.2 RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

La recarga artificial constituye una herramienta de gestión de recursos hídricos que puede ser utilizada bajo un esquema de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas. El Sistema Quiebrajano-Víboras presenta ciertas posibilidades de aplicación de esta tecnología.

Las posibilidades de implantación de recarga artificial deben verificar la existencia de recursos a recargar y de acuíferos que permitan una recarga eficaz en función de los objetivos que se persiguen. Los objetivos de la recarga artificial pueden ser diversos (regulación, recuperación de acuíferos, ambientales, laminación, lucha contra la contaminación, transferencia de recursos entre subcuencas, compensación de caudales, etc.).

Atendiendo a criterios estrictamente de balance hidrológico, los acuíferos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras que requerirían actuaciones de recarga artificial, por encontrarse en situaciones de desequilibrio hidrológico, serían Castillo-La Ímora, Ahillos y los vinculados a la unidad Jabalcuz (Dogger de Jabalcuz y Lías de Jabalcuz). Estos acuíferos están sometidos a una intensa explotación mediante sondeos, habiéndose establecido en algunos de ellos (Castillo-La Ímora y Ahillos) una situación insostenible en términos de balance.

La escasez de recursos excedentarios en las zonas donde se ubican estos acuíferos deficitarios o en situación de equilibrio estricto impide plantear esquemas de recarga artificial para soslayar la continua explotación de reservas no renovables. Por otra parte, la escasa capacidad de regulación de que disponen estos acuíferos (acuíferos kársticos de limitada extensión con descarga natural focalizada) no favorece la implantación de esquema de recarga artificial para regulación de posibles excedentes, los cuales se verían limitados a la cota de descarga natural de los mismos y las fluctuaciones que registran los niveles piezométricos.

Si bien, la viabilidad de proceder a recargar estos acuíferos con aguas residuales depuradas presenta un severo condicionante económico, por cuanto éstas se generan a cotas topográficas muy inferiores a las zonas de recarga de estos acuíferos, siendo, por tanto, necesario bombear las aguas depuradas previamente a la recarga artificial. Parece más lógico aprovechar estas aguas residuales para usos

agrícolas en zonas situadas aguas abajo de los vertidos, tal y como se ha comentado anteriormente.

Además del acuífero Gracia-Morenita existen posibilidades de recarga artificial en otros acuíferos. Descartados los acuíferos de Jaén-Jabalruz por su escasa extensión y funcionamiento en régimen kárstico (bajo poder de regulación), además de la inexistencia de recursos excedentes, las únicas posibilidades se asocian a los acuíferos del Alto Víboras y al conjunto Grajales-Pandera.

Asimismo, carece de sentido práctico el planteamiento de instalaciones de recarga artificial sobre los acuíferos situados en las zonas de cabecera de cuenca (Alto Víboras -Ventisquero, Mentidero, Montesinos y Cornicabra-Noguerones- y río Frío -Pandera-) por la ineficacia respecto a la mejora de la regulación del sistema, ya que existen tomas y embalses de regulación situados aguas abajo de los puntos de descarga principales de estos acuíferos.

Partiendo de las premisas anteriores respecto a los acuíferos más intensamente explotados y acuíferos de cabecera y considerando la funcionalidad del Sistema Quebrajano-Víboras se han establecido dos posibilidades de recarga artificial que se citan a continuación:

- Recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita con recursos superficiales del Alto Víboras (río Grande). El objetivo es compensar la disminución del caudal de descarga que registraría el Nacimiento del río San Juan (principal punto de descarga de este acuífero el cual está situado en una subcuenca externa al sistema, constituye un punto de singular importancia ambiental y sostiene una serie de aprovechamientos para abastecimiento y agricultura) si se ejecutan bombeos para abastecimiento en el Sistema Quebrajano-Víboras. El objetivo de esta recarga sería diverso: recuperación de acuíferos, ambiental y compensación de caudales.
- Recarga artificial del acuífero Grajales con excedentes del río Quebrajano. Esta posibilidad de recarga artificial estaría enfocada a la recuperación del acuífero como consecuencia de los bombeos actuales (La Merced y Peñas de Castro) o futuros y el mantenimiento de caudales ecológicos en los Cañones de Mingo.

7.2.1 Recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita

Existen unas instalaciones funcionales de recarga artificial mediante sondeos de inyección en el acuífero Gracia-Morenita, las cuales disponen de toma del agua de recarga desde el arroyo El Papel, cauce que recoge el drenaje del acuífero Cornicabra-Noguerones.

Las instalaciones de recarga cuentan con una toma en el cauce, una cámara de decantación (para evitar la colmatación en los sistemas de inyección), los sistemas de conducción a la planta de recarga y los propios sondeos de inyección.

Este sistema permitiría recargar artificialmente el acuífero Gracia-Morenita bajo un régimen de caudal máximo de 0,210 hm³/mes (80 l/s).

Respecto al posible funcionamiento de esta recarga artificial, el IGME desarrolló un modelo matemático del acuífero Gracia-Morenita en diferencias finitas (basado en MODFLOW) para simular en régimen transitorio la respuesta del acuífero ante periodos de bombeo (100 l/s) para apoyar el abastecimiento a la Comarca de Martos y recarga artificial (50 l/s), el resultado obtenido implica que los bombeos suponen descensos en la descarga natural del acuífero del 28%. La combinación de los bombeos con la recarga implica una disminución de volumen en la descarga del acuífero del 2,3%.

Las pruebas de recarga efectuadas en los sondeos Víboras II y Víboras V indicaron una capacidad de admisión en el sondeo Víboras II de 20 a 25 l/s, habiéndose detectado una ligera respuesta, prácticamente inapreciable, en el manantial del Nacimiento del río San Juan (principal surgencia del acuífero Gracia-Morenita objeto de la recarga) a los 23-24 días de iniciada la prueba de recarga que se prolongó durante 43 días a razón de un caudal de 19 l/s. En función de estos resultados y de los ensayos de bombeos ejecutados, se fijó la capacidad de recarga del sondeo Víboras V en 60-65 l/s, por lo que la capacidad de recarga artificial de las instalaciones se evaluó en 80 l/s.

7.2.2 Recarga artificial del acuífero Grajales

Sobre este acuífero existe, de hecho, una recarga artificial, que se podría calificar de involuntaria pero que no por ello deja de ser efectiva. Se trata de las filtraciones que se producen en el vaso del embalse del Quiebrajano, las cuales constituyen una recarga artificial del acuífero Grajales evaluada, mediante los modelos precipitación-aportación desarrollados, en un promedio de 2,29 hm³/año para el periodo 1989-2002, con un rango de variación de entre 1,64 y 8,19 hm³/a.

Conocedores de las pérdidas que sufre este embalse, la CHG ha sacado a concurso en noviembre de 2002 un estudio para analizar y establecer medidas para limitar las filtraciones del embalse del Quiebrajano.

Esta recarga artificial que recibe el acuífero de Grajales aumenta los caudales de descarga que se registran en los manantiales de Mingo, principal punto de descarga del acuífero Grajales. Sobre esta descarga natural, como se ha citado repetidamente, existen captaciones para abastecimiento a Jaén capital y la Mancomunidad del Quiebrajano.

Esta recarga artificial involuntaria mitiga el efecto que sobre los caudales de Mingo tienen o tendrían los bombeos de La Merced y Peñas de Castro.

Por tanto, en el supuesto de que el proyecto que pretende desarrollar la CHG para impermeabilizar el embalse del Quiebrajano fuera exitoso, cualquier análisis de afecciones a los manantiales de Mingo por los bombeos en Peñas de Castro (la empresa Aqualia que gestiona el abastecimiento a Jaén tiene previsto aumentar el número de captaciones) o La Merced, tendría que considerar la inexistencia de esta recarga artificial, puesto que la influencia de la misma es significativa como se observa en las simulaciones realizadas (figura 81).

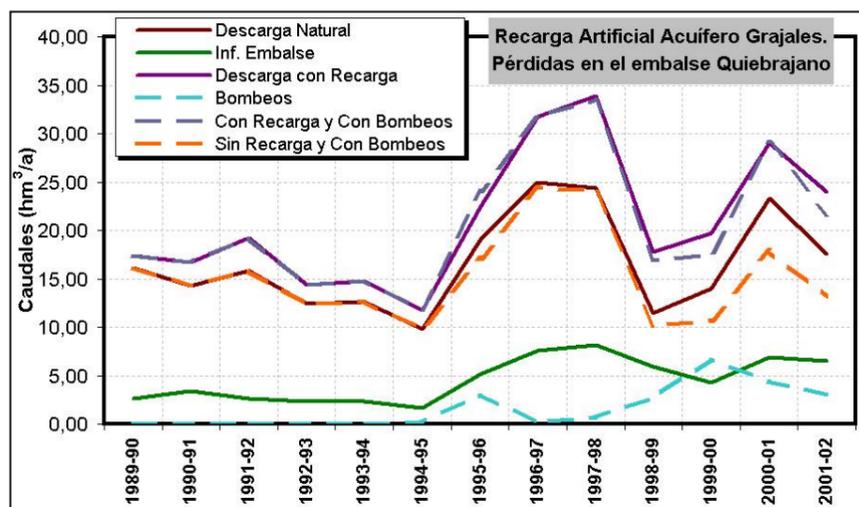


Figura 81. Simulación del efecto de la recarga artificial que ejerce el embalse Quebrajano sobre el acuífero Grajales. Análisis de la descarga en los manantiales de Mingo

El proyecto de CHG no contempla un análisis de la mejora que se conseguiría en la regulación del sistema Quebrajano con la impermeabilización del embalse, ya que el acuífero de Grajales efectúa sobre la recarga artificial que recibe del citado embalse una cierta regulación natural, además de la regulación que ejercen las baterías de sondeos de La Merced y Peñas de Castro. Sería conveniente, por tanto, efectuar un análisis de las alternativas de regulación asociadas a la impermeabilización o no de dicho embalse, analizando la respuesta del acuífero ante los bombeos y la evolución que registrarían las captaciones de Mingo.

7.3 FUENTES NO CONVENCIONALES DE RECURSOS HÍDRICOS

La utilización conjunta de recursos hídricos no sólo compete a los denominados recursos convencionales (aguas superficiales y subterráneas), también deben considerarse los recursos no convencionales: aguas residuales depuradas o sin depurar, aguas desaladas o aguas de tormenta.

De hecho, en la herramienta de simulación SIMGES es factible incorporar estos recursos adicionales en forma de retornos o aportaciones intermedias.

En el caso particular del sistema Quebrajano se han analizado las posibilidades de utilización de las aguas residuales, simuladas éstas como retornos al sistema, partiendo de la circunstancia que en la actualidad gran parte de estos recursos no convencionales son aprovechados para usos agrícolas (riegos del olivar).

7.3.1 Utilización de aguas depuradas en regadío

Las aguas residuales depuradas de la EDAR de Jaén son aprovechadas para dotar regadíos por la Comunidad de Regantes de la EDAR de Jaén, la cual reutiliza un caudal de 77,5 l/s, en compensación por los caudales que debería percibir del río Quebrajano.

Asimismo, en los municipios de Alcaudete y Martos se dotan riegos de olivar utilizando aguas residuales no depuradas.

Por el contrario, las aguas residuales depuradas de la EDAR de Los Villares no se reutiliza directamente, si bien, su incorporación al río Frío aguas arriba de los Cañones de Mingo implica un aprovechamiento implícito para abastecimiento de la Mancomunidad del Quebrajano a favor de las tomas de Mingo (CHG y ayuntamiento de Jaén).

Las aguas residuales no depuradas de Valdepeñas no reciben una reutilización directa, ya que son vertidas al cauce del río Grande, si bien, aguas abajo de estos vertidos se produce la captación de aguas para el abastecimiento a la Comarca de Martos, por lo que, en cierta medida, se efectúa una reutilización de estos recursos no convencionales.

De igual forma, las aguas residuales de Fuensanta de Martos son reguladas por el embalse del Víboras.

Según estimaciones realizadas sobre los datos de reutilización de aguas residuales depuradas y no depuradas en regadío, se ha evaluado que unas 1.540 ha se

dotan con estos recursos no convencionales, absorbiendo una demanda de 3,85 hm³/a.

La situación actual del aprovechamiento de aguas residuales es bastante significativa en el sistema, ya que se aprovechan un 18% de los retornos del sistema procedentes de aguas de abastecimiento urbano.

Sería factible analizar la posible mejora en la reutilización en el sistema de las aguas residuales procedentes de la EDAR de Jaén, si bien, es posible que sean reutilizadas para regadío aguas abajo en el río Guadalbullón.

Asimismo, sería posible analizar la reutilización para dotar riego de olivar de las aguas residuales sin depurar de Torredelcampo, Torredonjimeno y Jamilena.

7.3.2 Posibilidades de utilización de la recarga artificial de acuíferos

La utilización de aguas no convencionales para la recarga de acuíferos es una práctica muy extendida en zonas donde existe una escasez de recursos importante o donde estos presentan una acusada estacionalidad o en áreas donde es complicado disponer de infraestructuras de regulación superficial.

Así, la utilización de recarga artificial de aguas desaladas, de aguas residuales depuradas o de aguas de tormenta en almacenamientos subterráneos en una práctica habitual en Florida (EEUU) o en Australia.

En estos casos el acuífero funciona a modo de embalse subterráneo, permitiendo el almacenamiento temporal de recursos no convencionales y ejerciendo, a la postre, una acción reguladora de gran interés.

En el caso de las aguas desaladas el interés reside en permitir un funcionamiento continuo en la planta desaladora, almacenando el agua desalada no consumida en los periodos húmedos y extrayendo el agua desalada del almacenamiento subterráneo en los periodos de mayor consumo. Este tipo de

esquemas de regulación no son aplicables en el Sistema Quebrajano-Víboras por cuanto no existen desaladoras.

La posibilidad de regular aguas de tormenta también carece de interés práctico, puesto que este tipo de instalaciones son aplicables a zonas semiárida o áridas con lluvias torrenciales que no es el caso de la zona climatológica donde se sitúa la zona de estudio.

Si existiría la posibilidad de recarga aguas residuales depuradas, ya que la recarga artificial de aguas residuales no depuradas no es viable ya que exigiría disponer plantas de tratamiento previo para evitar problemas de contaminación, de compatibilidad con las aguas del acuífero y de baja eficacia del sistema de recarga (colmatación biológica). Las posibilidades de recarga artificial con aguas residuales depuradas tendría sentido en los grandes centros de producción como es el caso de los núcleos de Jaén capital, Martos o Alcaudete y exige la existencia de acuíferos receptores con capacidad de regulación adecuada y bajo condiciones económicas admisibles.

En principio los posibles acuíferos receptores de la recarga artificial de las aguas residuales depuradas de Jaén, Martos o Alcaudete podrían ser los acuíferos Castillo-La Ímora, Dogger Jabalcuz y Ahillos, respectivamente.

Analizando de forma preliminar cada supuesto por separado se suceden una serie de inconvenientes de índole técnico y económico que dificultan la ejecución de estas instalaciones de recarga, los cuales se indican a continuación:

- La escasa capacidad de regulación que presentan estos acuíferos, debido a su funcionamiento kárstico, la reducida extensión superficial y la presencia de puntos de descarga localizados.
- La necesidad de bombear y conducir las aguas residuales depuradas hasta la zonas de recarga de los acuíferos, las cuales están situados a cotas superiores a las zonas donde se producen los vertidos a cauces públicos.



ELABORACIÓN DE DIRECTRICES PARA LA INCORPORACIÓN DE
CRITERIOS DE CALIDAD EN LA MODELACIÓN DE ESQUEMAS DE
UTILIZACIÓN CONJUNTA. APLICACIÓN AL ABASTECIMIENTO DEL
CONJUNTO QUIEBRAJANO-VÍBORAS



Agencia Andaluza del Agua
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Ambas circunstancias desaconsejan la utilización de aguas residuales depuradas para la recarga artificial de acuíferos en el Sistema Quebrajano-Víboras.

8. MODELACIÓN DE ACUÍFEROS

El Sistema Quiebrajano-Víboras comprende una serie de acuíferos, algunos de ellos de especial relevancia, adscritos a las unidades hidrogeológicas 05.16/Jabalruz, 05.17/Jaén, 05.22/Mentidero-Montesinos, 05.28/Montes Orientales, 05.66/Grajales-Pandera-Carchel y 05.70/Gracia-Ventisquero, además de una serie de acuíferos aislados (Ahillo y Caracolera).

Para incluir estos acuíferos en el modelo de simulación de la gestión es necesario proceder a su modelación matemática, partiendo del grado de conocimiento hidrogeológico que se dispone de cada uno de ellos.

Además estos modelos matemáticos deben adaptarse a las exigencias de la aplicación utilizada para la simulación de la gestión, en este caso SIMGES. En este capítulo se presenta, asimismo, los procedimientos seguidos para la simulación de los acuíferos en SIMGES y para la simulación de aquellos elementos de gestión vinculados directamente con el acuífero (bombes adicionales y recarga artificial).

8.1 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.16/JABALRUZ

Esta unidad hidrogeológica corresponde a un sistema carbonatado permeable por fisuración y karstificación, donde los afloramientos permeables suponen una superficie de 6,93 km².

Dentro de esta unidad hidrogeológica se distinguen tres subunidades o acuíferos de funcionamiento hidrogeológico diferenciado:

- Lías de Jabalruz
- Dogger de Jabalruz
- Cerro Fuente

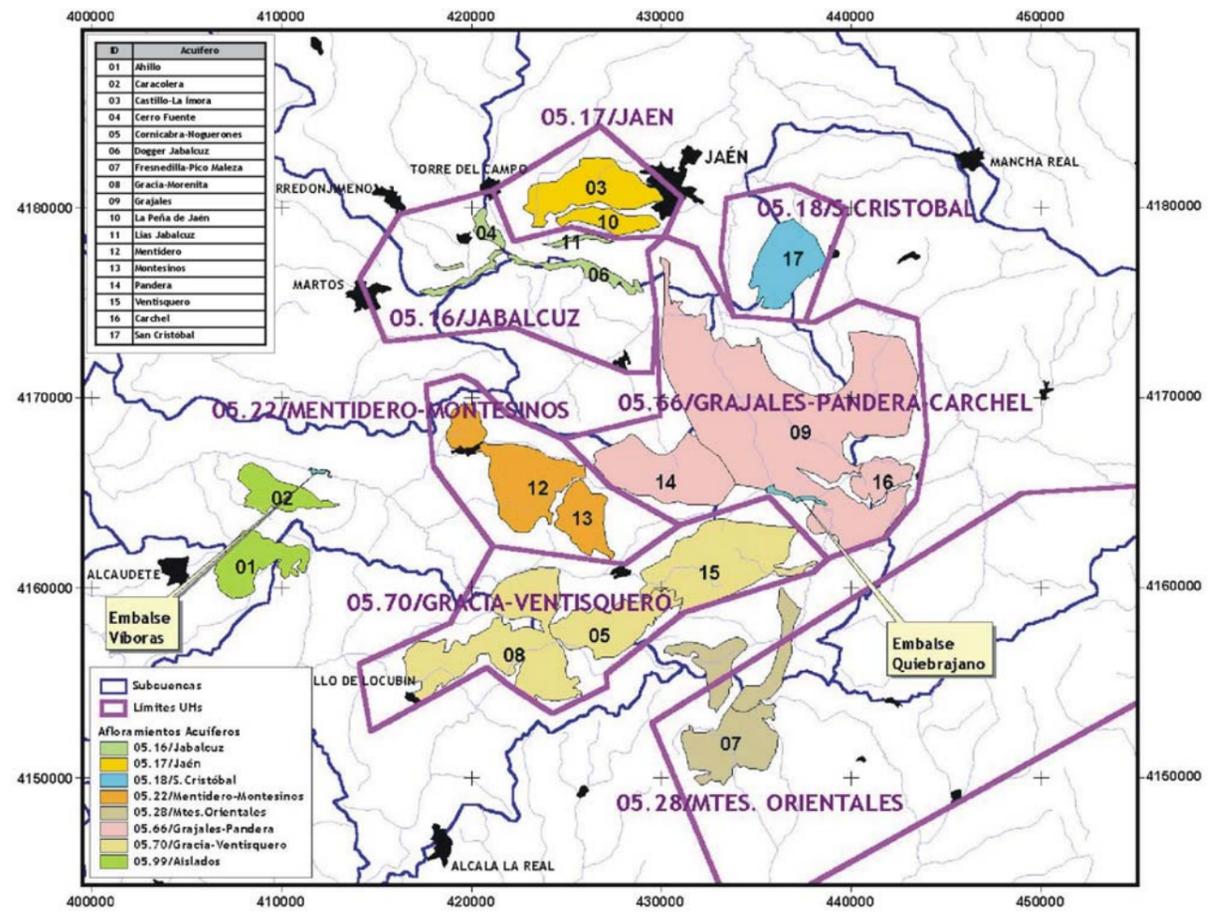


Figura 82. Acuíferos y Unidades Hidrogeológicas vinculadas al Sistema Quiebrajano-Víboras

El acuífero Lías de Jabalcuz se define en virtud de los afloramientos calizodolomíticos del Lías Inferior, materiales que presentan una potencia de 300 m y que ocupan una estrecha franja de 0,75 km². El substrato impermeable corresponde a los materiales arcillosos del Trias y las margas y margocalizas del Cretácico Superior.

La estructura geológica corresponde a un monoclinal con buzamiento muy constante hacia el sur.

El acuífero del Lías Inferior de Jabalcuz, que presenta transmisividades de entre 750 a 1000 m²/d, responde a un esquema de acuífero libre con estructura kárstica, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 0,3 hm³/a y aportes de materiales semipermeables suprayacentes (1,0 hm³/a). La descarga se efectúa a través de manantiales situados a cotas de 680 m snm (Baños de Jabalcuz-193850004-) y 670 m snm (Los Prados -193850032-) y mediante bombeos (0,3 hm³/a). Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran entre 10 a 12 hm³.

Datos sobre caudales drenados en el manantial Los Prados implican un coeficiente de agotamiento que oscila entre 0,0098 días⁻¹ a 0,019 días⁻¹.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcicas, excepto la anomalía correspondiente al manantial Baños de Jabalcuz, que con carácter termal (30°C) presentan facies sulfatada cálcica (posible existencia de un flujo profundo asociado a la Falla Normal de Jabalcuz -salto vertical de unos 1.200 m-).

Los usos de aguas subterráneas corresponden a los bombeos para abastecimiento a Torredelcampo (Sondeos de Santa Ana -183840021- y Cuesta Negra -183880036-), que totalizan un volumen anual medio de 0,3 hm³ y la captación de manantiales para uso agrícola. En total este acuífero satisface una demanda de unos 1,3 hm³/a.

El acuífero Dogger de Jabalcuz se concreta a los afloramientos de calizas con sílex del Dogger, materiales que presentan una potencia variable entre 150 y 300 m y que ocupan una extensión de 4,63 km² en las vertientes meridionales de las sierras de Jabalcuz y La Grana. El substrato impermeable corresponde a las calizas margosas

liásicas, apareciendo parcialmente cubierto por las margas y calizas silíceas del Malm.

La estructura geológica comprende a un esquema de pliegue monoclinal con buzamiento muy constante hacia el sur, que en la sierra de La Grana varía a un repliegue sinclinal flanqueado por fracturas.

El acuífero del Dogger de Jabalcuz, que presenta transmisividades de entre 50 a 100 m²/d, responde a un esquema de acuífero libre kárstico, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 0,8 hm³/a y aportes de materiales semipermeables suprayacentes (0,4 hm³/a). La descarga se efectúa, fundamentalmente, a través del manantial de La Maleza (183870003), situado a cota 850 m snm (existen otros manantiales menos importantes y galerías) y por bombeos (1,0 hm³/a). Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran en 54 hm³.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcicas, excepto en el extremo oriental, donde un sondeo (193850035) presenta facies clorurada sódica.

Los datos piezométricos e hidroquímicos disponibles sobre estos acuíferos indican la posible compartimentación hidrogeológica del mismo en sectores.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a los bombeos para abastecimiento a Jamilena (sondeos de Loma Pineda -183880035-) y a Martos (sondeo que regula el manantial de La Maleza -183870028-), además de una serie de sondeos para abastecimiento a urbanizaciones y una serie de manantiales (Fuente del Caño -183870004-) y galerías (Las Mulas -183870001- y Los Arenales -183880009-) que sirven de abastecimiento a Torredonjimeno. En total este acuífero satisface una demanda de unos 2,0 hm³/a.

El acuífero **Cerro Fuente** se define por los afloramientos de calizas y dolomías del Lías Inferior y las calizas con sílex del Dogger del dominio del Subbético Interno, que constituyen un isleto tectónico de una extensión de 1,55 km². Presenta una estructura interna bastante compleja y el substrato impermeable corresponde a las margas y yesos del Trias. El acuífero de Cerro Fuente, responde a un esquema de acuífero libre kárstico, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 0,2 hm³/a. La descarga se efectúa, fundamentalmente, a través del manantial de Fuente Mayor

(183880006), situado a cota 785 m snm. Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran en 1 hm³.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcicas. Los datos piezométricos disponibles sobre este acuífero indican la posible compartimentación hidrogeológica del mismo en sectores como respuesta a la compleja estructura geológica que presenta.

Los usos de aguas subterráneas corresponden al aprovechamiento de manantiales para riegos en Jamilena (0,25 hm³/a).

Acuíferos	Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam. (días ⁻¹)	Calidad Abastecimiento
Lías de Jabalcuz	1,30	1,30	0,30	10	750 a 1000	0,0098-0,019	Buena-aceptable
Dogger de Jabalcuz	1,20	1,20	1,20	54	50 a 100	-	Buena-aceptable
Cerro Fuente	0,20	0,20	-	1	-	-	Buena-aceptable
UH 05.16	2,70	2,70	1,50	65	-	-	Buena-aceptable ³

Tabla 38. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.16/Jabalczuz

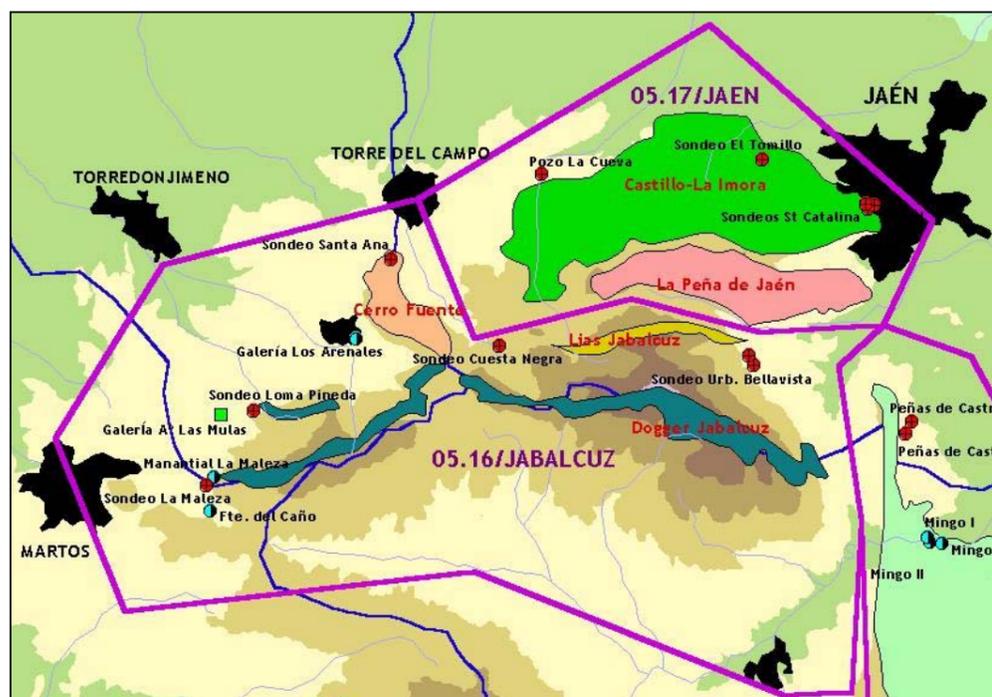


Figura 83. Unidades hidrogeológicas Jaén-Jabalczuz

³ Salinidad media-alta (300 a 5.370 µS/cm, valor promedio de 979 µS/cm)

8.2 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.17/JAÉN

Esta unidad hidrogeológica corresponde a un sistema carbonatado permeable por fisuración y karstificación encuadrado en el borde septentrional de las Zonas externas de las Cordilleras Béticas, en contacto con los materiales de la Depresión del Guadalquivir. Los afloramientos permeables suponen una superficie de 18 km².

Dentro de esta unidad hidrogeológica se distinguen dos subunidades o acuíferos de funcionamiento hidrogeológico diferenciado:

- Castillo-La Ímora
- La Peña de Jaén

El acuífero Castillo-La Ímora se define por los afloramientos calizos del Cretácico (calizas albienses y calizas cenomanienses) que ocupan una superficie de 13,57 km² que corresponden al núcleo y flanco septentrional del anticlinal que estructura la Sierra de Jaén. Los límites de este acuífero se asocian a los materiales impermeables del Mioceno (Unidad Olistostrómica del Guadalquivir).

La estructura geológica corresponde a un anticlinal vergente al norte, definiéndose el acuífero por los afloramientos del núcleo (calizas del Albiense) y el flanco septentrional (calizas del Cenomaniense), paquetes que están conectados por las fracturas que afectan al flanco septentrional de la estructura.

El acuífero calizo Castillo-La Ímora, que presenta transmisividades de entre 500 a 1.000 m²/d, responde a un acuífero libre de estructura y funcionamiento kárstico, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 2 hm³/a. La descarga en régimen natural se efectúa a través del manantial La Magdalena (193810035) situado a cota de 600 m snm, si bien, actualmente, la descarga se efectúa mediante bombes (2,8 hm³/a). Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran en 5 hm³.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcicas de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a los bombeos para abastecimiento a Torredelcampo (pozo con galería de La Cueva -183840001-) y los bombeos para Jaén capital (sondeos de Santa Catalina -193810032 a 0045- y El Tomillo -193810051-), que totalizan un volumen anual medio de 1,79 hm³, además de otros sondeos que se usan para abastecimiento industrial y regadío (1,01 hm³/a). En total este acuífero satisface una demanda de unos 2,8 hm³/a.

El acuífero La Peña de Jaén se concreta por los afloramientos calizos del Cretácico (calizas cenomanienses) que ocupan una superficie de 4,42 km² que corresponden al flanco meridional del anticlinal que estructura la Sierra de Jaén. Los límites de este acuífero se asocian a los materiales impermeables del Mioceno (Unidad Olistostrómica del Guadalquivir).

La estructura geológica corresponde a un anticlinal vergente al norte, definiéndose el acuífero por los afloramientos del flanco meridional (calizas del Cenomaniense).

El acuífero calizo La Peña de Jaén, responde a un acuífero libre de estructura y funcionamiento kárstico, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 1 hm³/a. La descarga se efectúa a través del manantial La Peña (193810002) situado a cota de 600 m snm. Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran en 2,5 hm³.

Datos sobre caudales drenados en el manantial La Peña implican un coeficiente de agotamiento que oscila entre 0,024 días⁻¹ a 0,051 días⁻¹. Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcicas de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano. Los usos de aguas subterráneas corresponden al aprovechamiento para riegos del manantial de la Peña (0,7 hm³/a).

Acuíferos	Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam. (días ⁻¹)	Calidad Abastecimiento
Castillo-La Ímora	2,00	2,80	1,80	5	500 a 1000	-	Buena-aceptable
La Peña de Jaén	1,00	1,00	-	2,5	-	0,024-0,051	Buena-aceptable
UH 05.17	3,00	3,80	1,80	7,5	-	-	Buena-aceptable ⁴

Tabla 39. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.17/Jaén

⁴ Salinidad media-alta (230 a 2.250 µS/cm, promedio 687 µS/cm)

8.3 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.18/SAN CRISTÓBAL

El acuífero San Cristóbal queda fuera del Sistema Quebrajano-Víboras, no obstante se ha incluido en el presente estudio al objeto de efectuar el cálculo de aportaciones en la cuenca del río Jaén.

Se define por los afloramientos calizos del Dogger de unos 350 m de potencia, que se encuentra confinado a muro y techo por materiales poco permeables. El afloramiento permeable corresponde a una superficie de 11,57 km².

Responden a un acuífero libre kárstico que se recarga por infiltración de agua de lluvia (0,75 hm³/a). La descarga en régimen natural se efectúa a través del manantial situado en la Guardia de Jaén (193860002) situado a cota de 640 m snm, una serie de salidas dispersas y mediante bombeo (sondeo de abastecimiento a La Guardia de Jaén de 10 l/s).

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcicas de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a los bombeos para abastecimiento a La Guardia de Jaén (0,3 hm³/a) y los aprovechamientos de las surgencias para riego.

8.4 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.66/GRAJALES-PANDERA-CARCHEL

Esta unidad hidrogeológica corresponde a un sistema carbonatado permeable por fisuración y karstificación con funcionamiento libre y funcionamiento confinado en su borde noroccidental, bajo las margas miocenas aflorantes en las proximidades de Puente de la Sierra. Los afloramientos permeables suponen una superficie de 109,62 km², constituyendo la unidad hidrogeológica más relevante del Sistema Quebrajano-Víboras.

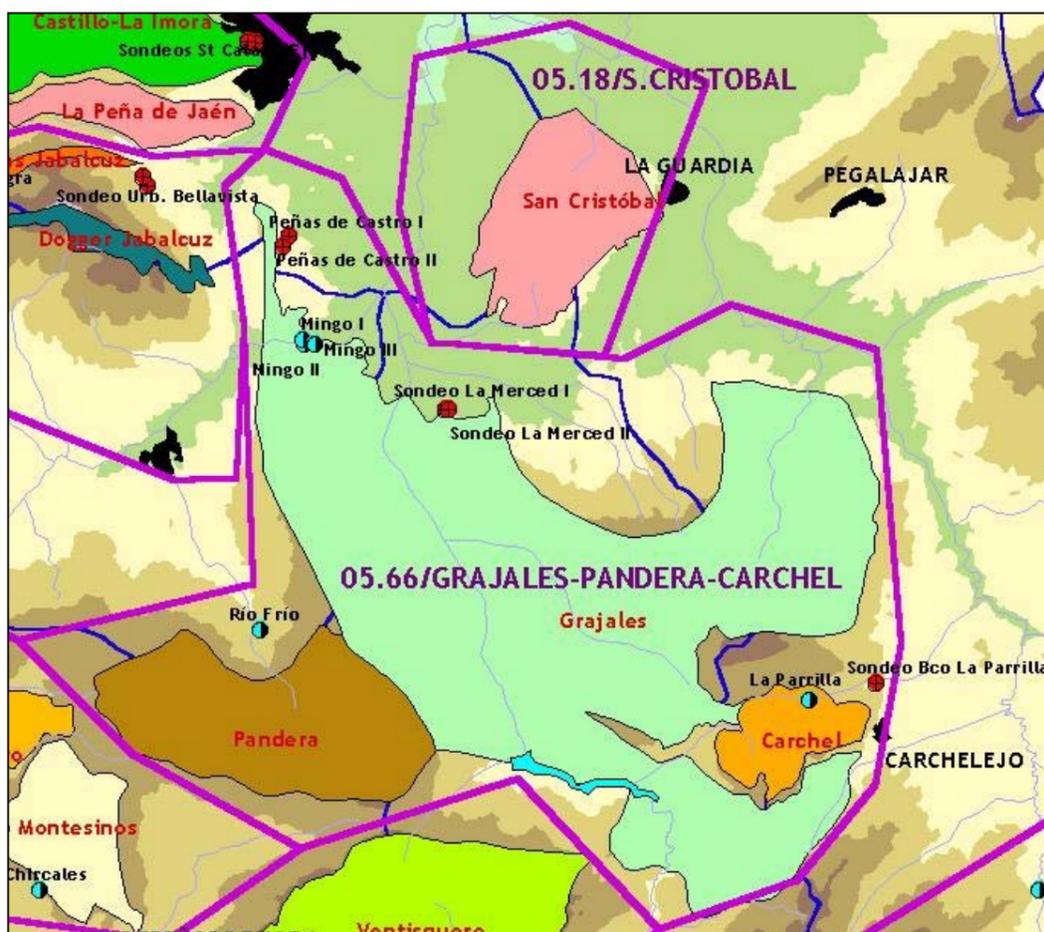


Figura 84. Unidades hidrogeológicas Grajales-Pandera-Carchel y San Cristóbal

Dentro de esta unidad hidrogeológica se distinguen tres subunidades o acuíferos de funcionamiento hidrogeológico diferenciado:

- Grajales
- Pandera
- Carchel

Los acuíferos de Grajales y Pandera corresponden, posiblemente, a dos sectores de funcionamiento hidrogeológico diferenciado dentro de la subunidad Grajales-Pandera que se cita en la bibliografía consultada. Así, aunque a continuación se presentan de forma conjunta las características hidrogeológicas del conjunto Grajales-Pandera, en el estudio de regulación desarrollado se han considerado por separado.

El conjunto acuífero **Grajales-Pandera** se define en virtud de a los afloramientos de calizas y dolomías del Lías inferior y las calizas del Malm, que alcanzan potencias de 700 y entre 50 a 200 m, respectivamente. Entre ambos se sitúa un paquete de margas y margocalizas de carácter impermeable que desconecta los niveles permeables de techo y muro, aunque a nivel regional existe continuidad hidrogeológica como consecuencia de las fracturas que afecta al conjunto jurásico.

Las formaciones permeables presentan una extensión de afloramientos de 86,27 km² en el sector Grajales y de 18,51 km² en el sector Pandera.

La estructura geológica viene condicionada por un sinclinal de dirección N150E en cuyo núcleo llegan a aflorar materiales cretácicos (Unidades Intermedias) y por una falla inversa localizada en la zona central, que superpone las dolomías liásicas al Cretácico anteriormente mencionado. El conjunto corresponde a una gran masa alóctona en cuya base se localizan afloramientos de margas y arcillas triásicas que se disponen sobre las margas y margocalizas cretácicas (Unidades Intermedias).

El conjunto acuífero calizo Grajales-Pandera responde a un acuífero libre, parcialmente confinado en su sector noroccidental, de estructura kárstica, que se recarga por infiltración de agua de lluvia (16,5 hm³/a en el sector Grajales y 3,5 hm³/a en el sector de la Pandera) y por pérdidas en el embalse del Quiebrajano (4 hm³/a). La compartimentación hidrogeológica que presenta en dos sectores (Grajales y la Pandera) es debido a la existencia de umbrales y fosas asociadas a los materiales triásicos impermeables subyacentes.

La descarga en régimen natural del sector de la Pandera se efectúa hacia el manantial de río Frío (193910001), situado a cota 940 m snm. En el sector Grajales la descarga se desarrolla a través de los manantiales de Mingo (193850018 a 0020), situados a cotas de 510 m snm y por bombeos (sondeos de La Merced -193860022, 193860023 y 193860026- y de Peñas de Castro -193850030, 193850031, 193850034 y 193850043). Las reservas estimadas para este acuífero son de 90 hm³.

Datos sobre caudales drenados por el manantial del nacimiento de río Frío implican un coeficiente de agotamiento de 0,00071 a 0,0047 días⁻¹. Para las descargas de Mingo se ha evaluado un coeficiente de agotamiento de 0,0047 días⁻¹.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada-sulfatada cálcica de media mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación parcial de la descarga por los manantiales de río Frío y Mingo para el abastecimiento a Los Villares (0,48 hm³/a de río Frío) y la Mancomunidad del Quebrajano, que incluye Jaén capital y municipios de la Campiña de Jaén-Córdoba (algo más de 2 hm³/a para Jaén capital desde río Frío y unos 4 hm³/a para la Mancomunidad del Quebrajano -incluye Jaén capital-). Además existen captaciones en el sector Grajales para abastecimiento a Jaén capital (sondeos de Peñas de Castro -2,41 hm³/a-) y la Mancomunidad del Quebrajano (sondeos de La Merced -0,95 hm³/a). Asimismo, parte del caudal drenado por río Frío se emplea en el riego de Los Villares (0,71 hm³/a). En total este acuífero satisface una demanda de casi 11 hm³/a.

El acuífero Carchel se concreta a partir de los afloramientos de calizas detríticas, conglomerados y areniscas de edad Oligoceno-Mioceno inferior que se disponen discordantes sobre las margas y margocalizas cretácicas de la unidad Grajales-Pandera. Su potencia oscila entre 150 y 300 m y la extensión de los afloramientos permeables es de 4,84 km².

El acuífero del Carchel, que presenta valores de transmisividad de 200 m²/d, se recarga por infiltración de agua de lluvia 0,5 hm³/a y la descarga se verifica por los manantiales de La Parrilla (19393002) y Santa Lucía (193930009) y por los sondeos de abastecimiento a Carchel y Carchelejo.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada cálcica de baja a media mineralización (275 a 318 µS/cm con un valor promedio de 297 µS/cm), siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación de manantiales y mediante sondeos para el abastecimiento a Carchel y Carchelejos (0,15 hm³/a).

Acuíferos	Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam (días ⁻¹)	Calidad Abastecimiento
Grajales	20,5	7,50	7,50	90	-	0,0047	Buena ⁵
Pandera	3,5	3,25	2,50		-	0,00071 a 0,0047	Buena
Carchel	0,5	0,15	0,15	-	200	-	Buena
UH 05.66	24,5	10,90	10,15	90	-	-	Buena

Tabla 40. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.66/Grajales-Pandera-Carchel

8.5 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.22/MONTESINOS

Esta unidad hidrogeológica corresponde a un sistema carbonatado permeable por fisuración y karstificación formado por materiales del Subbético Externo. Los afloramientos permeables suponen una superficie de 26,35 km². Dentro de esta unidad hidrogeológica se distinguen dos subunidades o acuíferos de funcionamiento hidrogeológico diferenciado:

- Mentidero
- Montesinos

El acuífero Mentidero se vincula a los afloramientos de calizas del Jurásico (Fms. Gavilán y Camarena) que presentan espesores de entre 400 y 600 m y que ocupan una superficie de 18,88 km². La estructura geológica corresponde a sinclinales con buzamiento suave. Los límites y el substrato impermeable de este acuífero se asocian a los materiales margoyesíferos del Trias, que condicionan unos límites cerrados excepto en el borde occidental donde el acuífero jurásico aparece cubierto por materiales cenozoicos.

El acuífero calizo Mentidero, responde a un acuífero libre de estructura kárstica, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 3 hm³/a. La descarga se efectúa a través de los manantiales asociados al río Fuensanta (Fuente Lavadero -183940002-, Fuente Negra -183940001-, Fuente del río -183940019-, La Fuentecica -183940024- y El Encinar -18394007-), situados a cotas 710-720 m snm. Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran en 24 hm³.

⁵ El conjunto Grajales-Pandera presenta una salinidad media (264 a 721 µS/cm con promedio 425 µS/cm)

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada o bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano. Los usos de aguas subterráneas corresponden a las captaciones de manantiales para abastecimiento a Fuensanta de Martos y Los Encinares (0,66 hm³/a) y regadío (algo más de 1,0 hm³/a). En total este acuífero satisface una demanda de unos 1,73 hm³/a.

El acuífero **Montesinos** se define por los afloramientos de calizas del Jurásico (Fm. Gavilán) que presentan espesores de entre 250 y 300 m y que ocupan una superficie de 7,47 km². La estructura geológica corresponde a sinclinales con buzamiento suave. Los límites y el substrato impermeable de este acuífero se asocian a los materiales margoyesíferos del Trias, que condicionan unos límites cerrados. Responde a un acuífero libre de estructura kárstica, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 2 hm³/a. La descarga se efectúa a través del manantial de Chircalles (-193910023-), situado a cota 990 m snm. Las reservas hidrogeológicas de este acuífero se cifran en 5 hm³.

Datos sobre caudales drenados en el manantial de Chircalles implican un coeficiente de agotamiento que oscila entre 0,0073 días⁻¹ a 0,011 días⁻¹. Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada o bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano. Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación parcial de la descarga por el manantial de Chircalles para el abastecimiento a la Comarca de Martos (Canal de Martos). En total este acuífero satisface una demanda de unos 1,60 hm³/a.

Acuíferos	Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam (días ⁻¹)	Calidad Abastecimiento
Mentidero	3,00	1,73	0,66	24	-	-	Buena-aceptable
Montesinos	2,00	1,60	1,60	5	-	0,0073-0,011	Buena-aceptable
UH 05.22	5,00	3,70	2,26	29,5	-	-	Buena-aceptable ⁶

Tabla 41. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.22/Mentidero-Montesinos

⁶ Salinidad media-alta (370 a 810 µS/cm con promedio 517 µS/cm)



Figura 85. Unidades hidrogeológicas Mentidero-Montesino, Gracia-Ventisquero y Montes Orientales (acuíferos del Alto Víboras)

8.6 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.28/MONTES ORIENTALES

Esta unidad hidrogeológica presenta diferentes subunidades de las que sólo está representada en la zona de estudio el acuífero Fresnedilla-Pico Maleza.

El acuífero Fresnedilla-Pico Maleza se define en virtud de los afloramientos de calizas y dolomías del Lías inferior, pertenecientes a la transición Subbético Medio y Externo, que ocupan una superficie de 25,72 km². El substrato impermeable está asociado a las margas y arcillas con yesos del Trias. Los límites de este acuífero se asocian intrusiones triásicas en el borde meridional y occidental, y a materiales semipermeables del Cretácico Inferior (calizas margosas y margocalizas). La estructura geológica corresponde a un amplio sinclinal, amortiguado hacia el Norte.

El acuífero calizo Fresnedilla-Pico Maleza, responde a un acuífero libre de estructura kárstica, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 3,5 hm³/a y

alimentación de la potente serie semipermeable cretácica (0,5 hm³/a). La descarga se efectúa, hacia el sur, a través de los manantiales del río Luchena (Fuente del Encarbo -194020025-), situado a cota 1.020 m snm; y hacia el norte hacia el río Quebrajano -arroyo Carboneros- (El Nacimiento-183940002-) situado a cota 1.030 m snm.

La presencia de estos puntos de descarga permite pensar en la existencia de una divisoria hidrogeológica para este acuífero, de tal manera que a efectos del presente proyecto sólo se ha considerado la porción septentrional que drena hacia el río Quebrajano, que representa el 47% de la superficie permeable del acuífero, y al que corresponden unos recursos renovables anuales medios de 2,5 hm³.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada cálcica de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Sobre las descargas naturales de este acuífero no existen aprovechamientos, si bien, las mismas son reguladas mediante el embalse del Quebrajano.

8.7 UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.70/GRACIA-VENTISQUERO

Esta unidad hidrogeológica corresponde a un sistema carbonatado permeable por fisuración y karstificación formado por materiales del Subbético Externo. Los afloramientos permeables suponen una superficie de 67,12 km².

Dentro de esta unidad hidrogeológica se distinguen tres subunidades o acuíferos de funcionamiento hidrogeológico diferenciado:

- Cornicabra-Noguerones
- Gracia-Morenita
- Ventisquero

El acuífero Cornicabra-Noguerones se define en virtud de a los afloramientos de calizas y dolomías jurásicas (Fm. Gavilán) que presentan espesores de entre 280 y 290 m y que ocupan una superficie de 12,41 km². La estructura geológica

corresponde a una estructura sinforme de dirección ENE-OSO (conjuntos alóctonos desplazados a favor de los materiales triásicos que constituyen el substrato impermeable). Sobre los materiales jurásicos se disponen materiales margocalcáreos que abarcan desde el Cretácico hasta el Eoceno y que alcanzan mayor espesor en los núcleos sinclinales.

Los límites del acuífero son cerrados (afloramientos de margas y arcillas con yesos del Trias), excepto el límite nororiental donde la unidad Cornicabra-Noguerones cabalga sobre la unidad Ventisquero, entrando en contacto hidráulico ambos acuíferos.

El acuífero calizo Cornicabra-Noguerones, responde a un acuífero libre de estructura kárstica pero con funcionamiento kárstico poco desarrollado, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 3 hm³/a. Presenta una compartimentación en dos sectores debido a la existencia de una forma anticlinal, donde la elevación del substrato impermeable triásico provoca una desconexión hidráulica. Así, se define un sector oriental, donde los afloramientos permeables presentan una extensión de 2,5 km², que se descarga hacia el acuífero Ventisquero (0,5 hm³/a); y un sector occidental, con una extensión de afloramientos de 10 km², que se descargan hacia los manantiales Papel Alta (193950001) y Papel Baja (193950002), situados a cotas 1020 y 970 respectivamente (2,5 hm³/a). Las reservas estimadas para este acuífero son de 8,5 hm³.

Datos sobre caudales drenados por los manantiales Papel Alta y Papel Baja implican un coeficiente de agotamiento de 0,0071 días⁻¹.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada o sulfatadas cálcico o cálcico-magnésica de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación parcial de la descarga por los manantiales Papel Alta y Papel Baja hacia el río Grande para el abastecimiento a la Comarca de Martos (Canal de Martos). En total este acuífero satisface una demanda de unos 0,75 hm³/a.

El acuífero **Gracia-Morenita** se define a partir de los afloramientos de calizas y dolomías jurásicas (Fm. Gavilán) y, en menor proporción, de las calizas nodulosas y calizas con sílex de las Fms. Veleta y Ammonítico Rosso Superior, que, en conjunto, presentan espesores de entre 140 y 290 m y que ocupan una superficie de 22,50 km².

La estructura geológica corresponde a una serie de sinclinales tumbados (cerros La Morenica, Gracia y El Marroquí) con flancos invertidos. Estas estructuras originan importantes reservorios subterráneos y propician que gran parte de la zona saturada del acuífero se sitúe confinada bajo los materiales triásicos o las margas cretácicas.

Los límites del acuífero son cerrados (afloramientos de margas y arcillas con yesos del Trias), excepto el límite suroccidental donde entra en contacto hidráulico con los carbonatos jurásicos del acuífero Frailes-Boleta (UH 05.28/Montes Orientales).

El acuífero calizo Gracia-Morenita, responde a un acuífero esencialmente libre (parcialmente confinado o semiconfinado) de estructura kárstica, que se recarga por infiltración de agua de lluvia (8 hm³/a), por recarga desde los materiales semipermeables cretácicos suprayacentes (0,5 hm³/a) y por transferencia lateral subterránea procedente del acuífero Frailes-Boleta y recarga desde el cauce del río Grande (2 hm³/a). La descarga se desarrolla hacia el Nacimiento del río San Juan (-183980003-), situados a cota 645 m snm. Las reservas explotables estimadas para este acuífero son de 36 hm³.

Datos sobre caudales drenados en el manantial del río San Juan implican un coeficiente de agotamiento de 0,0042 días⁻¹. Ensayos de bombeo ejecutados sobre sondeos que captan las formaciones jurásicas han arrojados valores de transmisividad muy variables entre 300 y 1.500 m²/d. El coeficiente de almacenamiento elástico se sitúa entre 3,2-4,2·10⁻⁵, mientras que la porosidad eficaz se fija en 0,015.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada o sulfatadas cálcico o cálcico-magnésica de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación parcial de la descarga por el manantial del Nacimiento del río san Juan para el abastecimiento a Castillo del Locubín (1 hm³/a). Existen unos sondeos en la parte septentrional del acuífero (sondeos Víboras IV -183940031- y Víboras VI -183940033-) con destino al abastecimiento en situaciones de emergencia de la Comarca de Martos (Canal de Martos) con una capacidad de bombeo de 150 l/s.

El acuífero Ventisquero se concreta a partir de los afloramientos de calizas y dolomías jurásicas (Fm. Gavilán) y, en menor proporción, de las calizas nodulosas y calizas con sílex de las Fms. Veleta y Ammonítico Rosso Superior, que, en conjunto, presentan espesores de entre 300 y 325 m y que ocupan una superficie de 24,39 km².

La estructura geológica corresponde a una estructura sinforme de dirección ENE-OSO (conjuntos alóctonos desplazados a favor de los materiales triásicos que constituyen el substrato impermeable). Sobre los materiales jurásicos se disponen materiales margocalcáreos que abarcan desde el Cretácico hasta el Eoceno y que alcanzan mayor espesor en los núcleos sinclinales.

Los límites del acuífero son cerrados (afloramientos de margas y arcillas con yesos del Trias), excepto el límite suroccidental donde la unidad Cornicabra-Noguerones cabalga sobre la unidad Ventisquero, entrando en contacto hidráulico ambos acuíferos.

El acuífero calizo Ventisquero, responde a un acuífero libre de estructura kárstica pero con funcionamiento kárstico poco desarrollado, que se recarga por infiltración de agua de lluvia 6,5 hm³/a y por transferencia lateral subterránea procedente del sector oriental del acuífero Cornicabra-Noguerones (0,5 hm³/a). La descarga se desarrolla hacia los manantiales de Valdepeñas (Chorro -193910022-, Vadillo -193910018-, Chorrillo-193910019- y Estanquillo -193910020-), situados a cotas de entre 930 a 980 m snm, presentando los situados a cota superiores un funcionamiento trop-plein. Las reservas estimadas para este acuífero son de 30 hm³.

Datos sobre caudales drenados en el manantial del Vadillo (con funcionamiento trop-plein) implican un coeficiente de agotamiento que oscila entre

0,020 días⁻¹ a 0,026 días⁻¹, mientras que para el manantial del Estanquillo se obtiene un valor de 0,011 días⁻¹.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada o sulfatadas cálcico o cálcico-magnésica de media a alta mineralización, siendo aptas para abastecimiento urbano.

Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación parcial de la descarga por los manantiales de Valdepeñas hacia el río Grande para el abastecimiento a Valdepeñas de Jaén (0,80 hm³/a) y a la Comarca de Martos (Canal de Martos) (1,80 hm³/a). También se captan recursos para el riego de huertas y olivar (unos 2 hm³/a). En total este acuífero satisface una demanda de unos 4,60 hm³/a.

Acuíferos	Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam (días ⁻¹)	Calidad Abastecimiento
Cornicabra-Noguerones	3,00	0,75	0,75	8,5	-	0,0071	Buena-aceptable
Gracia-Morenita	10,5	1,00 ^a	-	36		0,0042	Buena-aceptable
Ventisquero	7,0	4,60	2,60	30	300-1500	0,011-0,026	Buena-aceptable
UH 05.70	20,50	6,35	3,35	74,5	-	-	Buena-aceptable ⁷

^a Sondeos para abastecimiento en situaciones de emergencia de la Comarca de Martos (Canal de Martos) con una capacidad de bombeo de 150 l/s.

Tabla 42. Datos relevantes sobre los acuíferos de la UH 05.70/Gracia-Ventisquero

8.8 ACUÍFEROS AISLADOS

Aquí se incluyen los acuíferos utilizados para satisfacción de demandas aguas abajo del embalse del Víboras y que no se encuentran incluidos en ninguna de las unidades hidrogeológicas definidas en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir. Se han incluido dos acuíferos: Ahillos y Caracolera, asociados a afloramientos permeables de edad jurásica.

⁷ Salinidad media-alta (236 a 1.045 µS/cm con promedio 604 µS/cm)

El acuífero **Ahillos** se define en virtud de a los afloramientos de calizas y dolomías jurásicas del Lías inferior, con potencias de 750 m, y en menor medida por calizas oolíticas del Dogger y el Malm que, a pesar de estar separadas por una serie de margas y margocalizas del Lías medio-superior, la intensa tectonización que afecta a este conjunto de materiales, permite el contacto hidrogeológico de ambas formaciones permeables. En el borde oriental de los afloramientos aparecen dolomías y carniolas triásicas alóctonas, que se suponen conectadas al acuífero principal. En conjunto, estas formaciones acuíferas ocupan una superficie de 9,65 km².

La estructura geológica corresponde a un sinclinal muy fracturado en cuyo núcleo afloran margas y margocalizas del Cretácico. El conjunto es posiblemente alóctono (ventana tectónica bajo un manto triásico) y se superpone a los materiales cretácicos de las Unidades Intermedias. Los límites del acuífero son cerrados (afloramientos de margas y arcillas con yesos del Trias).

El acuífero calizo Ahillos, responde a un acuífero libre con estructura kárstica y funcionamiento kárstico, que se recarga por infiltración de agua de lluvia (2 hm³/a).

La descarga en régimen natural se desarrolla a través de manantiales situados a cotas de entre 735 a 812 m snm (Chorros de Carmona -183930009-, Barranco González -183930010-, Fuente Vieja -183970007- y Fuente Amuña -183920026- y salidas dispersas). Existe un sondeo (183920026) que regula la Fuente Amuña. Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada cálcica de baja salinidad, siendo aptas para abastecimiento urbano. Los usos de aguas subterráneas corresponden a la captación mediante sondeos para el abastecimiento a Alcaudete (0,64 hm³/a) (sondeos Cerro de la Cal I -183920020- y Cerro de la Cal II -183820031-). Además, existen captaciones de manantiales y sondeos para el riego del olivar (unas 800 ha).

El acuífero **Caracolera** se define, fundamentalmente, a partir de los afloramientos de calizas y dolomías del Lías inferior (Fm. Gavilán) que presentan espesores próximos a los 750 m y que ocupan una superficie de 6,40 km². La estructura geológica corresponde a un sinclinal con vergencia al norte con flanco

meridional que adquiere posiciones invertidas. Destaca la presencia de una serie de fracturas normales que compartimentan el acuífero sin ocasionar desconexiones hidrogeológicas.

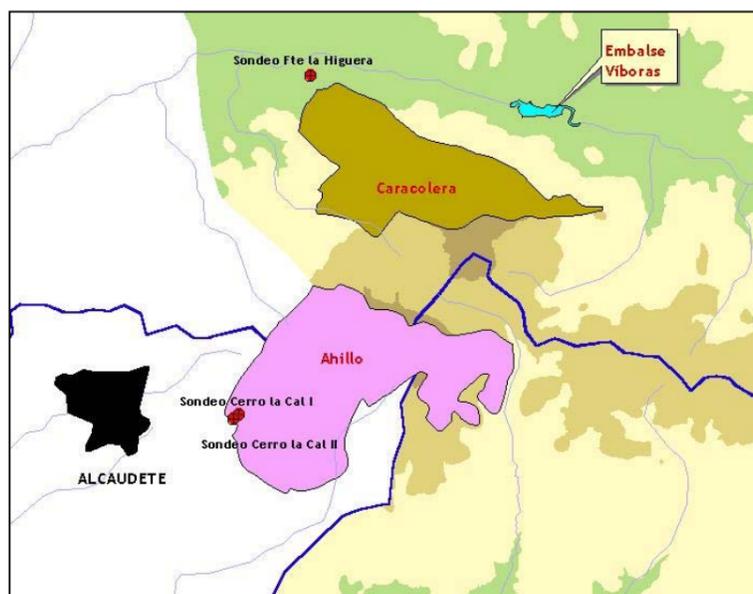


Figura 86. Acuíferos aislados de Ahillo y Caracolera

La unidad es posiblemente alóctona y cabalgante sobre los materiales cretácicos de la Unidad Intermedia. Los límites del acuífero son cerrados (afloramientos de margas y arcillas con yesos del Trias al norte y este, materiales margosos cretácicos y paleógenos al sur y arcillas de la Unidad Olistrostrómica al oeste).

El acuífero calizo Caracolera, responde a un acuífero libre con estructura y funcionamiento kárstico, que se recarga por infiltración de agua de lluvia (1,7 hm³/a). La descarga se desarrolla hacia la Fuente de la Higuera (183920013), situado a cota 470 m snm y en un afloramiento dolomítico liásico situado fuera de los afloramientos principales; y mediante drenaje difuso hacia el río Víboras. Ensayos de bombeo realizados arrojan datos de transmisividad de unos 100 m²/d.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatada cálcica de baja a media mineralización (370 a 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor promedio de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), siendo aptas para abastecimiento urbano. Los usos de aguas subterráneas corresponden a la

captación mediante sondeos para abastecimiento urbano a los núcleos de Bobadilla y Noguerones (sondeo de regulación de Fuente Higuera -183920030-) que capta unos 0,26 hm³/a y otras captaciones en manantiales para riegos.

Acuíferos	Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam (días ⁻¹)	Calidad Abastecimiento
Ahilllos	2,0	> 2	0,64	-	-	-	Buena-aceptable
Caracolera	1,7	0,77	0,26	-	100	-	Buena-aceptable

Tabla 43. *Datos relevantes sobre los acuíferos aislados*

8.9 RESUMEN DE DATOS HIDROGEOLÓGICOS

Según los datos disponibles, los recursos renovables medios anuales que presentan los acuíferos vinculados al Sistema Quebrajano-Víboras se cifran en 62 hm³.

Existen infraestructuras de regulación para captar unos 32,5 hm³/a de aguas subterráneas, algo más del 52% de los recursos renovables (unos 62 hm³/a según datos del IGME-CHG, tabla 43), destinándose la mayor parte de las aguas subterráneas captadas para el abastecimiento urbano (22,5 hm³/a).

Las reservas hidrogeológicas estimadas para los acuíferos superan los 266 hm³, presentando, por lo general y salvo sectores localizados, aguas de buena a aceptable calidad para abastecimiento urbano, predominando la facies bicarbonatada cálcica de media salinidad.

Acuíferos		Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam (días ⁻¹)	Salinidad (µS/cm)
05.16	Lías de Jabalcuz (11)	1,30	1,30	0,30	10	750 a 1000	0,0098-0,019	300-5.370
	Dogger de Jabalcuz (6)	1,20	1,20	1,20	54	50 a 100	-	
	Cerro Fuente (4)	0,20	0,20	-	1	-	-	
05.17	Castillo-La Imora (3)	2,00	2,80	1,80	5	500 a 1000	-	230-2.250
	La Peña de Jaén (10)	1,00	1,00	-	2,5	-	0,024-0,051	
05.22	Mentidero (12)	3,00	1,73	0,66	24	-	-	370-810
	Montesinos (13)	2,00	1,60	1,60	5	-	0,0073-0,011	
05.28	Fresnedilla-Pico Maleza (7) (sector Quiebrajano)	2,50	2,5(a)	2,5	-	-	-	
05.66	Grajales (14)	20,50	7,50	7,50	90	-	0,0047	264-721
	Pandera (9)	3,50	3,25	2,50		-	0,00071-0,0047	
	Carchel (16)	0,50	0,15	0,15	-	200	-	
05.70	Cornicabra-Noguerones (5)	3,00	0,75	0,75	8,5	-	0,0071	236-1.045
	Gracia-Morenita (8)	10,50	1,00	-	36		0,0042	
	Ventisquero (15)	7,00	4,60	2,60	30	300-1500	0,011-0,026	
Aislados	Ahillos (1)	2,00	>2,00	0,64	-	-	-	
	Caracolera (2)	1,70	0,77	0,26	-	100	-	370-950
Suma		61,9	32,45	22,46	> 266			

(a) Recursos regulados por el embalse del Quiebrajano

Tabla 44. Resumen de datos relevantes sobre los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras (datos IGME-CHG, Normas de Explotación)

En la figura 85 se ha representado el estado hidrológico de los acuíferos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras, clasificando los mismos en deficitarios (cuando los recursos captados son superiores a los recursos renovables); regulados (cuando los recursos regulados son superiores al 60% de los recursos renovables); y excedentarios (cuando los recursos regulados son inferiores al 60% de los recursos renovables).

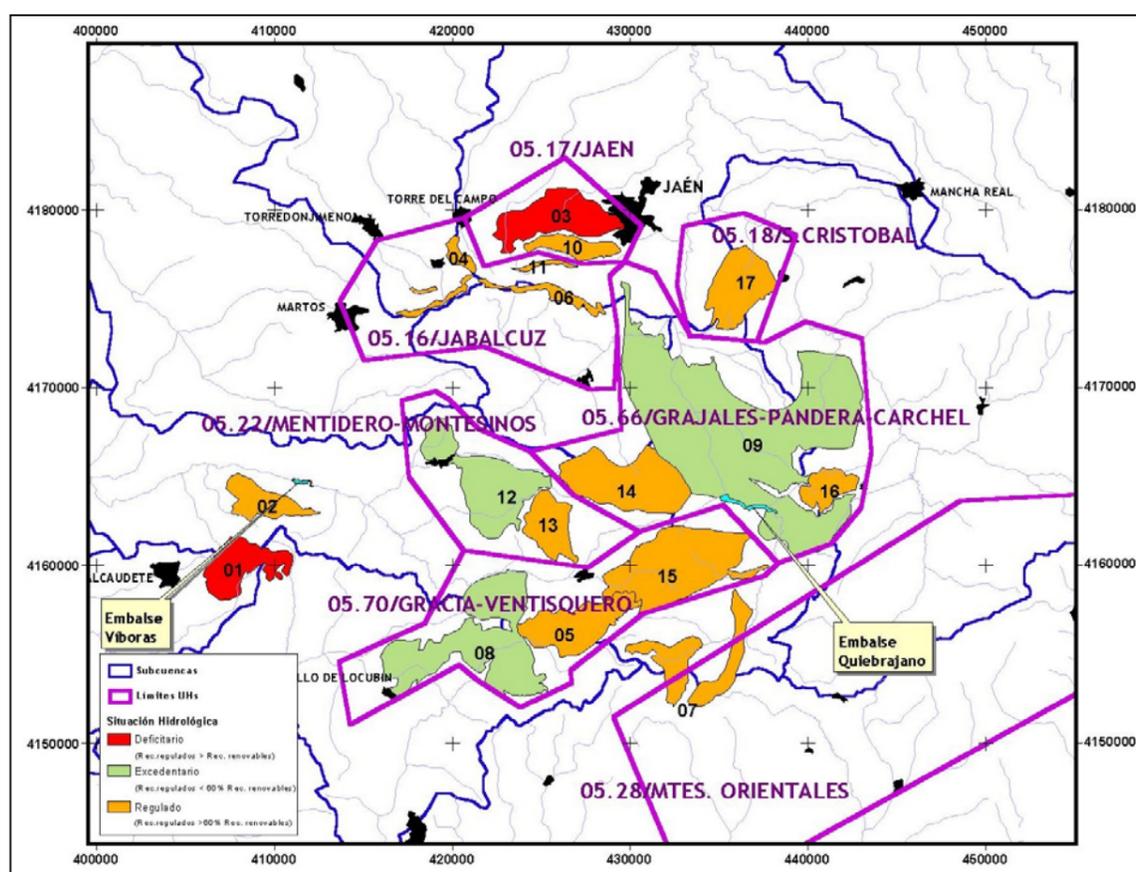


Figura 87. Situación hidrológica de los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras

8.10 MODELACIÓN DE ACUÍFEROS EN SIMGES

En el Sistema Quiebrajano-Víboras la utilización de recursos subterráneos permite la satisfacción de un 73,5% de la demanda consuntiva (40,29 hm³/año de promedio), lo que representa un caudal instantáneo de 938 l/s de recursos subterráneos, lo que pone claramente de manifiesto la necesidad de considerar los acuíferos con el máximo detalle posible, teniendo en cuenta, por otra parte, que se trata de construir un modelo de simulación de gestión de cuencas y no modelos de simulación de flujos subterráneos, que podrían constituir herramientas complementarias.

La inclusión de los acuíferos en el sistema permite, la utilización de esquemas de uso conjunto, que en algunos casos pueden constituir alternativas válidas para resolver ciertos problemas en la satisfacción de las demandas.

ELEMENTOS DE REGULACIÓN		VOLÚMEN PROMEDIO DE RECURSOS CAPTADOS (hm ³)	% RESPECTO AL TOTAL	CAPACIDAD MÁXIMA DE REGULACIÓN (hm ³)	% CAPTADOS/CAPACIDAD MÁXIMA
Embalse Quiebrajano		6,84	18,6%	12,39	55,2%
Captaciones en acuíferos	Abastecimiento Urbano	16,94	45,9%	29,89	56,7%
	Regadíos	8,64	23,4%		
	Otros Usos	0,61	1,7%		
Reutilización EDAR y ARU		3,85	10,4%	3,85	
Embalse del Víboras		(a)	-	9,33	
Sondeos Gracia-Morenita		(b)	-	4,67	
TOTALES		36,88	100%	55,39	
(a) Capacidad de captación prevista de 300 l/s					
(b) Capacidad de captación prevista de 150 l/s					
DEMANDA PROMEDIO ANUAL (hm³)					
Demandas consuntivas	Abastecimiento Urbano	27,19	67,5%		
	Regadíos	12,49	31,0%		
	Otros Usos	0,61	1,5%		
TOTALES		40,29	100,0%		

Tabla 45. Elementos de regulación de recursos hídricos en el Sistema Quiebrajano-Víboras

Partiendo de las unidades hidrogeológicas asociadas al Sistema Quiebrajano-Víboras han sido considerados los siguientes acuíferos como elementos unitarios del sistema simulado:

05.16/Jaén

Acuífero Castillo-La Ímora (3)

Acuífero La Peña (10)

05.17/Jabalcez

Acuífero Cerro Fuente (4)

Acuífero Lías Jabalcez (11)

Acuífero Dogger Jabalcez (6)

05.22/ Mentidero-Montesinos

Acuífero Mentidero (12)

Acuífero Montesinos (13)

05.28/Montes Orientales

Acuífero Fresnedilla-Pico Maleza (sector Septentrional) (7)

05.66/Grajales-Pandera-Carchel

Acuífero Grajales (9)

Acuífero Pandera (14)

05.70/Gracia-Ventisquero

Acuífero Cornicabra-Noguerones (5)

Acuífero Gracia-Morenita (8)

Acuífero Ventisquero (15)

05.99/Acuíferos aislados

Acuífero Ahillo (1)

Acuífero Caracolera (2)

En total, se han diferenciado 15 acuíferos⁸, para cuya simulación se han utilizados los modelos de que dispone SIMGES. Así, en la tabla 45 se resumen las características de los modelos utilizados para simular la gestión de estos acuíferos.

En esta tabla se indica el tipo de modelo utilizado en la simulación y los parámetros de simulación. Todos los acuíferos han sido simulados mediante el modelo unicelular, por lo que la acción elemental es única (recarga neta).

El hecho de que todos los acuíferos vinculados al Sistema Quebrajano-Víboras respondan al esquema de acuífero kárstico con descarga focalizada ha condicionado la decisión de su simulación mediante modelos unicelulares, no habiendo utilizado el modelo tipo manantial por el condicionante de que sólo permite introducir el caudal medio drenado por el manantial, lo cual es muy negativo puesto que se pretende

⁸ Para el modelo precipitación-aportación de Temez se han simulado un total de 17, además de los 15 citados el acuífero de Carchel (UH 05.66) y el acuífero San Cristóbal (UH 05.18)

evaluar la respuesta de un sistema que se abastece parcialmente de captaciones en manantiales (Fuentes de Martos).

SUBCUENCAS	Acuíferos	Superficie Permeable (km ²)	Tipo Modelo	α (mes ⁻¹)
Embalse Quiebrajano	7 Fresnedilla-Pico Maleza	8,35946	Unicelular	0,165
Río Frió	14 Pandera	18,5066	Unicelular	0,135
Bajo Quiebrajano	9 Grajales	86,27423	Unicelular	0,105
	16 Carchel	4,84274	Unicelular	0,105
Río Jaén	17 San Cristóbal	11,56748	Unicelular	0,135
Embalse del Víboras	5 Cornicabra-Noguerones	12,40719	Unicelular	0,105
	12 Mentidero	18,88101	Unicelular	0,135
	13 Montesinos	7,46544	Unicelular	0,075
	15 Ventisquero	24,39392	Unicelular	0,081
Bajo Víboras	1 Ahillo	9,65113	Unicelular	0,150
	2 Caracolera	6,39953	Unicelular	0,120
Jabalruz	4 Cerro Fuente	1,54999	Unicelular	0,255
	6 Dogger Jabalruz	4,63074	Unicelular	0,270
	11 Lías Jabalruz	0,74691	Unicelular	0,450
Jaén	3 Castillo-La Ímora	13,57224	Unicelular	0,600
	10 La Peña de Jaén	4,41846	Unicelular	0,750
San Juan	8 Gracia-Morenita	30,32174	Unicelular	0,105

Tabla 46. Simulación de acuífero del Sistema Quiebrajano-Víboras mediante SIMGES

Acuífero	NÚMERO ACUÍFERO MODELO	DEMANDA CONSUNTIVA SATISFECHA (hm ³ /año)			CAUDALES CAPTADOS (1)		% SOBRE TOTAL CAPTADO	RECURSOS RENOVABLES (hm ³ /a (2))	EXPLOTACIÓN versus RECURSOS RENOVABLES (%) (1)/(2)
		URBANA	AGRÍCOLA	OTROS	(hm ³ /año)	Q (l/s)			
Ahillo	1	0,64	2,00		2,64	84	9,1%	2,03	130%
Caracolera	2	0,26	0,51		0,77	24	2,6%	0,53	143%
Castillo-La Ímora	3	1,79	0,44	0,57	2,80	89	9,6%	1,93	145%
Cerro Fuente	4		0,25		0,25	8	0,9%	0,21	120%
Cornicabra-Noguerones	5	0,75			0,75	24	2,6%	3,25	23%
Dogger Jabalruz	6	1,16		0,04	1,20	38	4,1%	1,38	87%
Fresnedilla-Pico Maleza	7	(a)			0,00	0	0,0%	2,60	0%
Gracia-Morenita	8	(b)			0,00	0	0,0%	10,01	0%
Grajales	9	7,48			7,48	237	25,8%	19,40	39%
La Peña de Jaén	10		0,70		0,70	22	2,4%	0,89	79%
Lías Jabalruz	11	0,30	1,00		1,30	41	4,5%	1,57	83%
Mentidero	12	0,66	1,07		1,73	55	6,0%	3,22	54%
Montesinos	13	1,60			1,60	51	5,5%	2,76	58%
Pandera	14	2,54	0,71		3,25	103	11,2%	3,96	82%
Ventisquero	15	2,60	1,96		4,56	144	15,7%	8,50	54%
Suma		19,78	8,64	0,61	29,02	920	100,0%	62,24	47%

(a) Acuífero regulado por el embalse del Quiebrajano

(b) Existen 2 sondeos con capacidad para bombear 150 l/s

Tabla 47. Aprovechamientos de recursos subterráneos en el Sistema Quiebrajano-Víboras

En las simulaciones se ha optado por hacer funcionar el sistema, en lo referente a los acuíferos, por superposición, de tal manera que se ha declarado para todos los acuíferos un volumen inicial nulo y se ha simulado la descarga mensual que presentan los diferentes acuíferos como aportaciones a los cauces.

Las afecciones a los caudales correspondientes al régimen natural por bombeos o recargas (diferidas en cauces, filtraciones en embalses o recargas artificiales) vienen definidas por el parámetro de control en las conducciones Tipo 3 a las que se ha asignado la opción salidas acuífero.

Para la simulación en régimen natural de un acuífero tipo unicelular sólo se necesita la serie de recarga para el periodo simulado y el valor del parámetro α , el cual se puede calcular analizando la curva de agotamiento de la descarga mediante el método propuesto por Mangin, ya que la formulación de este tipo de acuífero considerado en SIMGES se fundamenta en la curva de agotamiento de Mailllet .

En este estudio, estas formulaciones se han utilizado de forma implícita en el modelo P-E de Temez modificado, empleado para generar las series de aportaciones en las diferentes subcuencas. Así, los valores considerados para este parámetro en los diferentes acuíferos simulados (tabla 46) proceden del modelo de Temez aplicado.

La simulación de los acuíferos tipo unicelular se ha efectuado conforme al esquema que se muestra en la figura 86. Así, para simular las descargas del acuífero en régimen natural se considera una aportación ficticia a la que se asignan los valores correspondientes a la serie hidrométrica obtenida para la descarga del acuífero mediante el modelo P-E de Temez modificado (régimen natural) del cauce receptor de la descarga.

transmisividad que tiene su consecuencia directa en la respuesta de las surgencias naturales.

Por otra parte, el coeficiente de agotamiento es función de las condiciones hidráulicas del acuífero, tanto la función capacitiva como de la transmisiva, por lo que una modificación en alguna de ellas implica una variación de este parámetro. La función capacitiva no sufre modificación significativa por la variación de la carga hidráulica, ya que es una función intrínseca del esqueleto geológico (coeficiente de almacenamiento); pero por el contrario la función transmisiva es función, además de propiedades intrínsecas de la formación geológica (permeabilidad) de condicionantes hidrodinámicos (transmisividad y gradiente hidráulico).

Otro factor que también influye en la respuesta del acuífero es su dimensión (geometría), así, una mayor extensión condiciona unos tiempos de tránsito mayores y, por tanto, una atenuación o amortiguamiento de la perturbación hidráulica asociada al impulso que genera una recarga o un bombeo.

Este conjunto de circunstancias condiciona que, aunque los acuíferos objeto de análisis respondan al esquema de acuífero de estructura kárstico (flujo discreto condicionado a direcciones preferenciales de drenaje), en unos casos presentan funcionamiento kárstico (flujo a gran velocidad bajo una importante carga hidráulica) (Crochet y Marsaud, 1997) y en otros funcionamiento no kárstico o semi-kárstico (flujo a velocidad discreta y baja carga hidráulica).

En ocasiones, en un mismo acuífero, sobre todo en los de mayor extensión, pueden reproducirse episodios en los cuales el acuífero presenta un funcionamiento kárstico, apoyado en la estructura kárstica de que dispone bajo la acción de una importante carga hidráulica, y otros, en los que una carga hidráulica baja condiciona una velocidad de flujo discreta y, por tanto, un funcionamiento no kárstico o semi-kárstico. Esta doble funcionalidad ha pretendido reflejarse tomando valores del coeficiente de agotamiento para diferentes umbrales de caudal (reflejo de la carga hidráulica).

ACUÍFEROS	Umbral de Caudal	Caudal de descarga más probable (l/s) ⁹	Valor de α (días ⁻¹)
Grajales	< 500 l/s	560	0,0035
	500 a 1.400 l/s		0,0055
	> 1.400 l/s		0,0095
Ventisquero	< 450 l/s	220	0,0027
	> 450 l/s		0,0095
Gracia-Morenita	< 300 l/s	62	0,0035
	> 300 l/s		0,0065

Tabla 48. *Valores de coeficiente de agotamiento concedidos en el modelo de Temez a los principales acuíferos del sistema según umbrales de caudal*

En el modelo de acuífero unicelular de que dispone SIMGES sólo es factible conceder un valor del coeficiente de agotamiento, para estos acuíferos más extensos se ha introducido el valor del menor de los coeficientes, puesto que es previsible que las afecciones al acuífero (bombeos) se produzcan en los periodos de estiaje, esto es, de menor carga hidráulica, que es cuando el sistema superficial produce fallos en la satisfacción de demandas.

8.10.1 Bombeos adicionales

Este tipo de elemento incluido en SIMGES presenta una especial utilidad para el sistema simulado, ya que gran parte de las demandas existentes presentan una diversificación en las fuentes de suministro, constituyendo la captación de recursos subterráneos, para algunas de ellas, una alternativa al sistema de abastecimiento principal cuando éste presenta escasez.

Es por esta razón que existen diversos municipios que están conectados a los grandes sistemas de abastecimiento, pero que mantienen captaciones de aguas subterráneas como fuente de suministro complementaria.

Por otra parte, este elemento puede emplearse para simular la regulación de manantiales mediante sondeos, de forma que las extracciones comienzan a funcionar

⁹ En el Anejo 4 se muestra una tabla con los caudales clasificados de drenaje de los diferentes acuíferos obtenidos mediante el modelo de Temez modificado.

cuando los caudales drenados bajan de tal manera que el déficit supere un porcentaje dado de la demanda.

Así, han sido incluidos en el sistema de simulación de la gestión un total de 5 bombeos adicionales y que corresponden con:

- Sondeos de La Merced para abastecimiento al sistema Quiebrajano, captan el acuífero de Grajales (UH 05.66/Grajales-Pandera-Carchel). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,520 hm³/mes (200 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -10,013 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta.
- Sondeos Víboras para abastecimiento en situaciones de sequía al sistema dependiente del Canal de Martos, captan el acuífero Gracia-Morenita (UH 05.70/Gracia-Ventisquero). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,400 hm³/mes (150 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -5,404 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta. El caudal bombeado puede alcanzar la ETAP de Martos a través de las dos canalizaciones de que dispone el sistema, por lo que en el modelo de simulación este bombeo ha sido subdividido en dos: Bombeo Víboras-1, de 0,25 hm³/mes (95 l/s) de capacidad, que conecta con El Albercón y Bombeo Víboras-2, de 0,15 hm³/mes (60 l/s) de capacidad, que conecta con la conducción proveniente de la Cámara de Carga.
- Sondeos de Peñas de Castro para abastecimiento a Jaén, capta el acuífero Grajales (UH 05.66/Grajales-Pandera-Carchel). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,320 hm³/mes (124 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -10,013 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta.

- Sondeos Santa Catalina y El Tomillo para abastecimiento a Jaén, captan el acuífero Castillo-La Ímora (UH 05.16/Jaén). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,340 hm³/mes (131 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -0,753 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta.
- Pozo La Cueva para abastecimiento a Torredelcampo, capta el acuífero Castillo-La Ímora (UH 05.16/Jaén). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,004 hm³/mes (1,6 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -0,753 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta.
- Sondeo La Maleza para abastecimiento a Martos, capta el acuífero Dogger de Jabalcuz (UH 05.17/Jabalucz). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,065 hm³/mes (25 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -0,509 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta.
- Sondeos Cuesta Negra-Santa Ana para abastecimiento a Torredelcampo, captan el acuífero Lías de Jabalcuz (UH 05.17/Jabalucz). Se ha impuesto un bombeo máximo de 0,052 hm³/mes (20 l/s), no se ha definido ningún parámetro de control (se ha considerado una restricción de caudal mínimo en la conducción Tipo 3 asociada al acuífero -0,578 hm³/a de descarga mínima-) y la acción elemental declarada sobre el acuífero es la recarga neta.

El resto de bombeos que se realizan sobre los acuíferos del Sistema Quebrajano-Víboras se han simulado como bombeos directos. En total se han declarado 8 bombeos directos, cuyas características se resumen en la tabla 48. La capacidad de bombeo asignada es de 0,551 hm³/mes (213 l/s), de los que 45 l/s son para abastecimiento urbano, 158 l/s para dotar regadíos y 20 l/s para otros usos (industriales y abastecimiento a urbanizaciones).

Prioridad en la satisfacción de la demanda	Tipo de demanda		Nombre	Acuífero	Parámetros de control	Umbral (hm ³ /mes)	Acción Elemental	Q máx (hm ³ /mes)
1	Comarca Martos	Torredonjimeno	Mts. y galerías	Dogger Jabalcuz	Ninguno	0	Recarga Neta	0,010
		Jamilena	Sondeo Loma Pineda	Dogger Jabalcuz	Ninguno	0	Recarga Neta	0,008
	Municipales	Alcaudete	Sondeos Cerro la Cal	Ahillo	Ninguno	0	Recarga Neta	0,068
			Sondeo Fte Higuera	Caracolera	Ninguno	0	Recarga Neta	0,030
2	Regadíos	Riegos Alcaudete	Sondeos	Ahillo	Ninguno	0	Recarga Neta	0,227
		Riegos Jaén	Sondeos	Castillo-La Ímora	Ninguno	0	Recarga Neta	0,100
		Riegos Bajo Víboras	Sondeos	Caracolera	Ninguno	0	Recarga Neta	0,056
3	Captaciones aisladas		Sondeos	Castillo-La Ímora	Ninguno	0	Recarga Neta	0,052
SUMA								0,551

Tabla 49. *Bombes directos declarados sobre los acuíferos del Sistema Quiebrajano-Víboras*

Considerando el conjunto de bombes directos y adicionales incluidos en el modelo de simulación de la gestión se ha dotado al Sistema Quiebrajano-Víboras de una capacidad total de bombeo de 2,273 hm³/mes (877 l/s).

Para establecer una restricción en las extracciones mediante bombes directos o adicionales, se ha seguido una metodología que persigue la sostenibilidad en el aprovechamiento de los recursos subterráneos de estos acuíferos.

Así, a partir de las series de descargas generadas mediante la aplicación del modelo de Temez, se han establecido unos caudales de explotación límite, los cuales se definen como aquellos que pueden registrarse de forma continuada en el tiempo de tal manera que el promedio de las descargas mensuales, para el régimen influenciado asociado al régimen de bombes impuesto, sea superior al mínimo de la descarga mensual correspondiente al régimen natural.

Bajo este criterio se han calculado los caudales límite de explotación (tabla 49) y las detracciones que se producirían respecto a los caudales correspondientes al régimen natural.

El caudal máximo de detracción correspondería al valor mínimo (valor negativo de mayor valor absoluto) de la serie de descarga obtenida para el régimen

influenciado mediante la aplicación del modelo de agotamiento, considerando una recarga neta negativa continua e igual al caudal límite.

Acuífero	Caudal límite (l/s)	Q _{50%} (l/s) (a)	α (días ⁻¹)	Superf. perm. (km ²)	Detracción (b)	Detracciones máximas al río (hm ³ /mes)	Ratio Detracción (c)	Ratio Caudal (d)	Coefficiente drenaje κ (e)
Castillo-La Ímora	46,50	47,01	0,0200	13,57	75%	0,118	0,97	0,99	0,0175
Dogger Jabalcúz	29,00	39,73	0,0090	7,13	65%	0,065	0,63	0,73	0,0084
Lías Jabalcúz	37,00	40,29	0,0150	3,75	73%	0,091	0,88	0,92	0,0144
Grajales	320,00	555,18	0,0035	86,27	48%	0,327	0,23	0,58	0,0015
Gracia-Morenita	205,00	322,37	0,0035	30,94	47%	0,218	0,26	0,64	0,0026
Ahillo	36,00	61,78	0,0050	9,65	45%	0,057	0,36	0,58	0,0045
Caracolera	29,50	51,21	0,0040	6,40	53%	0,040	0,30	0,58	0,0038
a	Caudal de descarga más probable (caudal medio mensual) de la serie de descargas en régimen natural								
b	Proporción de la descarga natural del acuífero que deja de drenarse hacia los cauces								
c	Proporción de las detracciones máximas al río respecto al caudal de descarga más probable								
d	Cociente entre el caudal límite y el caudal de descarga más probable								
e	Coeficiente definido en función del coeficiente de agotamiento (α días ⁻¹) y la superficie permeable (en km ²) $\kappa = \alpha \cdot e^{(-0,01 \cdot S)} \quad (14)$								

Tabla 50. Caudales límites de explotación en acuíferos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras

Para este régimen influenciado límite se han calculado las descargas mensuales promedio de los acuíferos, los valores mensuales obtenidos se han considerados como caudales mínimos a satisfacer en las conducciones Tipo 3 vinculadas a los acuíferos.

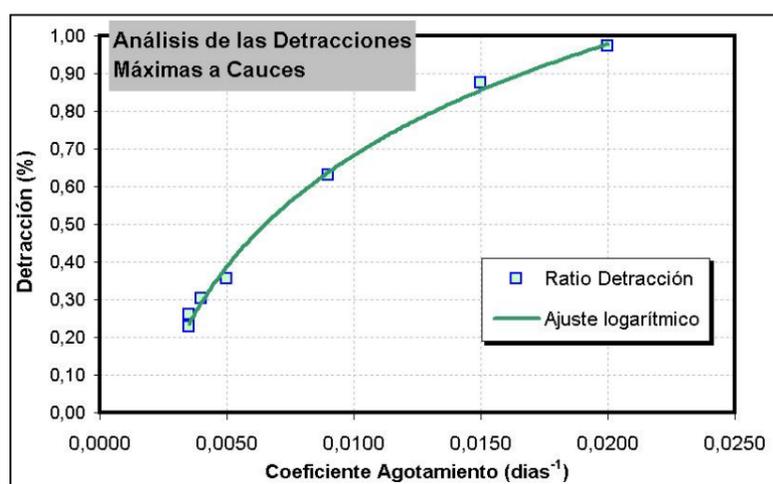


Figura 89. Comparativa entre detracciones al río y el coeficiente de agotamiento para regímenes de explotación con caudales límite

Meses	Castillo-La Ímora	Dogger Jabalcúz	Lías Jabalcúz	Grajales	Gracia-Morenita	Ahillo	Caracolera
OCT	0,000	0,000	0,000	0,492	0,274	0,035	0,038
NOV	0,010	0,009	0,002	0,595	0,323	0,049	0,048
DIC	0,077	0,036	0,049	0,782	0,427	0,071	0,064
ENE	0,125	0,061	0,086	0,947	0,505	0,090	0,077
FEB	0,169	0,086	0,121	1,133	0,591	0,111	0,092
MAR	0,162	0,094	0,123	1,194	0,621	0,120	0,097
ABR	0,137	0,092	0,111	1,197	0,616	0,121	0,097
MAY	0,073	0,072	0,070	1,090	0,573	0,109	0,089
JUN	0,000	0,042	0,018	0,891	0,488	0,000	0,000
JUL	0,000	0,000	0,000	0,701	0,396	0,000	0,000
AGO	0,000	0,000	0,000	0,542	0,319	0,000	0,000
SEP	0,000	0,000	0,000	0,450	0,271	0,000	0,000
SUMA	0,753	0,493	0,578	10,013	5,404	0,705	0,602

Tabla 51. Caudales mínimos declarados en las conducciones Tipo 3 relacionadas con los acuíferos que presentan bombeos

Para evaluar la solvencia de esta metodología se han realizado gráficos para comparar los valores obtenidos con los parámetros de referencia o de cálculo en el modelo de Temez (coeficiente de agotamiento y superficie permeable) (figura 88).

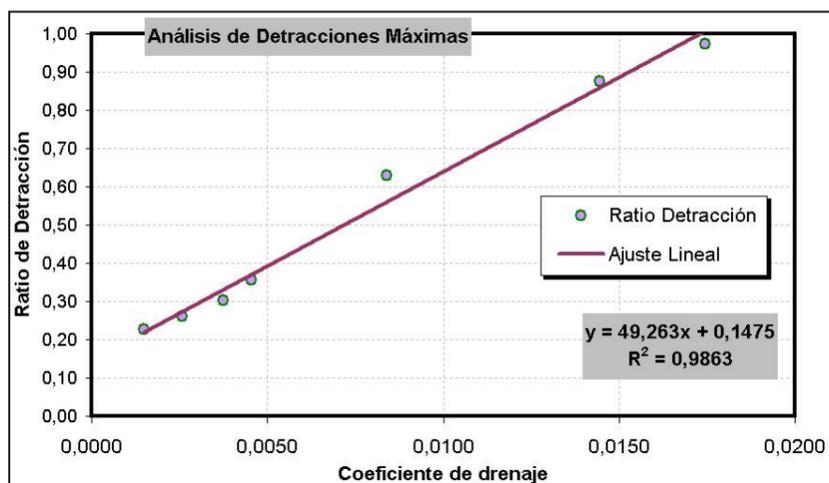


Figura 90. Comparativa entre detracciones al río y el coeficiente de agotamiento para regímenes de explotación con caudales límite

Así, se obtiene que existe una relación lineal entre el coeficiente de drenaje (κ , función del coeficiente de agotamiento y la superficie, ver tabla 49) y el ratio de detección (proporción que representan las detracciones máximas al río respecto al caudal de descarga más probable que registra el acuífero).

Por tanto, se puede expresar el ratio de detección (%D) mediante la siguiente expresión:

$$\%D = 49,263 \cdot \alpha \cdot e^{(-0,01 \cdot S)} + 0,1475 \quad (15)$$

También se ha establecido una relación lineal entre el ratio de caudal (%Q, cociente entre el caudal límite y el caudal de descarga más probable $-Q^*/Q_{50\%}$), que responde a la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \%Q &= 27,170 \cdot \alpha \cdot e^{(-0,01 \cdot S)} + 0,511 \\ R^2 &= 0,955 \\ Q^* &= (27,170 \cdot \alpha \cdot e^{(-0,01 \cdot S)} + 0,511) \cdot Q_{50\%} \quad (16) \end{aligned}$$

Utilizando esta expresión se han calculado los caudales límite de explotación para el resto de acuíferos (tabla 51).

Acuífero	Superf. Permeable (km ²)	Q _{50%} (l/s)	α (días ⁻¹)	Caudal límite (l/s)
Pandera	18,51	121,0	0,0045	74,2
Ventisquero	24,39	263,7	0,0027	149,9
Mentidero	18,88	97,5	0,0045	59,7
Montesinos	7,47	85,6	0,0025	49,1
Cornicabra-Noguerones	12,41	99,0	0,0035	58,9
Fresnedilla-Pico Maleza	8,36	72,0	0,0055	46,7
San Cristóbal	11,57	39,8	0,0045	24,7
Carchel	4,84	20,3	0,0035	12,2
Cerro Fuente	1,55	6,0	0,0085	4,5

Tabla 52. Valores del caudal límite explotación para acuíferos no sometidos a explotación mediante bombeos

Además de las restricciones que para los bombeos suponen los caudales mínimos declarados en las conducciones Tipo 3 asociadas a los acuíferos, se han incluido otras serie de restricciones en las tomas de abastecimiento de Martos y Torredelcampo dependiente de los acuíferos Dogger de Jabalcuz (sondeo La Maleza) y Lías de Jabalcuz (sondeos Cuesta Negra y Santa Ana), respectivamente, al objeto de aproximar en lo posible la respuesta del modelo de simulación a la realidad productiva del acuífero.

Estas captaciones registran unos descensos muy acusados de productividad en los periodos se sequía, descendiendo sus caudales desde los 20-25 l/s a 5-7 l/s. En el modelo de simulación de la gestión SIMGES no es posible establecer limitaciones o restricciones de bombeo en función de la situación hidrogeológica del acuífero, sólo es factible limitar los bombeos como se ha planteado, imponiendo unos caudales mínimos, o bien fijando unos umbrales en los parámetros de control (salidas al río y volumen almacenado), posibilidad, esta última, que resulta imposible de aplicar, ya que el modelo funciona bajo hipótesis de superposición, por lo que se parte de un volumen inicial nulo, lo que imposibilita fijar un umbral en el volumen de agua almacenada en el acuífero y las salidas al río constituyen detracciones (valores negativos) al régimen de descarga natural de los acuíferos, las cuales han sido simuladas como aportaciones aguas arriba de la conducción Tipo 3 asociada.

Para limitar los bombeos adicionales que el modelo SIMGES pondría en juego para satisfacer las demandas dependientes, además de los caudales mínimos, ha sido necesario limitar los caudales mensuales asociados a las tomas.

En el caso de Martos los recursos procedentes del manantial de La Maleza y el sondeo de regulación se asocian a una misma toma, por lo que en el esquema se ha establecido una limitación de caudal máximo en toma que recoge los caudales del bombeo adicional y de la descarga influenciada del acuífero Dogger Jabalcuz. La distribución mensual de caudal máximo corresponde a 0,1 hm³/mes de noviembre a abril (38 l/s); 0,05 hm³/a (19 l/s) octubre, mayo y junio; y 0,025 hm³/mes (9,5 l/s) en el estío (junio, julio y agosto), con una dotación de 0,825 hm³. Los caudales registrados en el sondeo La Maleza en la sequía 1993-95 bajaron hasta los 6 l/s.

Para el caso de Torredelcampo, entre el bombeo adicional correspondiente a los sondeos Cuesta Negra-Santa Ana y la toma se ha establecido una conducción Tipo 1 con limitación de caudal máximo mensual. La distribución mensual de caudal máximo corresponde a 0,1 hm³/mes de noviembre a abril (38 l/s); 0,04 hm³/a (15 l/s) octubre, mayo y junio; y 0,02 hm³/mes (7,5 l/s) en el estío (junio, julio y agosto), con una limitación de volumen máximo anual de 0,780 hm³. Los caudales registrados en los sondeos Cuesta Negra-Santa Ana en la sequía 1993-95 bajaron hasta los 7 l/s.

Asimismo, en los sondeos de que dispone Jaén para abastecimiento en el acuífero Castillo-La Ímora (Santa Catalina-El Tomillo), simulados como un bombeo adicional, se ha limitado el caudal máximo de toma por debajo de la capacidad de bombeo, con el mismo objetivo que el explicado para Martos y Torredelcampo. Se ha fijado una distribución de caudal máximo similar a los bombeos mínimos mensuales registrados en el periodo 1998-2002 para los meses del estío y el valor promedio para el resto del año. La distribución mensual de caudal máximo corresponde a 0,15 hm³/mes de octubre a mayo (58 l/s); y 0,06 hm³/a (23 l/s) de junio a septiembre, con una limitación de volumen máximo anual de 1,40 hm³.

Por otra parte, en los bombeos adicionales relacionados con la Mancomunidad del Quebrajano se ha establecido una prioridad en el uso de los mismos, modificando el valor del parámetro "Nivel de Suministro Máximo", de tal manera que el valor

concedido para este parámetro en el bombeo adicional Santa Catalina-El Tomillo ha sido de 0,90 (el bombeo comenzará funcionar cuando en un mes el déficit alcance un valor del 90% de la demanda asociada, en este caso Jaén), para el bombeo adicional de Peñas de Castro de 0,85 y para el bombeo adicional de La Merced de 0,80. Con esto se consigue que, ante un déficit en el sistema del Quebrajano, los primeros sondeos en funcionar fueran los de La Merced, favoreciendo, por tanto, el abastecimiento mancomunado al de Jaén capital, cuyo sistema de abastecimiento queda en un mayor grado de reserva.

8.10.2 Recarga Artificial de Acuíferos

La herramienta SIMGES permite simular el funcionamiento de las actuales instalaciones de recarga artificial que existen en el acuífero Gracia-Morenita.

Las instalaciones de recarga cuentan con una toma en el cauce desde el arroyo El Papel, cauce que recoge el drenaje del acuífero Cornicabra-Noguerones, una cámara de decantación (para evitar la colmatación en los sistemas de inyección), los sistemas de conducción a la planta de recarga y los propios sondeos de inyección.

Este sistema permite recargar artificialmente el acuífero Gracia-Morenita bajo un régimen de cauda máximo de 0,210 hm³/mes (80 l/s).

Como se ha comentado anteriormente, la imposición de un caudal mínimo en la conducción Tipo 3 que representa la descarga del acuífero Gracia-Morenita, facilitará que el modelo, en aquellos escenarios en los que se simulen bombeos en el acuífero Gracia-Morenita, haga funcionar la recarga artificial para intentar verificar la restricción de caudal mínimo. Al mismo tiempo, el caudal mínimo mensual impuesto a la conducción Tipo 3 vinculada al acuífero Gracia-Morenita no puede ser inferior a los caudales mínimos de la serie generada por Temez, incluidos en el modelo como una aportación en cabecera de esta conducción, ya que en caso contrario la recarga artificial entraría en funcionamiento. Así, esta restricción de caudal supone un volumen anual de 4,98 hm³, mientras que la aportación mínima simulada para este acuífero es de 5,30 hm³/a.

9. MODELACIÓN DEL SISTEMA SUPERFICIAL Y ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

A continuación se esquematizan los diferentes elementos considerados para la simulación de la gestión del Sistema Quiebrajano-Víboras, incluyendo los elementos derivados de la futura implantación del proyecto de interconexión, aunque en cada caso se indicarán los elementos considerados para la simulación de la gestión en el ESCENARIO SIN CONEXIÓN (sin interconexión entre sistemas) y para el ESCENARIO CON CONEXIÓN (con interconexión entre sistemas).

ELEMENTOS DEL ESQUEMA TOPOLÓGICO	NÚMERO DE ELEMENTOS	
	ESCENARIO SIN CONEXIÓN	Escenario Futuro
NUDOS SISTEMA FISICO	85	92
EMBALSES	1	2
TRAMOS RIO TIPO 1	76	86
TRAMOS RIO TIPO 2	1	1
TRAMOS RIO TIPO 3	15	15
CONDUCCIONES TIPO 4	0	0
CONDUCCIONES TIPO 5	0	0
APORTACIONES INTERMEDIAS	20	20
DEMANDAS CONSUNTIVAS	24	24
DEMANDAS NO CONSUNTIVAS	3	3
TOMA EN DEMANDAS	32	33
INSTALACIONES RECARGA ARTIFICIAL	1	1
ACUIFEROS	15	15
BOMBEO ADICIONALES	8	8
RETORNOS	10	10
GRUPOS ISOPRIORITARIOS	3	34
INDICADORES RESTRICCIÓN	0	0
SUMA	294	313

Tabla 53. Elementos considerados en el esquema topológico generado para las simulaciones de la gestión planteadas mediante AQUATOOL del Sistema Quiebrajano-Víboras

A continuación se describen los elementos del sistema superficial, considerando las peculiaridades que impone el modelo de simulación de la gestión empleada (SIMGES).

9.1.1 Embalses

En el sistema se han considerado dos embalses: Quiebrajano y Víboras. El primero es un embalse que está en funcionamiento desde 1976, mientras que el segundo aún no ha entrado en funcionamiento.

9.1.1.1 Embalse del Quiebrajano

Este embalse recibe una aportación media anual de 15,66 hm³, de la que el 79% (13,06 hm³) corresponde a la escorrentía superficial y el 21% restante (2,60 hm³) a la escorrentía subterránea, procedente del acuífero Fresnedilla-Pico Maleza.

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

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 11,99 hm³/año, con un 20% de procedencia subterránea y el 80% restante de escorrentía superficial. Más aún, para las situaciones de años secos, con una aportación más probable anual de 4,16 hm³/año, el 25,5% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo.

Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 5,82 y 24,28 hm³/a para la serie analizada (1951-2002). Los datos de aportaciones registrados por la CHG para el periodo 1976-2002, con una laguna de datos entre 1985-1989, indican un rango más probable de entre 3,88 y 25,55 hm³, con un mínimo registrado de 0,39 hm³ para el año 1994-1995.

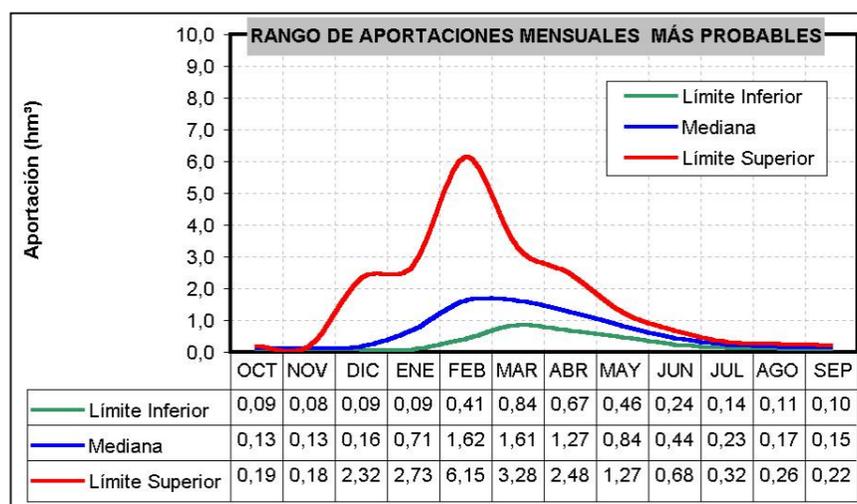


Figura 91. Rango de aportaciones más probables al embalse del Quiebrajano

La capacidad máxima del embalse es de 31,6 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 787,20 m snm, si bien el volumen de almacenamiento es de 29 hm³, considerando que la cota del labio del aliviadero se sitúa en 785 m snm. Dispone de una capacidad del aliviadero de 216 m³/s y la cota de desagüe se sitúa a 727 m snm.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
723,00	0,47	0,00
733,00	9,98	0,49
743,00	23,08	2,12
753,00	39,05	5,25
763,00	56,66	9,98
768,00	69,02	13,12
773,00	81,05	16,89
778,00	93,84	21,25
783,00	106,59	26,25
788,00	125,67	32,04
Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
Coef.	V=f(z) hm ³	S=f(z) ha
A	0,0000E+00	0,0000E+00
Bx	-2,0818E+01	-4,3415E+01
Cx ²	9,0226E-02	1,8407E-01
Dx ³	-1,3013E-04	-2,6184E-04
Ex ⁴	6,2466E-08	1,2490E-07

Tabla 54. Datos del embalse del Quiebrajano. Superficie de lámina de agua y capacidad de almacenamiento

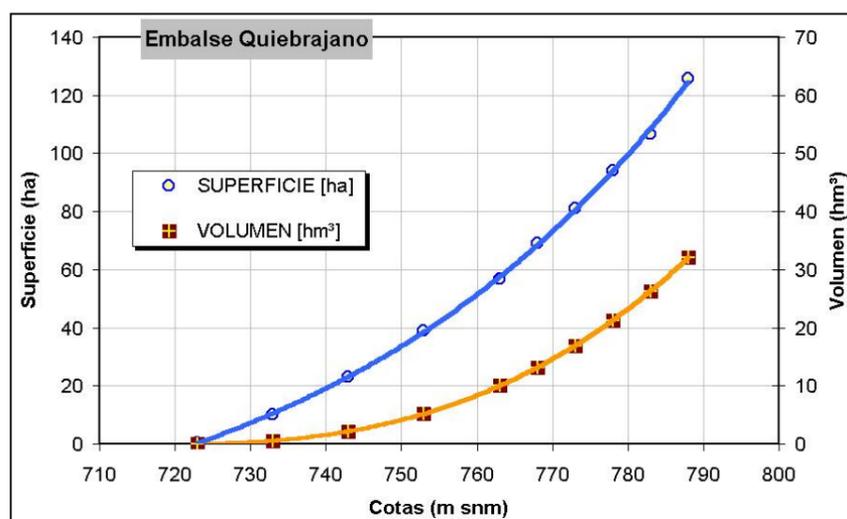


Figura 92. Curvas características del embalse Quiebrajano

En la tabla 53 se muestran las características geométricas del embalse. La curva de embalse responde a la siguiente polinomial:

$$V(hm^3) = -2,0818 \cdot 10^1 * z + 9,0226 \cdot 10^{-2} * z^2 - 1,3013 \cdot 10^{-4} * z^3 + 6,2466 \cdot 10^{-8} * z^4 \quad (17)$$

Para el cálculo de la superficie de la lámina de agua libre respecto a la cota topográfica (z, m snm) se utilizaría la siguiente polinomial:

$$S(ha) = -4,3415 \cdot 10^1 * z + 1,8407 \cdot 10^{-1} * z^2 - 2,6184 \cdot 10^{-4} * z^3 + 1,2490 \cdot 10^{-7} * z^4 \quad (18)$$

En las reglas de operación del embalse se fija como volumen máximo 29 hm³, quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 2,6 hm³, Asimismo, el volumen de embalse muerto se fija en 0,85 hm³, ya que de las 3 tomas de que dispone la inferior se sitúa a cota 734,78 m snm (763,85, 750,64 y 734,78 m snm).

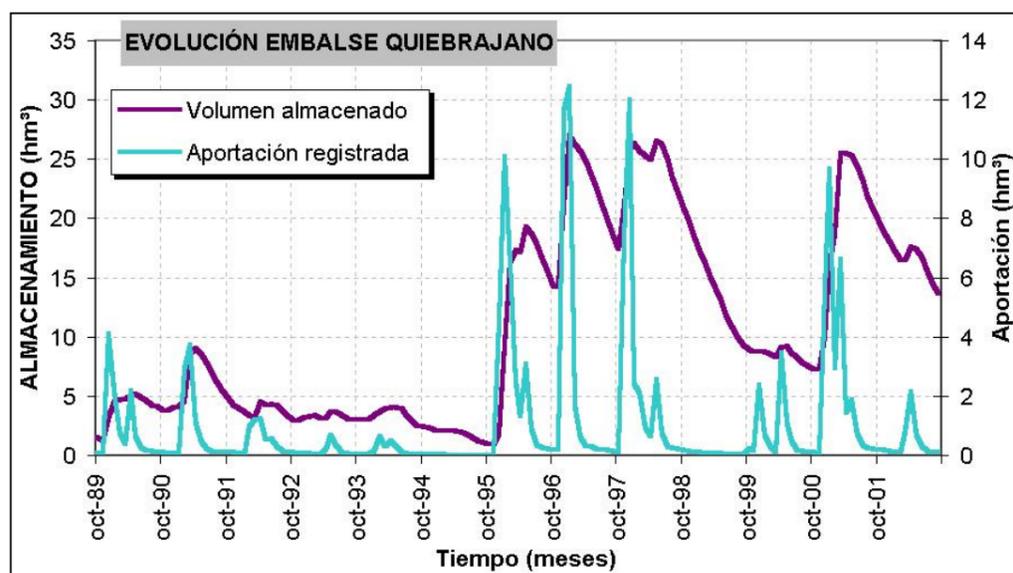


Figura 93. Evolución del embalse Quiebrajano en el periodo 1989-2002

La evaporación media anual en el embalse, según datos del Plan Hidrológico de Cuenca, se cifra en 1.502,4 mm, lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera de 1 hm³, para un llenado medio en el embalse.

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	98,60	723,00	0,06	0,00
NOV	50,60	733,00	10,43	0,16
DEC	35,00	743,00	22,98	0,35
JAN	36,00	753,00	38,36	0,58
FEB	38,00	763,00	57,24	0,86
MAR	85,00	768,00	68,21	1,02
APR	90,20	773,00	80,32	1,21
MAY	140,00	778,00	93,66	1,41
JUN	191,00	783,00	108,33	1,63
JUL	258,00	788,00	124,42	1,87
AUG	280,00			
SEP	200,00			
Anual	1.502,40			

Tabla 55. Evaporación en el embalse del Quiebrajano

Los datos de explotación del embalse del Quiebrajano para el periodo 1989-2000 indican una evaporación media anual de 857,4 mm (794 a 1002 mm/año) y una

aportación directa media anual de 550 mm (307 a 872 mm/a). Considerando estos datos de aportación la evaporación media anual neta es de 307,5 mm/año, concentrada en los meses de mayo a septiembre), mientras que la aportación directa neta es de 192 mm/año (meses octubre a febrero).

Meses	Evaporación (mm/mes)	Aportación Directa (mm)	Evaporación real (mm)	Aportación Directa real (mm)
OCT	51,5	63,0	0,0	11,5
NOV	24,2	68,7	0,0	44,5
DIC	16,0	88,2	0,0	72,2
ENE	13,5	64,1	0,0	50,6
FEB	23,3	36,4	0,0	13,0
MAR	49,1	48,2	0,9	0,0
ABR	63,2	62,8	0,4	0,0
MAY	87,7	47,6	40,1	0,0
JUN	125,7	26,8	99,0	0,0
JUL	160,1	2,9	157,2	0,0
AGO	150,4	4,5	145,9	0,0
SEP	92,7	36,8	55,9	0,0
ANUAL	857,4	549,9	307,5	191,9

Tabla 56. Datos de evaporación en el embalse del Quiebrajano

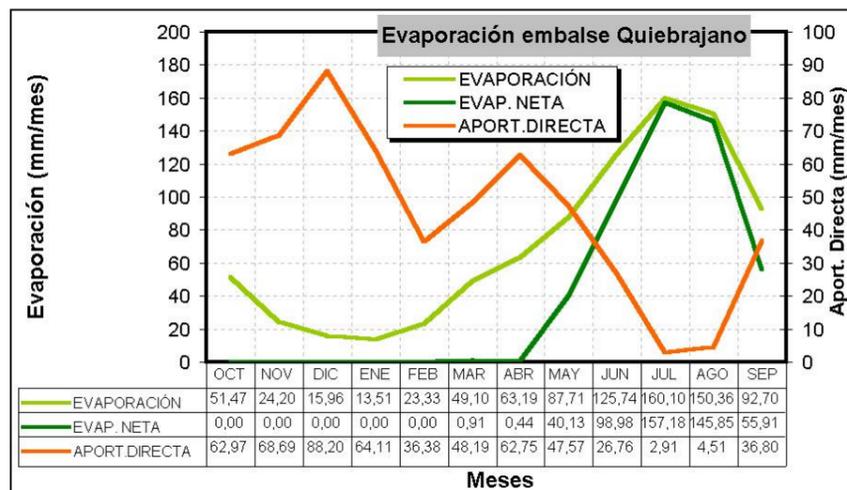


Figura 94. Evaporación real en el embalse del Quiebrajano

Por otra parte, el embalse del Quiebrajano presenta pérdidas por filtraciones a través de su vaso que han sido fijadas por la CHG en 88 l/s para una cota de 755 m snm y de 224 l/s para una cota de 770 m snm. Estas pérdidas se producen a favor de

las formaciones calizo-dolomíticas jurásicas del acuífero Grajales que afloran en el vaso del embalse. A partir de estos datos y la función polinómica de la curva de embalse se ha establecido una ley potencial para evaluar las pérdidas por infiltración a partir del volumen embalsado.

$$V_{inf} (hm^3 / mes) = 0,0921 \cdot V_{emb}^{0,692} \quad (19)$$

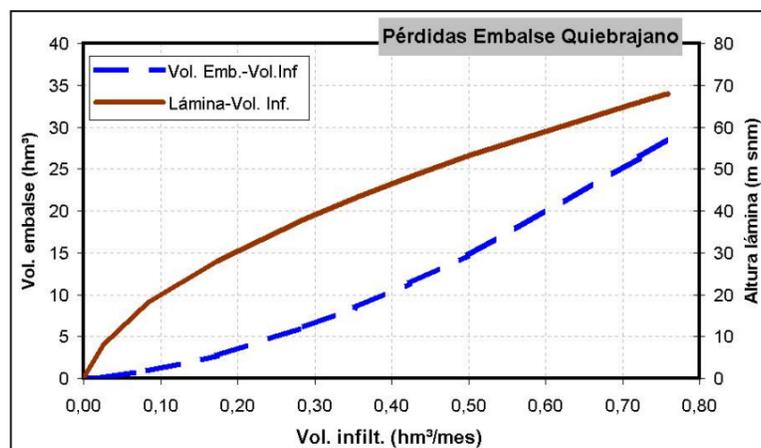


Figura 95. Pérdidas por infiltración en el vaso del embalse del Quiebrajano (altura de lámina 0 equivale a cota 717 m snm)

Los datos de explotación del embalse del Quiebrajano para la serie 1989-2002 indican unas entregas para satisfacción de demandas que oscilaron entre 0 y 1 hm³/mes, con un promedio mensual de 0,43 hm³ (máximo de 63.749 m³/d y promedio de 14.333 m³/d). Los valores anuales de suministros de que dispone la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir corresponden a un rango de entre 1,07 a 13,15 hm³, con un valor promedio de 6,43 hm³.

Asimismo, el volumen embalsado, para el mismo periodo, osciló entre 0,86 y 29,84 hm³, con un promedio de 11,66 hm³. El ratio volumen servido-volumen almacenado ha oscilado, para el periodo 1989-2002, entre el 3 y el 22%, manteniéndose en un promedio del 5%.

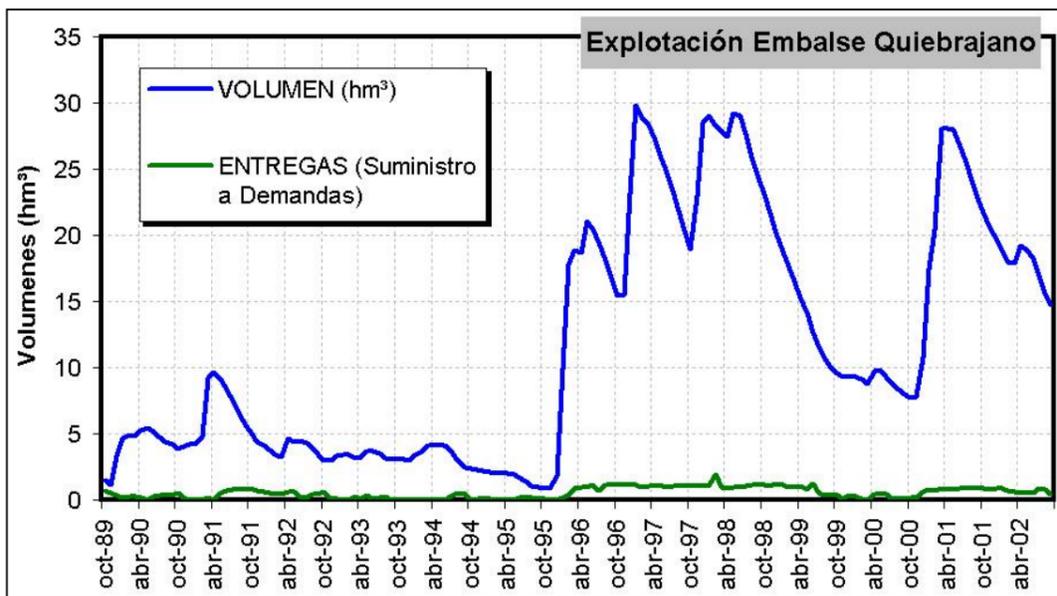


Figura 96. Datos de explotación del embalse Quebrajano. Fuente: CHG

El funcionamiento del embalse está muy condicionado por la escasa cuantía de las aportaciones y sobre todo por la limitada aportación subterránea (caudal base) que recibe, de manera que ante periodos de sequía intensa (como el acontecido entre 1993-95) no puede suministrar los volúmenes requeridos.

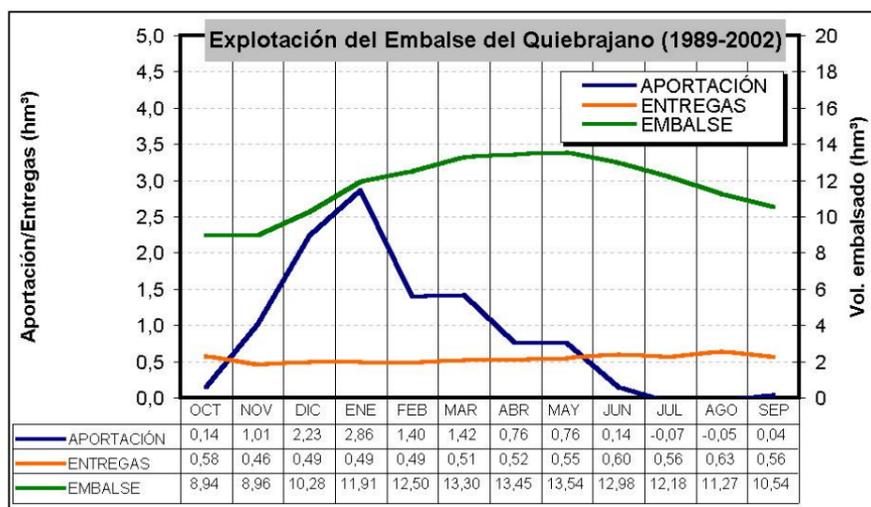


Figura 97. Explotación del embalse Quiebrajano periodo 1989-2002.
Comparativa entregas-aportación-almacenamiento

Partiendo de los datos de explotación del embalse (1989-2002) y considerando un embalse muerto de 0,85 hm³, se ha realizado un análisis de garantías que arroja como resultado que la garantía mensual responde a la siguiente expresión:

$$G_m(\%) = 5,69 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 - 1,43 \cdot 10^{-1} \cdot D + 1,539 \quad (20)$$

Y la garantía volumétrica a la siguiente expresión:

$$G_v(\%) = 4,0 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 - 1,09 \cdot 10^{-1} \cdot D + 1,409 \quad (21)$$

D, Demanda anual (hm³)

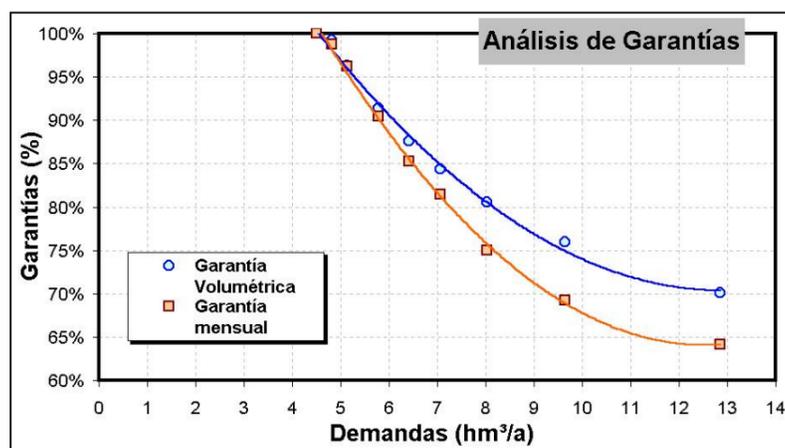


Figura 98. Análisis de garantías para el embalse del Quiebrajano (Serie 1989-2002)

9.1.1.2 Embalse del Víboras

Este embalse es de nueva construcción y entrará en servicio cuando se implante definitivamente la interconexión de los subsistemas Víboras y Quiebrajano, sirviendo de fuente de suministro para ambos sistemas.

Según el estudio hidrológico realizado (modelo de precipitación-aportaciones), este embalse recibe una aportación media anual de 44,57 hm³, de la que el 60,22% (26,84 hm³) corresponde a la escorrentía superficial y el 39,78% restante (17,73 hm³) a la escorrentía subterránea, procedente de los acuíferos del Alto Víboras. Si bien, dada variabilidad que presentan las aportaciones en la zona objeto de estudio no resulta conveniente calcular en referencia a años tipo medio, tomando como tal la media de las aportaciones, sino más bien conviene realizar cálculos en referencia al año tipo más probable (mediana de las aportaciones).

Así, la aportación más probable que recibe este embalse es de 37,17 hm³/año, con un 47,19% (17,54 hm³/a) de procedencia subterránea y el 52,81% restante de escorrentía superficial. Más aún, para las situaciones de años secos, con un aportación más probable anual de 16,60 hm³/año, el 77,89% de la aportación que recibe el embalse es de origen subterráneo (12,93 hm³). El valor mínimo de aportación sería de 7,66 hm³/a y el máximo de 97,41 hm³/a.

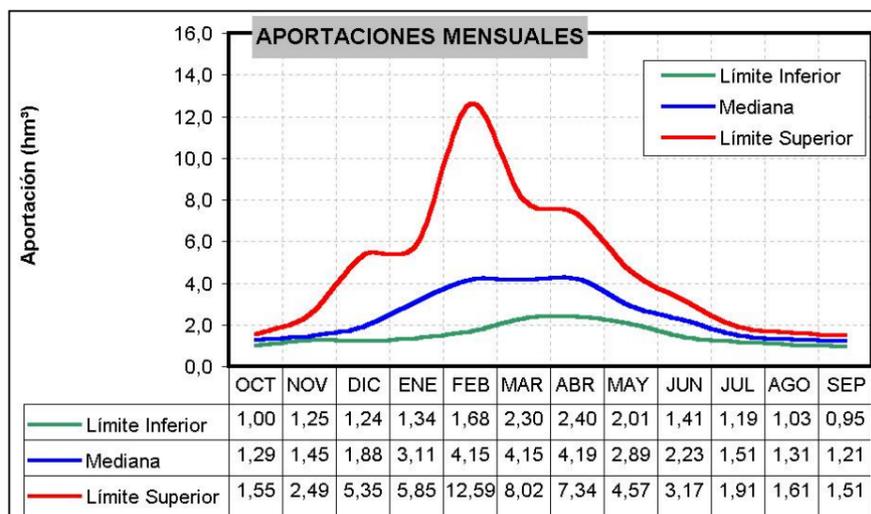


Figura 99. Rango de aportaciones más probables al embalse del Víboras

Asimismo, el rango de aportaciones más probable oscila entre 21,93 y 65,16 hm³/a para la serie analizada (1951-2002). Los datos de aportaciones utilizados por la CHG para el estudio de aportaciones del embalse (documento XYZT) para el periodo 1951-1997, indican un rango más probable de entre 18,09 y 53,63 hm³, con un valor más probable de 32,42, un valor promedio de 39,45 y un mínimo de aportación de 1,02 hm³/a¹⁰.

Entre la serie de datos obtenida mediante el modelo de Temez en régimen natural y la serie de la CHG existe una correlación mes a mes de 0,76. No obstante, las aportaciones que registre el embalse del Víboras no corresponden a un régimen natural como es el simulado por el modelo de Temez, debido a las captaciones existentes aguas arriba para el abastecimiento y dotar riegos en Valdepeñas de Jaén y para el abastecimiento a la comarca de Martos (Fuentes de Martos, 132 l/s de promedio), además de la recarga inducida que el río Víboras ejerce sobre el acuífero Gracia-Morenita (1,61 hm³/a para la serie 1951-2002, según los cálculos realizados).

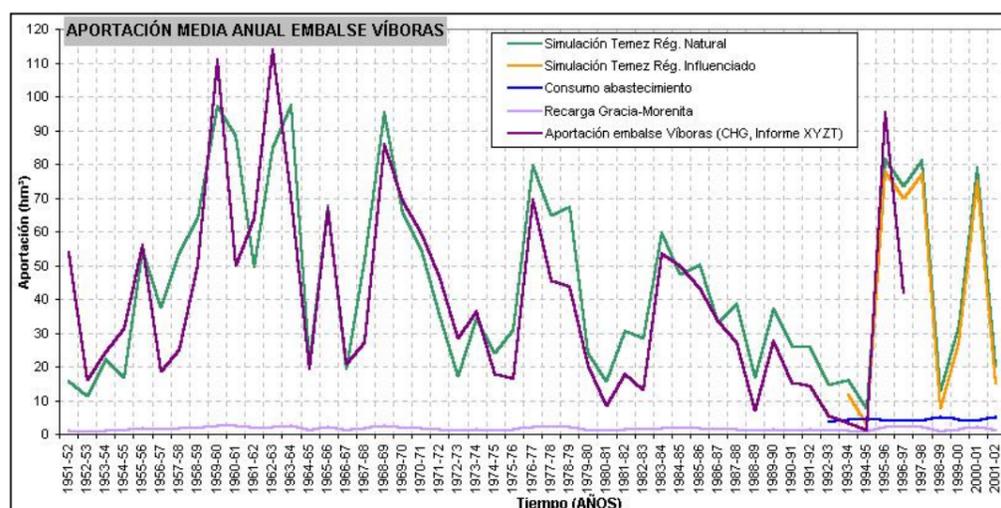


Figura 100. Comparativa de series de Temez en régimen natural y régimen influenciado con la serie del documento XYZT del embalse del Víboras

¹⁰ Es factible que en el estudio de la CHG no se hayan considerado correctamente las aportaciones subterráneas

La capacidad máxima del embalse es de 24 hm³, para una cota de nivel máximo de llenado de 546,77 m snm, si bien el volumen de almacenamiento es de 19,11 hm³, considerando que la cota del labio del aliviadero se sitúa en 544 m snm. La capacidad del aliviadero es 635,4 m³/s para la cota 547.

COTA (m)	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (hm ³)
504,00	0,00	0,00
510,00	1,27	0,03
516,00	8,05	0,29
522,00	24,48	1,23
528,00	46,74	3,36
534,00	79,52	7,04
540,00	128,14	13,18
544,00	169,34	19,11
546,00	189,53	22,70
550,00	230,18	31,08

Curva de Embalse (ajuste polinomial)		
	S=f(z)	V=f(z)
Coef.	ha	hm ³
Bx ⁴	9,49611E-07	8,35845E-07
Cx ³	-1,25359E-03	-1,27820E-03
Dx ²	5,38756E-01	6,51593E-01
Ex	-7,46731E+01	-1,10728E+02
F	0,00000E+00	0,00000E+00

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

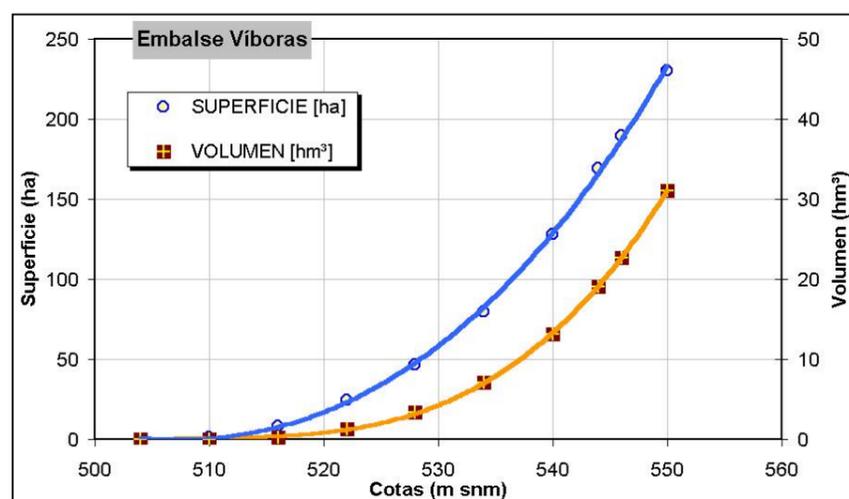


Figura 101. Curvas características del embalse del Víboras

En la tabla 53 se muestran las características geométricas del embalse. La curva de embalse responde a la siguiente polinomial:

$$V(\text{hm}^3) = -1,10728 \cdot 10^2 * z + 6,51593 \cdot 10^{-1} * z^2 - 1,27820 \cdot 10^{-3} * z^3 + 8,35845 \cdot 10^{-7} * z^4 \quad (23)$$

Para el cálculo de la superficie de la lámina de agua libre respecto a la cota topográfica (z , m snm) se utilizaría la siguiente polinomial:

$$S(\text{ha}) = -7,46731 \cdot 10^1 * z + 5,38756 \cdot 10^{-1} * z^2 - 1,25359 \cdot 10^{-3} * z^3 + 9,49611 \cdot 10^{-7} * z^4 \quad (22)$$

En las reglas de operación del embalse se fija como volumen máximo 19 hm³ (cota 544 m snm se fija como nivel máximo normal), quedando un volumen de resguardo ante avenidas de 5 hm³ (cota 546,77 m snm como nivel de avenida extrema). Asimismo, el volumen de embalse muerto se fija en 0,55 hm³, ya que la cota en el eje de salida al exterior por el paramento de aguas abajo es la 518,00 m snm. Se toma esta cota como referencia, aunque las tomas del embalse están fijadas a cotas 512 y 535 m snm, ya que la explotación del embalse se realizará a partir de bombes realizados aguas abajo de la presa y no mediante toma directa en el mismo.

La evaporación media anual en el embalse, según datos del Plan Hidrológico de Cuenca, se cifra en 999,40 mm. La aportación directa por agua de lluvia se cifra en 680 mm/a. Considerando la distribución mensual de las series de evaporación y aportación directa, la evaporación real se cifra 577,53 mm/año, lo que supone unas pérdidas anuales a la atmósfera, para un llenado medio en el embalse, de 0,50 hm³.

El vaso del embalse del Víboras está asociado a formaciones margo-yesíferas triásicas (arcillas versicolores con yesos en Facies Keuper), de comportamiento acuicludo y marcada impermeabilidad. Los afloramientos de calizas, calizas dolomíticas y dolomías del Muschelkalk que aparecen dispersos en las arcillas versicolores triásicas son de escasa entidad y se presentan de forma aislada. Además, la presa se ubica unos 2 km aguas arriba de la zona donde el río Víboras parece estar conectado hidráulicamente con el acuífero Caracolera (zona de descarga próxima Fuente la Higuera). Estas circunstancias permiten plantear que este embalse no presenta pérdidas por su vaso o si existen son de escasa cuantía.

Meses	Evaporación Embalse (datos CHG) (mm/mes)	Precipitación (mm/mes)	Evaporación real (mm/mes)	COTA (m)	Evaporación anual según cotas (hm ³ /año)
OCT	65,70	63,50	2,20	504,00	0,00
NOV	33,70	80,53	0,00	510,00	0,01
DEC	23,30	100,26	0,00	516,00	0,05
JAN	24,00	77,78	0,00	522,00	0,14
FEB	25,30	85,88	0,00	528,00	0,27
MAR	54,70	70,14	0,00	534,00	0,46
APR	60,10	64,67	0,00	540,00	0,74
MAY	93,30	51,78	41,52	544,00	0,98
JUN	127,30	32,74	94,56	546,00	1,09
JUL	172,00	12,09	159,91	550,00	1,33
AUG	186,70	9,66	177,04		
SEP	133,30	31,00	102,30		
Anual	999,40	680,02	577,53		

Tabla 58. Evaporación en el embalse del Víboras

No obstante la circunstancia de que el vaso de embalse, y una parte significativa de la cuenca de recepción de la misma (sobre todo aguas abajo de los afloramientos liásicos de Sierra Morenita), se asocian a las facies Keuper supone que las aguas embalsadas dispongan de un alto contenido salino. De hecho análisis efectuados sobre las aguas del embalse en agosto de 1999 indican conductividades de 3.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con contenidos en cloruros de 930 ppm y 517,8 ppm de sulfatos. Corresponden, por tanto, a aguas con marcada facies clorurada-sulfatada sódico-cálcica y alta salinidad.

Parámetros	Valor	Muestra de agua del embalse del Víboras
pH	8,04	Fecha de toma: 17-08-1999 <i>Fuente:</i> "Concurso para la adjudicación de los trabajos de consultoría para la redacción del proyecto de construcción, colaboración en las expropiaciones y opción da ala dirección de obras DE "Conducción General e Impulsión desde el embalse del Víboras a la ETAP de Martos (Jaén)". Febrero 1999. Junta de Andalucía
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	3.700	
Cloruros (ppm)	930	
Sulfatos (ppm)	517,8	
Nitratos (ppm)	0,01	
Calcio (ppm)	252,5	
Magnesio (ppm)	87,55	
Sodio (ppm)	512,5	
Nitritos (ppm)	0,03	
Amoniaco (ppm)	0,23	
Oxidabilidad (mg/l O ₂)	14,16	
Sólidos totales (mg/l)	2.648	

Tabla 59. Resultados analíticos de una muestra de agua tomada en el embalse del Víboras

Esta circunstancia ha exigido disponer de sistema de tratamiento específicos en la nueva ETAP de Martos que se está construyendo, disponiendo celdas de

desalinización, lo que sin duda encarecerá notablemente el coste bruto del agua potable. Esta circunstancia constituye una restricción al uso de las aguas del embalse del Víboras para agua potable que será considerada en el modelo de simulación de la gestión

9.1.1.3 Reglas de operación de embalses

Para la utilización del modelo SIMGES es necesario establecer unas reglas de operación en los embalses incluidos en el esquema topológico, en este caso, los del Quiebrajano y del Víboras. Este modelo persigue que en la medida de lo posible los embalses se mantengan en una misma zona de llenado, si bien, pueden establecer prioridades en la utilización de los embalses, lo cual permite simular diferentes escenarios.

Considerando las peculiaridades y condicionantes que presentan cada uno de los embalses implicados se han establecido unas reglas de operación para el escenario de simulación que corresponden a la situación de interconexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras, partiendo de la definición de las zonas de llenado, mediante las que se fija el volumen objetivo mensual (V_{obj}) y el volumen mínimo mensual o embalse muerto (V_{min}), por debajo del cual no se satisfacen demandas.

De forma que los embalses quedan zonificados en 4 zonas: zona superior definida entre el volumen máximo normal (V_{max}) y el volumen objetivo (V_{obj}); la zona intermedia definida entre el volumen objetivo (V_{obj}) y la media del volumen objetivo (V_{obj}) y el volumen mínimo o embalse muerto (V_{min}); la zona inferior definida entre la media del volumen objetivo (V_{obj}) y el volumen (V_{min}) y el volumen mínimo (V_{min}); y la zona de reserva definida entre el volumen mínimo (V_{min}) y el embalse vacío.

En la tabla se indica la zonificación fijada en las simulaciones para los embalses del Quiebrajano y del Víboras, para lo que se ha utilizado la información contenida en las Normas de Explotación de ambos embalses de que dispone la CHG.

Para el escenario de simulación futura (sistemas Quiebrajano y Víboras conectados) se ofrece una prioridad de uso al embalse del Quiebrajano (aguas de

mejor calidad y menor coste) frente al del Víboras (mayor número de prioridad para el embalse del Quiebrajano), de tal manera que el modelo no utilizará agua de la zona intermedia del embalse del Víboras hasta que no haya agotado el agua de la zona superior del embalse del Quiebrajano.

Zonas	Embalse del Quiebrajano		Embalse del Víboras	
	Volumen embalse (hm ³)	Observaciones	Volumen embalse (hm ³)	Observaciones
Volumen objetivo mensual	10,61	Corresponde a la cota de toma 3 (763,85 m snm)	12,5	Corresponde a la cota 539,40 m snm (máximo nivel de funcionamiento considerado en la toma a la ETAP de Martos)
Volumen mínimo mensual	0,84	Corresponde a la cota de toma 1 (734,78 m snm)	0,55	Corresponde a la cota de 518,00 m snm (cota en el eje de salida al exterior por el paramento de aguas abajo)
Volumen de resguardo	2	Cotas 785 a 787,20	5,00	Cotas 544,00 a 546,77 m snm
ZONA SUPERIOR	10,61 a 29,00	Cotas 763,85 a 785 msnm	12,5 a 19,00	Cotas 539,40 a 544,00 msnm
ZONA INTERMEDIA	5,73 a 10,61	Cotas 754,00 a 763,85 msnm	6,52 a 12,50	Cotas 533,35 a 539,40 msnm
ZONA INFERIOR	0,85 a 5,73	Cotas 734,78 a 754,00 msnm	0,55 a 6,52	Cotas 518,00 a 533,35 msnm
ZONA DE RESERVA	< 0,85	Por debajo de la cota 734,78 msnm	< 0,55	Por debajo de la cota 518,00 msnm

Tabla 60. Zonificación de los embalses del Sistema Quiebrajano-Víboras

Asimismo, el modelo SIMGES, cuando un embalse alcance en un determinado mes la zona de reserva, no le estará permitido desembalsar ningún volumen de agua en los meses siguientes, hasta que el umbral del volumen mínimo (V_{\min}) sea superado.

En las simulaciones realizadas, los volúmenes iniciales para el embalse del Víboras y Quiebrajano corresponden a 12,50 y 10,61 hm³/a, esto es, los volúmenes declarados como objetivo.

9.1.2 Demandas consideradas en SIMGES

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

En principio las demandas existentes en el Sistema Quiebrajano-Víboras se han catalogado de la siguiente forma:

Demandas Consuntivas

- Urbanas, dentro de las cuales se han diferenciado entre las municipales y las supramunicipales (Mancomunidad Canales del Quiebrajano y Canal de Martos).
- Agrícolas.
- Aisladas y vinculadas a explotaciones de aguas subterráneas (industrial y abastecimiento a urbanizaciones).

Demandas No consuntivas

- Caudales ecológicos.

El programa SIMGES permite ejecutar la simulación de los caudales ecológicos de dos formas: bien como demandas a satisfacer por los ríos, o bien como caudales mínimos circulantes por dichos cauces. Se han simulado los caudales ecológicos de ambas formas con objeto de comparar los resultados por ambas vías, comprobando que son similares. Teniendo en cuenta que la simulación de los caudales ecológicos como demandas permite realizar la comparativa de las distintas simulaciones en términos de garantías del sistema se ha optado por efectuarla de esta forma.

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

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

Prioridad 0: demandas no consuntivas (caudales ecológicos).

Prioridad 1: demandas urbanas, excepto aisladas y vinculadas a las explotaciones de aguas subterráneas.

Prioridad 2: regadíos.

Prioridad 3: demandas asociadas a captaciones aisladas de aguas subterráneas para uso industrial y abastecimiento a urbanizaciones.

En la tabla 61 se muestran las demandas anuales consideradas en el modelo de gestión SIMGES, comparándolas con las máximas anuales registradas en los sistemas de abastecimiento y con las dotaciones que aparecen en el proyecto de interconexión de los subsistemas Quiebrajano-Víboras.

Como se observa en la tabla 60, las demandas que han sido analizadas mediante SIMGES son superiores a las demandas registradas e incluso a las consideradas en el proyecto de interconexión de los subsistemas Víboras y Quiebrajano, de tal manera, que se simula desde el lado de la seguridad en el cálculo de las garantías.

Estas demandas máximas han sido fijadas a partir de los datos de demandas (suministros a poblaciones, dotaciones riego, etc) considerando los valores máximos mensuales, independientemente que éstos máximos se hayan producido en diferentes años, de tal manera que la suma de los máximos mensuales registrados constituye la demanda anual considerada en SIMGES.

En total, la demanda simulada asciende a 74,90 hm³/a, con puntas de 317.013 m³/d, de los que 31,01 hm³ corresponden a demandas urbanas (punta de 97.159 m³/d), 12,49 hm³ a demandas agrícolas (punta de 90.653 hm³), 30,79 hm³ a caudales ecológicos (puntas de 127.507 m³/d) y 0,61 hm³ a otros usos (puntas de 1.694 m³/d).

El sistema supramunicipal de la Mancomunidad del Quiebrajano ha sido discretizado en tres demandas: Jaén capital, Fuerte del Rey y resto de municipios, atendiendo a como se vertebraba la conducción de abastecimiento. Se ha considerado una demanda anual de 19,98 hm³, con puntas de 61.696 m³/d.

El sistema Comarca de Martos se ha subdividido en cuatro demandas, cada una de ellas correspondientes a los municipios de que se constituye, de manera que sea posible establecer tomas individuales de los acuíferos. La demanda total considerada es de 7,26 hm³, con puntas de 23.003 m³/d.

Prioridad en la satisfacción de la demanda	Tipo de demanda		Nº de tomas	Demanda considerada en SIMGES		Máxima demanda registrada		Datos Proyecto Interconexión (Fuente:AQUAVIR)	
				Máxima mensual (m³/d)	Anual (hm³)	Mensual (m³/d)	Anual (hm³)	Horizonte 2002	Horizonte 2024
0	Caudal ecológico	Cañones Mingo	1	44.928	11,90	-	-	-	-
		San Juan	1	24.948	6,08	-	-	-	-
		Víboras	1	57.631	12,81	-	-	-	-
1	Mancomunidad Quiebrajano	Resto pueblos	2	11.076	3,64	11.288	3,50	9.736	9.245
		Jaén	1	26.815	8,87	25.950	8,83	25.818	28.152
		Pérdidas canal Quiebrajano	1	6.011	2,01	6.373	-	-	-
	Comarca Martos	Martos	2 ^a	8.263	2,61	6.126	1,72	14.270	16.243
		Torredonjimeno	1 ^b	6.351	2,01	5.220	1,65		
		Torredelcampo	1 ^c	4.824	1,52	4.004	1,14		
		Jamilena	1 ^d	1.471	0,44	880	0,23		
		Pérdidas canal Martos	1	2.094	0,68	2.435	-		
	Municipales	Jaén (Aqualia)	3 ^e	16.767	5,11	16.497	5,04	14.751	16.085
		Pérdidas Canal Los Villares	1	1.027	0,35	2.475	-	-	-
		Valdepeñas de Jaén	1	3.067	0,92	-	-	-	-
		Los Villares	1	3.680	1,10	-	-	-	-
Fuensanta de Martos		1	2.530	0,76	-	-	-	-	
Alcaudete	1	3.183	0,99	-	-	-	-		
2	Regadíos	Com. Regantes EDAR Jaén	1	5.263	0,69	-	-	-	-
		Riegos Alcaudete	1	22.814	3,01	-	-	-	-
		Riegos Valdepeñas	1	14.496	1,96	-	-	-	-
		Riegos Fuensanta Martos	1	8.114	1,07	-	-	-	-
		Riegos Los Villares	1	5.282	0,71	-	-	-	-
		Riegos Jaén	1	8.633	1,14	-	-	-	-
		Riegos Bajo Víboras	1	374	0,51	-	-	-	-
Riegos Comarca de Martos	3 ^f	25.677	3,39	-	-	-	-		
3	Captaciones en los acuíferos de las UHs 05.16 y 05.17		1	1.694	0,61	-	-	-	-
TOTALES	CAUDALES ECOLÓGICOS			127.507	30,79	-	-	-	-
	URBANAS	SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO ^g		84.699	27,24	81.248	22,1	64.575	69.725
		MUNICIPALES		12.459	3,77	-	-	-	-
	AGRÍCOLAS	RECURSOS RENOVABLES		62.695	8,64	-	-	-	-
		RECURSOS ALTERNATIVOS		27.958	3,85	-	-	-	-
	OTROS USOS				1.694	0,61	-	-	-
SUMA				317.013	74,90	-	-	-	-

- a Se incluye un bombeo adicional sobre el acuífero Dogger de Jabalcuz (sondeo La Maleza)
- b Se incluye un bombeo directo sobre el acuífero Dogger de Jabalcuz (captación Fte. del Caño y galerías de Los Arenales y Loma Pineda)
- c Se incluye bombes adicionales sobre al acuífero Lías de Jabalcuz (sondeos Santa Ana y Cuesta Negra) y sobre el acuífero Castillo-La Ímora (pozo con galería La Cueva)
- d Se incluye un bombeo directo sobre el acuífero Dogger de Jabalcuz (sondeo Loma Pineda)
- e También se incluye un bombeo adicional sobre el acuífero Castillo-La Ímora (sondeos de Santa Catalina y El Tomillo)
- f Este número de tomas permite simular las entregas para el aprovechamiento de las ARU de Martos y las captaciones en los acuíferos de Cerro Fuente y Lías de Jabalcuz
- g Incluye Jaén capital como parte del Sistema Quiebrajano

Tabla 61. Demandas consideradas en el modelo de simulación de la gestión

DEMANDAS SISTEMAS SUPRAMUNICIPALES DE ABASTECIMIENTO		Demanda considerada en SIMGES		Máxima demanda registrada		Datos Proyecto Interconexión (Fuente:AQUAVIR)	
		Máxima mensual	Anual	Mensual	Anual	Horizonte	Horizonte
		(m ³ /d)	(hm ³)	(m ³ /d)	(hm ³)	2002	2024
Mancomunidad del Quebrajano	Jaén	47.776	15,67	49.363	16,44	40.569	44.237
	Resto Municipios	13.921	4,30	13.220	4,16	9.736	9.245
Comarca de Martos		23.003	7,26	18.665	5,62	5,62	16.243
TOTALES		84.699	27,24	81.248	26,22	64.575	69.725

Tabla 62. Resumen de demandas consideradas en SIMGES para los sistemas supramunicipales de abastecimiento

Respecto a los caudales ecológicos considerados en el Sistema Quebrajano-Víboras (caudales ecológicos críticos calculados en Cañones de Mingo, Nato río San Juan y Alto Víboras -Anejo 6-), se ha optado por la simulación como demandas por diversas razones:

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

En el análisis efectuado sobre las demandas ecológicas no se han considerado criterios de calidad de las aguas por cuanto:

- Se trata de cauces que no presentan agresiones significativas (vertidos). A este respecto es necesario indicar que: los Cañones de Mingo reciben el vertido depurado de la EDAR Los Villares; el río Grande (Alto Víboras) recepciona el vertido sin depurar de Valdepeñas de Jaén, mientras que el Nacimiento del río San Juan no recibe ningún vertido, si bien, el acuífero Gracia-Morenita se recarga, en cierta medida, desde el cauce del río Grande (Alto Víboras), el cual, como se ha citado anteriormente, recepciona el vertido sin depurar de Valdepeñas de Jaén.
- El estudio de caudales ecológicos realizado -Anejo 6- sólo se han tenido en consideración aspectos cuantitativos.

9.1.3 Tomas

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

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

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

No obstante, el concepto de "toma" se corresponde, en principio, a distintas procedencias de aguas, pero también puede ser utilizado a efectos de gestión para distinguir prioridades aunque el agua proceda del mismo punto, o incluso a suministros de distintas subzonas dentro de la zona considerada.

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

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

$$R = \alpha \times S_{\text{sup}} \quad (24)$$

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

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

$$X = \beta \times S_{sup} \quad (25)$$

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

$$I = (1 - \alpha - \beta) \times S_{sup} \quad (26)$$

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

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

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

- En el caso de las tomas conectadas a embalses se da como dato la cota a la cual se encuentra conectada esta, Así, solo puede derivarse agua por la toma cuando la lamina de agua en el embalse se encuentra por encima de la cota

de la toma. Cuando a principio de mes la cota de agua en el embalse esta por encima de la de la toma y a fin de mes se encuentra por debajo, el volumen que puede suministrarse se calcula por integración, descontadas las restantes sueltas del embalse y sus perdidas.

- Cada toma de cada demanda consuntiva puede llevar asociada un “indicador de alarma” del sistema. Estos indicadores suponen la reducción de la punta mensual de la toma cuando el volumen de agua almacenado en un determinado grupo de embalses se encuentra por debajo de ciertos umbrales definidos por el usuario. Se trata pues de una forma de restringir el consumo cuando la reserva hidráulica es inferior a lo normal.

En el modelo de simulación de la gestión del Sistema Quebrajano-Víboras han sido considerados un total de 32 tomas de demanda, para satisfacer un total de 27 demandas simuladas (3 de caudal ecológico, 15 urbanas, 8 de regadíos y 1 independiente). En el Anejo 4 se detallan las características de las tomas en cuanto al caudal mensual, la dotación, los coeficiente de consumo-retorno y los elementos de retornos asociados.

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

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

Para los abastecimientos urbanos se ha tomado, como regla general, un coeficiente de consumo de 0,2 y de retorno de 0,8, excepto en aquellos municipios cuyas aguas residuales no son objeto de reutilización en el sistema, para los que se ha optado por una coeficiente de consumo unidad.

Para las tomas correspondientes a las pérdidas en grandes sistemas de conducción (canales del Quebrajano, Martos y Los Villares) se ha optado por tomar un coeficiente de consumo unidad, ya que se trata de fugas dispersas a lo largo de

canales de gran longitud (> 20 km) que no revierten recursos al sistema, perdiéndose en forma de filtraciones o evapotranspiración.

Para las tomas agrícolas asociadas a riegos por gravedad se ha establecido un coeficiente de consumo de 0,6 y de retorno de 0,4, aunque por lo general se ha tomado un coeficiente de consumo unidad, ya que se trata, en su mayor parte de riegos localizados de olivar.

9.1.4 Aportaciones

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

- Aportaciones directas a cauces, procedente de la escorrentía superficial e hipodérmica derivada de la precipitación.
- Aportaciones desde acuíferos, procedente de la recarga que reciben los acuíferos por la infiltración del agua de lluvia.

Estas aportaciones han sido calculadas mediante el modelo desarrollado de precipitación-aportación de Temez modificado, cuyo desarrollo ha permitido valorar las mismas para el régimen natural.

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

En total han sido simuladas 20 aportaciones, de ellas 5 corresponde a aportaciones a cauces y 15 a descargas de acuíferos (ver tabla 62). La aportación promedio del sistema simulado es de 125,86 hm³/a, con oscilaciones más probables de entre 68,19 a 184,03 hm³, con un máximo de 283,66 hm³/a. La aportación subterránea constituye el 52% de la total por término medio.

Los resultados de las simulaciones mediante el método de Temez deben analizarse bajo la óptica de que se trata de una aproximación a la realidad por cuanto se pretende reproducir una realidad muy compleja donde intervienen diversos factores mediante ecuaciones matemáticas donde intervienen pocos parámetros (modelo agregado). Asimismo, ese método no es adecuado para el cálculo de regímenes extremos (mínimo y máximos), pero sí para evaluar valores promedio o los rangos de aportaciones más probables.

Número Aportación SIMGES	Aportación	Volumen promedio anual (hm ³)	Rango de variación		
			Mínimo (hm ³ /a)	Máximo (hm ³ /a)	
1	SUPERFICIAL	Alto Quiebrajano (Emb. Quiebrajano)	13,06	4,02	20,23
2		Bajo Quiebrajano (E-84)	10,79	1,81	19,69
3		Alto Víboras (Emb. Víboras)	28,42	6,24	45,24
4		Bajo Víboras (E-82)	1,15	0,00	1,38
20		Río Frió	6,95	0,17	13,70
5	SUBTERRÁNEA	Ahillo	2,03	1,50	2,67
6		Cerro Fuente	0,21	0,15	0,27
7		Lías de Jabalcuz	1,57	1,11	2,11
8		Castillo-La Ímora	1,93	1,34	2,63
9		Cornicabra-Noguerones	3,25	2,50	3,94
10		Dogger Jabalcuz	1,38	0,99	1,80
11		Mentidero	3,22	2,46	4,03
12		Caracolera	1,72	1,29	2,23
13		La Peña de Jaén	0,89	0,61	1,21
14		Fresnedilla-Pico Maleza	2,60	1,66	3,56
15		Gracia-Morenita ^a	11,54	8,63	14,33
16		Ventisquero	8,50	6,91	9,89
17		Montesinos	2,76	2,24	3,24
18		Grajales	19,40	14,33	24,59
19	Pandera	3,96	2,96	5,15	
TOTAL		125,86	68,19	184,03	
APORTACIÓN SUPERFICIAL		60,38	11,07	103,02	
APORTACIÓN SUBTERRÁNEA		65,48	49,32	83,29	

^a Se considera la recarga diferida desde el río Víbora, la cual se detrae de la escorrentía superficial

Tabla 63. Aportaciones consideradas en el modelo de simulación (aportaciones en régimen natural obtenidas mediante la aplicación del método de Temez modificado)

9.1.5 Conducciones

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

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

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

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

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

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

En cambio los caudales mínimos son tomados no como limitaciones físicas, sino como limitaciones de gestión, y el modelo tratará de respetarlos dentro de las prioridades establecidas, pero si no fuera posible y el caudal mínimo

hubiera de ser violado, se hará así sin que ello suponga ningún contratiempo en la ejecución del modelo.

Este tipo de conducciones también ha sido utilizado para simular los cauces sin conexión a acuíferos y las conducciones por gravedad y/o en carga. En total se han dispuesto 76 conducciones de este tipo para la simulación correspondiente al ESCENARIO SIN CONEXIÓN y 86 para el ESCENARIO CON CONEXIÓN.

Sólo se ha registrado una conducción con caudal mínimo y es la que recoge el drenaje del acuífero Gracia-Morenita, donde se ha impuesto un caudal mínimo mensual igual al mínimo obtenido en la serie simulada (4,98 hm³/a, cuando la aportación mínima del acuífero Gracia-Morenita es de 5,20 hm³/a), al objeto de asegurar el abastecimiento a Castillo de Locubín, dependiente de esta surgencia y el caudal ecológico en el río San Juan.

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

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

siendo a, b y c parámetros requeridos por el modelo. A estas conducciones se las ha denominado también "conducciones de tipo 2" o "tramos de río tipo 2". En el modelo construido se ha considerado una de estas conducciones para simular la recarga diferida desde el río Grande (alto Víboras) al acuífero Gracia-Morenita, para la que se han fijado los siguientes coeficientes: a=0, b=0,07 y c=0,60.

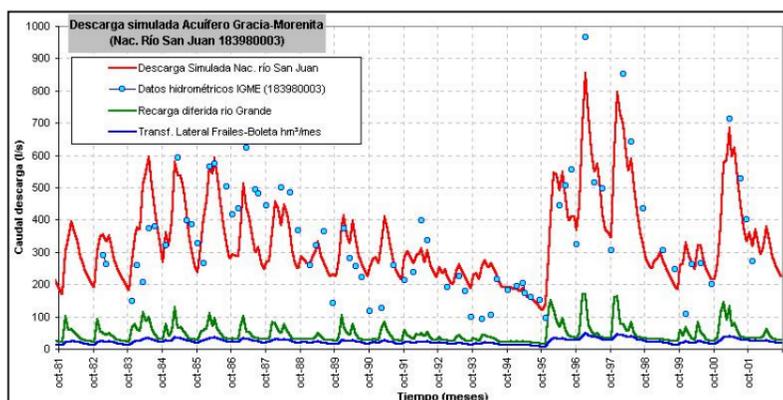


Figura 102. Descarga simulada mediante el modelo de Temez para el acuífero Gracia-Morenita

- Conducción conectada hidráulicamente con acuífero: Es aquella conducción cuyo lecho atraviesa un acuífero existiendo conexión hidráulica entre los dos, y por tanto la posibilidad tanto de filtraciones de lecho hacia el acuífero como drenaje del acuífero hacia el río, dependiendo de la situación de niveles piezométricos del acuífero.

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

A estas conducciones se las ha denominado también "tramo de río tipo 3". Se han utilizado un total de 15 conducciones de este tipo, conectadas a cada uno de los acuíferos simulados.

Los acuíferos simulados corresponden a modelos unicelulares, por lo que en las conducciones Tipo 3 se ha declarado como acción elemental la recarga neta y como parámetro de control las salidas del acuífero.

A modo de resumen, en el modelo de simulación de la gestión considerado para el Sistema Quebrajano-Víboras se han considerado un total de 92 conducciones (76 conducciones Tipo 1, 1 conducción Tipo 2 y 15 conducciones Tipo 3) para el ESCENARIO SIN CONEXIÓN (sistemas Quebrajano y Víboras independientes) y 102 (86

conducciones Tipo 1, 1 conducción Tipo 2 y 15 conducciones Tipo 3) conducciones para el ESCENARIO CON CONEXIÓN (sistemas Quiebrajano y Víboras conectados).

9.1.6 Retornos

En el modelo de simulación de la gestión desarrollado, los elementos de retorno empleados corresponden a tres tipologías:

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

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

- Los retornos procedentes de demandas consuntivas urbanas corresponde al 80% de los recursos captados.
- Los retornos procedentes de demandas consuntivas agrícolas de riegos por gravedad corresponden al 40% de los recursos captados.
- Los retornos procedentes de demandas consuntivas agrícolas de riegos localizados de olivar son nulas.

En aquellos casos de demandas agrícolas, excepto la correspondiente a los regadíos de Los Villares, donde existe una importante componente hortícola, se ha decidido tomar coeficiente de consumo unidad, ya que se ha considerado que los riegos localizados de olivar no originan retornos al sistema.

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

En el modelo de simulación creado se han incluido un total de 10 elementos de retorno.



Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y aprovechamientos de Aguas Residuales Urbanas (ARU) han sido simuladas como retornos, dirigiendo el punto de vertido aguas arriba de las tomas asociadas a las demandas que se nutren de estas aguas residuales (Comunidad Regantes de Jaén, riegos localizados de olivar en Alcaudete y Martos, que aprovechan unos 3,85 hm³ de estos recursos alternativos). La EDAR de Los Villares no presenta un uso directo de las aguas depuradas, cuyos vertidos se mezclan con las aguas del río Frío aguas arriba de las captaciones de Mingo.

10. MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA

Teniendo en cuenta los objetivos del estudio y el encuadre hidrológico del área de trabajo, la metodología que se ha aplicado para el análisis de la gestión integrada de recursos hídricos ha contemplado el importante papel que puedan jugar los recursos subterráneos en un marco de utilización conjunta.

Para el desarrollo de la metodología de gestión conjunta que se ha aplicado ha sido preciso definir:

- Las características hidrológicas de la cuenca (régimen de las aportaciones).
- Las demandas de agua y orden de prioridad en la satisfacción de las mismas.
- Las infraestructuras hidráulicas de regulación/conducción existentes.
- Las posibilidades adicionales de infraestructuras de regulación, contempladas en el proyecto de interconexión de los subsistemas Quebrajano y Víboras.

El desarrollo metodológico propuesto se ha fundamentado en la ejecución de una serie de actividades que pueden resumirse en las siguientes etapas:

Primera etapa. Se ha subdividido las cuencas del río Jaén, hasta la estación de aforos E-84 (aguas abajo de la confluencia de los ríos Quebrajano y Frío), y del río Víboras, hasta la estación de aforos E-82 (aguas abajo del embalse del Víboras), en unidades prácticamente independientes, de modo que cada subcuenca resultante constituye una unidad hidrológica donde han sido analizados los recursos hídricos. Para ello se han considerado las divisorias hidrológicas superficiales y subterráneas y la distribución geográfica de la demanda.

Segunda etapa: Se ha realizado un esquema topológico del sistema hídrico de cada subcuenca. En estos esquemas se han incluido los siguientes aspectos:

- Situación de embalses y acuíferos

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

Tercera etapa: Restitución al régimen natural. Esta operación es imprescindible para la simulación de acuíferos en el código que se ha utilizado (SIMGES), ya que los modelos que considera se fundamentan en la hipótesis de la SUPERPOSICIÓN, lo que exige partir de regímenes naturales. Para el cálculo de las aportaciones en régimen natural se ha aplicado a las subcuencas definidas el modelo P-E de Temez modificado, calibrado con las series hidrológicas de las estaciones de aforos de la CHG en los ríos Jaén y Víboras y las series foronómicas de las redes de control hidrométrica del IGME.

Cuarta etapa: Definición conceptual de los elementos del esquema para su inclusión en el modelo de simulación.

El paso de tiempo de la simulación considerado ha sido el mes, el cual viene impuesto por el software utilizado (SIMGES). Asimismo, el periodo de simulación se ha extendido desde el año 1951 al 2002 (51 años), en el cual se han registrado series de años secos y húmedos suficientemente representativos de la hidrología del área simulada.

10.1 GENERALIDADES DEL PROGRAMA AQUATOOL

Para la realización del modelo de simulación y optimización de la gestión conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos se ha utilizado el paquete AQUATOOL.

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

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

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

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

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

Han sido analizados los diferentes elementos a considerar en la gestión del Sistema Quebrajano-Víboras y todos ellos pueden ser tratados con garantías mediante el módulo SIMWIN (basado en el código SIMGES) del paquete AQUATOOL. Asimismo, la herramienta SIMGES permite simular diferentes esquemas de utilización

conjunta de recursos hídricos, que pueden aplicarse y desarrollarse en las cuencas objeto de estudio, tales como:

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

La utilización alternativa puede tener importantes modelos de aplicación en este sistema, ya que las condiciones hidrológicas obliga a analizar con detalle las posibilidades de complementar los recursos regulados por los embalses (Quebrajano y Víboras) con los recursos subterráneos de los importantes acuíferos existentes en el sistema, descritos en anteriores apartados, lo que puede constituir una herramienta muy útil para aumentar las disponibilidades de las subcuencas objeto de análisis.

Para el desarrollo del estudio de utilización alternativa se han analizado los siguientes aspectos:

- Caracterización de las aportaciones superficiales (cuantificación y variabilidad).
- Capacidad de los embalses y parámetros de funcionamiento.
- Localización y cuantía de la demanda.
- Características hidrogeológicas y posibilidades de aprovechamiento de los acuíferos.
- Caracterización de las modificaciones que se impongan en las relaciones río-acuífero.

Otro aspecto que permite simular SIMGES coincide con las diferentes posibilidades que presenta la recarga artificial, no sólo como almacenamiento de aguas excedentarias o residuales depuradas (retornos), también se pueden considerar aspectos tales como la mejora de la calidad o la mitigación de los descensos piezométricos causados por la sobreexplotación local. Así, se ha incluido en el modelo de simulación las instalaciones de recarga artificial construidas en el Alto Víboras para recargar el acuífero Gracia-Morenita mediante sondeos de inyección.

La regulación de manantiales kársticos es una práctica habitual para aumentar las disponibilidades de los principales sistemas hidrogeológicos asociados al Sistema Quebrajano-Víboras, que incluyen acuíferos con drenajes puntuales significativos.

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

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

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

10.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN SIMULADO

El Sistema Quebrajano-Víboras¹¹ constituye uno de los entramados de satisfacción de demandas hídricas más importante de la provincia de Jaén y uno de los más significativos de la Comunidad Autónoma Andaluza, tanto por el volumen anual de demanda consuntiva satisfecho (40,29 hm³) como por el número de municipios (18 municipios) y número de habitantes a los que abastece (221.000 habitantes).

¹¹ Sin incluir los municipios de la zona que disponen de sistemas de abastecimiento independientes: Valdepeñas de Jaén, Los Villares, Fuensanta de Martos y Alcaudete

Las demandas urbanas se satisfacen con recursos propios del sistema de diferente procedencia (embalse del Quiebrajano y captaciones de aguas subterráneas), disponiendo de fuentes de suministro con capacidad de aportar los recursos hídricos suficientes, incluso en periodos de intensa sequía. Los problemas de este sistema han estado secularmente asociados a unas infraestructuras de conducción y potabilización insuficientes. Esta situación experimentará una notable mejoría con las nuevas infraestructuras que se están generando mediante el desarrollo del proyecto de interconexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras.

Sistemas de abastecimiento	Capacidad máxima de las Fuentes de Recursos (l/s) ^a		Capacidad de las conducciones (l/s)		Capacidad de potabilización (l/s)		Demandas punta diaria (l/s)
Mancomunidad del Quiebrajano	Embalse Quiebrajano	398	Canal del Quiebrajano	400	ETAP Jaén	450	602 ^b
	Sondeos La Merced	200					
	Elevaciones Mingo II y Mingo III	360					
Jaén capital	Captación Los Villares	100	Canal Los Villares	100	Filtros San Felipe	100	
Comarca de Martos	Fuentes de Martos	162	Canal de Martos	165	ETAP Martos	160	266 ^c
	Sondeos Víboras	150					
TOTALES		1.370		665		710	868

^a Sólo se incluyen aquellas que exigen potabilización

^b Existen fuentes de recursos alternativas a Jaén capital que no pasan por la potabilizadora (sondeos de Santa Catalina, El Tomillo y Peñas de Castro) que permiten aportar un caudal de 250 l/s

^c Existen fuente de recursos alternativos que captan recursos subterráneos en los acuíferos de las UH de Jaén y Jabalcuz, con capacidad mínima de 16 l/s

Tabla 64. *Situación previa al desarrollo del proyecto de interconexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras*

En apartados anteriores se han ido desgranando los diferentes elementos que constituyen el Sistema Quiebrajano-Víboras, tanto en los que se refiere a sus características intrínsecas como a las relaciones que se establecen entre ellos, de manera que ha sido posible elaborar el esquema topológico del sistema (ver plano nº 9), el cual ha servido de referencia para construir el sistema para la simulación de la gestión mediante el SIMGES.

El que se ha considerado como modelo o escenario de gestión sin conexión responde a un esquema donde se consideran por separado los subsistemas Quiebrajano (Mancomunidad del Quiebrajano) que abastece a Jaén capital y municipios de la Campiña de Jaén-Córdoba) y Víboras (abastecimiento a los municipios de la Comarca de Martos).

Mientras que el denominado como modelo o escenario de gestión con conexión corresponde al supuesto de que las obras de interconexión y las actuaciones complementarias entren en funcionamiento. Por tanto, se han desarrollado dos modelos de simulación que permiten optimizar la gestión para dos escenarios distintos o incluso escenarios intermedios aprovechando las diferentes infraestructuras existentes o que se van a implantar próximamente.

10.2.1 Escenario de Gestión Sin Conexión

Este escenario de simulación considera que los subsistemas Quiebrajano y Víboras son independientes.

10.2.1.1 Subsistema Quiebrajano

Las fuentes de suministro de este sistema corresponden al embalse del Quiebrajano y las captaciones de aguas subterráneas de que dispone tanto la CHG como los municipios de Jaén y Los Villares, que han sido descritos en apartados anteriores.

La conducción principal del subsistema corresponde al Canal del Quiebrajano y los ramales y conducciones anejas. Como conducciones de menor rango está el canal de Los Villares, que sirve de abastecimiento a Jaén capital.

La planta de potabilización de Jaén, con capacidad para tratar 450 l/s de agua y el depósito general de regulación (DGR) con capacidad para 15.000 m³, constituyen los elementos principales de tratamiento y regulación del subsistema de abastecimiento del Quiebrajano.

Este subsistema se complementa con una serie de conducciones, ramales y partidores secundarios que permiten que el agua alcance municipios muy alejados de las fuentes de suministro.

Dentro de este subsistema existen dos depuradoras: la EDAR de Los Villares (capacidad de hasta 3.000 m³/d) y la EDAR de Jaén (capacidad de tratamiento de 742 l/s con depuración terciaria y línea de fangos).

10.2.1.2 Subsistema Víboras

Las fuentes de suministro de este subsistema corresponden las Fuentes de Martos (captaciones de aguas subterráneas en las descargas de los acuíferos del Alto Víboras) que gestiona la CHG y las captaciones de aguas subterráneas de que disponen los diferentes municipios en las UHs de Jaén y Jabalcuz.

La conducción principal del subsistema corresponde al Canal de Martos y los ramales y conducciones anejas que permiten conducir el agua hasta los diferentes núcleos adscritos a la Comarca de Martos.

La planta de potabilización de Martos, con capacidad para tratar 160 l/s de agua constituye el principal elemento de tratamiento del subsistema Víboras. En este subsistema no existen depuradoras, está en proyecto la depuradora de Martos.

10.2.2 Escenario de Gestión Con Conexión

El Modelo de gestión Con Conexión integra los elementos incluidos en los subsistemas Quiebrajano y Víboras y los derivados de la implantación del proyecto de interconexión de ambos subsistemas, que corresponden a:

- Fuentes de suministro: embalse del Víboras y sondeos de Gracia-Morenita.
- Nueva ETAP de Martos con capacidad de potabilización de 363 l/s.
- Conducción desde el embalse del Víboras hasta la nueva ETAP de Martos con capacidad para 363 l/s.
- Remodelación de las conducciones y ramales a Torredojimeno, Torredelcampo y Jamilena.

- Conexión del subsistema Víboras con el abastecimiento a Jaén capital, con capacidad de 39 l/s.
- Conexión del subsistema Víboras con el subsistema Quiebrajano (Partidor del Reventón) y conducción de funcionamiento reversible entre el Partidor del Reventón y el Depósito General Regulador del subsistema Quiebrajano con capacidad de 107 l/s.
- Mejora de la conducción del embalse del Quiebrajano hasta la ETAP de Jaén, disponiendo una nueva conducción con capacidad de transporte de 580 l/s que permite conducir a la ETAP de Jaén los recursos regulados en el embalse del Quiebrajano y los bombeados en los sondeos de La Merced y en las captaciones de Mingo II y III.

10.3 SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE GESTIÓN

Una vez incluidos todos los elementos del Sistema Quiebrajano-Víboras en el modelo SIMGES para la simulación de los escenarios de gestión conjunta, mediante la adecuación de las características de cada uno de ellos a los elementos de simulación que proporciona dicho código, se procedió a realizar la simulación de la gestión bajo cuatro escenarios diferentes:

- **Situación Sin Conexión**, escenario de simulación que corresponde con el funcionamiento independiente de los sistemas de abastecimiento de la Mancomunidad del Quiebrajano y de la Comarca de Martos.
- **Situación Con Conexión**, escenario que corresponde a la interconexión de ambos subsistemas de abastecimiento, una vez hayan entrado en funcionamiento las infraestructuras que están construyendo la CHG y AQUAVIR.
- **Situación Con Conexión-Sondeos Víboras**, que corresponde a la interconexión de ambos subsistemas de abastecimiento, pero funcionando los sondeos de Gracia-Morenita, y la recarga artificial asociada, en vez del embalse del Víboras. En esta simulación se ha incluido una variación que consiste en simular los caudales ecológicos según el criterio establecido por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, según el cual se establece

la demanda ecológica como el 10% de las aportaciones de los diferentes ríos.

- Situación Con Conexión-Impermeabilización embalse Quiebrajano, que corresponde a la interconexión de ambos subsistemas de abastecimiento, funcionando los embalses del Víboras y Quiebrajano, pero éste último se considera que impermeabilizado para evitar filtraciones.

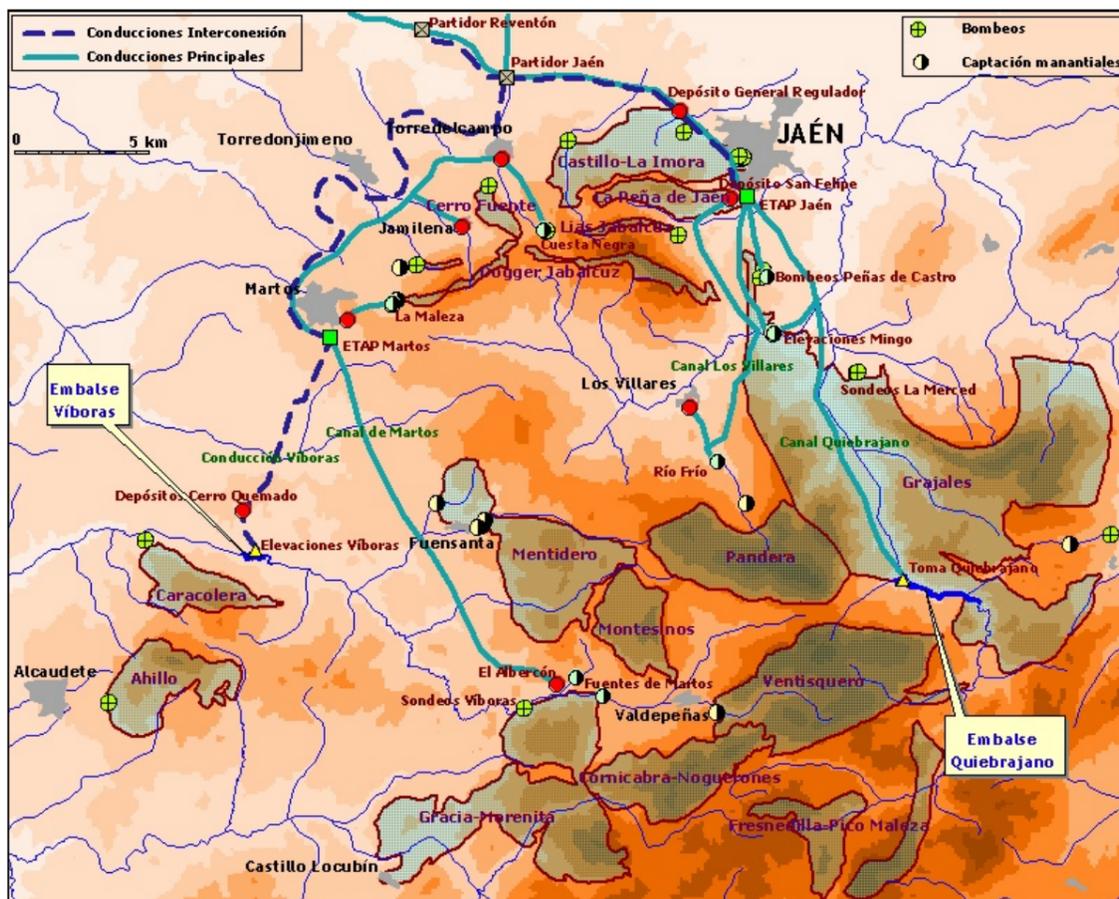


Figura 103. Infraestructuras del sistema Quiebrajano-Víboras

Partiendo de los esquemas topológicos definidos para cada escenario, el modelo SIMGES busca la solución óptima al problema que se plantea, esto es, la distribución de los recursos para la satisfacción de demandas, considerando las prioridades y restricciones establecidas, que ofrece unos mejores indicadores de garantías. Respecto a las restricciones ambientales impuestas por los caudales ecológicos, en las simulaciones realizadas se han considerado los caudales ecológicos calculados (Anejo 6-apartado 5.4).

Asimismo, permite incluir modificaciones en el modelo de gestión mediante la inclusión de nuevos elementos o la modificación de las prioridades o restricciones impuestas.

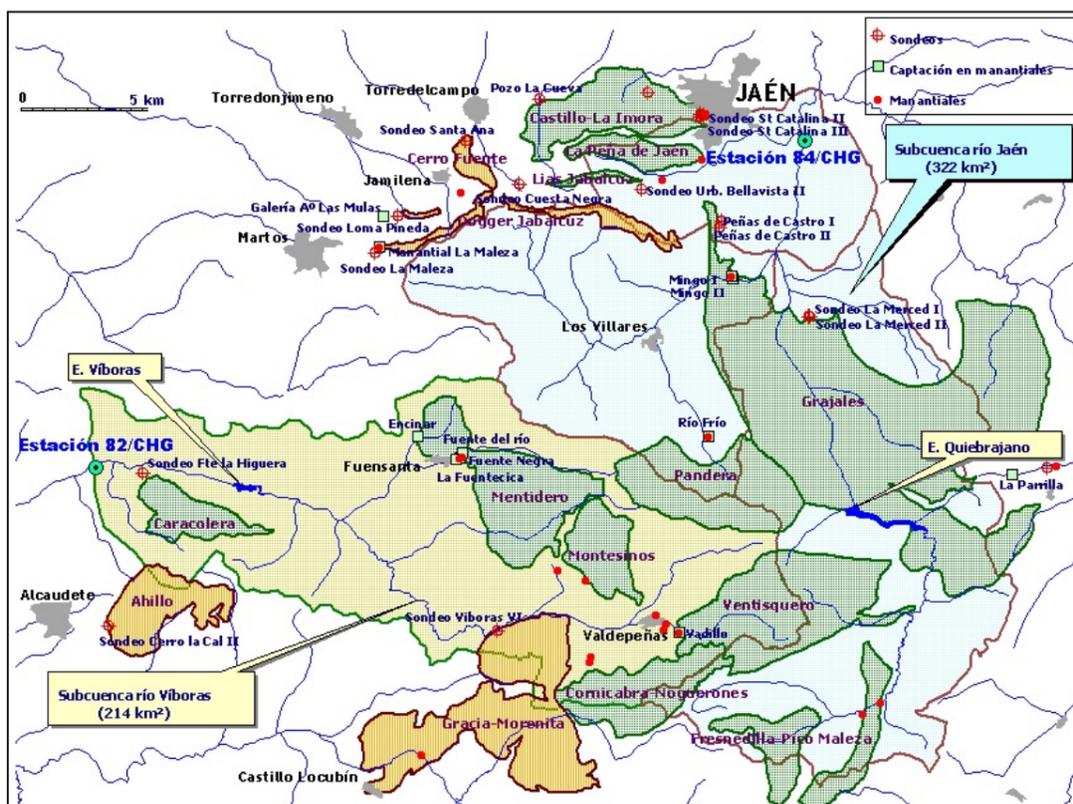


Figura 104. Subcuencas hidrológicas y acuíferos del Sistema Quiebrajano-Víboras. Infraestructuras de regulación.

10.3.1 Criterios de Garantía utilizados

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

- **Garantía mensual (G_m)**, donde se identifica el número de meses en lo que se produce fallo en la satisfacción de una demanda (déficit mensual, considerando como tal la existencia de un déficit que suponga un valor A% de la demanda mensual). La aplicación ofrece el máximo déficit en un mes y en dos meses.
- **Garantía volumétrica (G_v)**, cociente entre el déficit acumulado y la demanda total a satisfacer en el periodo de cálculo (51 años).

- Criterio Plan Hidrológico (G_{CPH}), se considera como fallos aquellos años en que se produce una de las dos circunstancias siguientes: en algún mes el déficit supera B% de la demanda mensual o el déficit en un año supera el C% de la demanda.
- Criterio UTAH-DWR, considera como fallo cuando se produce una de las circunstancias siguientes: el déficit en un año supera el D% de la demanda, el déficit en dos años consecutivos supera el E% de la demanda y el déficit en diez años consecutivos supera el F% de la demanda.

Los valores de déficit (A, B, C, D, E, F y G) pueden ser fijados por el usuario, se han considerado los que se expresan en la tabla 65.

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

Considerando el criterio UTAH-QWR para las demandas ecológicas, se ha fijado un criterio DEF15, para las urbanas se ha fijado un criterio de garantía DEF25, para las agrícolas DEF50 y para las aisladas DEF70. Son, por tanto unos criterios de garantías que se puede catalogar como estrictos.

Tipo de demanda	Número de Prioridad	Valores de los índices de déficit						
		G_m	G_{CPH}			UTAH-DWR		
		A%	B%	C%	D%	E%	F%	
Caudal Ecológico	0	0	10	5	15	30	50	
Urbanas	1	0	20	10	25	50	75	
Agrícolas	2	10	30	15	50	75	100	
Aisladas	3	10	35	20	70	100	150	

Tabla 65. Valores de déficits utilizados en los cálculos de garantías

Las demandas han sido agrupadas según prioridades, de tal manera que SIMGES intenta satisfacer primero aquellas de número de prioridad inferior:

Demandas con número de prioridad 0:

- ✓ Caudales ecológicos
- ✓ Pérdidas en grandes canales de abastecimiento

Demandas con número de prioridad 1:

- ✓ Abastecimiento Urbano a la Mancomunidad del Quiebrajano
- ✓ Abastecimiento Urbano a los núcleos de la Comarca de Martos
- ✓ Abastecimiento urbano de gestión municipal

Demandas con número de prioridad 2:

- ✓ Regadíos

Demandas con número de prioridad 3:

- ✓ Abastecimientos aislados (industriales, urbanizaciones, etc.)

10.3.2 Simulación Escenario SIN Conexión

Partiendo de los sistemas e infraestructuras que actualmente están implantados en el Sistema Quiebrajano-Víboras, que han sido descritas detalladamente en apartados anteriores, se ha realizado una simulación para la optimización de la gestión de los recursos hídricos considerando un escenario en el que no existiese la conexión entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras.

Para ello se ha considerado una serie de aportaciones en régimen natural correspondiente a 51 años hidrológicos (octubre-septiembre), desde octubre de 1951 a septiembre de 2002, asegurando, por tanto, una simulación bajo condiciones idénticas a las existentes en el sistema y reproduciendo los periodos de sequía acontecidos en la realidad.

Los resultados del modelo de simulación se incluyen en el Anejo 4, donde se han recogido los índices de garantía para las diferentes demandas consideradas.

A modo de resumen en la tabla 66 se recogen los índices de garantía obtenidos en la simulación de la gestión correspondiente al escenario SIN conexión.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca Martos	Regadíos	Caudales ecológicos
Garantía mensual	Nº Fallos	78	389	289	77
	Gm	87,3%	36,4%	52,8%	87,4%
	Gv	95,3%	91,1%	45,0%	97,8%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	0 923	0,326	2,137	1,796
	2 meses	1,710	0,696	4,243	3,375
Plan Hidrológico	Nº fallos	10	51	51	14
	G _{cph}	80,4%	0,0%	0,0%	72,5%
	DEF15				NO CUMPLE
	DEF25	NO CUMPLE	NO CUMPLE		
	DEF50			NO CUMPLE	

Tabla 66. Criterios de garantía para los principales grupos de demandas en el ESCENARIO SIN CONEXIÓN

A continuación se presentan los resultados ofrecidos por SIMGES para los elementos más significativos del sistema.

10.3.2.1 Embalse del Quiebrajano

El embalse del Quiebrajano presenta un volumen medio de 16,50 hm³, suministrando un promedio anual de 5,22 hm³ (0,435 hm³/mes de media - 167,8 l/s-), oscilando entre 0 y 10,55 hm³.

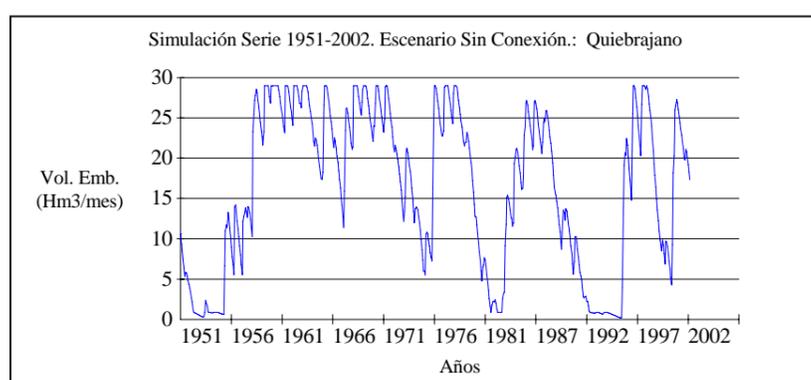


Figura 105. Volumen embalsado en el embalse Quiebrajano. Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN

10.3.2.2 Acuífero Grajales

Los bombeos en el acuífero de Grajales para abastecimiento a Jaén (Peñas de Castro) y la Mancomunidad del Quiebrajano (La Merced) serían de 2,485 hm³/a (1,668 para Peñas de Castro y 0,818 hm³/a para La Merced), con un promedio mensual de 0,207 hm³ (80 l/s, 53,6 l/s para Peñas de Castro y 26,4 l/s para La Merced).

En la figura 106 se muestra la descarga por los manantiales de Mingo que reproduce el SIMGES, contabilizando las descargas por bombeos y la recarga que recibe por filtraciones en el embalse del Quiebrajano.

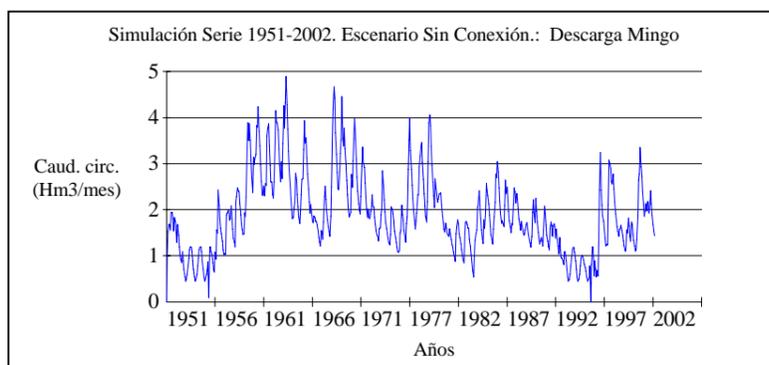


Figura 106. Descarga por los manantiales de Mingo. Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN

Esta descarga en régimen influenciado supondría un volumen anual promedio de 22,87 hm³/a y mensual de 1,91 hm³ (735,2 l/s), similar a la que se ha estimado mediante la aplicación del método de Temez para el régimen natural del acuífero de Grajales (20,52 hm³/a -contabilizando las filtraciones en el embalse Quiebrajano-).

El caudal ecológico crítico fijado para Mingo se satisfaría con una garantía de 94% y el caudal tomado en las captaciones de Mingo sería de 8,53 hm³/a por término medio (7,49 hm³/a en Mingo II y III -tomas de CHG- y 1,04 hm³/a en Mingo I -Jaén-), con un promedio mensual de 0,711 hm³ (274,2 l/s).

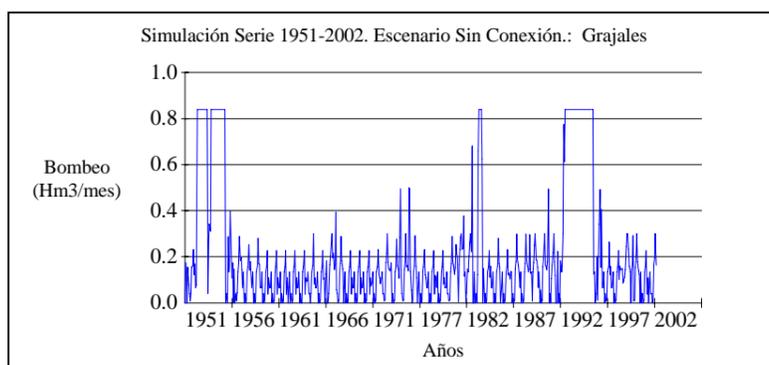


Figura 107. *Bombeos en el acuífero Grajales (sondeos Peñas de Castro y La Merced). Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN*

Los bombeos máximos que simula SIMGES implican un volumen anual de aguas subterráneas de 10,08 hm³ (6,240 hm³/a para los sondeos de La Merced y 3,840 hm³/a para los sondeos de Peñas de Castro).

Para el año al que corresponden el máximo de bombeos anual, el bombeo medio mensual resulta ser de 324 l/s (200,6 l/s de los sondeos de La Merced y 123,4 l/s de los sondeos Peñas de Castro), que corresponde a la máxima capacidad de bombeo instalada.

10.3.2.3 Canal de Martos

Las tomas en el Canal de Martos implican un caudal promedio de 5,953 hm³/a, con un promedio mensual de 0,496 hm³ (191,4 l/s). El mínimo caudal mensual para los meses de estío sería de 0,400 hm³ (154 l/s), correspondiente a los meses de julio, agosto y septiembre de 1995. Para estos meses el caudal mínimo que accede a la ETAP de Martos (descontadas las pérdidas en la canalización y el abastecimiento a pedanías, que han sido simuladas como una demanda consuntiva sin retorno) correspondería al mes de agosto de 1995, con un valor de 0,337 hm³/mes (130 l/s).

El caudal que circularía por el Canal de Martos procedería de dos fuentes de suministro: las Fuentes de Martos (captaciones en manantiales del

Alto Víboras (-4,710 hm³/mes-) y sondeos de Gracia-Morenita (1,243 hm³/mes).

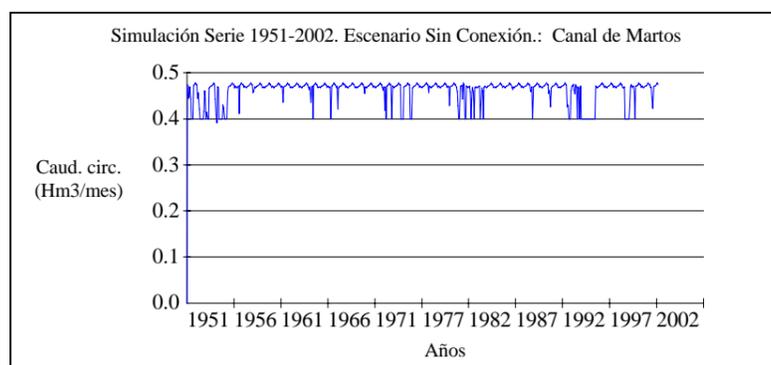


Figura 108. Captaciones en el Canal de Martos (Alto Víboras). Simulación del ESCENARIO SIN CONEXIÓN

En los meses de mayor sequía (julio, agosto y septiembre de 1995) el caudal derivado por el Canal de Martos correspondería a un caudal de 0,40 hm³/mes, procedentes de los bombeos en Gracia-Morenita (154 l/s), ya que el caudal asociado a la descarga de los acuíferos del Alto Víboras se emplearía en el mantenimiento de los caudales ecológicos. Estos bombeos en Gracia-Morenita afectarían a la descarga del Nacimiento del río San Juan, para soslayar esta afección se prevé una recarga artificial del acuífero con excedentes del Alto Víboras. En la tabla 67 se muestran los resultados de las simulaciones efectuadas.

SIMULACIÓN ESCENARIO SIN CONEXIÓN									
Alternativas	Bombeo Gracia-Morenita (154 l/s)	NO	SI	SI	SI				
	Recarga artificial (80 l/s)	NO	NO	SI	NO				
	Recarga artificial (160 l/s)	NO	NO	NO	SI				
Demandas		Garantías							
		G _m	G _v						
Caudal ecológico río Víboras		85,3%	96,8%	88,4%	97,3%	88,1%	97,3%	88,1%	97,3%
Caudal ecológico río San Juan		95,8%	98,7%	87,9%	96,2%	87,9%	96,2%	88,2%	96,3%
Abastecimiento a Martos		48,4%	80,6%	69,1%	95,9%	68,6%	95,9%	69,0%	95,9%

Tabla 67. Simulación en la Situación Sin Conexión para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos

Las conclusiones que se obtienen implican que para conseguir unos índices de garantía aceptables en el abastecimiento a la Comarca de Martos y asegurar un mantenimiento suficiente de los caudales ecológicos en el Alto Víboras es necesario bombear desde los sondeos del Víboras (acuífero Gracia-Morenita -154 l/s-). Situación que provoca una afección a los caudales ecológicos del Nacimiento del río San Juan que no se paliarían con las actuales infraestructuras de recarga planteadas con excedentes de la descarga del acuífero Conicabra-Noguerones (manantiales El Papel).

10.3.2.4 Captaciones en los acuíferos Jaén-Jabalruz

Las tomas de aguas subterráneas simuladas en los acuíferos de Jaén-Jabalruz para el periodo de más intensa sequía (jul-ago-sep de 1995) corresponden a 0,035 hm³/mes para el acuífero Dogger de Jabalruz (13,5 l/s, de los que 9,65 l/s son para Martos y 3,85 l/s para Torredonjimeno y Jamilena); 0,020 hm³ para el acuífero Lías de Jabalruz (7,7 l/s para Torredelcampo); y 0,004 hm³ para el acuífero Castillo-La Ímora (1,5 l/s para Torredelcampo).

Al objeto de constatar la significación que en términos de garantía poseen las captaciones de aguas subterráneas de que disponen los municipios de la comarca de Martos para abastecimiento, se ha efectuado una simulación anulando los bombeos adicionales (Gracia-Morenita) y directos asociados (Jabalruz) a estas demandas. En la tabla 68 se muestran los resultados.

Es conveniente reseñar que la limitación en el bombeo no es consecuencia de las restricciones impuestas en la explotación del acuífero Gracia-Morenita, ya que una simulación sin las restricciones de caudal mínimo impuestas arroja idénticos resultados, si no de las limitaciones en las infraestructuras de la ETAP de Martos, con una capacidad de potabilización limitada a 160 l/s, de tal manera que si las Fuentes de Martos aportan 155 l/s, los sondeos del Víboras sólo pueden aportar la diferencia hasta 183 l/s, cifra

que incluye el agua que accede a la ETAP -160 l/s- más las pérdidas en la conducción -19,5 l/s- y el abastecimiento a pedanías -3,5 l/s-.

De aquí que en el mes de sep-95 la simulación realizada sólo aporta al abastecimiento de la Comarca de Martos 183 l/s, cuando las demandas son de 240 l/s. En este mismo mes la aportación subterránea procedente de fuentes alternativas sólo suministra algo menos de 26 l/s (0,067 hm³/mes).

Criterios de Garantías		Demanda Comarca de Martos		
		Con bombeos en los acuíferos de Jaén-Jabalruz y en García Morenita	Sólo con bombeos en los acuíferos de Jaén-Jabalruz	Sin bombeos en los acuíferos de Jaén-Jabalruz ni en Gracia-Morenita
Garantía mensual	Nº Fallos	389	454	525
	Gm	36,4%	25,8%	14,2%
	Gv	91,1%	74,8%	63,2%
MDM	1 mes	326	561	604
	2 meses	696	1.122	1.208
PHN	Nº fallos	51	51	51
	Garantía	0,0%	0,0%	0,0%
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 68. Criterios de garantía para la Comarca de Martos en las distintas alternativas del ESCENARIO SIN CONEXIÓN

10.4 SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN

Bajo esta simulación se han incluido las obras hidráulicas ejecutadas durante el año 2003 en el esquema Quiebrajano-Víboras. Por tanto el ESCENARIO CON CONEXIÓN incluye:

- Mejora de la conducción hasta la ETAP de Jaén, mediante la instalación de una tubería de 700 mm \varnothing de fundición, con capacidad de 580 l/s, que permitirá transportar el caudal procedente del canal proveniente del embalse del Quiebrajano (400 l/s), de los sondeos de La Merced (200 l/s) y de las elevaciones de Mingo (360 l/s). La limitación en el sistema sigue estando asociada a la capacidad de la ETAP de Jaén (450 l/s), aunque esta en proyecto su ampliación hasta los 695 l/s.

- Conexión del embalse del Víboras con la ETAP de Martos, mediante una instalación con capacidad para 300 l/s. Esto implica la entrada en funcionamiento del embalse del Víboras.
- Remodelación de la ETAP de Martos, dotándola de una capacidad de potabilización de 363 l/s.
- Mejora de las conducciones en la comarca de Martos y conexión entre el subsistema Víboras y el subsistema Quiebrajano, permitiendo el aporte de 39 l/s para abastecimiento a Jaén y de 107 l/s para el abastecimiento a los pueblos de la Campiña de Jaén-Córdoba a partir del Depósito General Regulador del subsistema Quiebrajano. Asimismo, la conducción que comunica el subsistema Víboras con el Depósito General Regulador del subsistema Quiebrajano será de funcionamiento reversible, por lo que el subsistema Quiebrajano podrá aportar un caudal de 107 l/s al subsistema Víboras.

Considerando los sistemas e infraestructuras tal y como quedarán, una vez entren en funcionamiento las nuevas infraestructuras, se ha realizado una simulación para la optimización de la gestión de los recursos hídricos.

Para ello se ha considerado la misma serie de aportaciones en régimen natural que la usada para el ESCENARIO SIN CONEXIÓN (desde octubre de 1951 a septiembre de 2002), idénticos criterios de garantía (tabla 68) y la misma agrupación de demandas según prioridades.

Los resultados del modelo de simulación correspondientes al ESCENARIO CON CONEXIÓN se incluyen en el Anejo 4, donde se han recogido los índices de garantía para las demandas consideradas.

A modo de resumen en la tabla 69 se recogen los índices de garantía obtenidos en la simulación de la gestión correspondiente a la simulación con conexión.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Abastecimientos		Regadíos	Caudales ecológicos ⁽¹⁾
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca Martos		
Garantía mensual	Nº Fallos	65	65	244	103
	Gm	89,4%	89,4%	60,1%	83,2%
	Gv	99,4%	97,0%	61,7%	97,4%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	0,352	0,361	1,756	1,869
	2 meses	0,589	0,640	3,486	3,285
Plan Hidrológico	Nº fallos	8	9	51	20
	Garantía	84,3%	82,4%	0,0%	60,8%
DEF15					NO CUMPLE
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE		
DEF50				NO CUMPLE	

⁽¹⁾ Se han considerado los caudales ecológicos críticos calculados (Anejo 6-apartado 5.4)

Tabla 69. Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN

10.4.1 Embalse del Quiebrajano

El embalse del Quiebrajano presenta un volumen medio de 16,48 hm³, suministrando un promedio anual de 5,28 hm³ (0,44 hm³/mes de media -169,8 l/s-), oscilando entre 0 y 10,207 hm³.

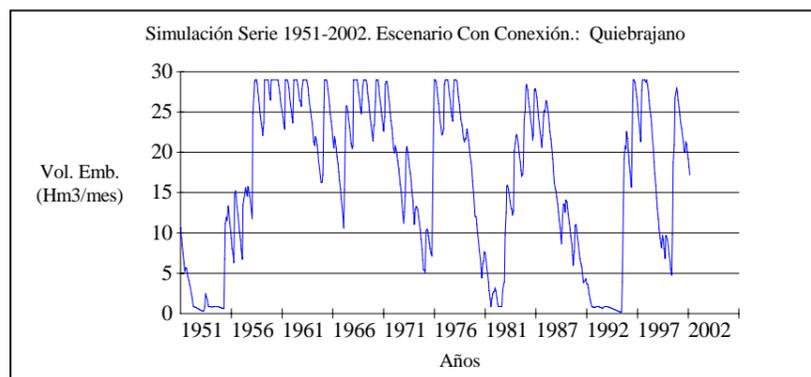


Figura 109. Volumen embalsado en el embalse Quiebrajano. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN

10.4.2 Acuífero Grajales

Los bombeos en el acuífero de Grajales para abastecimiento a Jaén (Peñas de Castro) y la Mancomunidad del Quebrajano (La Merced) ascenderían a 1,517 hm³/a (0,783 para Peñas de Castro y 0,734 hm³/a para La Merced), con un promedio mensual de 0,126 hm³ (48,8 l/s, 23,6 l/s para Peñas de Castro y 25,2 l/s para La Merced).

En la figura 110 se muestra la descarga simulada para los manantiales de Mingo que reproduce el SIMGES, contabilizando las descargas por bombeos y la recarga que recibe por filtraciones en el embalse del Quebrajano.

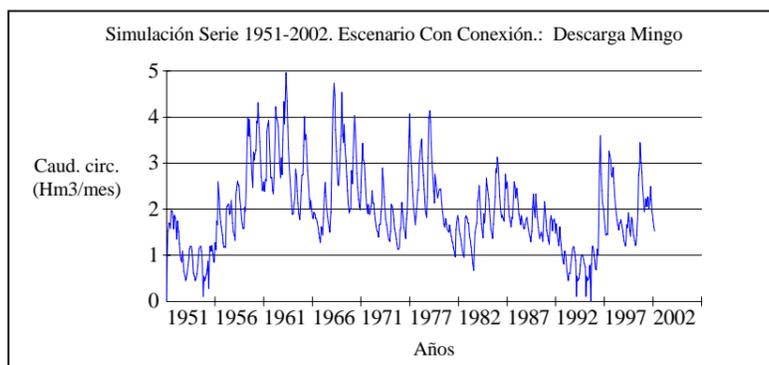


Figura 110. Descarga por los manantiales de Mingo. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN

Esta descarga en régimen influenciado supondría un volumen anual promedio de 23,8 hm³/a y mensual de 1,99 hm³ (766,1 l/s), algo superior a la que se ha estimado mediante la aplicación del método de Temez para el régimen natural del acuífero de Grajales (19,40 hm³/a), sin duda por la recarga artificial que supone el embalse del Quebrajano que, mediante SIMGES, se fija en 0,50 hm³/mes (192,9 l/s) por término medio (6 hm³/a de promedio con un máximo de 9,4 hm³/a).

El caudal ecológico fijado para Mingo se satisfaría con una garantía mensual del 94,4 % y volumétrica del 98,9% y el caudal tomado en las captaciones de Mingo sería de 9,06 hm³/a por término medio (8,07 hm³/a en Mingo II y III -tomas de CHG- y 0,99 hm³/a en Mingo I -Jaén-), con un promedio mensual de 0,755 hm³ (291,3 l/s).

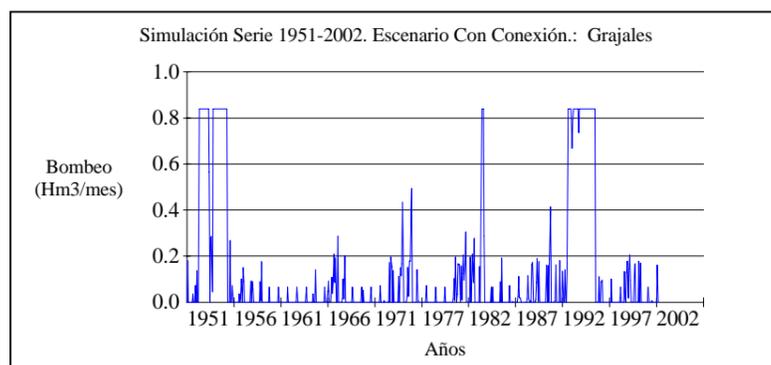


Figura 111. *Bombeos en el acuífero Grajales (sondeos Peñas de Castro y La Merced). Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN*

Los bombeos máximos que simula SIMGES implican un volumen anual de aguas subterráneas de 10,08 hm³ (6,24 hm³/a para los sondeos de La Merced y 3,84 hm³/a para los sondeos de Peñas de Castro).

Para el año al que corresponden el máximo de bombeos anual, el bombeo medio mensual resulta ser de 323 l/s (200 l/s de los sondeos de La Merced y 123 l/s de los sondeos Peñas de Castro), lo que supone un caudal que corresponde con la capacidad máxima de bombeo.

10.4.2.1 Canal de Martos

El suministro al Sistema Quiebrajano-Víboras desde el Alto Víboras (Canal de Martos) procede de las captaciones en las Fuentes de Martos y se complementa con los sondeos de Gracia-Morenita.

Las tomas asociadas al Canal de Martos implican un caudal promedio de 6,27 hm³/a, con un promedio mensual de 0,52 hm³ (201,5 l/s). El mínimo caudal mensual para los meses de estío sería de 0,458 hm³ (176,7 l/s).

Las tomas en las Fuentes de Martos ascienden a un volumen medio anual de 5,29 hm³, con un promedio mensual de 0,441 hm³ (170,1 l/s), procedentes de las derivaciones de Chircales (35,7 l/s) y del Azud de Castellón (134,4 l/s).

Los bombeos simulados en los sondeos del Víboras (acuífero Gracia-Morenita) ascienden a un promedio anual de 0,977 hm³, con un promedio mensual de 0,081 hm³ (31,4 l/s). El máximo bombeo correspondería a los meses de mayor estiaje y ascendería a 0,332 hm³/mes (128 l/s).

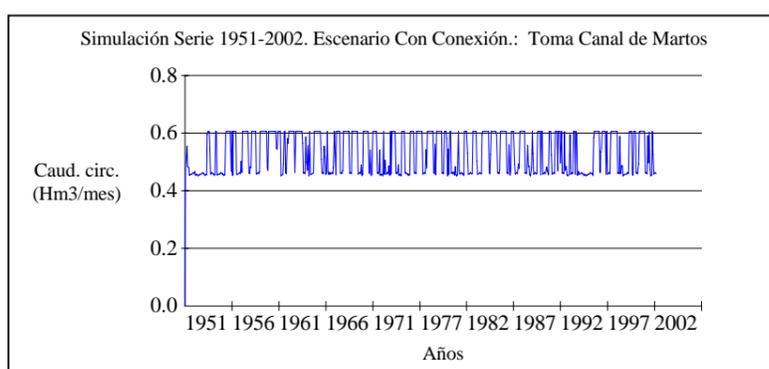


Figura 112. Suministro a través del Canal de Martos (captaciones en las Fuentes de Martos y sondeos Gracia-Morenita -Alto Víboras-). Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN.

La simulación efectuada intenta respetar los caudales ecológicos en el Alto Víboras, de aquí la menor cuantía de los caudales derivados a través del Canal de Martos en los periodos de sequía (año hidrológico 1994-95) procedente de las captaciones en las Fuentes de Martos. Los caudales de abastecimiento se complementan con los bombeos de Gracia-Morenita.

Las potenciales afecciones de estos bombeos al manantial del Nacimiento del río San Juan (principal descarga de este acuífero) se intenta soslayar con la recarga artificial con excedentes del Alto Víboras, donde se dispone de una capacidad de recarga artificial de 0,21 hm³/a, mediante sondeos de inyección.

SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN									
Alternativas	Bombeo Gracia-Morenita (154,2 l/s)	NO	SI	SI	SI				
	Recarga artificial (80 l/s)	NO	NO	SI	NO				
	Recarga artificial (160 l/s)	NO	NO	NO	SI				
Demandas		Garantías							
		G _m	G _v						
	Caudal ecológico río Víboras	66,8%	89,3%	83,2%	96,0%	83,2%	96,0%	83,2%	96,0%
	Caudal ecológico río San Juan	97,9%	99,4%	89,5%	97,2%	90,5%	97,5%	90,5%	97,5%
	Abastecimiento a Martos	93,6%	98,1%	93,6%	98,0%	93,6%	98,0%	93,6%	98,0%

Tabla 70. Simulación en el ESCENARIO CON CONEXIÓN para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos

La puesta en funcionamiento de los sondeos del Víboras permite alcanzar unos índices de garantía en la satisfacción de los caudales ecológicos mayores en el río Víboras, respecto a la simulación en la que no se consideran estos bombeos. No obstante, estos sondeos no suponen un incremento apreciable en los índices de garantía en el abastecimiento a Martos (principal núcleo de la Comarca de Martos) y, por el contrario, derivan en una merma en la garantía de los caudales ecológicos en el Nacimiento del río San Juan, afección que no se vería paliada por la puesta en funcionamiento de la recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita.

10.4.2.2 Captaciones en los acuíferos Jaén-Jabalruz

Las tomas de aguas subterráneas simuladas para el mes de sep-95 (periodo de más intensa sequía) ascienden a 0,020 hm³ para el acuífero Lías de Jabalruz (7,7 l/s para Torredelcampo); y 0,004 hm³ para el acuífero Castillo-La Ímora (1,5 l/s para Torredelcampo). El bombeo desde el acuífero Dogger de Jabalruz para abastecimiento a Martos, Jamilena y Torredonjimeno resulta ser muy bajo en comparación con la Simulación Actual. Así, en la Simulación CON conexión los bombeos serían de 0,01 hm³/mes de promedio (3,85 l/s), no siendo necesario bombear en los meses de estío, situación que redundaría en una recuperación hidrodinámica del acuífero Dogger de Jabalruz.

10.4.3 Embalse del Víboras

Para la simulación de la gestión del embalse del Víboras se han realizado una serie de condicionantes en el modelo, con el objetivo de que este embalse sólo sea utilizado como una reserva estratégica en los meses de estío, en los que el resto de fuentes de suministros ven mermadas sus aportaciones a los sistemas de abastecimiento. Este objetivo de gestión en el sistema es consecuencia de la peor calidad hidroquímica que presenta el embalse del Víboras respecto a otras fuentes de suministros, evitando de esta forma un aumento de los costes del agua potable servida a los municipios.

Teniendo en cuenta los problemas de calidad y el mayor coste unitario del agua del embalse del Víboras, en el sistema se ha asignado a este embalse un número de prioridad inferior que al embalse del Quebrajano, de tal manera que el modelo de optimización utilizará prioritariamente el agua embalsado en Quebrajano frente al Víboras. Asimismo, en la conducción Tipo 1 que simula la conducción de impulsión desde las estaciones de bombeo del Víboras al depósito de Cerro Quemado, se ha impuesto un coste al flujo de 750 unidades y un caudal máximo de 0,778 hm³/mes (300 l/s) para los meses de junio a septiembre y de 0 hm³/mes para el resto de los meses del año.

Bajo estas premisas de simulación, el embalse del Víboras presenta un volumen medio de 19,02 hm³, suministrando un volumen anual medio de 1,62 hm³ (0,405 hm³/mes de media -156,3 l/s-), con un máximo mensual de 0,341 hm³/mes (208,8 l/s).

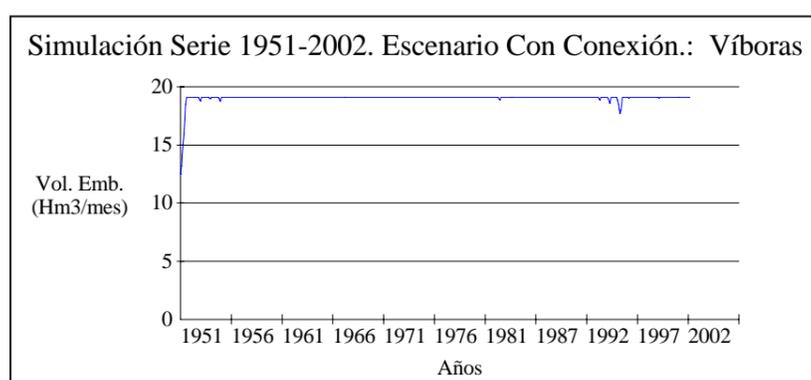


Figura 113. Volumen embalsado en el embalse Víboras. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN

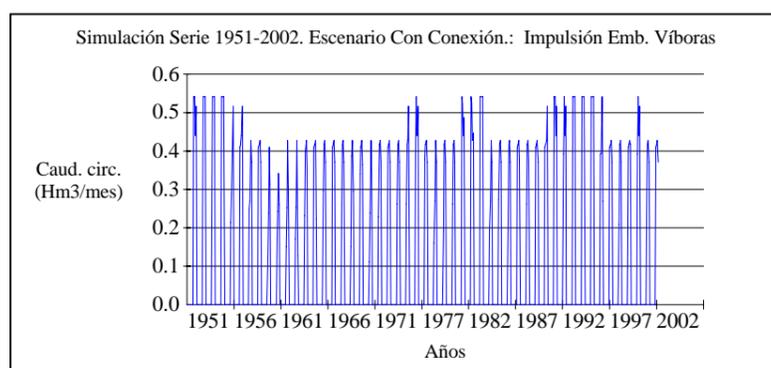


Figura 114. Caudales suministrados desde el embalse Víboras. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN

El embalse del Víboras permanece prácticamente lleno durante toda la simulación, registrando leves descensos en los periodos de máximo estiaje, lo que se explica por la restricción ambiental fijada para el Alto Víboras (río Grande) que asegura una aportación muy significativa al embalse (37,19 hm³/a de promedio, con un mínimo anual de 6,37 hm³ y mensual de 0,69 hm³). Resulta evidente, que en este escenario el embalse tendría una función de regulación más eficaz si existen demandas a satisfacer aguas abajo del mismo complementarias al suministro de aguas para abastecimiento en el sistema Quebrajano-Víboras.

10.4.3.1 Bombeos del Víboras

Estos bombes se han simulado considerando dos bombes adicionales: el Bombeo Víboras-1, de 0,25 hm³/mes (95 l/s) de capacidad que conecta con El Albercón; y el Bombeo Víboras-2, de 0,15 hm³/mes (60 l/s) de capacidad que conecta con la conducción proveniente de la Cámara de Carga, de forma que se simula la posibilidad de que el caudal bombeado alcance la ETAP de Martos a través de las dos canalizaciones de que dispone el sistema.

La simulación realizada mediante SIMGES implica un volumen anual de bombeo máximo de 2,60 hm³, con un máximo mensual de 0,40 hm³/mes (155 l/s, el 100% de la capacidad de bombeo).

La recarga artificial simulada para el acuífero Gracia-Morenita implica un volumen anual inyectado de entre 0 y 1,47 hm³, ya que se ha limitado ésta a los meses de noviembre a mayo, para lo que en la conducción Tipo 1 previa al elemento de recarga artificial se ha limitado el caudal máximo en los meses de noviembre a mayo en 0,21 hm³/a y nulo en los meses de junio a octubre.

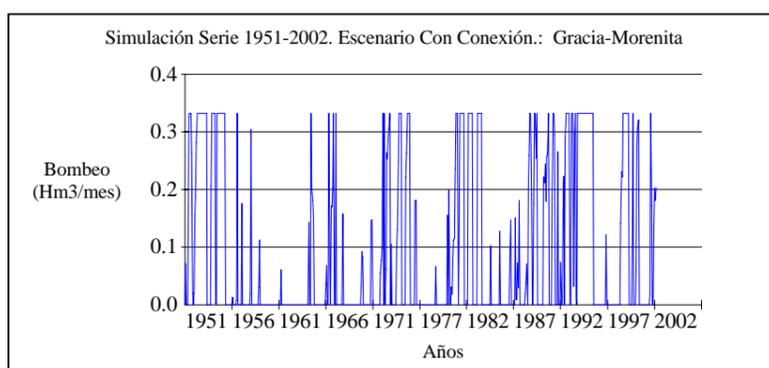


Figura 115. Simulación bombeos Víboras en el acuífero Gracia-Morenita.
Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN

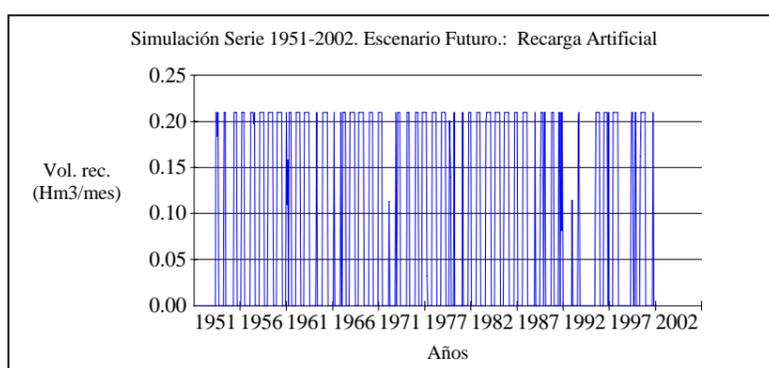


Figura 116. Simulación recarga artificial en el acuífero Gracia-Morenita.
Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN

Se han realizado varias simulaciones para analizar el efecto combinado de los bombeos en los sondeos del Víboras y la recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita. Así, se han simulado dos supuestos:

- Que no se capten recursos subterráneos del acuífero Gracia-Morenita mediante los sondeos del Víboras (régimen natural en el acuífero Gracia-Morenita). Para este supuesto se obtiene unos indicadores de garantía muy satisfactorios para el caudal ecológico del Nacimiento del río San Juan y el abastecimiento urbano (se ha considerado Martos como exponente del

mismo), sin embargo, el caudal ecológico en el Alto Víboras presenta unos indicadores de garantía insuficientes (garantía volumétrica del 89,3%).

- Se captan recursos subterráneos del acuífero Gracia-Morenita mediante los sondeos del Víboras (caudal promedio mensual de 1,012 hm³/a y máximo anual de 3,6 hm³) y se recarga artificialmente este acuífero con excedentes del Alto Víboras (caudal promedio mensual de 0,859 hm³ y máximo anual de 1,4 hm³), situación que responden a la implantación de un régimen influenciado en el acuífero Gracia-Morenita. Bajo este escenario de utilización del embalse subterráneo Gracia-Morenita en el apoyo al abastecimiento al Sistema Quebrajano-Víboras, se mejora sustancialmente la garantía de satisfacción del caudal ecológico en el Alto Víboras, ya que se liberan recursos procedentes de las descargas naturales de los acuíferos de cabecera (acuíferos de Montensinos, Ventisquero y Cornicabra-Noguerones) que son captados para abastecimiento al sistema Quebrajano-Víboras (Fuentes de Martos). La descarga de estos acuíferos constituye el caudal base de escorrentía del Alto Víboras y, por tanto, el sustento hidrológico de los caudales ecológico en este cauce (río Grande). Por otra parte, este escenario de régimen influenciado en el embalse subterráneo Gracia-Morenita implica una merma en los índices de garantía del caudal ecológico en el Nacimiento del río San Juan (la garantía volumétrica pasa del 99,4 % en régimen natural al 97,2% en régimen influenciado) y no constituye una mejora de los índices de garantía en el abastecimiento, ya que, como se ha comentado anteriormente, se produce una sustitución en las fuentes de suministro entre las aguas captadas en las Fuentes de Martos y los sondeos del Víboras.

Situación	Descarga simulada para el acuífero Gracia-Morenita (Nacimiento del río San Juan)								GARANTÍA VOLUMÉTRICA (Gv)		
	Valor Medio (hm ³)	Máximo Anual (hm ³)	Mínimo Anual (hm ³)	Máximo Mensual		Mínimo Mensual		Q. Ecológ. Víboras	Q. Ecológ. Nto. San Juan	Abast. Martos	
				hm ³	l/s	hm ³	l/s				
Sin bombeos	11,212	20,500	5,000	2,400	926	0,300	116	89,3%	99,4%	98,1%	
Régimen influenciado	Con Bombeos	10,204	20,500	4,300	2,400	926	0,300	116	96,0%	97,2%	98,0%
	Con Bombeos y Recarga Artificial	11,076	21,800	4,300	2,500	965	0,300	116	96,0%	97,5%	98,0%
Cuantificación de los Bombeos y la Recarga Artificial simulada											
Bombeos sondeos Víboras	1,012	3,600	0,000	0,300	116	0,000	0				
Recarga Artificial acuífero Gracia-Morenita	0,859	1,400	0,000	0,200	77	0,000	0				

Tabla 71. Resultados de la simulación en el acuífero Gracia-Morenita para el ESCENARIO CON CONEXIÓN bajo hipótesis de régimen natural o influenciado

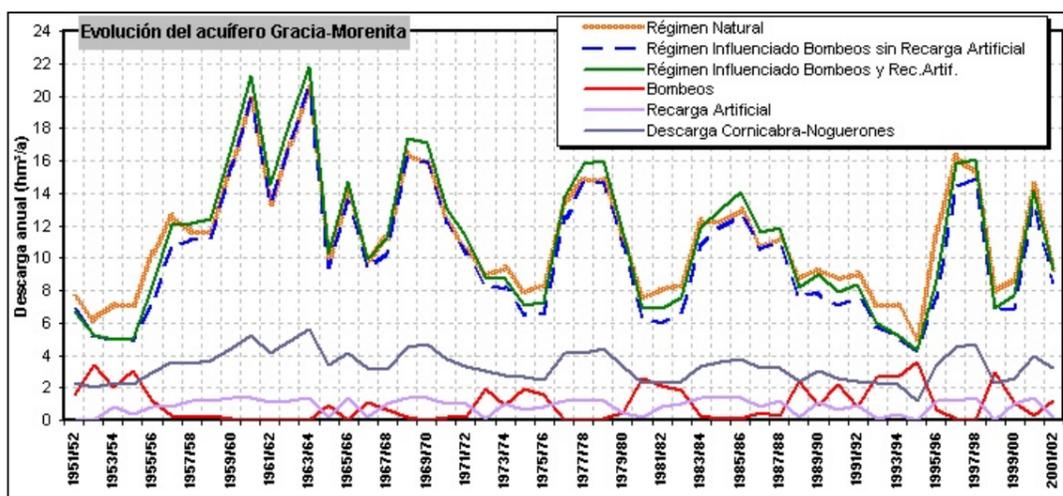


Figura 117. Evolución de la descarga anual del Acuífero Gracia-Morenita.
SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN.

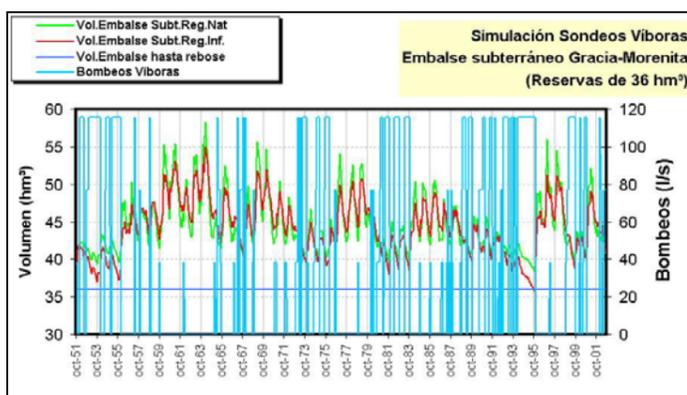


Figura 118. Simulación de la evolución del volumen almacenado en el acuífero para la simulación ESCENARIO CON CONEXIÓN con bombes en Gracia-Morenita y CON recarga artificial.

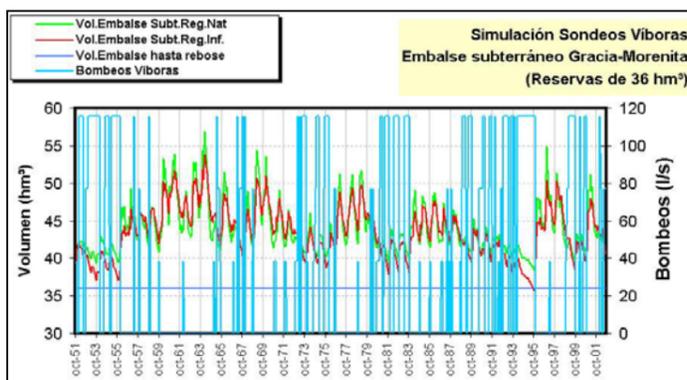


Figura 119. Simulación de la evolución del volumen almacenado en el acuífero para la simulación ESCENARIO CON CONEXIÓN con bombes en Gracia-Morenita y SIN recarga artificial.

Según se muestra en los resultados obtenidos para el acuífero Gracia-Morenita en la SIMULACIÓN CON CONEXIÓN, la recarga artificial de éste acuífero, en las condiciones actualmente implementadas (caudal máximo de 0,21 hm³/a y con excedentes del acuífero Cornicabra-Noguerones - Manantiales del Papel Bajo y Alto-), no ejerce una influencia positiva sobre el embalse subterráneo Gracia-Morenita en términos de garantía, ya que, aunque la recarga artificial permite que el caudal de descarga -11,076 hm³- se aproxime al promedio anual del régimen natural -11,212 hm³-, en los periodos de más intensa sequía (como correspondería al periodo 1993-95), cuando es necesario bombear de continuo en los sondeos del Víboras para abastecer el Canal de Martos -hasta 3,6 hm³/a-, la recarga artificial no resulta efectiva, produciéndose el consiguiente vaciado del embalse subterráneo (ver figuras 118) y que los indicadores de garantía de satisfacción del caudal ecológico en el Nacimiento del río San Juan no mejoren respecto a la simulación que no considera la recarga artificial (ver tabla 71).

Además, para la simulación del funcionamiento del acuífero con recarga artificial se produciría un vaciamiento de las reservas del acuífero¹² de cómo máximo 0,22 hm³/mes, mientras que para la simulación sin recarga artificial el vaciamiento máximo de reservas sería de 0,26 hm³/mes.

La escasa efectividad de la recarga artificial, en términos de garantía, reside en dos aspectos:

- La baja capacidad de laminación (regulación) del acuífero calizo-dolomítico que constituye el embalse subterráneo Gracia-Morenita (acuífero kárstico con coeficiente de agotamiento de 0,0035 días⁻¹, lo que supone una vida media¹³ de 198 días).
- La ausencia de excedentes para recargar en los meses de mayor estiaje en el Alto Víboras.

¹² Volumen de aguas subterráneas almacenadas bajo la cota de rebose natural del embalse subterráneo

¹³ Período de tiempo necesario para que el caudal de descarga del acuífero alcance un valor mitad del caudal existente en el instante en el que se inicia el agotamiento.

De hecho se han realizado simulaciones aumentando la capacidad de recarga a 0,5 hm³/a y considerando no sólo los excedentes del río Papel (acuífero Cornicabra-Noguerones) sino también del acuífero Ventisquero (río Grande), ubicando para ello la toma de recarga artificial en el Azud de Castellón, sin que mejoren los indicadores de garantía del caudal ecológico en el río San Juan.

10.5 VARIANTES DE SIMULACIÓN AL ESCENARIO CON CONEXIÓN

Al objeto de ofrecer alternativas de gestión para la situación generadas tras la conexión de los subsistemas Quebrajano y Víboras se han realizado dos simulaciones alternativas, cuyas características esenciales se citan a continuación:

- No utilización del embalse del Víboras y explotación de los sondeos de Gracia-Morenita, aprovechando la mayor capacidad de la ETAP de Martos. Se considera que las conducciones desde las Fuentes de Martos hasta la ETAP de Martos se mantienen bajo las actuales circunstancias y que se dispone de las instalaciones de recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita. A este escenario de simulación se le ha denominado ESCENARIO CON CONEXIÓN alternativa sondeos Víboras.
- A la situación correspondiente a la conexión de los subsistemas Quebrajano y Víboras, previendo la utilización del embalse del Víboras bajo las circunstancias descritas en la simulación correspondiente al ESCENARIO CON CONEXIÓN se suma la impermeabilización del embalse del Quebrajano, de forma que se anule la recarga artificial no programada que recibe el acuífero Grajales. A este escenario de simulación se le ha denominado ESCENARIO CON CONEXIÓN alternativa impermeabilización embalse Quebrajano.

10.5.1 Escenario CON CONEXIÓN alternativa sondeos Víboras

Para este escenario se han realizado dos simulaciones:

- Considerando los caudales ecológicos calculados (Hipótesis A).
- Considerando los caudales ecológicos del Plan de Cuenca (Hipótesis B).

A continuación se exponen los resultados obtenidos en ambas simulaciones, donde se pretende analizar comparativamente la respuesta del sistema en el supuesto de no utilizar el embalse del Víboras y apoyar al abastecimiento del sistema Quiebrajano-Víboras con los sondeos de Gracia-Morenita (155 l/s de capacidad).

HIPÓTESIS A- Caudales ecológicos calculados (Anejo 6)

Los resultados del modelo de simulación correspondiente al ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS, considerando los caudales ecológicos críticos calculados (Anejo 6), se recogen en la tabla 72, donde se incluyen los índices de garantía obtenidos en la simulación de la gestión correspondiente a la situación futura de interconexión de los subsistemas, pero considerando las condiciones de simulación anteriormente expuestas.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Abastecimientos		Regadíos	Caudales Ecológicos
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos		
Garantía mensual	Nº fallos	81	84	263	104
	G _m	86,8%	86,3%	57,0%	83,0%
	G _v	98,7%	94,7%	54,3%	97,1%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	0,417	0,433	1,908	2,033
	2 meses	0,748	0,840	3,774	3,609
Plan Hidrológico	Nº fallos	10	15	51	20
	G _{CPH}	80,4%	70,6%	0,0%	60,8%
DEF15					NO CUMPLE
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE		
DEF50				NO CUMPLE	

Tabla 72. Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A

A continuación se presentan los resultados ofrecidos por SIMGES para los sondeos del Víboras y la evolución que registraría el acuífero Gracia-Morenita.

La simulación realizada mediante SIMGES implica un volumen anual de bombeo máximo en los sondeos del Víboras de 3,60 hm³, con un máximo mensual de 0,30 hm³/mes (116 l/s, el 75% de la capacidad de bombeo).

La recarga artificial simulada para el acuífero Gracia-Morenita implica un volumen anual inyectado de entre 0 y 1,40 hm³, ya que se ha limitado ésta a los meses de noviembre a mayo, para lo que en la conducción Tipo 1 previa al elemento de recarga artificial se ha limitado el caudal máximo en los meses de noviembre a mayo en 0,21 hm³/a y nulo en los meses de junio a octubre.

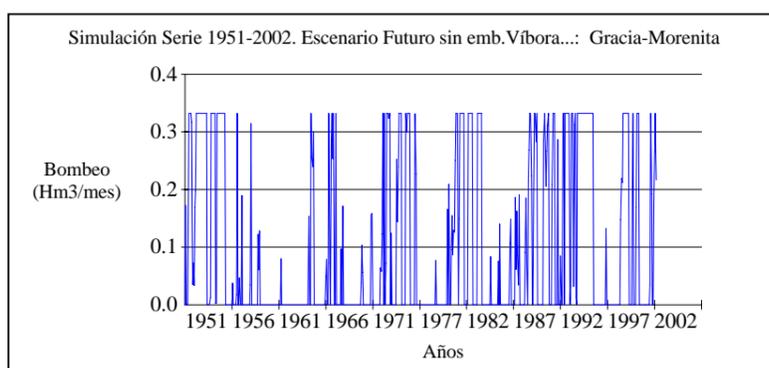


Figura 120. Simulación bombeos Víboras en el acuífero Gracia-Morenita.
Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-
HIPÓTESIS A

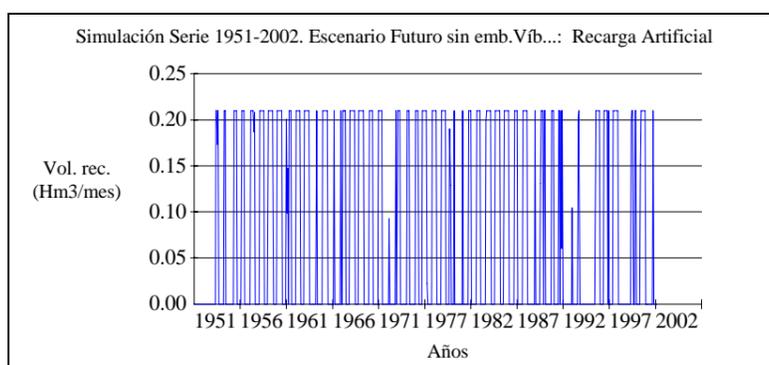


Figura 121. Simulación recarga artificial en el acuífero Gracia-Morenita.
Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-
HIPÓTESIS A

Se han realizado diferentes simulaciones respecto a la gestión del Canal de Martos, considerando diversas hipótesis respecto a la integración de los bombeos de Gracia-Morenita y la utilización de los dispositivos de recarga artificial. Los resultados obtenidos (tabla 73) derivan en una serie de conclusiones:

- El dispositivo de recarga artificial existente no revierte en beneficios significativos en términos de garantía ecológica en el Nacimiento del río San

Juan, incrementando la garantía mensual en una pequeña cuantía (85,1% al 87,7%) y levemente la garantía volumétrica (95,7% al 96,3%).

- La puesta en funcionamiento de los bombeos de Gracia-Morenita ofrecen una situación más satisfactoria en la garantía de los caudales ecológicos en el río Víboras que si estas captaciones no se utilizan. Para la simulación en la que no existen bombeos en el acuífero Gracia-Morenita, el sistema tiende a satisfacer las demandas del Sistema Quebrajano-Víboras con aguas de las Fuentes de Martos, en demérito de los caudales ecológicos fijados en el Alto Víboras. Cuando el sistema dispone de una fuente de suministro complementaria para el Canal de Martos (bombeos del Víboras en el acuífero Gracia-Morenita) se consiguen índices de garantía en el abastecimiento similares pero aumentan considerablemente los índices de satisfacción de la garantía del caudal ecológico en el Alto Víboras. Si bien, la puesta en funcionamiento de los sondeos del Víboras implicarán la lógica merma de caudales ecológicos en el Nacimiento del río San Juan, situación que sólo mejoraría muy levemente la recarga artificial, la cual no se muestra eficaz considerando la baja capacidad de regulación del embalse subterráneo y la inexistencia de excedentes en el Alto Víboras en los meses más secos.

SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS (HIPÓTESIS A)								
Alternativas	Bombeo Gracia-Morenita (154,2 l/s)	NO	SI	SI	SI			
	Recarga artificial (80 l/s)	NO	NO	SI	NO			
	Recarga artificial (160 l/s)	NO	NO	NO	SI			
Demandas	Garantías							
	G _m	G _v	G _m	G _v	G _m	G _v	G _m	G _v
Caudal ecológico río Víboras	66,2%	89,1%	83,0%	95,9%	83,0%	95,9%	83,0%	95,9%
Caudal ecológico río San Juan	94,9%	98,2%	85,1%	95,7%	87,7%	96,3%	87,7%	96,3%
Abastecimiento a Martos	90,5%	96,6%	90,2%	96,7%	90,2%	96,7%	90,2%	96,7%

Tabla 73. Simulación en el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPOTESIS A para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos

Situación	Descarga simulada para el acuífero Gracia-Morenita (Nacimiento del río San Juan)							GARANTÍA VOLUMÉTRICA (Gv)			
	Valor Medio (hm ³)	Máximo Anual (hm ³)	Mínimo Anual (hm ³)	Máximo Mensual		Mínimo Mensual		Q.Ecológ. Víboras	Q.Ecológ. Nto. San Juan	Abast. Martos	
				hm ³	l/s	hm ³	l/s				
Régimen Natural	11,212	20,500	5,000	2,400	926	0,300	116	89,1%	98,2%	96,6%	
Régimen Influenciado	Con Bombeos	10,124	20,500	4,300	2,400	926	0,300	116	95,9%	95,7%	96,7%
	Con Bombeos y Recarga Artificial	10,996	21,800	4,300	2,500	965	0,300	116	95,9%	96,3%	96,7%
Cuantificación de los Bombeos y la Recarga Artificial simulada											
Bombeos sondeos del Víboras	1,090	3,600	0,000	0,300	116	0,000	0				
Recarga Artificial acuífero Gracia - Morenita	0,857	1,400	0,000	0,200	77	0,000	0				

Tabla 74. Resultados de la simulación en el acuífero Gracia-Morenita para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A

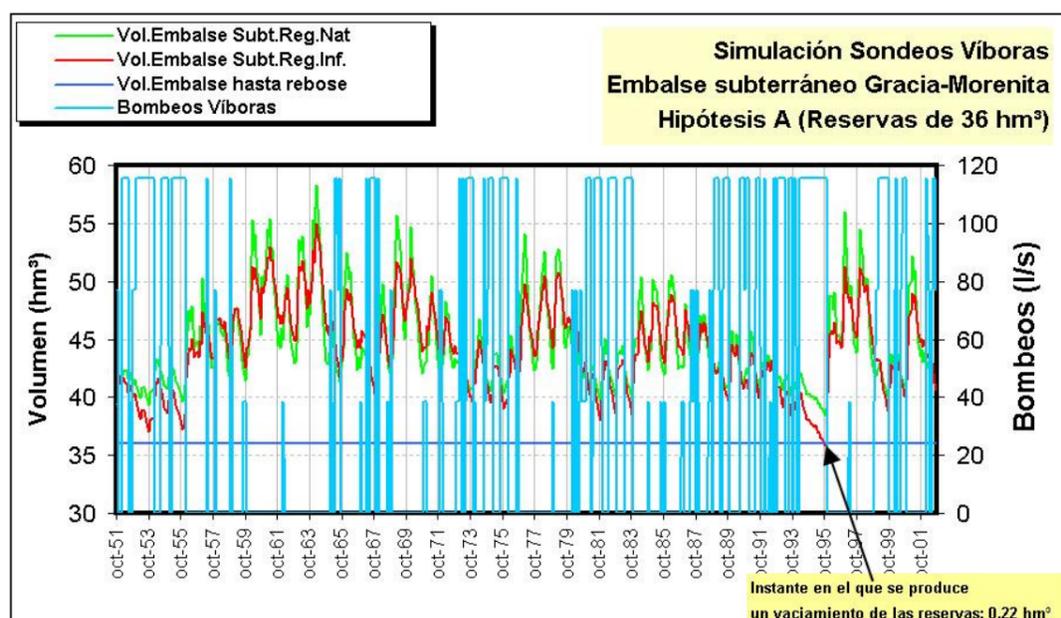


Figura 122. Simulación volumen almacenado en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A

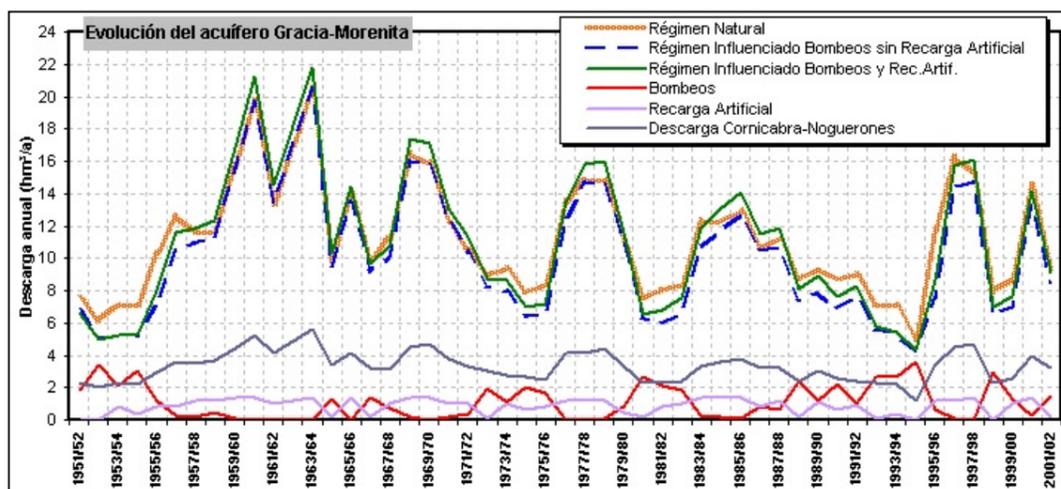


Figura 123. Evolución de la descarga anual del Acuífero Gracia-Morenita. SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS A.

10.5.1.1 Captaciones en los acuíferos Jaén-Jabalruz

Al objeto de analizar la potencial recuperación de los acuíferos de las unidades 05.16/Jabalruz y 05.17/Jaén, se han realizado unas simulación mediante SIMGES para la simulación HIPÓTESIS A-ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS, que supone intercambiar los bombeos en los acuíferos Dogger y Lias de Jabalruz (abastecimiento a la Comarca de Martos) y Castillo-La Imora (abastecimiento a Jaén) por bombeos en los sondeos del Víboras (acuífero Gracia-Morenita).

Las condiciones de simulación consideradas respecto a las fuentes de suministro de origen subterráneo se muestran en la tabla adjunta.

U.H.	Embalse subterráneo	Captaciones	Demanda	Capacidad bombeo/conducción (hm ³ /mes)	Inclusión en la simulación	
05.17/Jaén	Castillo-La Ímora	Sondeos de Santa Catalina-El Tomillo	Abto. Jaén	0,340	NO	
		Manantial La Magdalena		-	SI	
		Pozo-galería La Cueva	Abto. Torredelcampo	0,004	NO	
		Sondeos aislados	Riegos de Jaén	0,100	SI	
			Urbanizaciones e industrias	0,051	SI	
05.16/Jabalruz	Lias Jabalruz	Sondeos Cuesta Negra-Santa Ana	Abto. Torredelcampo	0,052	NO	
	Dogger Jabalruz	Sondeo la Maleza	Abto. Martos	0,065	NO	
		Manantial La Maleza		0,100	SI	
		Galerías Las mulas y Los Arenales	Abto. Torredonjimeno	0,010	NO	
		Sondeo Loma Pineda	Abto. Jamilena	0,008	NO	
05.66/Grajales-Pandera-Carchel	Grajales	Sondeos Peñas de Castro	Abto a Jaén	0,320	SI	
		Sondeos La Merced	Abto. al Sistema Quiebrajano-Víboras	0,520	SI	
		Cañones de Mingo		1,033	SI	
	Pandera	Nto. río Frío	Abto. Jaén	0,260		
			Abto. Los Villares	0,055	SI	
05.70/Gracia-Ventisquero	Gracia-Morenita	Sondeos del Víboras	Abto. al Sistema Quiebrajano-Víboras	0,400	SI	
	Mentidero	Manantiales Fuensanta	Abto. Fuensanta de Martos	0,077	SI	
	Montesinos	Manantial Chircales		0,182	SI	
	Cornicabra-Noguerones	Azud de Castellón	Abto. al Sistema Quiebrajano-Víboras	0,425	SI	
	Ventisquero		Mns. Valdepeñas	Abto. A Valdepeñas de Jaén	0,095	SI
Aislados	Ahillos	Sondeos Cerro Cal y Fuente Amuña	Abto. Alcaudete y pedanías	0,555	SI	
	Caracolera	Sondeo Fuente la Higuera			SI	

Tabla 75. Fuentes de suministro de aguas subterráneas Sistema Quiebrajano-Víboras. Alternativa recuperación acuíferos Jabalruz y Castillo-La Ímora

Bajo las condiciones expuestas en el aprovechamiento de los recursos subterráneos (se sustituyen sondeos con capacidad de suministrar 0,479 hm³/mes de aguas subterráneas de los embalses subterráneos de Jabalruz y Castillo-La Ímora por sondeos con capacidad de suministrar 0,400 hm³/mes del embalse subterráneo de Gracia-Morenita), los índices de garantía en el abastecimiento urbano que se obtienen son muy parejos a los que se obtienen si se permite el bombeo en los

acuíferos de Jabalcuz y Castillo-La Ímora. Para los caudales ecológicos los indicadores de garantía que se obtiene son idénticos (ver tabla 76).

Criterios de Garantía		Demandas					
		Abastecimientos				Caudales Ecológicos	
		Mancomunidad Quiebrajano		Comarca de Martos			
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Garantía mensual	Nº fallos	81	86	84	99	104	104
	G _m	86,8%	85,9%	86,3%	83,8%	83,0%	83,0%
	G _v	98,7%	98,2%	94,7%	93,1%	97,1%	97,1%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	0,417	0,521	0,433	0,455	2,033	2,033
	2 meses	0,748	0,965	0,840	0,896	3,609	3,609
Plan Hidrológico	Nº fallos	10	10	15	19	20	20
	G _{CPH}	80,4%	80,4%	70,6%	62,7%	60,8%	60,8%
(1)	<i>Simulación CON sondeos Jabalcuz y Castillo-La Ímora</i>						
(2)	<i>Simulación SIN sondeos Jabalcuz y Castillo-La Ímora</i>						

Tabla 76. Resultados de la simulación recuperación acuíferos Jabalcuz y Castillo-La Ímora

Por tanto, sería factible, en términos de garantía, dejar de bombear en los sondeos de abastecimiento existentes en los embalses subterráneos sobreexplotados de las unidades Jabalcuz y Jaén, sustituyendo estos bombeos por los sondeos del Víboras, permitiendo de esta forma, paliar los problemas de sobreexplotación que existen en el sistema.

HIPÓTESIS B- Caudales ecológicos fijados por el Plan de Cuenca del Guadalquivir

Los resultados del modelo de simulación correspondiente al ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS considerando los caudales ecológicos fijados por el Plan de Cuenca (10% de los caudales correspondientes al año tipo medio en régimen natural) se recogen en la tabla 77, donde se incluyen los índices de garantía obtenidos en la simulación de la gestión correspondiente a la situación futura de interconexión de los subsistemas, pero considerando las condiciones de simulación anteriormente expuestas.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Abastecimientos		Regadíos	Caudales Ecológicos
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos		
Garantía mensual	Nº fallos	9	13	242	0
	G _m	98,5%	97,9%	60,5%	100,0%
	G _v	100,0%	99,6%	65,5%	100,0%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	0,249	0,283	1,822	0
	2 meses	0,369	0,485	3,579	0
Plan Hidrológico	Nº fallos	1	4	51	0
	G _{CPH}	98,0%	92,2%	0,0%	100,0%
DEF15					CUMPLE
DEF25		CUMPLE	CUMPLE		
DEF50				NO CUMPLE	

Tabla 77. Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS B

Los caudales ecológicos críticos calculados (Anejo 6) constituyen un 40,7% de la escorrentía estimada para el año tipo medio en los cauces considerados. Así, para los Cañones de Mingo el caudal crítico fijado corresponde al 45,9% de la escorrentía en régimen natural para el año tipo medio, en el caso del Alto Víbora sería el 32,4% y para el Nacimiento del río San Juan este porcentaje se fijaría en el 63,3%. Cifras que

están muy por encima del 10% fijado por el Plan de Cuenca para los caudales ecológicos en los cauces.

	Ratio Q Ecológ.Crítico/Esc.Reg.Nat Año Tipo Medio			
	Cañones de Mingo (Río Frio)	Nto. del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	SUMA
Octubre	45,7%	53,3%	71,9%	58,0%
Noviembre	52,3%	64,1%	40,1%	47,8%
Diciembre	42,0%	87,8%	19,6%	33,7%
Enero	60,8%	78,0%	34,8%	49,5%
Febrero	47,3%	79,9%	19,5%	32,8%
Marzo	47,3%	75,8%	29,5%	38,9%
Abril	42,0%	58,3%	26,5%	34,3%
Mayo	47,3%	53,2%	35,8%	41,7%
Junio	39,1%	50,2%	35,4%	38,8%
Julio	43,0%	50,3%	46,2%	45,6%
Agosto	41,8%	48,9%	55,3%	48,3%
Septiembre	41,9%	49,8%	62,3%	51,1%
ANUAL	45,9%	63,3%	32,4%	40,7%

Tabla 78. Relación entre el caudal ecológico crítico calculado y la escorrentía para el Régimen Natural del año Tipo Medio

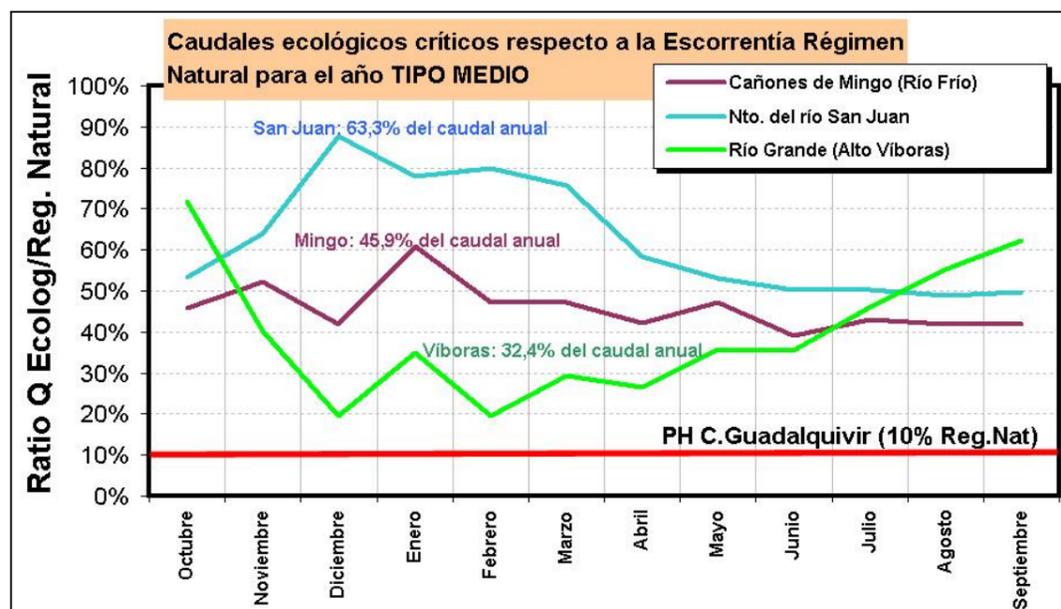


Figura 124. Comparativa entre el caudal ecológico crítico calculado y la escorrentía para el Régimen Natural del año Tipo Medio

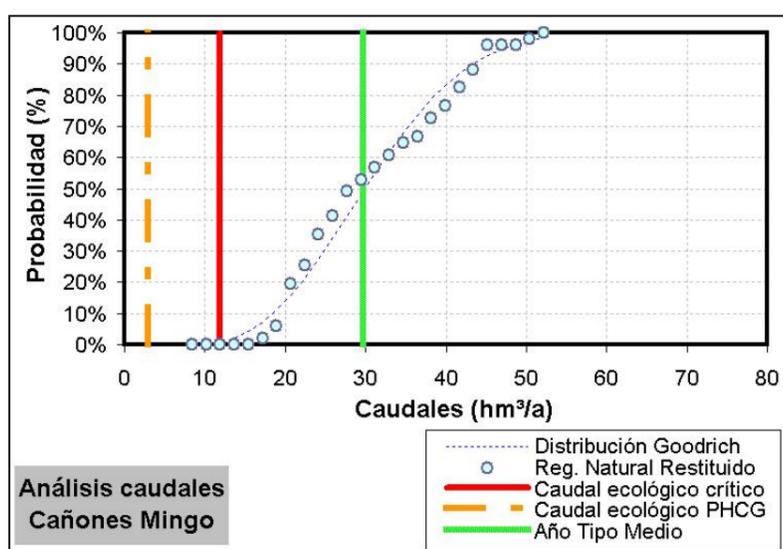


Figura 125. Comparativa de caudales en régimen natural, caudales ecológicos calculados y caudales ecológicos según PHC (Cañones Mingo)

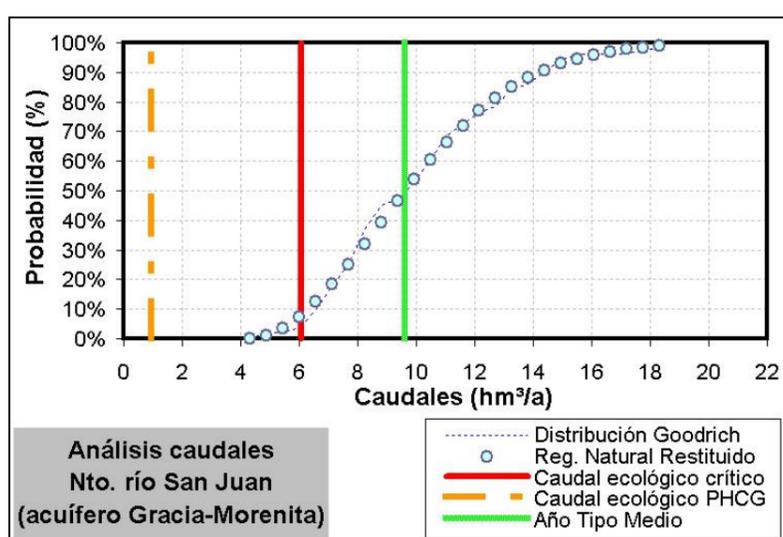


Figura 126. Comparativa de caudales en régimen natural, caudales ecológicos calculados y caudales ecológicos según PHC (Nto. río San Juan)

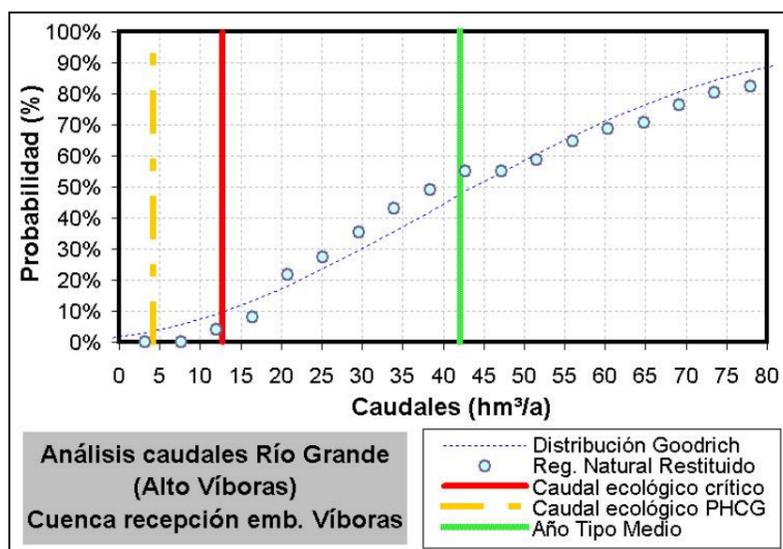


Figura 127. Comparativa de caudales en régimen natural, caudales ecológicos calculados y caudales ecológicos según PHC (Alto Víboras)

A continuación se presentan los resultados ofrecidos por SIMGES para los sondeos del Víboras y la evolución que registraría el acuífero Gracia-Morenita, considerando el escenario de simulación analizado.

La simulación realizada mediante SIMGES implica un volumen anual de bombeo máximo en los sondeos del Víboras de 1,80 hm³, con un máximo mensual de 0,30 hm³/mes (116 l/s, el 75% de la capacidad de bombeo).

La recarga artificial simulada para el acuífero Gracia-Morenita implica un volumen anual inyectado de entre 0 y 1,40 hm³, ya que se ha limitado ésta a los meses de noviembre a mayo, para lo que en la conducción Tipo 1 previa al elemento de recarga artificial se ha limitado el caudal máximo en los meses de noviembre a mayo en 0,21 hm³/a y nulo en los meses de junio a octubre.

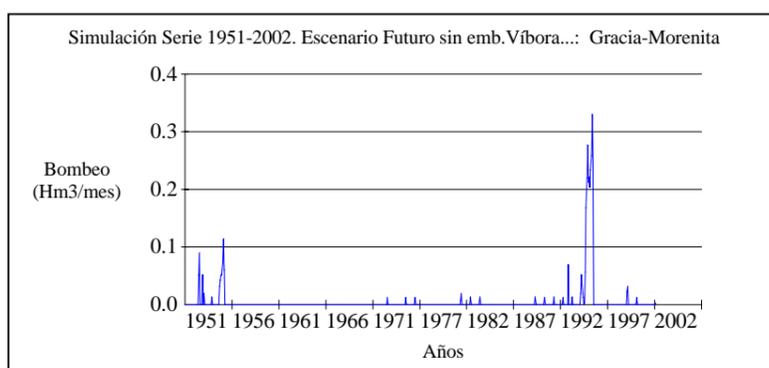


Figura 128. Simulación bombeos Víboras en el acuífero Gracia-Morenita.
Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-
HIPÓTESIS B

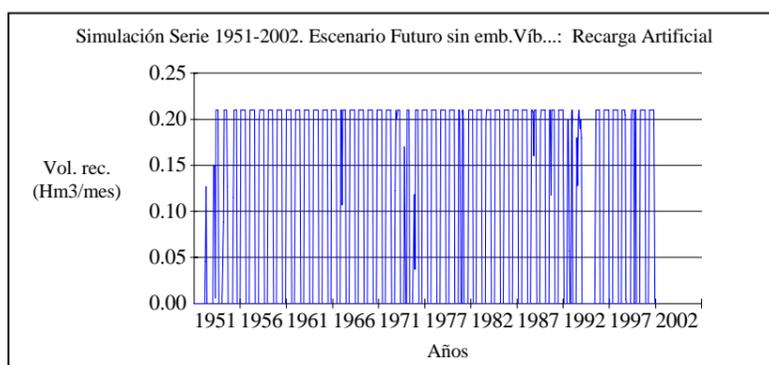


Figura 129. Simulación recarga artificial en el acuífero Gracia-Morenita.
Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-
HIPÓTESIS B

Situación	Descarga simulada para el acuífero Gracia-Morenita (Nacimiento del río San Juan)						GARANTÍA VOLUMÉTRICA (Gv)				
	Valor Medio (hm³)	Máximo Anual (hm³)	Mínimo Anual (hm³)	Máximo Mensual		Mínimo Mensual		Q. Ecológ. Víboras	Q. Ecológ. Nto. San Juan	Abast. Martos	
				hm³	l/s	hm³	l/s				
Régimen Natural	11,212	20,500	5,000	2,400	926	0,300	116	99,5%	100,0%	99,5%	
Régimen Influenciado	Con Bombeos	11,076	20,500	4,300	2,400	926	0,200	77	100,0%	100,0%	100,0%
	Con Bombeos y Recarga Artificial	12,322	21,900	4,700	2,500	965	0,200	77	100,0%	100,0%	100,0%
Cuantificación de los Bombeos y la Recarga Artificial simulada											
Bombeos en los sondeos del Víboras	0,067	1,900	0,000	0,300	116	0,000	0				
Recarga Artificial en el acuífero Gracia-Morenita	1,231	1,400	0,000	0,200	77	0,000	0				

Tabla 79. Resultados de la simulación en el acuífero Gracia-Morenita para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPÓTESIS B

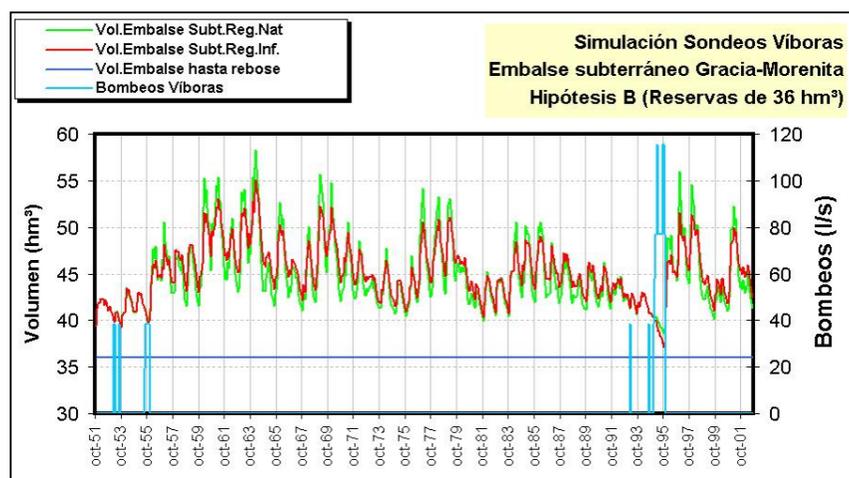


Figura 130. Simulación volumen almacenado en el acuífero Gracia-Morenita. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS- HIPOTESIS B

Se han realizado diferentes simulaciones respecto a la gestión del Canal de Martos, considerando diversas hipótesis respecto a la integración de los bombeos de Gracia-Morenita y la utilización de los dispositivos de recarga artificial. Los resultados obtenidos (tabla 80) derivan en una serie de conclusiones:

- Como acontece en la HIPÓTESIS A, el dispositivo de recarga artificial existente no resulta efectivo, ya que su funcionamiento no revierte en beneficios significativos en términos de garantía de mantenimiento de los caudales ecológicos en el Nacimiento del río San Juan.
- La puesta en funcionamiento de los bombeos de Gracia-Morenita ofrecen una situación de satisfacción total de la garantía de caudales ecológicos en el río Víboras, situación que no se produce si estas captaciones no se utilizasen, ya que el modelo de optimización tiende a satisfacer las demandas del Sistema Quebrajano-Víboras con aguas de las Fuentes de Martos, en demérito de los caudales ecológicos fijados en el Alto Víboras. Cuando el sistema dispone de una fuente de suministro complementario para el Canal de Martos (bombeos del Víboras en el acuífero Gracia-Morenita) se consiguen índices de garantía

en el abastecimiento similares pero aumentan los índices de satisfacción de la garantía del caudal ecológico en el Alto Víboras.

SIMULACIÓN ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS (HIPÓTESIS A)									
Alternativas	Bombeo Gracia-Morenita (154,2 l/s)	NO	SI	SI	SI				
	Recarga artificial (80 l/s)	NO	NO	SI	NO				
	Recarga artificial (160 l/s)	NO	NO	NO	SI				
Demandas	Garantías								
		G _m	G _v						
	Caudal ecológico río Víboras	98,2%	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Caudal ecológico río San Juan	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Abastecimiento a Martos	98,2%	99,5%	99,7%	100,0%	99,7%	100,0%	99,7%	100,0%

Tabla 80. Simulación en el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS-HIPOTESIS B para diversas alternativas en la gestión del Canal de Martos

10.5.2 Escenario CON CONEXIÓN alternativa impermeabilización embalse Quiebrajano

Los resultados del modelo de simulación correspondiente al ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO se recogen en la tabla 81, donde se incluyen los índices de garantía obtenidos en la simulación de la gestión correspondiente a la situación futura de interconexión considerando que se ha logrado impermeabilizar el vaso del embalse Quiebrajano.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Abastecimientos		Regadíos	Caudales Ecológicos
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos		
Garantía mensual	Nº fallos	60	61	269	104
	G _m	90,2%	90,0%	56,0%	83,0%
	G _v	99,5%	92,1%	60,7%	97,2%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	0,312	0,372	1,756	1,984
	2 meses	0,513	0,655	3,486	3,511
Plan Hidrológico	Nº fallos	7	7	51	20
	G _{CPH}	86,3%	86,3%	0,0%	60,8%
	DEF15				NO CUMPLE
	DEF25	CUMPLE	NO CUMPLE		
	DEF50			NO CUMPLE	

Tabla 81. Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO

A continuación se presentan los resultados ofrecidos por SIMGES para la impermeabilización del embalse Quiebrajano y la evolución que registraría el acuífero Grajales.

10.5.2.1 Embalse del Quiebrajano

El embalse del Quiebrajano presenta un volumen medio de $19,87 \text{ hm}^3$, suministrando un promedio anual de $8,60 \text{ hm}^3$ ($0,717 \text{ hm}^3/\text{mes}$ de media -276 l/s-), oscilando entre $0,175$ y $12,444 \text{ hm}^3$.

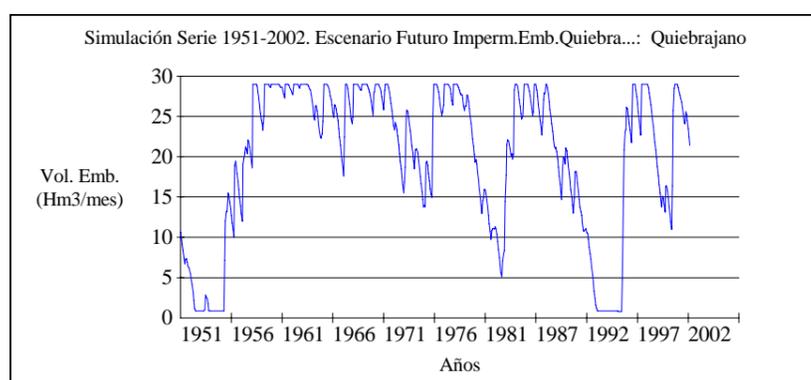


Figura 131. *Volumen embalsado en el embalse Quiebrajano. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO*

Comparando las cifras obtenidas para el embalse del Quiebrajano con respecto a la simulación en la que se considera que existen las filtraciones (recarga artificial no programa del acuífero Grajales), este embalse registraría un incremento en el volumen promedio almacenado de $3,39 \text{ hm}^3/\text{mes}$.

Respecto al volumen embalsado promedio anual, en la simulación con impermeabilización la cifra asciende a $238,44 \text{ hm}^3$, mientras que para a simulación sin impermeabilización el almacenamiento promedio anual desciende a $197,8 \text{ hm}^3$.

Asimismo, el aumento en el suministro anual de agua para abastecimiento al Sistema Quiebrajano-Víboras, que ocasionaría la impermeabilización del embalse, sería de $3,32 \text{ hm}^3$ como valor medio anual.

10.5.2.2 Acuífero Grajales

Los bombeos en el acuífero de Grajales para abastecimiento a Jaén (Peñas de Castro) y la Mancomunidad del Quiebrajano (La Merced) serían de 1,91 hm³/a (1,21 para Peñas de Castro y 0,70 hm³/a para La Merced), con un promedio mensual de 0,159 hm³ (61 l/s, 39 l/s para Peñas de Castro y 22 l/s para La Merced). Para el año al que corresponden el máximo de bombeos anual, el bombeo medio mensual resulta ser de 324 l/s (200 l/s de los sondeos de La Merced y 124 l/s de los sondeos Peñas de Castro), que corresponde con el 100% de la capacidad máxima de bombeo instalada en el acuífero Grajales.

En la figura 132 se muestra la descarga por los manantiales de Mingo que reproduce el SIMGES, contabilizando las descargas por bombeos y la recarga que recibe por filtraciones en el embalse del Quiebrajano.

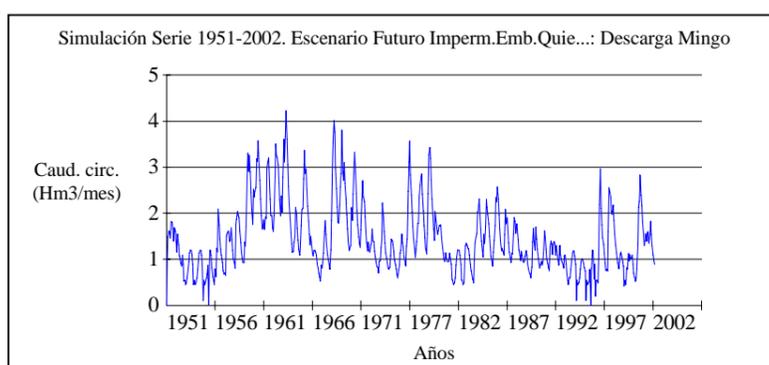


Figura 132. Descarga por los manantiales de Mingo. Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO

Esta descarga en régimen influenciado supondría un volumen anual promedio de 17,50 hm³/a y mensual de 1,46 hm³ (563 l/s), algo inferior a la que se ha estimado mediante la aplicación del método de Temez para el régimen natural del acuífero de Grajales sin recarga por filtraciones desde el embalse del Quiebrajano (19,40 hm³/a).

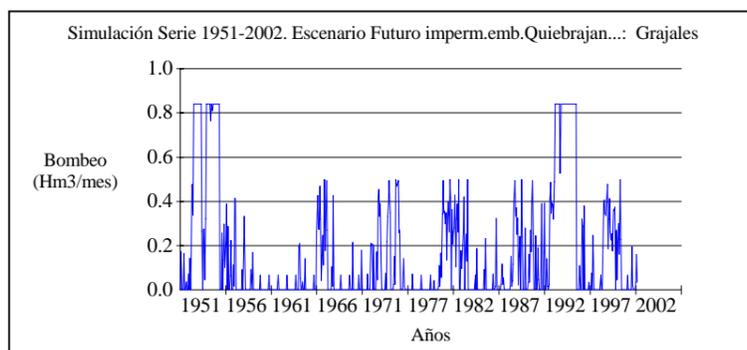


Figura 133. *Bombeos en el acuífero Grajales (sondeos Peñas de Castro y La Merced). Simulación del ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO*

El caudal ecológico fijado para Mingo se satisfaría con una garantía mensual del 86,4% (82 fallos) y una garantía volumétrica de 97,9%. El caudal derivado para abastecimiento en las captaciones de Mingo sería de 5,39 hm³/a por término medio (4,55 hm³/a en Mingo II y III -tomas de CHG- y 0,84 hm³/a en Mingo I -Jaén-), con un promedio mensual de 0,449 hm³ (173 l/s).

Si se compara este escenario con el correspondiente a la NO impermeabilización del embalse del Quiebrajano se observa que la recarga no programada que ejerce el embalse sobre el acuífero mejora los índices de garantía ecológica en los Cañones de Mingo.

ELEMENTO DEL SISTEMA	Escenario: <u>Con Conexión sin impermeabilizar Emb. Quiebrajano</u>		Escenario: <u>Con Conexión pero impermeabilizando Emb. Quiebrajano</u>	
	Anual Hm ³	Mensual promedio hm ³	Anual hm ³	Mensual promedio hm ³
Suministro desde E. Quiebrajano	5,28	0,44	8,06	0,717
Bombeos en el acuífero Grajales	1,517	0,126	1,91	0,159
Descarga acuífero Mingo	23,8	1,99	17,50	1,46
Recarga NO programada desde E. Quiebrajano	6,00	0,50	-	-
Garantía ecológica en Cañones Mingo	94,4 %	98,9 %	86,4 %	97,9 %
Captaciones en Mingo	9,06	0,755	5,39	0,449

Tabla 82. *Comparativa escenarios simulación correspondientes a la impermeabilización del embalse del Quiebrajano*

10.6 COMPARACIÓN DE SIMULACIONES

Los resultados de las simulaciones realizadas para el ESCENARIO SIN CONEXIÓN y el ESCENARIO CON CONEXIÓN permiten obtener una serie de conclusiones sobre la significación que, en términos de garantía, va a tener la puesta en funcionamiento de la interconexión entre los subsistemas Víboras y Quebrajano.

Las simulaciones efectuadas incorporan restricciones de calidad que condicionan el uso de determinadas fuentes de suministro para satisfacer demandas de diferente nivel de exigencia en la calidad de las aguas suministradas (como es el caso del embalse del Víboras, con aguas salobres que exigen desalobración en la nueva ETAP de Martos); y restricciones ambientales para el mantenimiento hidroecológico de los cauces. A este último respecto, se han realizado cálculos específicos para fijar el régimen de caudales ambientales en los cauces principales del sistema (Víboras, Cañones de Mingo y San Juan -Anejo 6-).

Analizando los índices de garantía correspondientes a los principales sistemas de abastecimiento se observa que para la situación previa a la interconexión de los subsistemas Víboras y Quebrajano, el subsistema de la Mancomunidad del Quebrajano presenta unos índices de garantía bastante satisfactorios, por la complementación que ofrecen al sistema las fuentes de suministro asociadas a las aguas subterráneas sobre los recursos aportados por el embalse del Quebrajano.

En cambio, el subsistema asociado al Canal de Martos (abastecimiento a la Comarca de Martos) presenta una situación insatisfactoria para el ESCENARIO SIN CONEXIÓN, principalmente debido a la limitación que imponen las infraestructuras de conducción (conducciones por gravedad provenientes de las Fuentes de Martos) y potabilización (ETAP de Martos) y la limitada productividad de los sondeos existentes en los acuíferos de Jaén-Jabalruz en periodos de sequía (La Maleza, Cuesta Negra y Santa Ana, fundamentalmente).

Criterios de Garantía		Mancomunidad Quiebrajano		Comarca de Martos	
		ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN	ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN
Garantía mensual	Nº fallos	78	65	389	65
	G_m	87,3%	89,4%	36,4%	89,4%
	G_v	95,3%	99,4%	91,1%	97,0%
Máximo Déficit Mensual (hm^3)	1 mes	0,923	0,352	0,326	0,361
	2 meses	1,710	0,589	0,696	0,640
Plan Hidrológico	Nº fallos	10	8	51	9
	G_{CPH}	80,4%	84,3%	0,0%	82,4%
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Demanda simulada ¹⁴ (hm^3)	Anual	17,618		6,58	
	Mensual máxima	1,640		0,659	
% Déficit mensual respecto a la Demanda		56,3%	21,5%	49,5%	54,8%

Tabla 83. Comparativa de los criterios de garantía para los principales sistemas de abastecimiento

Una vez entre en funcionamiento las infraestructuras de elevación, conducción y potabilización asociadas al proyecto de interconexión de los subsistemas Víboras y Quiebrajano, la garantía del subsistema de la Mancomunidad del Quiebrajano adquiere índices muy satisfactorios, mientras que el subsistema Víboras (Comarca de Martos) pasa de una situación desfavorable a índices de garantía satisfactorios, equiparándose al subsistema Quiebrajano.

Respecto al resto de demandas, los resultados implican que las demandas agrícolas sufren una cierta mejoría para el ESCENARIO CON CONEXIÓN, pero sigue sin verificarse el criterio DEF50 y sin alcanzar las cuotas de garantía volumétricas exigibles (85%).

Por el contrario, los caudales ecológicos mantienen unos indicadores de garantía muy similares y satisfacción en ambos escenarios simulados, quizás algo peores en el ESCENARIO CON CONEXIÓN, ya que la conexión de ambos subsistemas propicia que el conjunto sea más exigente, por la necesidad de satisfacción de un mayor número y cuantía de las demandas urbanas (las demandas urbanas de la Mancomunidad del Quiebrajano y Comarca de Martos que se simulaban por separado en la SITUACIÓN SIN CONEXIÓN, pasan a estar combinadas en la SITUACIÓN CON CONEXIÓN), lo que propicia que en la resolución matemática de la ecuación que

¹⁴ Sin considerar las pérdidas en los canales de conducción

optimiza el binomio recursos-demandas tienda a minimizar los déficits de abastecimiento, en detrimento de la satisfacción de los caudales ecológicos, a pesar, que los caudales ecológicos hayan sido declarados de máxima prioridad.

Criterios de Garantía		Regadíos		Caudales Ecológicos	
		ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN	ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN
Garantía mensual	Nº fallos	289	244	77	104
	G _m	52,8%	60,1%	87,4%	83,0%
G _v		45,0%	61,7%	97,8%	97,2%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	2,137	1,756	1,796	1,984
	2 meses	4,243	3,486	3,375	3,511
Plan Hidrológico	Nº fallos	51	51	14	20
	G _{CPH}	0,0%	0,0%	72,5%	60,8%
DEF15				NO CUMPLE	NO CUMPLE
DEF50		NO CUMPLE	NO CUMPLE		
Demanda simulada (hm ³)	Anual	12,49		9,22	
	Mensual máxima	2,663		3,830	
% Déficit mensual respecto a la Demanda		80,2%	65,9%	46,9%	51,8%

Tabla 84. Comparativa de los criterios de garantía para las demandas agrícolas y los caudales ecológicos

Respecto a la mejora de los suministros cuando entren en funcionamiento los sistemas asociados a la interconexión de los subsistemas Quiebrajano-Víboras, los resultados que se obtienen implican un aumento de los volúmenes suministrados de algo menos de 1 hm³/a de promedio, si bien, es notorio el descenso de los déficits máximos mensuales.

Simulación SIMGES	Suministro (hm ³)				Déficit máximo mensual (hm ³)		
	Canal Mancomunidad Quiebrajano	Canal de Martos	Sistemas abastec. Municipal ⁽¹⁾	SUMA	Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos	SUMA
ESCENARIO SIN CONEXIÓN (sin conexión y con sondeos del Víboras)	19,16	6,45	2,89	28,51	0,923	0,326	1,249
ESCENARIO CON CONEXIÓN (con conexión entre subsistemas, con embalse del Víboras y sondeos del Víboras)	18,48	8,01 ⁽²⁾	2,88	29,38	0,352	0,361	0,711
ESCENARIO CON CONEXIÓN sin embalse del Víboras y con sondeos del Víboras	18,93	6,76	2,85	28,54	0,417	0,433	0,851
ESCENARIO CON CONEXIÓN (con embalse del Víboras, sin sondeos del Víboras y con embalse del Quiebrajano impermeabilizado)	18,39	8,17 ⁽²⁾	2,80	29,36	0,312	0,372	0,684

⁽¹⁾ Abastecimientos a Fuensanta de Martos, Valdepeñas de Jaén, Los Villares y Alcaudete
⁽²⁾ Incluye el canal de Martos y el Canal del Víboras-ETAP Martos

Tabla 85. Suministro y déficit en las simulaciones realizadas.

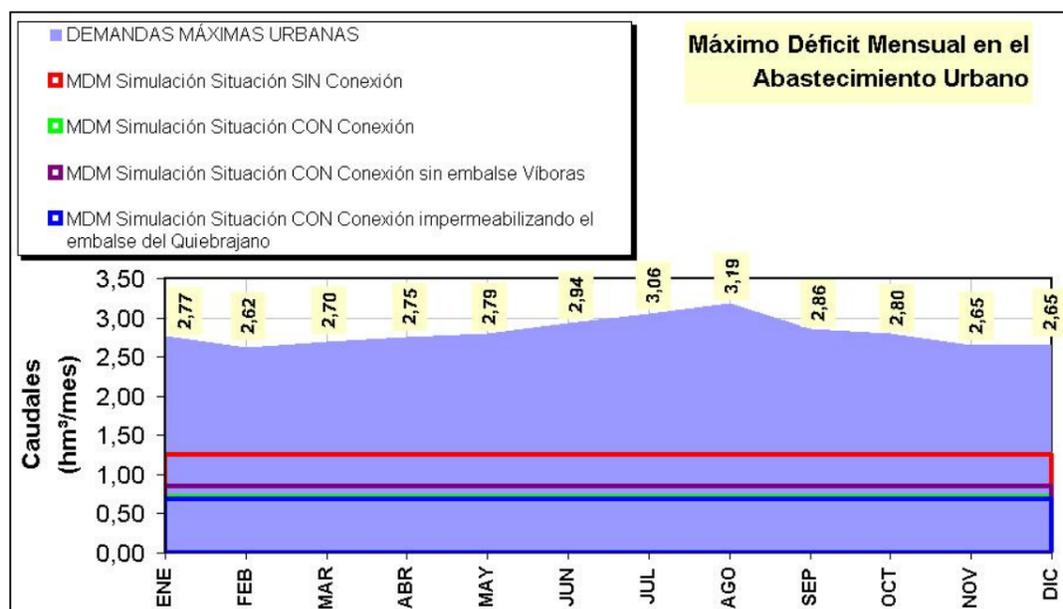


Figura 134. Máximo Déficit Mensual (MDM en hm³) en las simulaciones realizadas frente a demandas urbanas consideradas (demandas máximas mensuales)

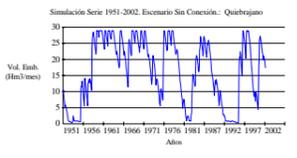
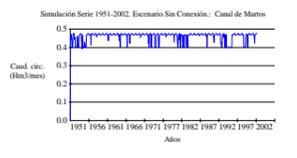
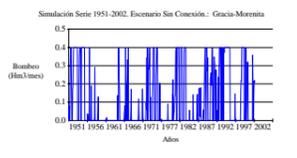
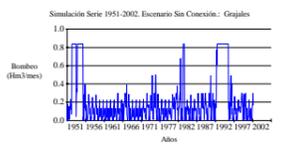
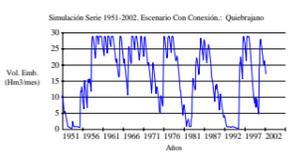
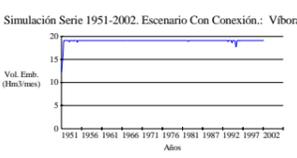
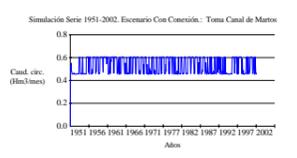
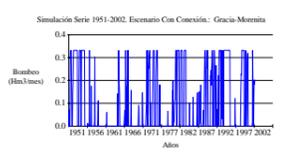
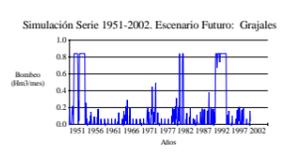
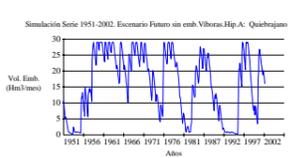
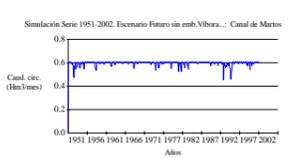
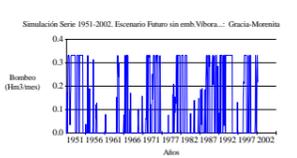
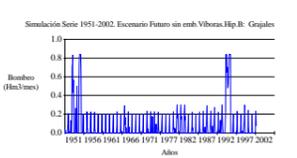
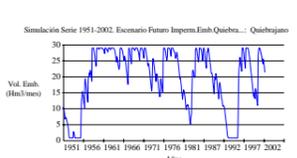
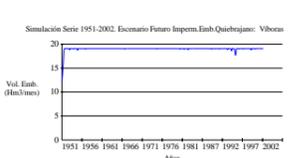
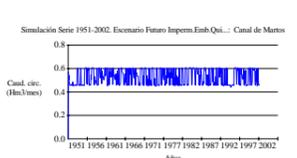
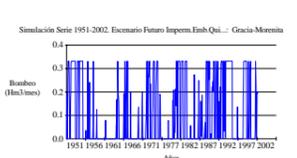
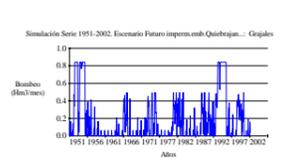
Descripción de la Simulación								Comportamiento de los principales elementos de regulación-captación del Sistema Quebrajano-Víboras					Garantías para el abastecimiento en el Sistema Quebrajano-Víboras	
Escenario	Conexión sub-sistemas Víboras y Quebrajano	ETAP Martos 165 l/s de capacidad	ETAP Martos 363 l/s de capacidad	Embalse del Víboras y canal Víboras-ETAP Martos	Sondeos del Víboras (capacidad de Bombeo 154 l/s)	Sondeos La Merced (capacidad de bombeo 200 l/s)	Impermeabilización del embalse del Quebrajano	Embalse del Quebrajano	Embalse del Víboras	Canal de Martos (incluye los bombeos del Víboras)	Bombeos embalse subterráneo Gracia-Morenita	Bombeos Embalse Subterráneo Grajales	Mensual	Volumétrica
ESCENARIO SIN CONEXIÓN	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO						36,40%	91,10%
ESCENARIO CON CONEXIÓN	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO						89,40%	97,00%
ESCENARIO CON CONEXIÓN Y SIN EMBALSE DEL VÍBORAS	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO						86,30%	94,70%
ESCENARIO CON CONEXIÓN IMPERMEABILIZ. DEL EMBALSE DEL QUIEBRAJANO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI						90,00%	92,10%

Tabla 86. Resumen comparativo de las simulaciones de gestión conjunta realizadas en el Sistema Quebrajano-Víboras

10.6.1 Influencia del mantenimiento del régimen ecológico de caudales sobre las garantías del sistema

A continuación se analiza el efecto que ejerce sobre el resto de demandas y especialmente sobre el abastecimiento urbano, el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos o ambientales fijado para los cauces de Cañones de Mingo, Alto Víboras y Nacimiento del río San Juan.

Los resultados ofrecidos por AQUATOOL indican que los índices de garantía que se obtienen para las demandas urbanas (agrupadas en la Mancomunidad del Quiebrajano y la Comarca de Martos), en el escenario de conexión entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras, son satisfactorias considerando la restricción en el uso de los recursos hídricos que supone el mantenimiento de un régimen de caudales ecológicos en los cauces más sensibles del sistema.

Así, las diversas simulaciones realizadas para escenarios en los cuales se considera la conexión entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras (obras ejecutadas por AQUAVIR,SA), ofrecen índices de garantías que se pueden considerar como satisfactorios (garantía mensual superior al 85% y garantía volumétrica superior al 92%) y déficits máximos mensuales asumibles (inferiores a 0,85 hm³ lo que constituye un 30% de la demanda mensual promedio considerada en el modelo de simulación de la gestión conjunta para la demanda urbana -2,81 hm³/a-), considerando, además, que las demandas urbanas empleadas en las simulaciones corresponden a valores máximos.

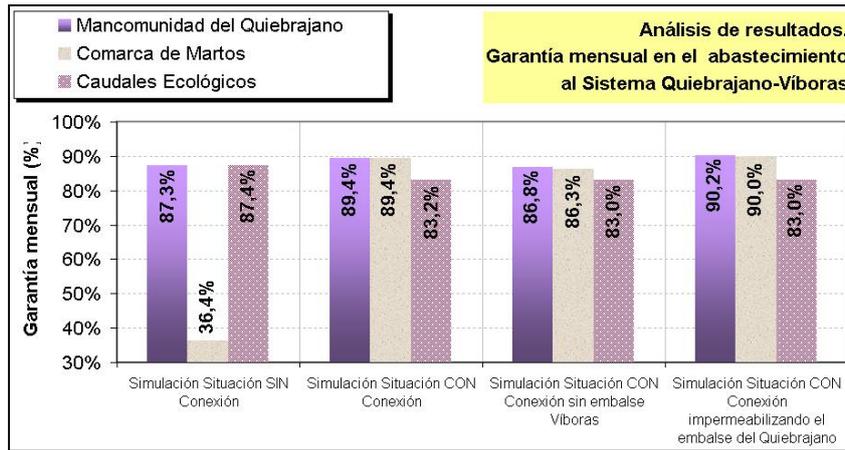


Figura 135. Índices de garantía mensual obtenidos para los diferentes escenarios de simulación considerados

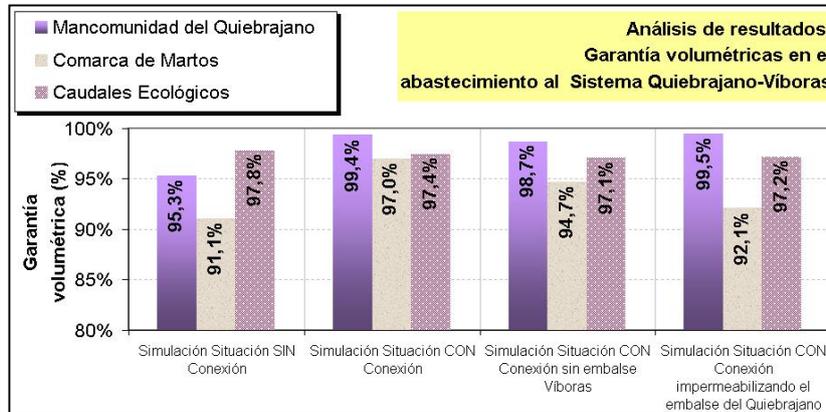


Figura 136. Índices de garantía volumétrica obtenidos para los diferentes escenarios de simulación considerados

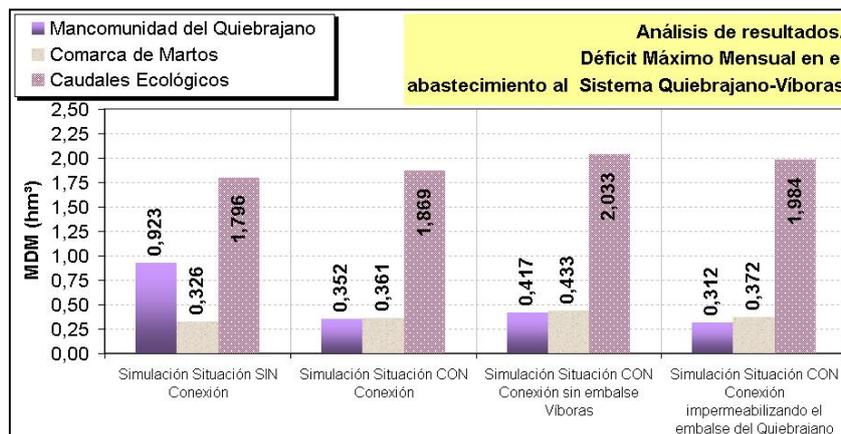


Figura 137. Déficit máximo mensual obtenido para los diferentes escenarios de simulación considerados

CAUCES DE INTERÉS HIDROECOLÓGICO	Demanda ecológica considerada (hm ³)	MÁXIMO DÉFICIT MENSUAL CALCULADO MEDIANTE EL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA GESTIÓN CONJUNTA			
		Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión impermeabilizando el embalse del Quebrajano
Caud.ecológ.Víboras	11,90	1,056	1,162	1,172	1,172
Caud.ecolog.Mingo	6,08	0,390	0,511	0,511	0,512
Caud.ecolog. San Juan	12,81	0,350	0,196	0,350	0,300
Suma		1,796	1,869	2,033	1,984
MDM del régimen de caudales ecológicos respecto al caudal ecológico mensual promedio fijado		70,0%	72,8%	79,2%	77,3%

Tabla 87. *Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos fijado en el sistema Quebrajano-Víboras*

Respecto al régimen de caudales ecológicos fijados, en las simulaciones realizadas para los diferentes escenarios considerados se obtienen unos índices de garantía mensual y volumétrica muy satisfactorios, por encima del 83% y del 97% respectivamente.

Meses	CAUDAL ECOLÓG. CRÍTICO (hm ³ /mes)				MÁXIMO DÉFICIT MENSUAL			
	Cañones de Mingo (Río Frio)	Nto. del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	SUMA	MDM (Simulación Situación CON Conexión)			
					Cañones de Mingo (Río Frio)	Nto. del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	Suma
Octubre	0,62	0,34	0,72	1,68	0,100	0,100	0,400	0,600
Noviembre	0,80	0,43	0,90	2,13	0,200	0,100	0,500	0,800
Diciembre	1,17	0,67	0,89	2,73	0,400	0,100	0,300	0,800
Enero	1,32	0,65	0,96	2,93	0,300	0,100	0,300	0,700
Febrero	1,35	0,75	1,21	3,31	0,300	0,100	0,600	1,000
Marzo	1,32	0,75	1,65	3,73	0,400	0,100	1,000	1,500
Abril	1,35	0,58	1,73	3,65	0,300	0,100	1,200	1,600
Mayo	1,22	0,50	1,45	3,17	0,300	0,200	0,900	1,400
Junio	0,83	0,43	1,01	2,27	0,000	0,200	0,500	0,700
Julio	0,73	0,37	0,86	1,95	0,500	0,200	0,400	1,100
Agosto	0,62	0,32	0,74	1,68	0,000	0,200	0,400	0,600
Septiembre	0,57	0,31	0,69	1,56	0,000	0,100	0,300	0,400
ANUAL	11,90	6,08	12,81	30,79	0,511	0,196	1,162	1,869
PROMEDIO	0,99	0,51	1,07	2,57	68,9%	62,4%	69,4%	56,4%

Tabla 88. *Resultados del máximo déficit mensual (MDM) para la simulación correspondiente a la Situación CON conexión*

Respecto a los déficits máximos mensuales calculados para las demandas ecológicas, se obtiene unos valores que implican situaciones puntuales de no-satisfacción de la demanda mensual prevista de hasta un 80%. Esta situación exige analizar la capacidad resiliente de las especies piscícolas. No obstante, el régimen de caudales ecológicos fijados (caudales críticos) supone un caudal superior al régimen natural de los cauces para los periodos más secos (aportaciones mínimas), como se observa en las figuras presentadas a continuación para el escenario de simulación CON conexión.

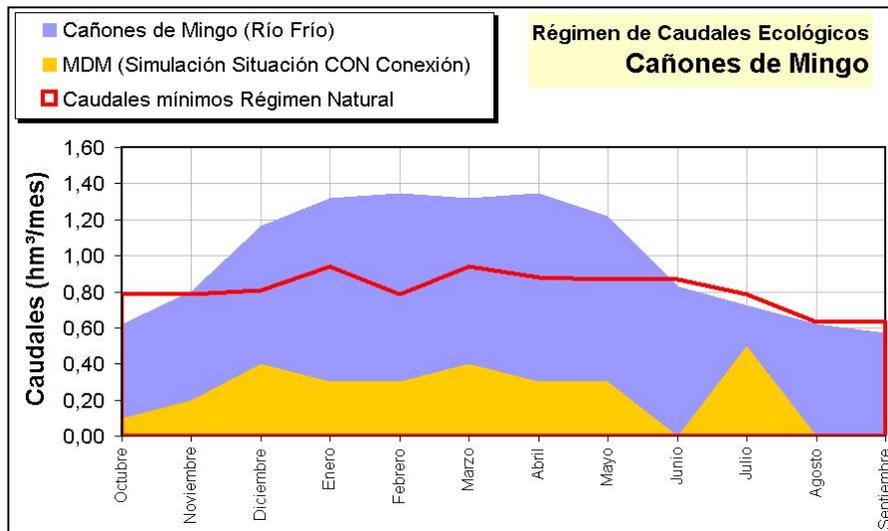


Figura 138. Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para Cañones de Mingo

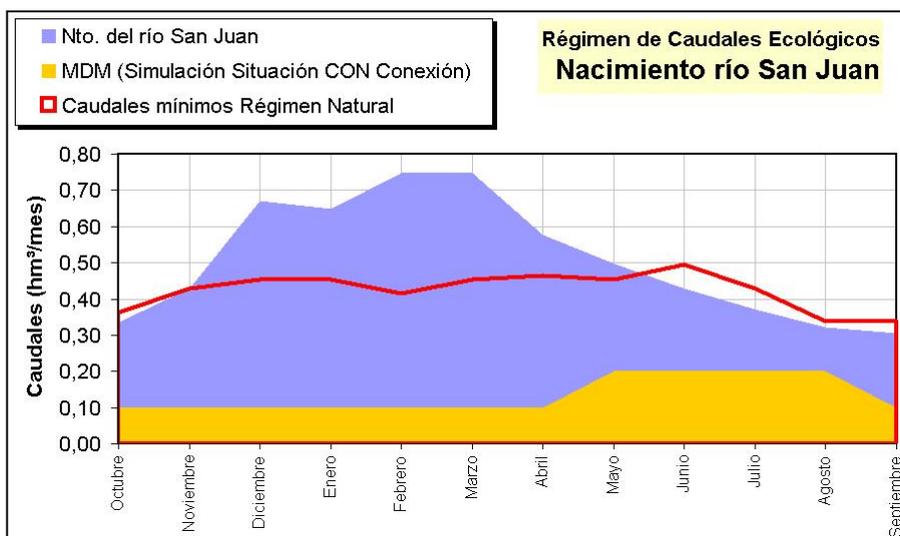


Figura 139. Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para el Nacimiento del río San Juan

Si bien, en los meses de estío, en los que el caudal circulante es estrictamente de origen subterráneo (descarga de los acuíferos), el caudal crítico calculado es sensiblemente similar al caudal mínimo para el régimen natural de aportaciones, excepto para el caso del río Grande que se sitúa algo por encima (figura 140).

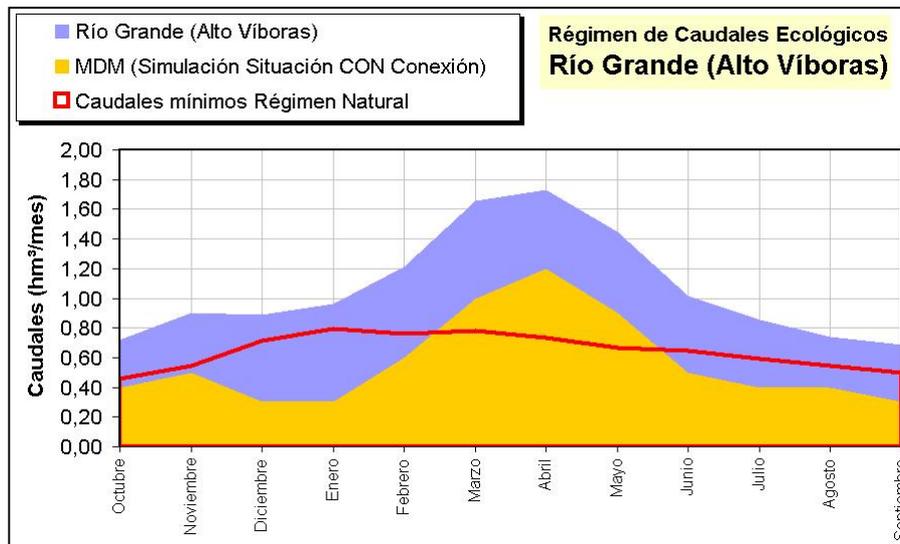


Figura 140. *Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para el río Grande (Alto Víboras)*

En el cauce del río Grande, el máximo déficit mensual que se registraría (analizando el escenario de simulación CON conexión entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras) es sensiblemente superior que el calculado para el resto de cauces analizados, esto se debe a la utilización intensiva que se ejerce sobre los recursos subterráneos del Alto Víboras (acuíferos de las unidades hidrogeológicas Mentidero-Montesinos y Gracia-Ventisquero).

Por tanto, en este cauce se podría plantear la utilización de las reservas de los embalses subterráneos de cabecera para el mantenimiento de caudales ecológicos en periodos de intensa sequía en este cauce, mediante la disposición de bombeos ecológicos de aguas subterráneas en los embalses subterráneos de cabecera de la cuenca del Víboras, esto es, mediante la implantación de **sondeos ecológicos de regulación en manantiales (sondeos tipo SER)**, captaciones que tendrían un objetivo medioambiental, no comprometiendo, los abastecimientos urbanos.

Al objeto de analizar el dimensionamiento de la infraestructura de sondeos tipo SER que habría que implantar en el Alto Víboras, se ha realizado un análisis comparativo del aumento que se conseguiría en la garantía del caudal ecológico en el Alto Víboras mediante bombeos de recursos hídricos almacenados en los embalses subterráneos existentes en la cabecera de esta cuenca.

Caudal de Bombeo		Garantía Caudal Ecológico Crítico Alto Víboras			
hm ³ /mes	l/s	Garantía Mensual	Garantía Anual	MDM (hm ³)	Ratio MDM/QEcológ
0,00	0	83,2%	96,0%	1,16	67,2%
0,25	96	92,0%	97,9%	1,07	61,9%
0,50	193	96,1%	98,9%	0,91	52,6%
0,75	289	98,0%	99,5%	0,70	40,5%
1,00	386	99,0%	99,8%	0,49	28,2%
1,50	579	100,0%	100,0%	0,00	0,0%
MDM	<i>Máximo Déficit Mensual</i>				
QEcológ	<i>Caudal ecológico crítico fijado</i>				

Tabla 89. *Aumento de la Garantía del Caudal Ecológico en el Alto Víboras mediante Bombeos de las Reservas de los Embalses Subterráneos*

Según las simulaciones realizadas para el escenario CON conexión, se obtiene que mediante unas infraestructuras de regulación que permitan aportar al cauce un total de 0,50 hm³/mes se conseguiría una garantía ecológica mensual superior al 95%. Este caudal de 0,50 hm³/mes satisfaría el déficit máximo mensual de los meses de estío (0,3 a 0,5 hm³/mes). Esto supondría instalar equipos de bombeo de aguas subterráneas con capacidad para extraer 193 l/s. Estos sondeos sólo funcionarían en periodos de intensa sequía.

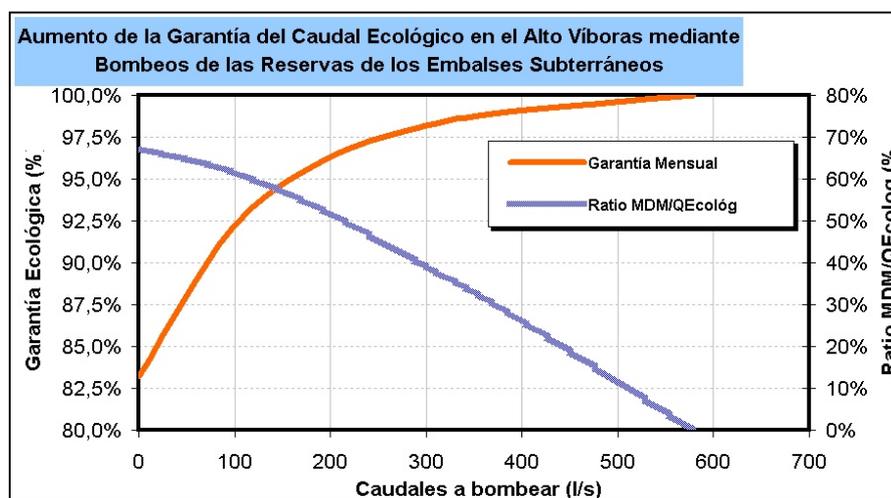


Figura 141. *Aumento de la Garantía del Caudal Ecológico en el Alto Víboras mediante Bombeos de las Reservas de los Embalses Subterráneos*

Analizando las unidades hidrogeológicas definidas en la cabecera del Víboras parece razonable emplear el embalse subterráneo de Cornicabra-Noguerones para asegurar los caudales ecológicos en el río Grande, ya que sobre este acuífero sólo se aprovechan sus descargas naturales (manantiales del Papel) para el abastecimiento a la Comarca de Martos (Fuentes de Martos).

Considerando los parámetros de simulación fijados para este acuífero kárstico ($Q_0=45$ l/s y $\alpha=0,0035$ días⁻¹) y para el embalse subterráneo correspondiente (reservas hidrogeológicas bajo la cota de rebose de 8,5 hm³), se ha analizado cuál sería la evolución del embalse subterráneo si éste se sometiera a la explotación que exigen los sondeos tipo SER anteriormente descritos (capacidad de bombeo de hasta 193 l/s).

Para ello, y utilizando el modelo de uso conjunto construido sobre AQUATOOL, se ha simulado el escenario correspondiente a la simulación CON conexión considerando que existe un bombeo adicionales sobre el acuífero Cornicabra-Noguerones para dotar el régimen de caudales ecológicos críticos fijados en el río Grande, calculando el régimen de bombeo que es necesario disponer en los sondeos tipo SER para asegurar una garantía ecológica mensual mínima en el río Grande del 95%.

Los resultados de AQUATOOL, con una instalación de bombeo sobre el embalse subterráneo Cornicabra-Noguerones de 193 l/s de capacidad, implican una garantía mensual ecológica en el río Grande del 96,6% y una garantía volumétrica del 99,1%, con un déficit máximo mensual de 0,783 hm³ (registrado en abril-95) y déficit nulo en los meses de estío.

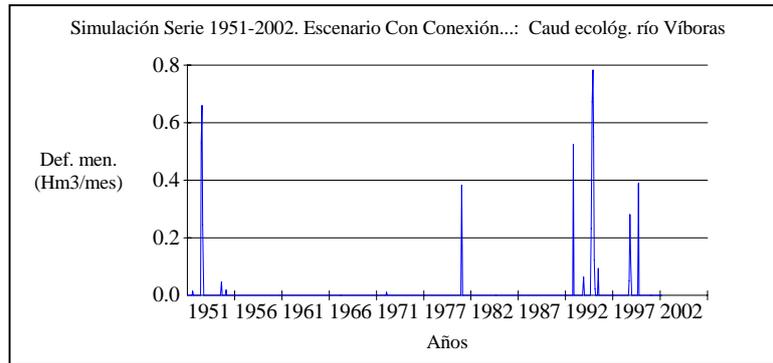


Figura 142. Déficit mensual simulado mediante AQUATOOL. Escenario CON conexión con sondeos tipo SER en Cornicabra-Noguerones (193 l/s de capacidad de bombeo)

	CAUDAL ECOLÓG. CRÍTICO (hm ³ /mes)	MÁXIMO DÉFICIT MENSUAL	QEcol/MDM	Caudales mínimos Régimen Natural
	Río Grande (Alto Víboras)	Río Grande (Alto Víboras)	Río Grande (Alto Víboras)	Río Grande (Alto Víboras)
Octubre	0,72	0,000	0,000	0,458
Noviembre	0,90	0,100	0,111	0,546
Diciembre	0,89	0,000	0,000	0,711
Enero	0,96	0,000	0,000	0,791
Febrero	1,21	0,200	0,165	0,760
Marzo	1,65	0,700	0,423	0,781
Abril	1,73	0,800	0,463	0,732
Mayo	1,45	0,600	0,414	0,667
Junio	1,01	0,100	0,099	0,648
Julio	0,86	0,000	0,000	0,590
Agosto	0,74	0,000	0,000	0,548
Septiembre	0,69	0,000	0,000	0,500
ANUAL	12,81	1,162	46,3%	8,335
PROMEDIO	1,07			

Tabla 90. Caudales ecológicos en el río Grande (alto Víboras) utilizando los sondeos SER en Cornicabra-Noguerones. Simulación CON conexión

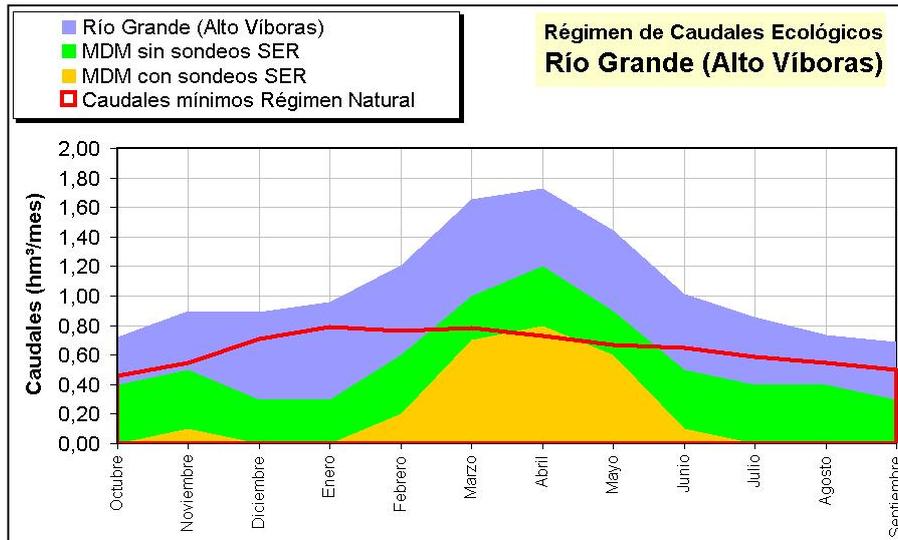


Figura 143. *Máximo déficit mensual para el régimen de caudales ecológicos en la Simulación CON conexión para el río Grande (Alto Víboras) disponiendo los sondeos tipo SER en el acuífero Cornicabra-Noguerones*

La respuesta del embalse subterráneo Cornicabra-Noguerones ante los bombeos tipo SER se muestra a continuación. Estos bombeos provocarían el secado de los manantiales del Papel en los meses más secos, siendo necesario aportar el caudal que se capta desde estos manantiales para el Canal de Martos de otras fuentes (sondeos Gracia-Morenita o embalse del Víboras).

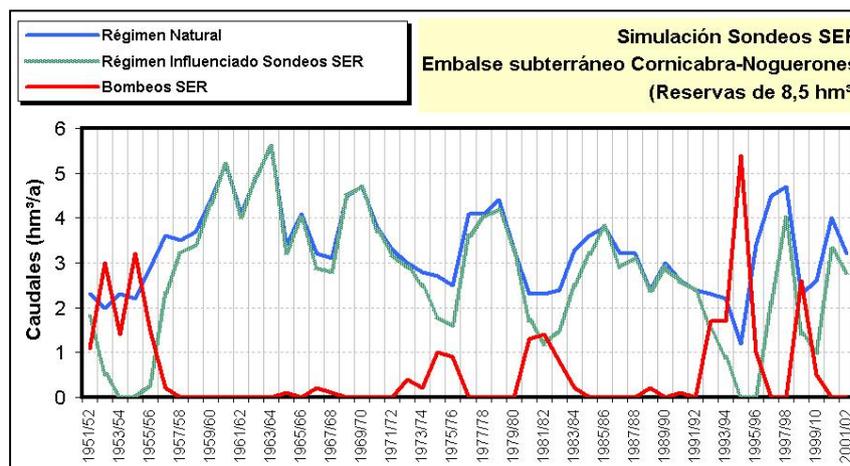


Figura 144. *Simulación de la evolución anual que registraría la descarga del embalse subterráneo de Conicabra-Noguerones como consecuencia de la implantación de una infraestructura de regulación ecológica mediante sondeos (sondeos SER)*

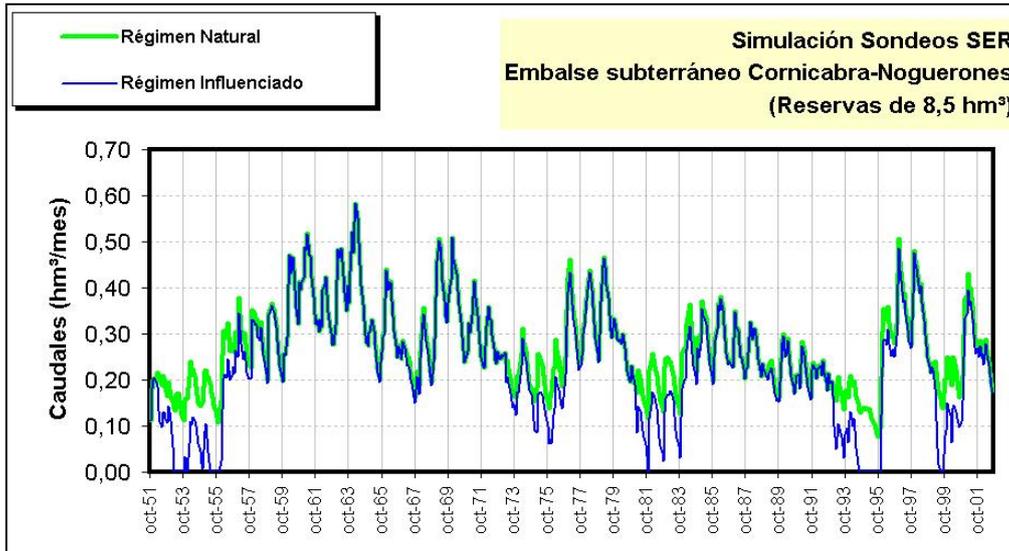


Figura 145. Simulación de la evolución mensual que registraría la descarga el embalse subterráneo de Conicabra-Noguerones como consecuencia de la implantación de una infraestructura de regulación ecológica mediante sondeos (sondeos SER)

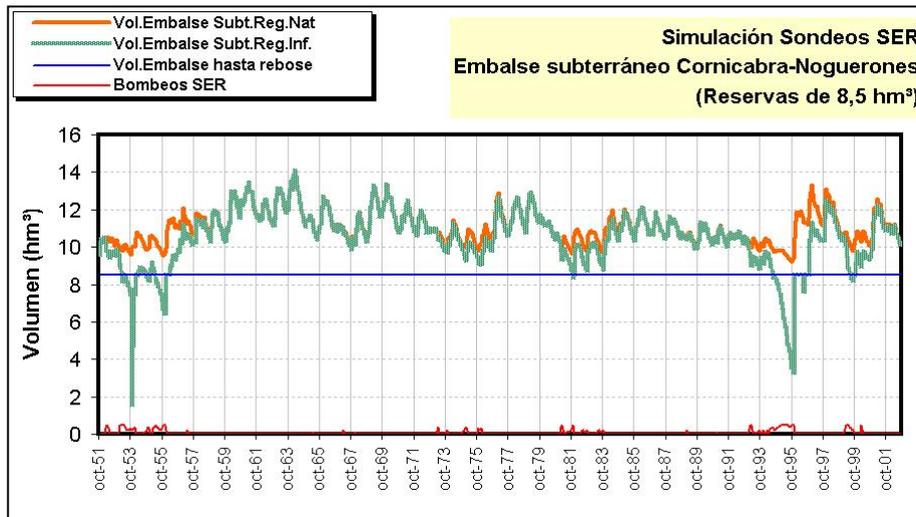


Figura 146. Evolución que registrarían las reservas del embalse Cornicabra-Noguerones como consecuencia de la implantación de una infraestructura de regulación ecológica mediante sondeos (sondeos SER)

Como consecuencia de los bombeos tipo SER (capacidad máxima de 193 l/s) se produciría un vaciado temporal de las reservas hidrogeológicas del embalse subterráneo Cornicabra-Noguerones, pero sólo cuando entran en funcionamiento dichos sondeos. Se ha fijado que el vaciamiento promedio mensual es de 1,43 hm³ (lo que supone el 16,8% de las reservas hidrogeológicas) y el máximo sería de 6,94 hm³

(un 81,7% de las reservas hidrogeológicas). Asimismo, la respuesta del acuífero ante los bombeos implica que se produciría la recuperación del mismo tras un periodo de extracciones, por lo que la implantación de los sondeos SER constituiría un sistema de regulación del embalse subterráneo para uso ecológico.

La puesta en funcionamiento de los sondeos tipo SER en Cornicabra-Noguerones exige desarrollar un estudio hidrogeológico detallado de este embalse subterráneo para el necesario análisis de las posibilidades de explotación ecológica de este embalse (ubicación de las captaciones, caudales de captación, volumen de vaciamiento máximo, etc.), así como el coste del agua bombeada para considerarla como un sobrecoste del macro-sistema de abastecimiento Quiebrajano-Víboras.

Por otra parte, la restricción que constituye el mantenimiento de un régimen de caudales ecológico en los cauces de interés hidroecológico, para el uso de los recursos hídricos del sistema Quiebrajano-Víboras en la satisfacción de demandas consuntivas, puede constatarse si se comparan los índices de garantía correspondiente a la simulación con el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH de la Cuenca del Guadalquivir con los resultantes de la consideración de los regímenes de caudales ecológicos críticos calculados.

Así, para el escenario de gestión correspondiente a la simulación CON conexión se observa una reducción sensible de los índices de garantía mensual en el abastecimiento urbano si se consideran los caudales ecológicos críticos (ver tabla 90), no así en los índices de garantía volumétricos.

Por otra parte, las diferencias que se registrarían en los déficit mensuales máximos resultan admisibles, ya que si para la simulación que considera los caudales ecológicos del Plan Hidrológico se obtendría un déficit máximo mensual de 0,371 hm³ en el abastecimiento urbano (un 13,2 % de la demanda mensual promedio del sistema para abastecimiento urbano), para la más exigente simulación que considera los caudales ecológicos críticos se obtendría un déficit máximo mensual de 0,713 hm³ en el abastecimiento urbano (un 25,3 % de la demanda mensual promedio del sistema

para abastecimiento urbano), resultados sobre los que se debe contemplar que se han incluido en el modelo de simulación unas cifras de demandas urbanas máximas.

Simulación Situación CON Conexión	Garantía mensual	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	98,7%	98,0%
	Régimen de caudales ecológicos	89,4%	89,4%
	Garantía volumétrica	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	99,9%	99,8%
	Régimen de caudales ecológicos	99,4%	97,0%
	Máximo Déficit Mensual (hm³)	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	0,166	0,205
	Régimen de caudales ecológicos	0,352	0,361

Tabla 91. *Comparativa de los resultados de los indicadores de garantía para el escenario CON conexión considerando el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH del Guadalquivir y el calculado (caudales críticos)*

A continuación se exponen los resultados para el resto de escenarios de simulación contemplados. Obteniendo que si en la simulación CON conexión se concluye que puede producirse un déficit mensual máximo que represente el 25,3 % de la demanda mensual promedio del sistema para abastecimiento urbano; en el escenario de simulación correspondiente a la simulación CON conexión sin embalse del Víboras esta cifra asciende al 30,2%; y para el escenario de simulación correspondiente a la simulación CON conexión e impermeabilización del embalse del Quiebrajano esta cifra se fija en el 24,3%.

Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Garantía mensual	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	95,9%	94,0%
	Régimen de caudales ecológicos	86,8%	86,3%
	Garantía volumétrica	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	99,9%	99,1%
	Régimen de caudales ecológicos	98,7%	94,7%
	Máximo Déficit Mensual (hm³)	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	0,277	0,296
	Régimen de caudales ecológicos	0,417	0,433

Tabla 92. *Comparativa de los resultados de los indicadores de garantía para el escenario CON conexión sin embalse del Víboras, considerando el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH del Guadalquivir y el calculado (caudales críticos)*

Simulación Situación CON Conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano	Garantía mensual	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	99,5%	99,2%
	Régimen de caudales ecológicos	90,2%	90,0%
	Garantía volumétrica	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	100,0%	99,8%
	Régimen de caudales ecológicos	99,5%	92,1%
	Máximo Déficit Mensual (hm³)	Mancomunidad del Quiebrajano	Comarca de Martos
	Caudales ecológicos PH-Guadalquivir	0,017	0,204
	Régimen de caudales ecológicos	0,312	0,372

Tabla 93. *Comparativa de los resultados de los indicadores de garantía para el escenario CON conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano, considerando el régimen de caudales ecológicos fijados por el PH del Guadalquivir y el calculado (caudales críticos)*

10.7

COSTES DEL AGUA EN ALTA

A continuación se presentan un análisis preliminar de los costes del agua para abastecimiento en alta para las diferentes hipótesis de simulación ejecutadas para la gestión conjunta de los recursos hídricos del Sistema Quiebrajano-Víboras.

Para llevar a cabo este análisis preliminar se han considerado los datos de las tarifas en alta que fijó la CHG para el año 2002, según las cuales el precio en alta del agua para abastecimiento oscilaría entre 0,085 a 0,114 €/m³, para los suministros de aguas potables de la CHG provenientes del embalse del Quiebrajano o las Fuentes de Martos. Para las aguas potables procedentes de las elevaciones de Mingo o los sondeos de La Merced el coste del agua oscila entre 0,036 €/m³ a 0,108 €/m³, dependiendo de la cuantía de los bombeos.

Para los sistemas dependientes del ayuntamiento de Jaén, los costes del agua potable en alta proveniente de los sondeos es de 0,09 €/m³.

Para el agua procedente de los sondeos del Víboras se estima un coste de 0,200 €/m³, mientras que las instalaciones de recarga generarían un coste adicional de 0,012 €/m³, según estimaciones del IGME. Así, la explotación de estas instalaciones supondrían un coste de 0,212 €/m³.

Es previsible que el agua suministrada desde el embalse del Víboras, una vez potabilizada en la nueva ETAP de Martos, presente un coste notablemente superior a las tarifas de CHG. En la actualidad AQUAVIR, que es la gestora del sistema, cifra estos costes en 0,34¹⁵ €/m³.

Utilizando las cifras correspondientes a las tarifas en alta aplicadas por los gestores de las infraestructuras de abastecimiento se han calculado los costes específicos del agua en alta considerando las fuentes de suministro implicadas en las diferentes simulaciones de gestión realizadas.

Combinando criterios garantistas y de coste del agua, la mejor solución corresponde a la hipótesis de interconexión entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras sin utilizar el agua regulada en el embalse del Víboras y poniendo en funcionamiento los sondeos del Víboras, ya que se conseguirían unos índices de garantía satisfactorios y unos costes específicos para el agua en alta similares a los actuales.

Asimismo, sería necesario llevar a cabo un análisis más exhaustivo sobre los costes de las instalaciones de recarga artificial de Gracia-Morenita, ya que un coste unitario adicional de tan sólo 0,012 €/m³ es posible que sea algo bajo.

¹⁵ Desglose de costes:

- Amortización infraestructuras elevación-conducción-regulación: 0,10 €/m³
- Mantenimiento y operación infraestructuras elevación-conducción-regulación: 0,05 €/m³
- Costes energéticos infraestructuras elevación-conducción-regulación: 0,04 €/m³
- Desalación ósmosis inversa ETAP de Martos: 0,15 €/m³

Los datos de tarifas que AQUAVIR tiene previsto aplicar para el agua procedente de la ETAP de Martos es de 0,19 €/m³ para el año 2005 y de 0,27 €/m³ para el año 2006, cifra a la que es necesario sumar la tarifa que aplique la CHG a las Fuentes de Martos, por lo que es aceptable la cifra de 0,34 €/m³.

FUENTES DE SUMINISTRO PARA ABASTECIMIENTO URBANO SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS	Tarifas en alta (€/m ³)	VOLÚMENES CAPTADOS (hm ³ /a)			
		Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano
Embalse Quiebrajano	0,105	5,220	5,280	5,530	8,600
Sondeos La Merced	0,108	0,818	0,734	0,812	0,710
Elevaciones de Mingo	0,042	8,530	9,060	8,690	5,450
Fuentes de Martos	0,108	4,710	5,290	5,410	5,170
Canal Los Villares	0,045	2,500	2,380	2,430	2,150
Sondeos abto. Jaén	0,090	0,431	0,246	0,295	0,380
Sondeos abto. Comarca de Martos y Bajo Víboras	0,080	1,207	0,833	0,886	0,870
Captación manantiales para abastecimiento a Los Villares y núcleos de la cuenca del Víboras	0,025	2,187	2,177	2,147	2,100
Embalse del Víboras	0,340	0,000	1,620	0,000	1,690
Sondeos Gracia-Morenita ^(a)	0,212	1,243	0,977	1,172	1,150
Suma (hm³)		26,846	28,596	27,373	28,266
Coste promedio (€/m³)		0,056	0,069	0,055	0,079

^(a) Incluye un sobrecoste por la recarga artificial

ÍNDICES DE GARANTÍA ABASTECIMIENTO SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS					
Garantía mensual	Nº Fallos	389	65	84	61
	G _m	36,4%	89,4%	86,3%	90,0%
Garantía volumétrica (G _v)		91,1%	97,0%	94,7%	92,1%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	1,25	0,71	0,85	0,68
	2 meses	2,41	1,23	1,59	1,17
Criterios PHN	Nº fallos	1.710	640	840	655
	Garantía	0,0%	82,4%	70,6%	86,3%
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 94. Cálculo de costes específicos en alta correspondientes a las diferentes simulaciones de gestión consideradas



^(a) Incluye los costes de la recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita

Figura 147. Costes del agua en el Sistema Quiebrajano-Víboras

ESCENARIOS DE SIMULACIÓN	Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano
Conexión subsistemas Víboras y Quiebrajano	NO	SI	SI	SI
ETAP Martos 165 l/s de capacidad	SI	NO	NO	NO
ETAP Martos 363 l/s de capacidad	NO	SI	SI	SI
Embalse del Víboras y canal Víboras-ETAP Martos	NO	SI	NO	SI
Sondeos del Víboras (capacidad de Bombeo 154 l/s)	SI	SI	SI	SI
Sondeos La Merced (capacidad de bombeo 200 l/s)	SI	SI	SI	SI
Impermeabilización del embalse del Quiebrajano	NO	NO	NO	SI
Caudales ecológicos críticos	SI	SI	SI	SI

Tabla 95. Resumen de las características de las simulaciones efectuadas mediante SIMGES

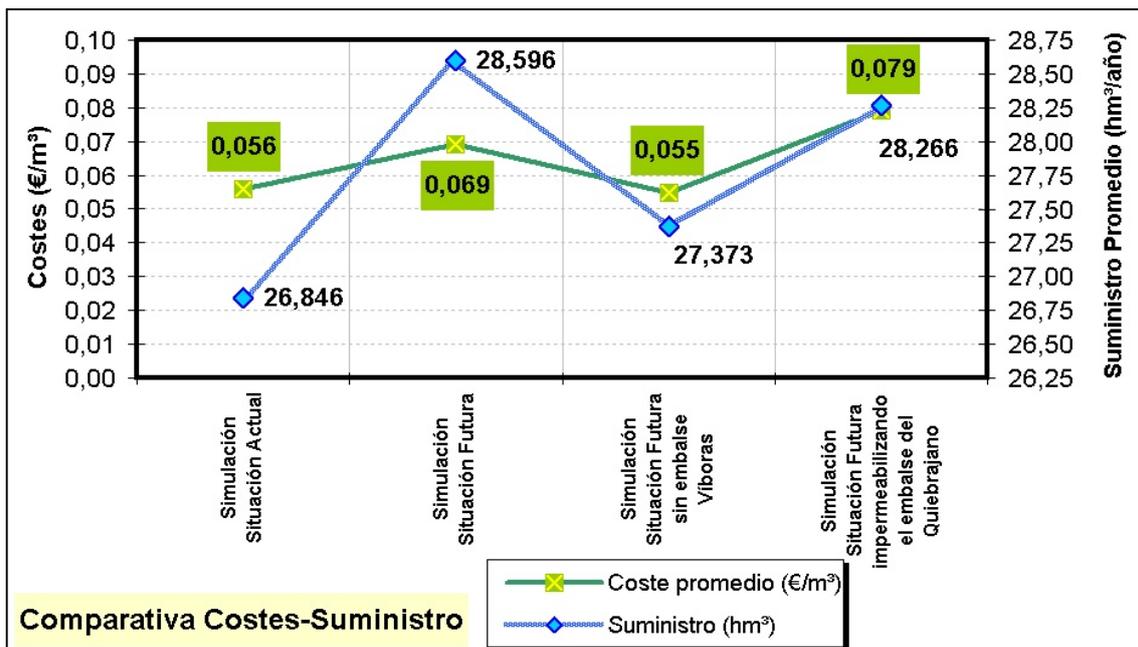


Figura 148. Comparativa costes-suministro para las simulaciones realizadas (en el suministro sólo se consideran el Canal del Quiebrajano y el canal de Martos-Emb. Víboras)

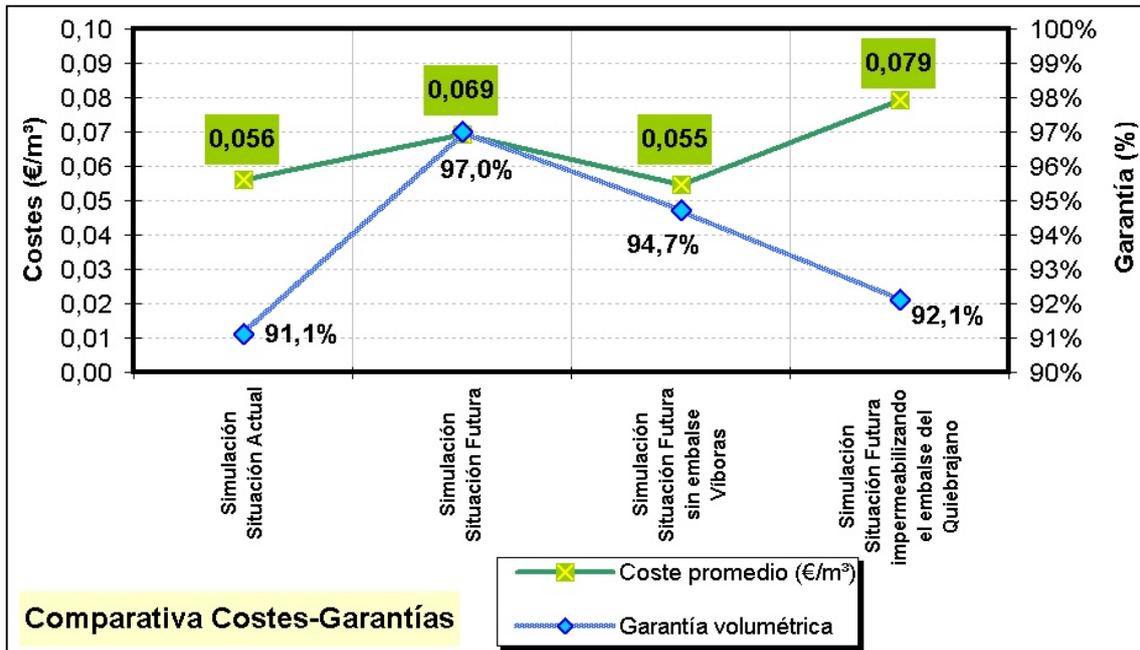


Figura 149. Comparativa costes-garantías volumétricas para las simulaciones realizadas (en el suministro sólo se consideran el Canal del Quebrajano y el canal de Martos-Emb. Víboras)

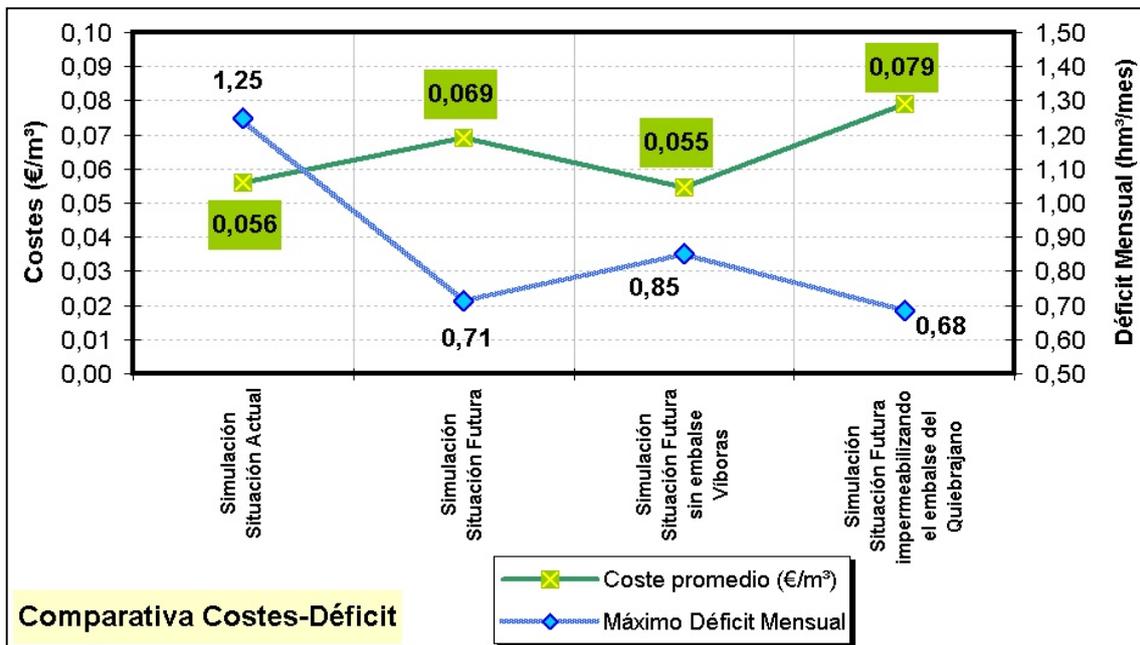


Figura 150. Comparativa costes-déficits para las simulaciones realizadas (en el suministro sólo se consideran el Canal del Quebrajano y el canal de Martos-Emb. Víboras)

ESCENARIOS DE SIMULACIÓN		Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano
<i>Conexión subsistemas Víboras y Quiebrajano</i>		NO	SI	SI	SI
<i>ETAP Martos 165 l/s de capacidad</i>		SI	NO	NO	NO
<i>ETAP Martos 363 l/s de capacidad</i>		NO	SI	SI	SI
<i>Embalse del Víboras y canal Víboras-ETAP Martos</i>		NO	SI	NO	SI
<i>Sondeos del Víboras (capacidad de Bombeo 154 l/s)</i>		SI	SI	SI	SI
<i>Sondeos La Merced (capacidad de bombeo 200 l/s)</i>		SI	SI	SI	SI
<i>Impermeabilización del embalse del Quiebrajano</i>		NO	NO	NO	SI
<i>Caudales ecológicos críticos</i>		SI	SI	SI	SI
GARANTÍA MENSUAL	Mancomunidad del Quiebrajano	87,3 %	89,4 %	86,8 %	90,2%
	Comarca de Martos	36,4 %	89,4 %	86,3 %	90,0%
	Regadíos	52,8 %	60,1 %	57,0 %	56,0%
	Caudales Ecológicos	87,4 %	83,2 %	83,0 %	83,0%
GARANTÍA VOLUMÉTRICA	Mancomunidad del Quiebrajano	95,3 %	99,4 %	98,7 %	99,5%
	Comarca de Martos	91,1 %	97,0 %	94,7 %	92,1%
	Regadíos	45,0 %	61,7 %	54,3 %	60,7%
	Caudales Ecológicos	97,8 %	97,4 %	97,1 %	97,2%
MÁXIMO DÉFICIT MENSUAL (hm ³)	Mancomunidad del Quiebrajano	0,923	0,352	0,417	0,312
	Comarca de Martos	0,326	0,361	0,433	0,372
	Regadíos	2,137	1,756	1,908	1,756
	Caudales Ecológicos	1,796	1,869	2,033	1,984
Coste promedio (€/m ³)		0,056	0,069	0,055	0,079

Tabla 96. Resumen de garantías y costes en alta

Utilizando los resultados de los índices de garantía ofrecidos por el modelo de uso conjunto para el abastecimiento urbano y los costes del agua en alta se han elaborado varios indicadores que permiten situar el escenario de gestión más propicio combinando ambos factores: la garantía en el suministro y la reducción en el coste del agua que se sirve para satisfacer la demanda urbana.

ESCENARIOS DE SIMULACIÓN (DEMANDAS URBANAS)	Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión y sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión e impermeabilizando el embalse del Quebrajano
Garantía mensual (G_m)	36,40%	89,40%	86,30%	90,00%
Garantía volumétrica (G_v)	91,10%	97,00%	94,70%	92,10%
Máximo Déficit mensual (MDM)	1,249	0,713	0,850	0,684
Coste del agua en alta ($\text{€}/\text{m}^3$) (C)	0,056	0,069	0,055	0,079
INDICADORES COSTE-GARANTÍA				
Coste mínimo del agua (C_{\min})		0,05	$\text{€}/\text{m}^3$	
Garantía mensual máxima ($G_{m-\max}$)		95,00%		
Garantía volumétrica máxima ($G_{v-\max}$)		99,50%		
Índice Coste-Garantía mensual (C/G_m)	0,1538	0,0772	0,0637	0,0878
Índice Coste-Garantía volumétrica (C/G_v)	0,0615	0,0711	0,0581	0,0858
Índice Coste-Máx. Déficit Mensual ($C \cdot \text{MDM}$)	0,0699	0,0492	0,0468	0,0540
Índice relativo Coste-Garantía mensual ($(C - C_{\min}) \cdot (G_{m,\max} - G_m)$)	0,352	0,106	0,044	0,145
Índice relativo Coste-Garantía volumétrica ($(C - C_{\min}) \cdot (G_{v,\max} - G_v)$)	0,050	0,048	0,024	0,215

Tabla 97. *Indicadores coste-garantía calculados para las demandas urbanas (abastecimiento a núcleos urbanos)*

Los indicadores construidos corresponden a la siguiente combinación de parámetros:

- Índice coste-garantía mensual (C/G_m), corresponde al cociente entre el coste unitario del agua (C en $\text{€}/\text{m}^3$) y el índice de garantía mensual (G_m).
- Índice coste-garantía volumétrica (C/G_v), corresponde al cociente entre el coste unitario del agua (C en $\text{€}/\text{m}^3$) y el índice de garantía volumétrica (G_v).

El objetivo de la gestión consistiría en minimizar estos indicadores, bien como consecuencia de una disminución de los costes o bien por un aumento de la garantía, o ambas situaciones al unísono. Calculando estos indicadores para los escenarios de simulación considerados, se obtiene que toman un valor mínimo en el caso de la simulación CON conexión pero sin utilizar el embalse

del Víboras, aportando al Canal de Martos, además de las aguas drenadas por los acuíferos del Alto Víboras, los bombeos en el acuífero Gracia-Morenita.

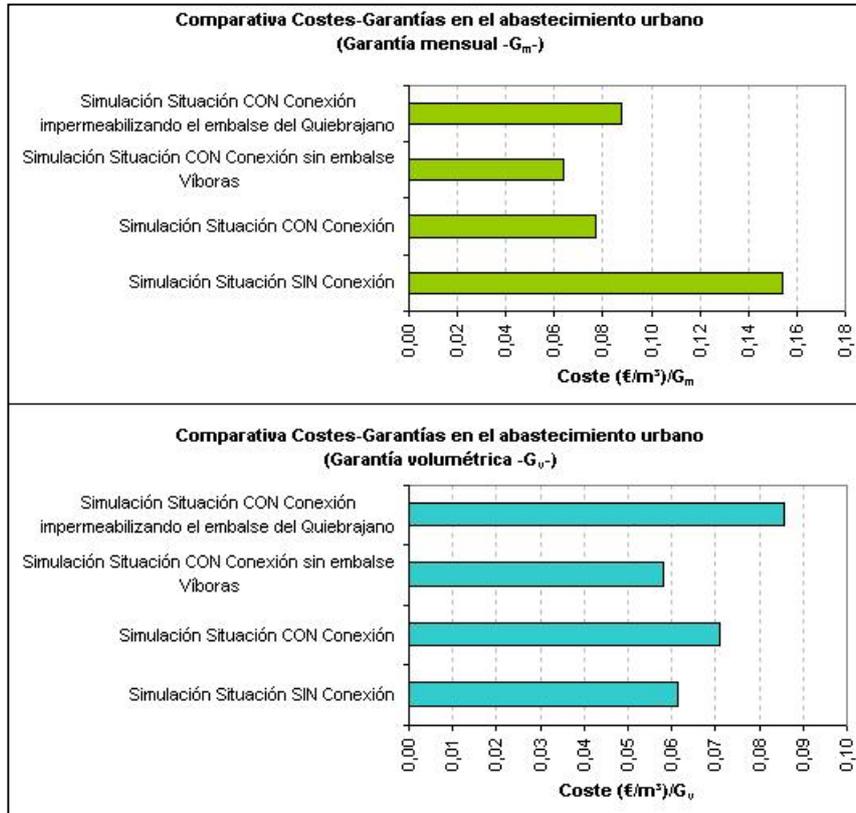


Figura 151. Indicadores garantía-costes

- Índice coste-máximo déficit mensual (C*MDM), corresponde al producto entre el coste unitario del agua (C en e/m³) y el máximo déficit mensual (MDM) calculado mediante el modelo de uso conjunto.

El objetivo de la gestión consistiría en minimizar este indicador, bien como consecuencia de una disminución de los costes o bien por una disminución del máximo déficit mensual, o ambas situaciones al unísono. Calculando este indicador para los escenarios de simulación considerados, se obtiene que toman un valor mínimo en el caso de la simulación CON conexión pero sin utilizar el embalse del Víboras, aportando al Canal de Martos, además de las aguas drenadas por los acuíferos del Alto Víboras, los bombeos en el acuífero Gracia-Morenita.

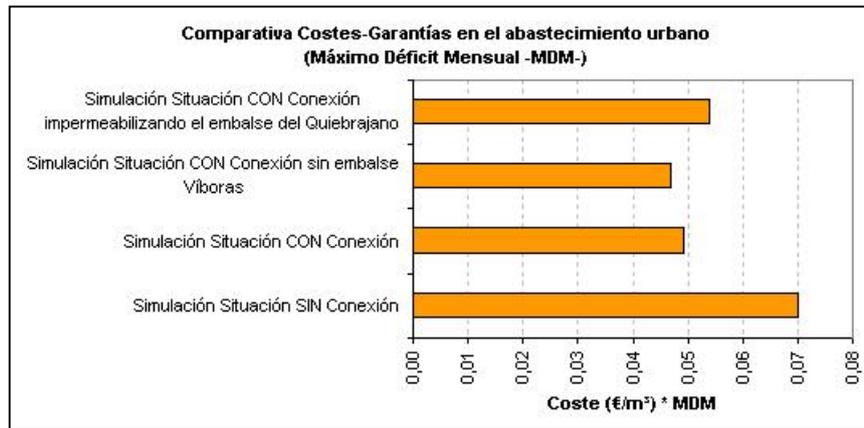


Figura 152. Indicador déficit-costes

- Índice relativo coste-garantía mensual, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$(C - C_{\min}) \cdot (G_{m,\max} - G_m)$$

donde:

C , coste unitario del agua (€/m³) para el escenario de simulación considerado.

C_{\min} , coste unitario del agua mínimo (€/m³) para el conjunto de escenarios de simulación analizados.

G_m , garantía mensual para el escenario de simulación considerado.

$G_{m,\max}$, garantía mensual máxima para el conjunto de escenarios de simulación analizados.

- Índice relativo coste-garantía volumétrica, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$(C - C_{\min}) \cdot (G_{v,\max} - G_v)$$

donde:

C , coste unitario del agua (€/m³) para el escenario de simulación considerado.

C_{\min} , coste unitario del agua mínimo (€/m³) para el conjunto de escenarios de simulación analizados.

G_v , garantía mensual para el escenario de simulación considerado.

$G_{v,\max}$, garantía mensual máxima para el conjunto de escenarios de simulación analizados.

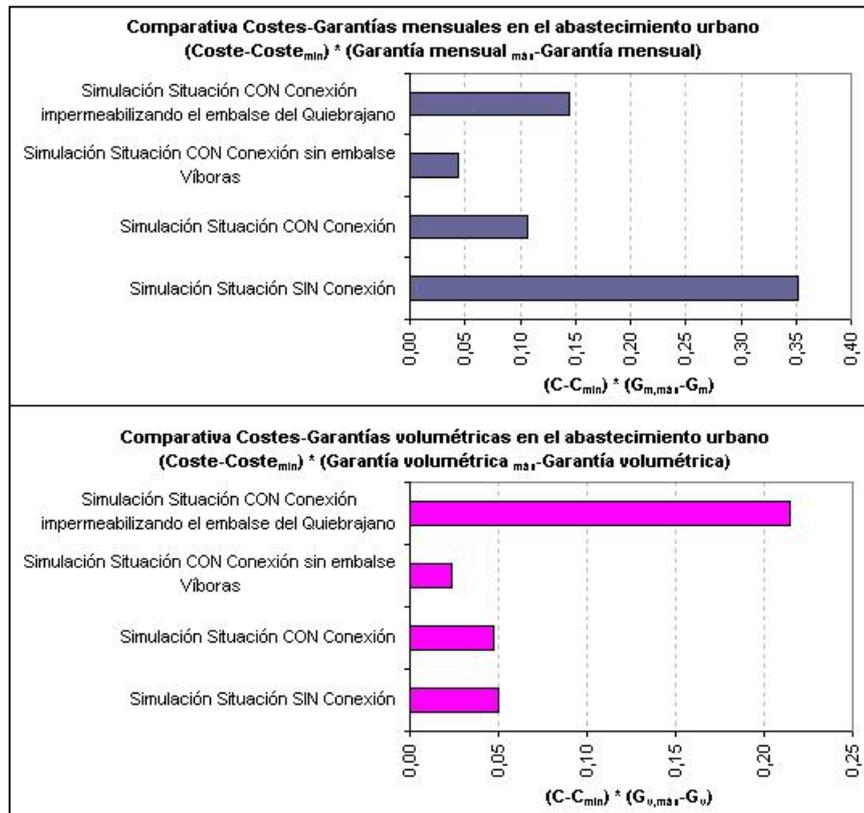


Figura 153. Indicadores relativa garantía-costes

El objetivo de la gestión consistiría en minimizar estos indicadores, bien como consecuencia de una disminución de los costes o bien por un aumento de la garantía, o ambas situaciones al unísono. Calculando estos indicadores para los escenarios de simulación considerados, se obtiene que toman un valor mínimo en el caso de la simulación CON conexión pero sin utilizar el embalse del Víboras, aportando al Canal de Martos, además de las aguas drenadas por los acuíferos del Alto Víboras, los bombeos en el acuífero Gracia-Morenita.

Se ha valorado el escenario de simulación CON conexión, considerando la puesta en funcionamiento de los sondeos tipo SER como un sistema de regulación del embalse subterráneo para uso ecológico. Para este escenario el coste del agua se fijaría en 0,071 €/m³, lo que constituye un incremento de 0,0018 /m³ respecto a la simulación CON conexión pero sin sondeos tipo SER.

Fuentes de Suministro Abastecimiento Urbano Sistema Quiebrajano-Víboras	Tarifas en alta (€/m ³)	Simulación Situación Sin Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión y sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión e impermeabilizando el embalse del Quiebrajano	Simulación Situación CON Conexión y con SONDEOS SER
Embalse Quiebrajano	0,105	5,220	5,280	5,530	8,600	5,290
Sondeos La Merced	0,108	0,818	0,734	0,812	0,710	0,733
Elevaciones de Mingo	0,042	8,530	9,060	8,690	5,450	9,080
Fuentes de Martos	0,108	4,710	5,290	5,410	5,170	5,210
Canal Los Villares	0,045	2,500	2,380	2,430	2,150	2,390
Sondeos abto. Jaén	0,090	0,431	0,246	0,295	0,383	0,249
Sondeos abto. Comarca de Martos y Bajo Víboras	0,080	1,207	0,833	0,886	0,867	0,833
Captación manantiales para abastecimiento a Los Villares y núcleos de la cuenca del Víboras	0,025	2,187	2,177	2,147	2,097	2,167
Embalse del Víboras	0,340	0,000	1,620	0,000	1,690	1,630
Sondeos Gracia-Morenita (a)	0,212	1,243	0,977	1,172	1,150	1,132
Sondeos SER Cornicabra-Noguerones	0,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,593
Suma (hm ³)		26,846	28,596	27,373	28,266	29,307
Suministro abastecimiento urbano (hm ³)		26,846	28,596	27,373	28,266	28,714
Coste promedio (€/m ³)		0,056	0,069	0,055	0,079	0,071
GARANTÍA ABASTECIMIENTO URBANO						
Garantía mensual	Nº Fallos	389	65	84	61	64
	G _m	36,4%	89,4%	86,3%	90,0%	89,5%
	G _v	91,1%	97,0%	94,7%	92,1%	97,0%
MDM	1 mes	1,249	0,713	0,850	0,684	0,724
	2 meses	2,406	1,229	1,588	1,168	1,245
GARANTÍA ECOLÓGICA SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS						
	G _m	87,4%	83,2%	83,0%	83,0%	89,7%
	G _v	97,8%	97,4%	97,1%	97,2%	98,7%
	MDM	1,796	1,869	2,033	1,984	1,489
GARANTÍA ECOLÓGICA RÍO GRANDE (ALTO VÍBORAS)						
	G _m	88,6%	83,2%	66,3%	83,0%	96,6%
	G _v	97,5%	96,0%	89,1%	95,9%	99,1%
	MDM	1,056	1,162	1,449	1,172	0,783

Tabla 98. Cálculo de costes específicos en alta correspondientes a las diferentes simulaciones de gestión consideradas, incluyendo los sondeos ecológicos de regulación (tipo SER).

Escenarios de Simulación	Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión Impermeabilizando el embalse del Quebrajano	Simulación Situación CON Conexión y con SONDEOS SER
Garantía mensual (G_m)	36,40%	89,40%	86,30%	90,00%	89,50%
Garantía volumétrica (G_v)	91,10%	97,00%	94,70%	92,10%	96,98%
Máximo Déficit mensual (MDM)	1,249	0,713	0,850	0,684	0,724
Coste del agua en alta (€/m^3) (C)	0,056	0,069	0,055	0,079	0,071
Coste mínimo del agua (C_{\min})		0,05	€/m^3		
Garantía mensual máxima ($G_{m-\max}$)		95,00%			
Garantía volumétrica máxima ($G_{v-\max}$)		99,50%			
INDICADORES COSTE-GARANTÍA					
Índice Coste-Garantía mensual (C/G_m)	0,1538	0,0772	0,0637	0,0878	0,0793
Índice Coste-Garantía volumétrica (C/G_v)	0,0615	0,0711	0,0581	0,0858	0,0732
Índice Coste-Máx. Déficit Mensual ($C \cdot \text{MDM}$)	0,0699	0,0492	0,0468	0,0540	0,0514
Índice relativo Coste-Garantía mensual ($(C-C_{\min}) \cdot (G_{m,\max}-G_m)$)	0,352	0,106	0,044	0,145	0,115
Índice relativo Coste-Garantía volumétrica ($(C-C_{\min}) \cdot (G_{v,\max}-G_v)$)	0,050	0,048	0,024	0,215	0,053

Tabla 99. *Indicadores coste-garantía calculados para las demandas urbanas (abastecimiento a núcleos urbanos), considerando sondeos tipo SER*

11. RESUMEN y CONCLUSIONES

11.1 RESUMEN DEL ESTUDIO

La realización del estudio “UTILIZACIÓN CONJUNTA PARA ABASTECIMIENTO URBANO DE LOS RECURSOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS DE LOS ACUÍFEROS RELACIONADOS CON EL ABASTECIMIENTO DEL CONJUNTO QUIEBRAJANO-VÍBORAS” ha permitido analizar las **alternativas de uso conjunto** de los recursos superficiales y subterráneos que presenta el Sistema Quebrajano-Víboras e incorporar **criterios de gestión de recursos hídricos fundamentados en la protección medioambiental de cauces y en el coste del agua suministrada.**

El presente estudio surge del Convenio de Colaboración que, en materia de recursos hídricos, mantienen el **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)** y el **Instituto del Agua de Andalucía** (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía), con el objetivo de profundizar en el conocimiento de los recursos hídricos asociados al ámbito geográfico de la Comunidad Autónoma de Andalucía y toma como antecedente el Programa Estatal del Ministerio de Medio Ambiente para la integración de los acuíferos en los sistemas de explotación, donde se recogía el interés de analizar los sistemas de la Comarca de Jaén y la Mancomunidad del Víboras, dentro de los cuáles se incluye el Sistema Quebrajano-Víboras analizado.

11.1.1 Metodología de Trabajo

El desarrollo metodológico empleado en la realización del presente estudio se inspira en el procedimiento general que normalmente se utiliza en los estudios de uso conjunto. Así, se han llevado a cabo una serie de trabajos parciales concatenados que pueden concretarse en los siguientes apartados:

- Cálculo de las aportaciones (superficiales y subterráneas) en régimen natural que registra el sistema.
- Caracterización de las infraestructuras hidráulicas referidas tanto al almacenamiento superficial (embalses) como al subterráneo (acuíferos) y a las infraestructuras de conexión entre elementos.

- Análisis de las posibilidades de utilización de recursos no convencionales (aguas depuradas).
- Cuantificación de las demandas consuntivas y no consuntivas.
- Construcción de una herramienta de decisión para la optimización de la gestión hídrica (**modelo de uso conjunto**).
- Simulación sobre dicha herramienta de las alternativas de gestión y cálculo de los índices de garantía.

A este planteamiento metodológico tradicional en estudios de uso conjunto se ha sumado la consideración de criterios ambientales estrictos que han permitido cuantificar el régimen ambiental de caudales a respetar en la explotación del sistema y fijar, así, cuáles son los recursos hídricos realmente disponibles que se pueden destinar para usos consuntivos y no consuntivos. También se han incluido tentativamente criterios económicos en el análisis de la gestión conjunta, considerando aspectos relacionados con el coste del agua en alta.

En relación a la protección de cauces sensibles se han seleccionado como zonas de interés hidroecológico las siguientes:

- Cañones de Mingo (río Frío), antes de la confluencia con el río Quiebrajano (regulado por el embalse del Quiebrajano).
- Alto Víboras (río Grande), aguas arriba del embalse del Víboras.
- Nacimiento del río San Juan, descarga natural del acuífero Gracia-Morenita.

Estos cursos fluviales corresponden a hábitats natural tipo "*ríos mediterráneos de caudal permanente con *Glaucium flavum**", incluidos en la clasificación de "*aguas corrientes-tramos de cursos de agua con dinámica natural y semi-natural (lechos menores, medios y mayores), en los que la calidad del agua no presenta alteraciones significativas*" del listado de hábitats de interés comunitario en la provincia de Jaén, que ha concretado la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, y que presentan como característica común la importante aportación de aguas subterráneas procedentes de la descarga natural de acuíferos (manantiales y surgencias).

El régimen de caudales ambientales o ecológicos fijados para estos cauces han sido evaluados mediante el método IFIM, que analiza las variaciones del hábitat con el caudal y las preferencias de la fauna por ese hábitat, fijando los caudales mínimos (caudales críticos) que es necesario respetar para mantener en los cauces las condiciones de habitabilidad que aseguren el desarrollo adecuado de la fauna piscícola.

11.1.2 Descripción del Sistema

El Sistema Quiebrajano-Víboras¹⁶ constituye uno de los entramados de satisfacción de demandas hídricas más importante de la provincia de Jaén y uno de los más significativos de la Comunidad Autónoma Andaluza, tanto por el volumen anual de demanda consuntiva satisfecho (40,29 hm³) como por el número de municipios (21 municipios) y número de habitantes a los que abastece (221.000 habitantes).



Figura 154. Ubicación geográfica de los municipios abastecidos desde el Sistema Quiebrajano-Víboras

¹⁶ Incluyendo los municipios de la zona que disponen de sistemas de abastecimiento independientes (Valdepeñas de Jaén, Los Villares, Fuensanta de Martos y Alcaudete)

Este sistema se compone de dos subsistemas que hasta fechas muy recientes (primeros meses de 2004) han funcionado de forma independiente: **Mancomunidad del Quiebrajano**, que abastece a la ciudad de Jaén y a municipios de la campiña de Jaén y Córdoba (Fuerte del Rey, Villadompardo, Escañuela, Arjona, Arjonilla, La Higuera, Porcuna, Lopera, Higuera de Calatrava, Santiago de Calatrava, Cañete de las Torres y Valenzuela); y el abastecimiento de la **Comarca de Martos**, que incluye los municipios de Martos, Torredelcampo, Torredonjimendo y Jamilena.

El sistema de explotación Quiebrajano-Víboras ha sufrido en las últimas 3 décadas una significativa evolución en sus infraestructuras hidráulicas provocada por la necesidad de sostener, fundamentalmente, el abastecimiento urbano del conjunto de municipios que constituyen la Mancomunidad del Quiebrajano y los asociados a la Comarca de Martos. Por otra parte, es de resaltar el importante aumento que ha registrado la demanda agrícola como consecuencia de la transformación en regadío, mediante iniciativa privada, que han sufrido amplias zonas de olivares, lo que ha originado un notable aumento de la demanda total dependiente del sistema, que ha sido solventada mediante la captación de aguas subterráneas y la re-utilización de recursos no convencionales (aguas residuales depuradas y sin depurar).

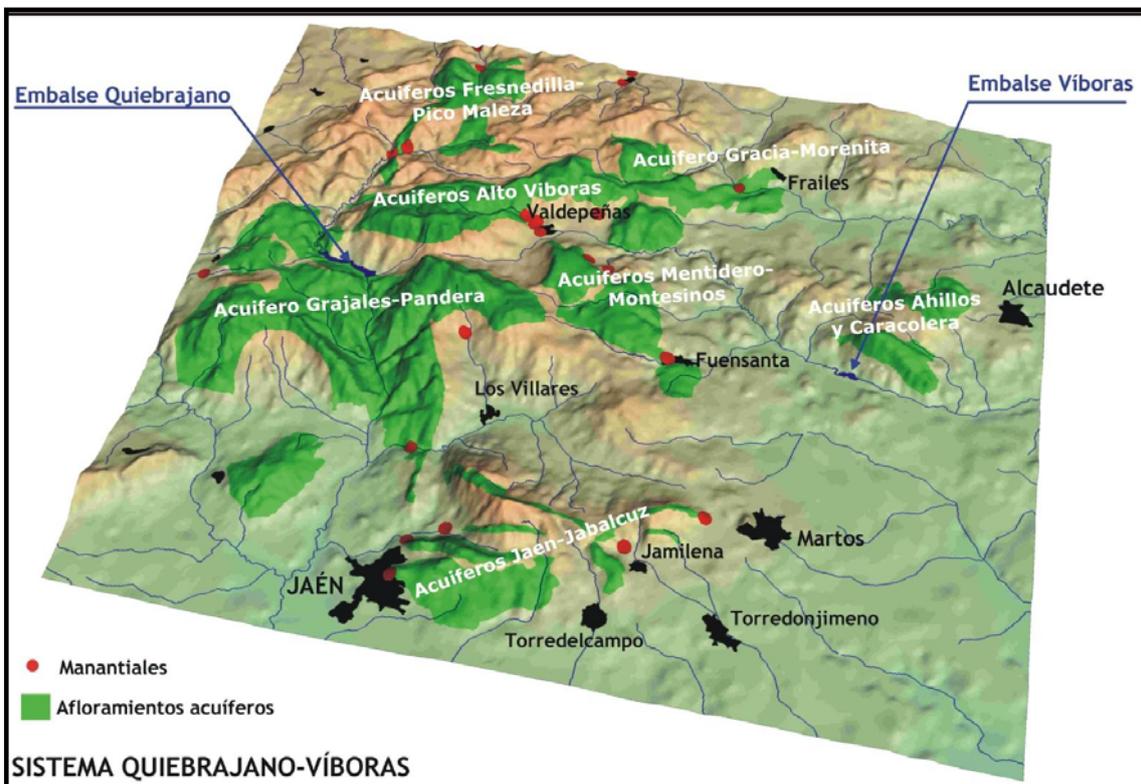


Figura 155. *Panorámica tridimensional del Sistema Quiebrajano-Víboras*

Tradicionalmente el abastecimiento a Jaén capital se efectuaba con recursos subterráneos procedentes del manantial de río Frío (de donde también se abastece el municipio de Los Villares) y de captaciones de aguas subterráneas en el acuífero Castillo-La Ímora (sondeos de Santa Catalina y El Tomillo) y en menor medida de los manantiales de Mingo y de los sondeos de Peñas de Castro. La puesta en funcionamiento del embalse del Quiebrajano (año 1976) y de las elevaciones de Mingo (que captan los drenajes naturales del acuífero Grajales) supuso una importante inyección de recursos para el abastecimiento urbano a Jaén, desarrollándose las infraestructuras de conducción, potabilización y regulación que permitieron mejorar el abastecimiento a la capital y abastecer a los núcleos de la campiña de Jaén y Córdoba adscritos a la MANCOMUNIDAD DEL QUIEBRAJANO (Fuerte del Rey, Villadompardo, Escañuela, Arjona, Arjonilla, La Higuera, Porcuna, Lopera, Higuera de Calatrava, Santiago de Calatrava, Cañete de las Torres y Valenzuela).

El abastecimiento a los núcleos de la COMARCA DE MARTOS (Martos, Torredonjimeno, Torredelcampo y Jamilena) y algunos pueblos aislados (Valdepeñas de Jaén, Fuensanta de Martos y Alcaudete) se ha solventado utilizando los recursos subterráneos asociados a los acuíferos de la cabecera del Víboras (Fuentes de Martos) y de la unidad hidrogeológica de Jabalcuz, mediante el aprovechamiento de manantiales o la captación de aguas subterráneas mediante sondeos. La deficiencia de las infraestructuras hidráulicas de captación, conducción y potabilización, junto a la limitada cuantía de los recursos renovables de los acuíferos de la unidad Jabalcuz (2,70 hm³/a de promedio) originaba una situación de déficit coyuntural en el abastecimiento urbano en los periodos más secos, siendo habitual las restricciones en estos municipios en las épocas veraniegas.

Este esquema de aprovechamiento combinado de recursos superficiales y subterráneos ha servido para satisfacer la demanda a los núcleos de la Comarca de Martos y de la Mancomunidad del Quiebrajano bajo unos índices de garantía que no podrían catalogarse de satisfactorios a la luz de las situaciones coyunturales de escasez, las cuales se vieron seriamente agravadas durante el periodo de sequía asociado a los años 1992-1995, situación que exigió la ejecución de actuaciones inmediatas para sostener el abastecimiento urbano mediante la ejecución de obras de emergencia (sondeos del Víboras -acuífero Gracia-Morenita- para abastecimiento a

la Comarca de Martos y sondeos de La Merced -acuífero Grajales- para el abastecimiento a la Mancomunidad del Quiebrajano).

A raíz de la situación acaecida durante el periodo de sequía 1992-1995 se han construido nuevas infraestructuras de regulación, conducción y potabilización, dando cumplimiento al Real Decreto-Ley 9/1998 de 28 de agosto (obras hidráulicas de interés general) que bajo el título "Interconexión de los subsistemas del Víboras y Quiebrajano" han acometido el Ministerio de Medio y la Sociedad Estatal AQUAVIR. Estas actuaciones ya realizadas y en funcionamiento se resumen en los siguientes apartados:

- 1) Construcción del embalse del Víboras, con una capacidad de almacenamiento de 19,11 hm³.
- 2) Conexión entre los subsistemas de explotación Víboras y Quiebrajano mediante una conducción reversible, por lo que actualmente es factible el aporte de agua del subsistema Quiebrajano al subsistema Víboras y viceversa.
- 3) Incremento de la capacidad de potabilización de la ETAP de Martos (pasando de 160 l/s a 363 l/s) y disponiendo los elementos de desalinización necesarios para adecuar la calidad que presentan las aguas del embalse del Víboras (el vaso del embalse y parte de la cuenca de recepción se encuentran asociadas a formaciones salíferas -sulfatos-).
- 4) Conexión del embalse del Víboras con la ETAP de Martos, mediante la construcción de un sistema de bombeo aguas abajo del embalse de 190 m de altura de elevación, depósito de regulación intermedio (Cerro Quemado) y conducciones.
- 5) Mejora de la conducción del embalse del Quiebrajano hasta la ETAP de Jaén, disponiendo una nueva conducción con capacidad de transporte de 580 l/s que permite conducir a la ETAP de Jaén los recursos regulados en el embalse del Quiebrajano y los bombeados en los sondeos de La Merced y en las captaciones de Mingo II y III.

Además de estas actuaciones concretas, el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir está analizando la posibilidad de limitar las filtraciones que presenta el embalse del Quiebrajano a través de su vaso. Estas filtraciones constituyen una recarga artificial no programada

del acuífero Grajales, cuya surgencia natural más importante (manantiales de Mingo), es captado para el abastecimiento a la Mancomunidad del Quiebrajano.

Estas actuaciones han dotado al Sistema Quiebrajano-Víboras de una mayor robustez en el aspecto de regulación, por cuanto se ha incrementado notablemente la capacidad de regulación, soslayando el problema asociado a la irregularidad de las aportaciones, y una notable diversificación en las posibilidades de gestión de los recursos hídricos, ya que permiten conectar los subsistemas Mancomunidad del Quiebrajano y Comarca de Martos mediante conducciones reversibles.

11.1.3 Componentes hidrológicos del Sistema. Recursos

El Sistema Quiebrajano-Víboras se caracteriza por unas aportaciones de acusada estacionalidad anual e hiperanual. La restitución al régimen natural de las cuencas objeto de análisis se ha realizado aplicando el modelo precipitación-escorrentía de Temez, partiendo de datos fisiográficos de las subcuencas analizadas y de datos hidrometeorológicos. Los modelos precipitación-escorrentía han sido calibrados utilizando las estaciones de aforos de la CH Guadalquivir y los datos de aportaciones al embalse del Quiebrajano.

La cuenca de recepción del sistema Quiebrajano-Víboras analizada presenta una extensión superficial de 611 km², que corresponde a la suma de las cuencas vertientes de la estación de aforos E-84 (río Jaén) en el subsistema Quiebrajano, de 322 km² de extensión; y de la estación de aforos la E-82 (Venta Pantalones) en el subsistema Víboras, con 289 km² de cuenca vertiente.

La cuenca del río Jaén se conforma por la suma de las cuencas vertientes de los ríos Quiebrajano y Frio, los cuales confluyen al sureste de la ciudad de Jaén, originando el río Jaén. Esta subcuenca se encuentra parcialmente regulada por el embalse del Quiebrajano, el cual dispone de una cuenca vertiente de 97,2 km². La aportación media que recibe el embalse se fija en 15,66 hm³/a, lo que implica una aportación específica de 161 l/m². El río Quiebrajano, hasta su confluencia con el río Frio, presenta una cuenca vertiente de 171,3 km², con una aportación media de 26,45 hm³/a. El río Frío, que dispone de una cuenca vertiente de 99,5 km² presenta

una aportación media anual de 30,31 hm³, incluyendo la descarga del acuífero de Grajales a través de los manantiales de Mingo, evaluada en 19,40 hm³/a de promedio, si bien, el acuífero de Grajales ubica la mayor parte de sus afloramientos permeables en la subcuenca del río Quiebrajano.

Considerando ambas subcuencas, la cuenca vertiente del río Jaén hasta la estación de aforos nº84 de la CHGuadalquivir, que incluye las subcuencas de los ríos Frío y Quiebrajano, presenta una cuenca de recepción de 293,4 km², con una aportación media anual en régimen natural de 56,77 hm³/a, lo que supone una aportación específica promedio anual de 193 l/m².

La cuenca del río Víboras considerada en el Sistema Quiebrajano-Víboras abarca hasta la estación de aforos nº82 de la CHGuadalquivir (Venta Pantalones), lo que implica una cuenca vertiente de 214,3 km² y una aportación media de 47,84 hm³/a. Dentro de esta cuenca se ubica el embalse del Víboras, que presenta una cuenca de recepción de 182,9 km² con una aportación media de 46,16 hm³/a (aportación específica de 252 l/m²).

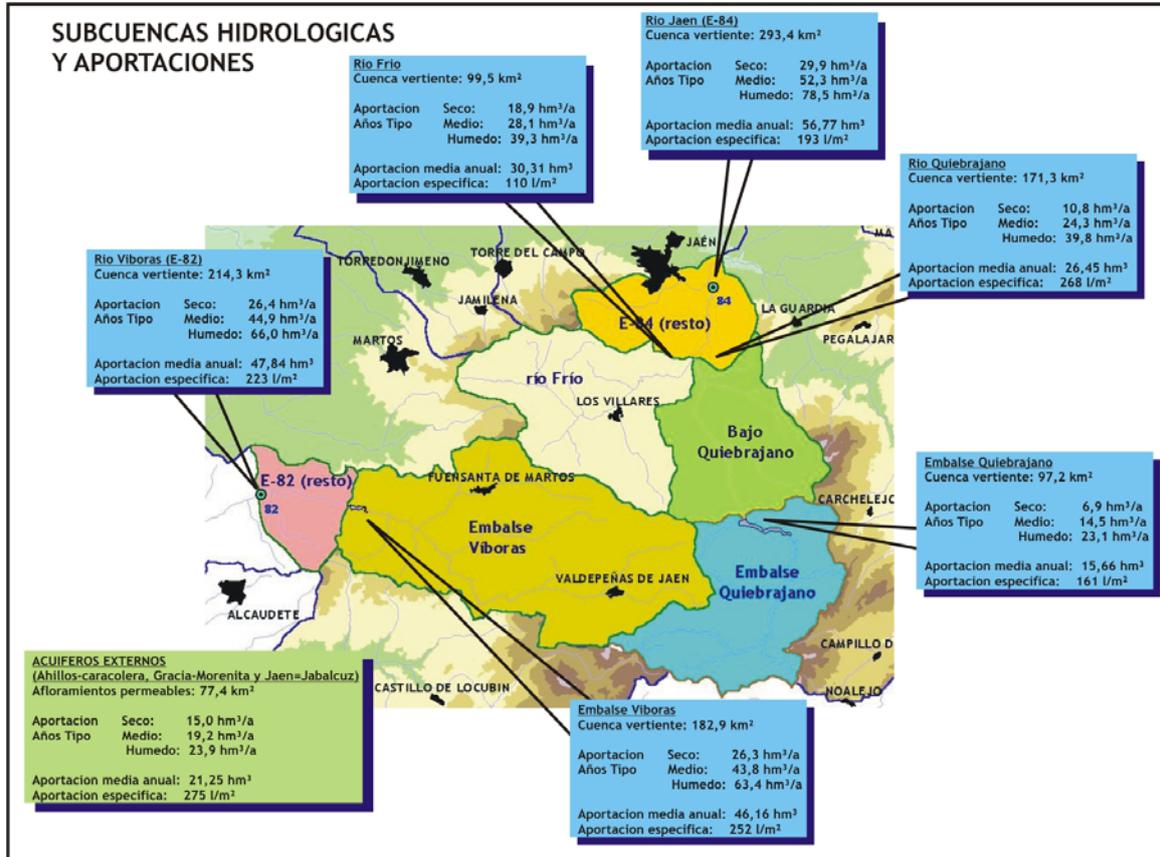


Figura 156. Cuenas vertientes del Sistema Quiebrajano-Víboras

Además de las subcuencas de los ríos Jaén y Víboras, el sistema hidrológico asociado al Sistema Quiebrajano-Víboras incluye los acuíferos de Ahillos-Caracolera, Gracia-Morenita y Jaén-Jabalruz (Acuíferos Externos), los cuales descargan su escorrentía subterránea hacia cauces exteriores, pero cuyos recursos subterráneos son total o parcialmente captados para satisfacer demandas del Sistema Quiebrajano-Víboras. Estos acuíferos periféricos poseen una superficie aflorante de 77,4 km² y resgistran una escorrentía subterránea media anual de 21,25 hm³ (aportación específica de 275 l/m²).

SUBCUENCAS	APORTACIÓN RÉGIMEN NATURAL (hm ³ /año)			
	AÑOS TIPO			PROMEDIO
	SECO	MEDIO	HÚMEDO	
Emb. Quiebrajano	6,9	14,5	23,1	15,66
Río Quiebrajano	10,8	24,3	39,8	26,45
Río Frío (a)	18,9	28,1	39,3	30,31
Río Jaén (E-84)	29,9	52,3	78,5	56,77
Emb. Víboras	26,3	43,8	63,4	46,16
Río Víboras (E-82)	26,4	44,9	66	47,84
Subcuencas río Jaén (E-84) y Víboras (E-82)	56,8	97,6	144,8	104,61
Acuíferos Periféricos (b)	15,0	19,2	23,9	21,25
Sistema Quiebrajano-Víboras	71,3	116,4	168,4	125,86
(a)	Las descargas de Mingo, aunque se asocian al acuífero de Grajales que se ubica en la subcuenca del río Quiebrajano, se desarrollan en el curso bajo del río Frío			
(b)	Se incluyen los recursos subterráneos asociados a los acuíferos Ahillos-Caracolera, Gracia-Morenita y Jaén-Jabalruz			

SUBCUENCAS	Cuenca vertiente (km ²)	APORTACIÓN ESPECÍFICA (l/m ²)			
		AÑOS TIPO			PROMEDIO
		SECO	MEDIO	HÚMEDO	
Emb. Quiebrajano	97,2	71	149	238	161
Río Quiebrajano (c)	171,3	152	252	366	268
Río Frío	99,5	38	92	163	110
Río Jaén (E-84)	293,4	102	178	268	193
Emb. Víboras	182,9	144	240	347	252
Río Víboras (E-82)	214,3	123	210	308	223
Subcuencas ríos Jaén y Víboras	507,7	111	191	285	206
Acuíferos Periféricos	77,4	194	248	309	275
Sistema Quiebrajano-Víboras	585,1	122	199	288	215
(c)	Para el cálculo de la aportación específica se incluyen en el río Quiebrajano la aportación de los manantiales de Mingo (acuífero de Grajales): Años Tipo Seco -14,8 hm ³ /a-; Medio -28,7 hm ³ /a-; Húmedo -23,3 hm ³ /a; y aportación promedio anual de 19,40 hm ³ .				

Figura 157. *Aportaciones y aportaciones específicas en el Sistema Quiebrajano-Víboras para el régimen natural*

Por tanto, la aportación específica promedio del sistema Quiebrajano-Víboras es de 206 mm, lo que implica una aportación promedio de 125,86 hm³, con una oscilación de entre 28,18 hm³/a a 281,00 hm³ para el periodo analizado (1951-2002). Para el año tipo seco la aportación que registra el sistema es de 71,3 hm³/a, para el año tipo medio es de 116,4 hm³ y para el año tipo húmedo 168,4 hm³.

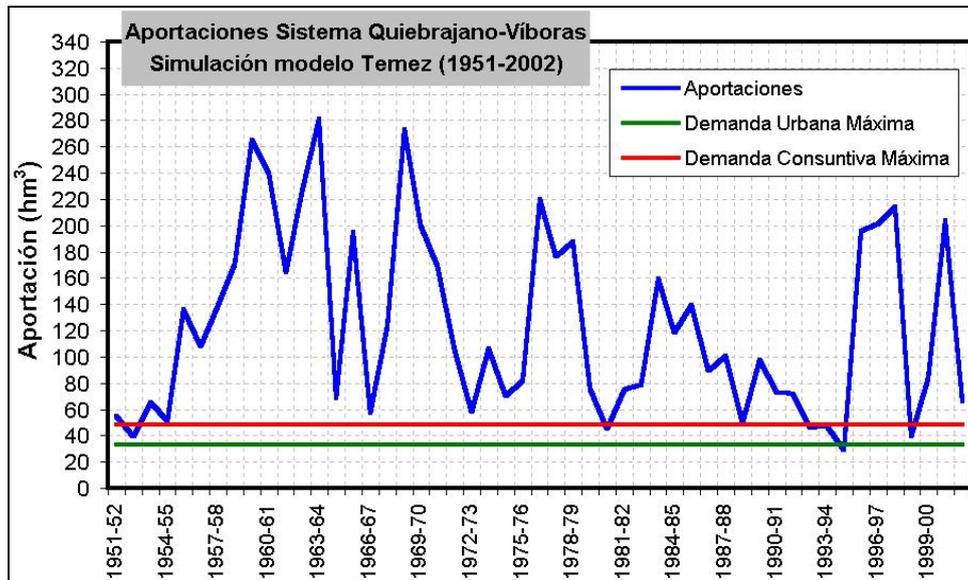


Figura 158. Comparación de las aportaciones anuales (serie obtenida mediante simulación) y las demandas máximas registradas en el Sistema Quiebrajano-Víboras

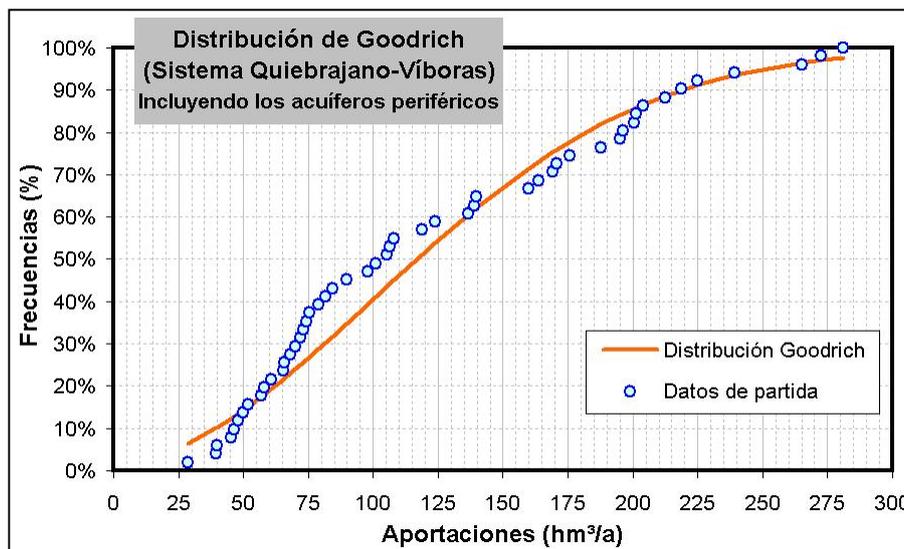


Figura 159. Ajuste de Goodrich para las aportaciones del Sistema Quiebrajano-Víboras (subcuencas estaciones de aforos E-82 y E-84)

11.1.4 Fuentes de Suministro e Infraestructuras Hidráulicas

El Sistema Quiebrajano-Víboras comprende dos subsistemas que han registrado un funcionamiento independiente hasta la implantación de las nuevas infraestructuras de conexión de ambos subsistemas ejecutadas por AQUAVIR. Anteriormente a la conexión de ambos subsistemas, éstos presentaban un funcionamiento independiente, resolviendo los problemas de déficit asociados a los periodos secos mediante la captación de aguas subterráneas. De hecho, las infraestructuras de captación de aguas subterráneas más importantes de que dispone el sistema en la actualidad fueron realizadas mediante obras de emergencias tras la sequía del periodo 1993-1995 (sondeos de La Merced -200 l/s -).

Posteriormente, se ha mejorado la regulación del subsistema Víboras mediante la construcción del embalse del Víboras (19 hm³ de capacidad) y de los sondeos de Gracia-Morenita (150 l/s de capacidad de bombeo) y las instalaciones de recarga artificial asociadas (con capacidad para inyectar 80 l/s al acuífero Gracia-Morenita).

A continuación se resumen las principales características de estos subsistemas:

- Mancomunidad del Quiebrajano, del que dependen el abastecimiento a la ciudad de Jaén y una serie de municipios de la campiña de Jaén y Córdoba (Fuerte del Rey, Villadompardo, Escañuela, Arjona, Arjonilla, La Higuera, Porcuna, Lopera, Higuera de Calatrava, Santiago de Calatrava, Cañete de las Torres y Valenzuela), que presenta como fuentes de suministro el embalse del Quiebrajano, las captaciones de Mingo (suma de la descarga natural del acuífero Grajales y excedentes en la escorrentía del río Frío), las captaciones en el nacimiento del río Frío (Canal de Los Villares) y los sondeos que captan los acuíferos de Grajales (La Merced y Peñas de Castro) y Castillo-La Ímora (sondeos de Santa Catalina-El Tomillo).
- Comarca de Martos, del que depende el abastecimiento a los municipios de Martos, Torredelcampo, Torredonjimeno y Jamilena, que toma sus recursos de

las Fuentes de Martos, del embalse del Víboras, de los sondeos del Víboras (acuífero Gracia-Morenita) y las captaciones existentes en los acuíferos de Jabalcúz (manantiales, sondeos y galerías).

El sistema Quiebrajano-Víboras incluye, además de los subsistemas presentados, el abastecimiento a una serie de municipios aislados (Los Villares, Valdepeñas de Jaén, Fuensanta de Martos y Alcaudete), el suministro de unas 4.109 ha de regadíos de olivar y hortícolas, además de abastecimientos puntuales a industrias y urbanizaciones (dependientes de aguas subterráneas).

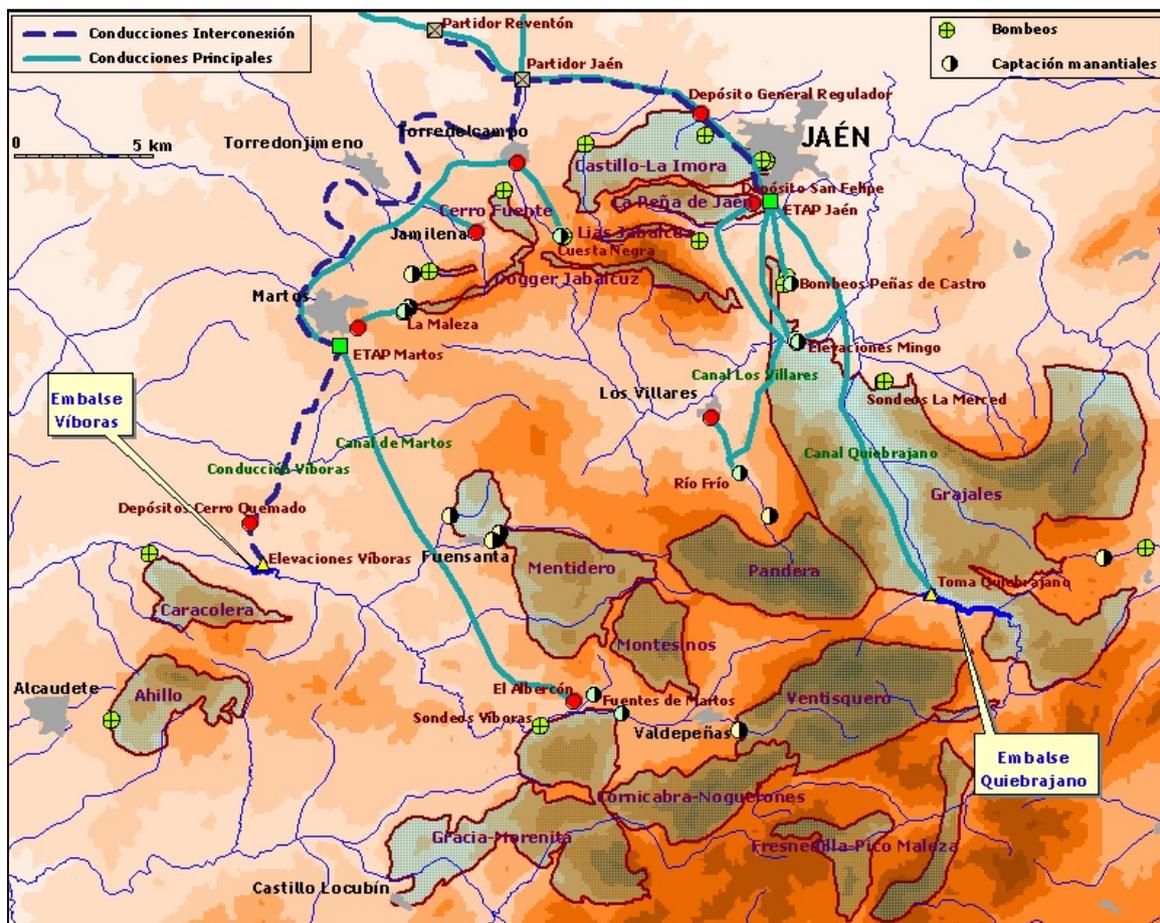


Figura 160. Infraestructuras del sistema Quiebrajano-Víboras

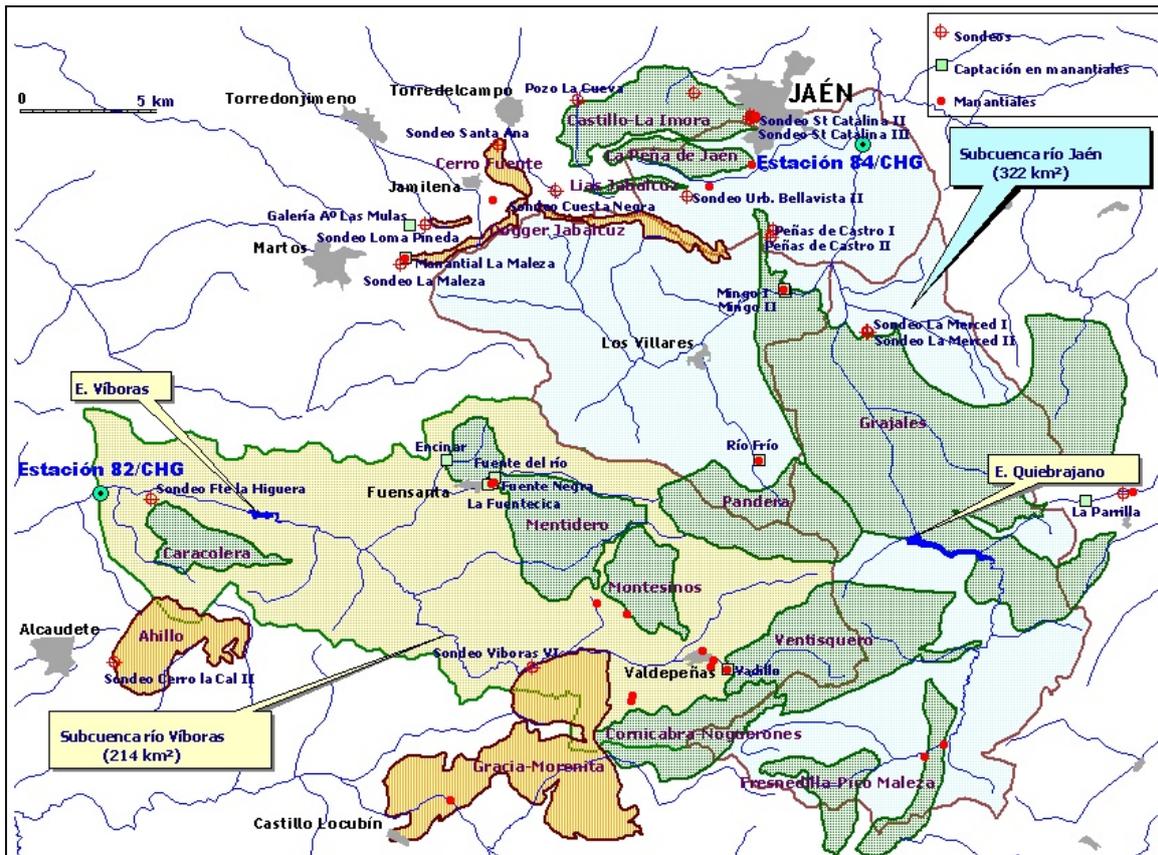


Figura 161. Sistema Quiebrajano-Víboras. Infraestructuras de regulación.

Las fuentes de suministro del Sistema Quiebrajano-Víboras corresponden a los embalses del Quiebrajano y Víboras y a una serie de acuíferos (embalses subterráneos).

El embalse de regulación superficial Quiebrajano presenta una capacidad de 29 hm³. Según los datos de explotación del embalse de que dispone la CHGuadalquivir, la evaporación neta anual promedio es de 307,5 mm (evaporación bruta de 857,4 mm/a y aportación directa de lluvia de 550 mm/a). Asimismo, el volumen de entrega mensual promedio para suministrar demandas es de 0,54 hm³/mes, oscilando entre 0 y 1,91 hm³/mes. Por otra parte, este embalse presenta pérdidas por infiltración en su vaso y la presa hacia formaciones permeables subyacente del acuífero de Grajales que pueden alcanzar un valor máximo de 0,8 hm³/mes -310 l/s-.

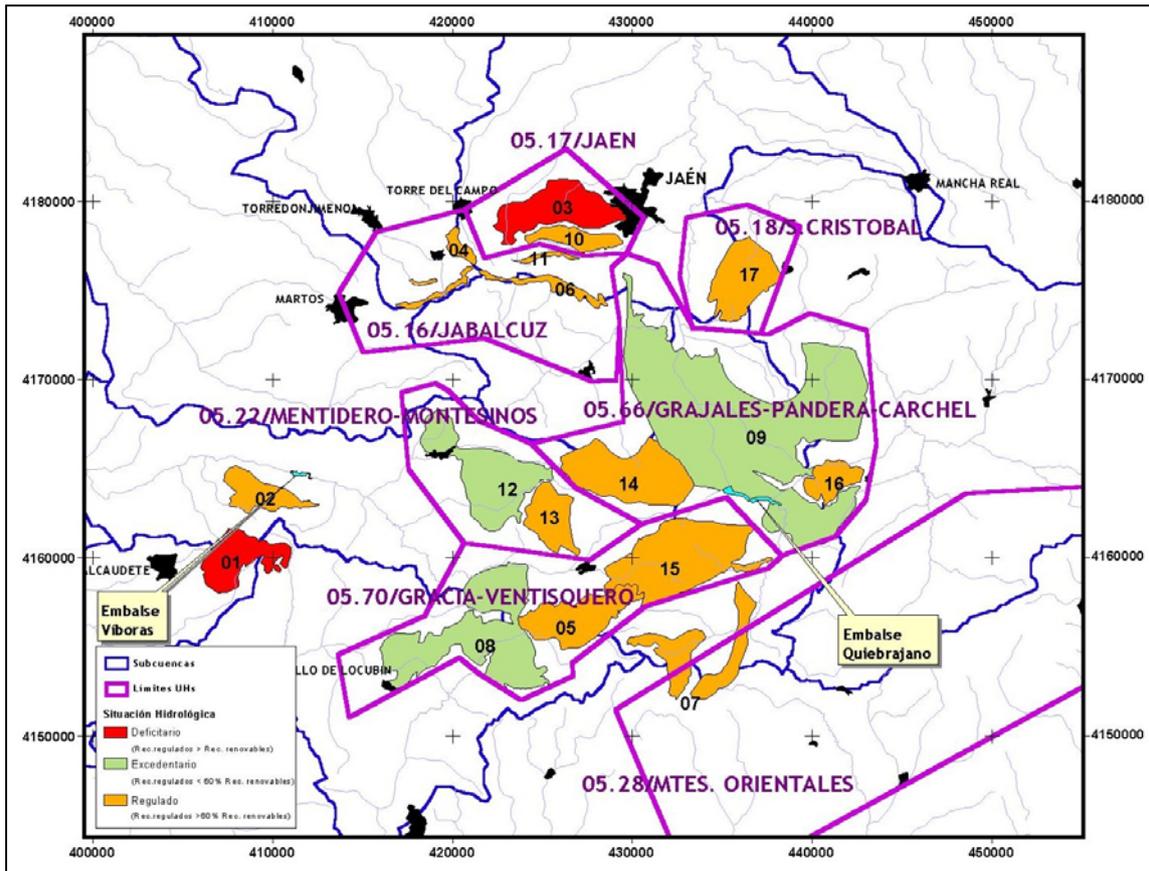
El embalse del Víboras, con una capacidad de 19 hm³, no ha entrado en funcionamiento aún, por lo que no se tienen datos de explotación del mismo

Respecto a los embalses subterráneos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras, los recursos renovables medios anuales que presentan se cifran en 62 hm³. Existen infraestructuras de regulación para captar unos 32,5 hm³/a de aguas subterráneas, algo más del 52% de los recursos renovables, destinándose la mayor parte de las aguas subterráneas captadas para el abastecimiento urbano (22,5 hm³/a). Las reservas hidrogeológicas estimadas para los acuíferos superan los 266 hm³, presentando, por lo general y salvo sectores localizados, aguas de buena a aceptable calidad para abastecimiento urbano, predominando la facies bicarbonatada cálcica de media salinidad.

Acuíferos		Recursos Renovables (hm ³ /a)	Recursos Regulados (hm ³ /a)	Usos abto. Urbano (hm ³ /a)	Reservas (hm ³)	Transmisividad (m ² /d)	Coefic. Agotam (días ⁻¹)	Salinidad (µS/cm)
05.16	Lías de Jabalcuz (11)	1,30	1,30	0,30	10	750 a 1000	0,0098-0,019	300-5.370
	Dogger de Jabalcuz (6)	1,20	1,20	1,20	54	50 a 100	-	
	Cerro Fuente (4)	0,20	0,20	-	1	-	-	
05.17	Castillo-La Ímora (3)	2,00	2,80	1,80	5	500 a 1000	-	230-2.250
	La Peña de Jaén (10)	1,00	1,00	-	2,5	-	0,024-0,051	
05.22	Mentidero (12)	3,00	1,73	0,66	24	-	-	370-810
	Montesinos (13)	2,00	1,60	1,60	5	-	0,0073-0,011	
05.28	Fresnedilla-Pico Maleza (7) (sector Quiebrajano)	2,50	2,5(a)	2,5	-	-	-	
05.66	Grajales (14)	20,50	7,50	7,50	90	-	0,0047	264-721
	Pandera (9)	3,50	3,25	2,50	-	-	0,00071-0,0047	
	Carchel (16)	0,50	0,15	0,15	-	200	-	
05.70	Cornicabra-Noguerones (5)	3,00	0,75	0,75	8,5	-	0,0071	236-1.045
	Gracia-Morenita (8)	10,50	1,00	-	36	-	0,0042	
	Ventisquero (15)	7,00	4,60	2,60	30	300-1500	0,011-0,026	
Aislados	Ahillos (1)	2,00	>2,00	0,64	-	-	-	370-950
	Caracolera (2)	1,70	0,77	0,26	-	100	-	
Suma		61,9	32,45	22,46	> 266			

(a) Recursos regulados por el embalse del Quiebrajano

Tabla 100. Resumen de datos relevantes sobre los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras



<u>Embalses Subterráneos Deficitarios</u>	Cuando los recursos captados (regulados) son superiores a los recursos renovables
<u>Embalses Subterráneos Regulados</u>	Cuando los recursos regulados son superiores al 60% de los recursos renovables
<u>Embalses Subterráneos Excedentarios</u>	Cuando los recursos regulados son inferiores al 60% de los recursos renovables

Figura 162. Situación hidrológica de los acuíferos vinculados al Sistema Quiebrajano-Víboras

El sistema Quiebrajano-Víboras ha dispuesto de deficientes infraestructuras de conducción y potabilización. Las pérdidas en los canales del Quiebrajano y las Fuentes de Martos (valoradas en un 15%), la limitación de la conducción de las Fuentes de Martos y la potabilizadora de Martos (165 l/s) y la limitación en la potabilizadora de Jaén (450 l/s) han sido causa de los problemas que ha registrado este sistema. Esta situación ha sido paliada por el aumento de capacidad de la ETAP de Martos (363 l/s) y la mejora de la conducción del Quiebrajano. Actualmente, las infraestructuras hidráulicas más relevantes corresponden a:

- Plantas potabilizadoras (ETAP) de Jaén (450 l/s de capacidad de tratamiento) y Martos (363 l/s de capacidad de tratamiento). La ETAP de Martos ha sido mejorada, a través de las actuaciones de AQUAVIR, pasando de una capacidad de tratamiento de 160 l/s a 363 l/s, incorporando celdas de ósmosis para potabilizar el agua procedente del embalse del Víboras (alto contenido en sulfatos).
- Conducciones de la Mancomunidad del Quiebrajano (580 l/s de capacidad tras las actuaciones acometidas por la C.H.Guaddalquivir), Canal de Martos (164 l/s de capacidad), Canal de Los Villares para abastecimiento a Jaén (100 l/s), la conducción del embalse del Víboras a la ETAP de Martos (300 l/s de capacidad) y las nuevas conexiones reversibles entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras (39 l/s de Martos a Jaén y 107 l/s de Jaén al partidor del Reventón)
- Captaciones de aguas subterráneas en Mingo (elevaciones de Mingo II y III de 180 l/s de capacidad y elevación Mingo I de abastecimiento a Jaén de 30 l/s de capacidad), Fuentes de Martos (164 l/s, que alimenta al Canal de Martos) y sondeos de La Merced (200 l/s de capacidad de bombeo), Gracia-Morenita (150 l/s de capacidad de bombeo) y de abastecimiento a Jaén -El Tomillo, Santa Catalina y Peñas de Castro, con capacidad de bombeo de 250 l/s-.
- Estaciones de tratamiento de aguas residuales (EDAR) de Jaén (742 l/s de capacidad de depuración) y Los Villares (70 l/s de capacidad de depuración).

11.1.5 Demandas

La demanda total del Sistema Quiebrajano-Víboras (SQV) asciende a un promedio anual de 71 hm³, de la que un 56,6% es demanda consuntiva (40,2 hm³/a) y el 43,4% restante corresponden a caudales ecológicos (30,8 hm³/a).

Las demandas medias para abastecimiento urbano son de 27,19 hm³/a y para riego 12,49 hm³/a. Existen otros usos aislados urbanos e industriales cifrados en 0,61 hm³/a. Las demandas consuntivas máximas se han fijado en 46,87 hm³/a, de las que 33,77 hm³/a son para abastecimiento urbano, 12,49 hm³/a para uso agrícola y 0,61 hm³/a se destinan a satisfacer usos aislados (urbanos e industriales).

No obstante, unos 3,85 hm³/a de las demandas consuntivas agrícolas son satisfechas con recursos alternativos procedentes de aguas residuales urbanas depuradas en la EDAR de Jaén y las ARU de Alcaudete y Martos.

Por tanto, actualmente la demanda neta consuntiva anual media de recursos hídricos que presenta el Sistema Quiebrajano-Víboras es de 36,43 hm³.

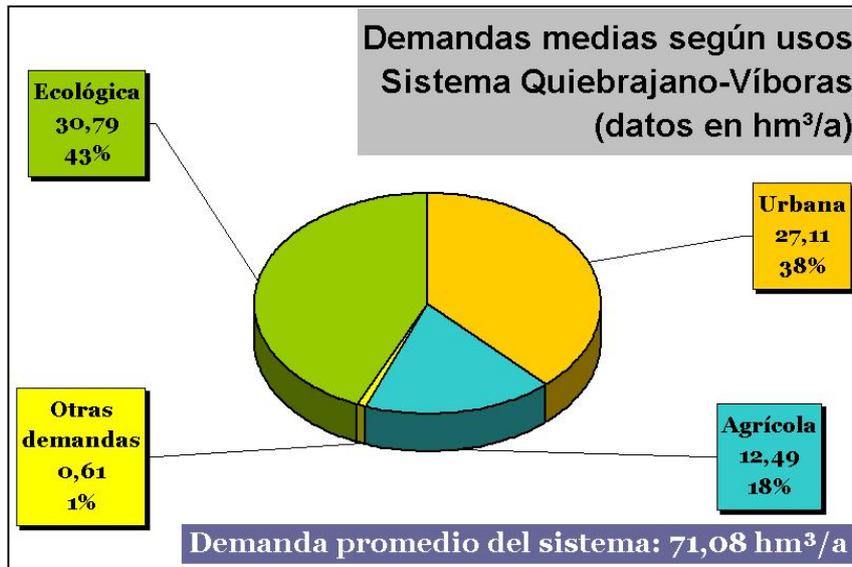


Figura 163. Demandas dependientes del Sistema Quiebrajano-Víboras

Abastecimiento urbano

Para dotar los abastecimiento urbanos dependientes del Sistema Quiebrajano-Víboras se utilizan las diversas fuentes de suministro disponibles: embalses (Quiebrajano y Víboras -éste último de reciente construcción aún no ha entrado en funcionamiento-), captaciones en cauces y manantiales e infraestructuras de bombeo en embalses subterráneos.

Según los datos sobre caudales suministrados a los centros de demanda urbana dependientes de la Mancomunidad del Quiebrajano y la Comarca de Martos para el periodo 1993-2002, el caudal punta de abastecimiento registrado ha sido de 81.284 m³/d (62.583 m³/d para la Mancomunidad del Quiebrajano y 18.665 m³/d para la Comarca de Martos). En el periodo de máximo estrés hídrico (sequía de 1993-1995) se alcanzaron las cotas más bajas de suministro, con una aportación mínima de caudales

a los grandes sistemas de abastecimiento de 50.036 m³/d (36.985 m³/d para la Mancomunidad del Quiebrajano y 13.051 m³/d para la Comarca de Martos).

La puesta en funcionamiento de los sondeos de La Merced (200 l/s) en el acuífero de Grajales y del Víboras (150 l/s) en el acuífero Gracia-Morenila, ha permitido aumentar la capacidad de suministro en periodos de sequía hasta 80.276 m³/d.

Asimismo, la puesta en funcionamiento del embalse del Víboras implica una fuente de suministro adicional de hasta 300 l/s. Por lo que el sistema Quiebrajano-Víboras dispondría de una capacidad de suministro en periodos de máximo estrés hídrico de 106.196 m³/d (54.265 m³/d procedentes de fuentes de suministro asociadas al subsistema Quiebrajano y 51.931 m³/d vinculadas al subsistema Víboras).

En condiciones hidrológicas normales, el sistema dispondría de una capacidad de captación de 172.956 m³/d, cifra muy superior a la demanda máxima registrada (81.284 m³/d). Si bien, las instalaciones de potabilización existentes (ETAP de Jaén y Martos) disponen de una capacidad de potabilización de 70.243 m³/d, a lo que se une unos 21.233 m³/d provenientes de fuentes de suministro asociadas a la captación de recursos subterráneos en acuíferos para abastecimiento a Jaén y la Comarca de Martos, que se incorporan al sistema de abastecimiento sin necesidad de pasar por las potabilizadoras (potabilización mediante filtros o en los propios depósitos municipales de aguas potables).

Por tanto, y considerando los datos de suministros disponibles para el periodo 1993-2005 y el funcionamiento del sistema hidráulico, la capacidad de suministro de agua potable en alta para condiciones hidrológicas normales asciende a 91.476 m³/d, cifra superior a las demandas máximas registradas (81.284 m³/d). No obstante, en periodo de sequía, el sistema sólo podría suministrar a los abastecimiento urbanos un caudal de agua potabilizada de 78.467 m³/d, por la limitación de suministro que presentan las captaciones en los acuíferos de los que toman recursos Jaén y los municipios de la Comarca de Martos y porque las ETAPs de Jaén y Martos no podrían tratar la totalidad de los caudales que podrían ser captados adicionalmente en los sondeos de La Merced (200 l/s) y en el embalse del Víboras (300 l/s), respectivamente.

DEMANDAS SISTEMAS SUPRAMUNICIPALES DE ABASTECIMIENTO		Máxima demanda registrada		Datos Proyecto Interconexión (Fuente:AQUAVIR)	
		Pun to de suministro		Horizonte	Horizonte
		Mensual (m ³ /d)	Anual (hm ³)	2002	2024
Mancomunidad del Quiebrajano	Jaén	49.363	16,44	40.569	44.237
	Resto Municipios	13.220	4,16	9.736	9.245
Comarca de Martos		18.665	5,62	14.270	16.243
TOTALES		81.248	26,22	64.575	69.725

FUENTES DE SUMINISTRO		Caudales Captados Promedio		Capacidad Maxima de Captación ^(a) (m ³ /d)	Capacidad de Suministro (m ³ /d)	Suministro periodo de sequía 1993-95 (m ³ /d)	Capacidad suministro en periodo de sequía (m ³ /d)
		hm ³ /a	m ³ /d				
Mancomunidad del Quiebrajano	Embalse Quiebrajano	6,84	18.747	34.430	18.747	2.626	2.626
	Sondeos La Merced	0,95	2.597	17.280	17.280	-	17.280 ^(a)
	Elevaciones Mingo II y Mingo III	4,09	11.207	31.104	11.207	27.259	27.259
Jaén capital	Elevación Mingo I	0,03	85	2.620	85	-	-
	Captación Los Villares	2,06	5.648	8.640	5.648	1.296	1.296
	Sondeos Peñas de Castro	2,41	6.595	10.535	6.595	3.298	3.298
	Sondeos Santa Catalina	1,65	4.522	9.764	4.522	2.261	2.261
	Sondeo El Tomillo	0,09	246	1.424	246	246	246
Comarca de Martos	Fuentes de Martos	4,15	11.382	13.960	11.382	11.928	11.928
	Sondeos y captaciones en acuíferos	1,51	4.137	4.320	4.137	1.123	1.123
	Embalse Víboras	-	-	25.920	25.920	-	- ^(b)
	Sondeos Víboras	-	-	12.960	12.960	-	12.960 ^(a)
TOTALES		23,78	65.164	172.956	118.728	50.036	80.276

(a) En función de las infraestructuras existentes
(b) No existen datos sobre el funcionamiento del embalse

Tabla 101. Datos de Fuentes de Suministro en el Sistema Quiebrajano-Víboras

FUENTES DE SUMINISTRO		CAPACIDAD DE SUMINISTRO A LAS POTABILIZADORAS			
		ETAP Jaén (m ³ /d)	ETAP Martos (m ³ /d)	Potabilización Municipal (m ³ /d)	Suministro potabilizado en alta ^(a) (m ³ /d)
Mancomunidad del Quiebrajano	Embalse Quiebrajano	18.747			18.747
	Sondeos La Merced	17.280			8.927
	Elevaciones Mingo II y Mingo III	11.207			11.207
Jaén capital	Elevación Mingo I			85	85
	Captación Los Villares			5.648	5.648
	Sondeos Peñas de Castro			6.595	6.595
	Sondeos Santa Catalina			4.522	4.522
	Sondeo El Tomillo			246	246
Comarca de Martos	Fuentes de Martos		11.382		11.382
	Sondeos y captaciones en acuíferos			4.137	4.137
	Embalse Víboras		25.920		7.021
	Sondeos Víboras		12.960		12.960
TOTALES		47.233	50.262	21.233	91.476
Capacidad de las ETAP existentes		38.880	31.363	^(a) Agotando la capacidad de las ETAP existentes en el Sistema (Jaén y Martos)	
		70.243			

FUENTES DE SUMINISTRO. REGULACIÓN		CAPACIDAD DE POTABILIZACIÓN EN SITUACIÓN DE SEQUÍA			
		ETAP Jaén (m ³ /d)	ETAP Martos (m ³ /d)	Potabilización Municipal (m ³ /d)	Suministro potabilizado en alta (m ³ /d)
Mancomunidad del Quiebrajano	Embalse Quiebrajano	2.626			2.626
	Sondeos La Merced	8.995 ^(a)			8.995
	Elevaciones Mingo II y Mingo III	27.259			27.259
Jaén capital	Elevación Mingo I			-	-
	Captación Los Villares			1.296	1.296
	Sondeos Peñas de Castro			3.298	3.298
	Sondeos Santa Catalina			2.261	2.261
	Sondeo El Tomillo			246	246
Comarca de Martos	Fuentes de Martos		11.928		11.928
	Sondeos y captaciones en acuíferos			1.123	1.123
	Embalse Víboras		6.475 ^(a)		6.475
	Sondeos Víboras		12.960		12.960
TOTALES		38.880	31.363	8.224	78.467
^(a) Hasta completar la capacidad de las ETAP de Jaén					
^(b) Hasta completar la capacidad de la ETAP de Martos					

Tabla 102. Capacidad de potabilización del Sistema Quiebrajano-Víboras

Los caudales de abastecimiento suministrados a la ciudad de Jaén son retornados al sistema tras su depuración en la EDAR de Jaén, mientras que en el resto de municipios de la Mancomunidad del Quebrajano y de la Comarca de Martos los vertidos urbanos no están sujetos a depuración. En el resto de municipios que no dependen de los Subsistemas Quebrajano y Víboras (Los Villares, Valdepeñas de Jaén, Fuensanta de Martos y Alcaudete) sólo se realizan depuración de aguas residuales urbanas en Los Villares (vertido aguas arriba de la captación para abastecimiento urbano de la Mancomunidad del Quebrajano en Cañones de Mingo).

Tanto los vertidos depurados de Jaén, como los no depurados de la Comarca de Martos y algunos de los pueblos no incluidos en el microsistema son reutilizados para labores agrícolas (riego intensivo del olivar).

Se ha fijado que el retorno de los abastecimientos urbanos constituye un 80% del suministro, por tanto, se evalúa el caudal de retornos urbanos en 73.180 m³/d, en condiciones hidrológicas normales, y de 62.770 m³/d en condiciones extremas (sequía). Una porción de estos recursos alternativos son reutilizados en abastecimiento (cuando se producen vertidos aguas arriba de las tomas en cauces y exigen potabilización previa, casos de los municipios de Valdepeñas de Jaén -tomas de las Fuentes de Martos y embalse del Víboras-, Fuensanta de Martos -toma en el embalse del Víboras- y Los Villares -tomas de los Cañones de Mingo-) y en la dotación de riegos internos del Sistema Quebrajano-Víboras (Jaén -EDAR de Jaén con un máximo de reutilización de 5.260 m³/d-, Comarca de Martos -ARU de Martos con un máximo de reutilización de 16.250 m³/d- y Alcaudete -ARU de Alcaudete con un máxima reutilización de 7.660 m³/d-). Por tanto, se puede fijar que la reutilización de los retornos urbanos en el propio sistema Quebrajano-Víboras asciende a un 40%.

Demanda agrícola

La demanda agrícola del Sistema Quebrajano-Víboras se asocia a los riegos de olivar y hortícolas. Para el riego del olivar se ha fijado una dotación media de 2.500 m³/ha/año en los riegos localizados y 4.000 m³/ha/año en los riegos por gravedad que aún quedan, mientras que para el riego hortícola se han fijado valores que oscilan entre 4.600 a 6.000 m³/ha/año.

Considerando los datos del “Inventario y Caracterización de Regadíos en Andalucía” de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, se han considerado un total de 3.196 ha con riego localizado de olivar y 268 ha de olivar que riegan por gravedad. Para el riego hortícola se han considerado un total de 645 ha con riego por gravedad (riego tradicional).

El 69% de la demanda agrícola se satisface con recursos subterráneos captados en las diferentes unidades hidrogeológicas, 2,76 hm³/a se captan mediante bombeos para el riego de 900 ha y 5,87 hm³/a mediante captación directa en manantiales para dotar unas 1.670 ha. Las aguas residuales depuradas (3,85 hm³/a) permite regar 1.540 ha.

En el caso de las demandas agrícolas resulta complicado calcular cifras exactas sobre retornos al sistema. Para este estudio se ha considerado que el consumo neto es del 60% de la demanda y que el retorno al sistema es del 40% en el riego por gravedad; mientras que para el riego localizado del olivar, teniendo en cuenta, además, que se trata de un zona con suelos franco-arcillosos, se estima que el retorno al sistema es prácticamente nulo.

Caudales Ecológicos

Respecto a las demandas no consuntivas, se ha calculado el régimen de caudales ecológicos críticos en los tramos de cauces considerados de mayor relevancia ecológica, si bien, todos los cauces del sistema se encuentra influenciados, bien por la captación directa en manantiales de cabecera o en los propios cauces para dotar el abastecimiento urbano; o bien por la existencia de embalses de regulación. No existen, por tanto, en el sistema cauces que registren un funcionamiento en régimen natural. No obstante, y considerando el listado de hábitats de interés comunitario en la provincia de Jaén que ha concretado la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, se han fijado como zonas de interés hidroecológico las siguientes (habitats fluviales):

- Cañones de Mingo (río Frío), sección en el río Frío antes de la confluencia con el río Quiebrajano. Esta sección del cauce recibe, en régimen natural,

la esorrentía subterránea de los acuíferos Grajales y Pandera y la esorrentía superficial del río Frío. La aportación anual media en régimen natural es de 34,50 hm³/a. El río Frío está sometido a un régimen influenciado como consecuencia de la captación de recursos para abastecimiento a Los Villares y Jaén (canal de Los Villares), los vertidos de la EDAR de Los Villares y las captaciones de Mingo para abastecimiento a Jaén y la Mancomunidad del Quiebrajano.

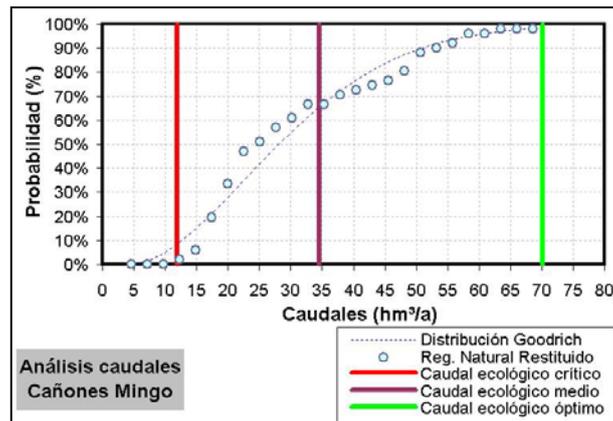


Figura 164. Régimen de caudal ecológico en la zona hidroecológica Cañones de Mingo

- Alto Víboras (río Grande), se ha seleccionado una sección del cauce situado aguas arriba del embalse del Víboras y aguas abajo de la toma de las Fuentes de Martos. Esta sección recibe la descarga subterránea de los acuíferos Ventisquero, Cornicabra-Noguerones y Montesinos y la esorrentía superficial del río Grande, en una zona donde existen captaciones en manantiales y cauces para abastecimiento a Valdepeñas de Jaén y la Comarca de Martos (Fuentes de Martos), para dotar riegos hortícolas y que recibe vertidos de aguas residuales sin depurar de Valdepeñas de Jaén, retornos de riegos y vertidos accidentales de alpechines. Se trata, por tanto, de un cauce que está severamente influenciado. La aportación anual media en régimen natural es de 42,11 hm³/a.

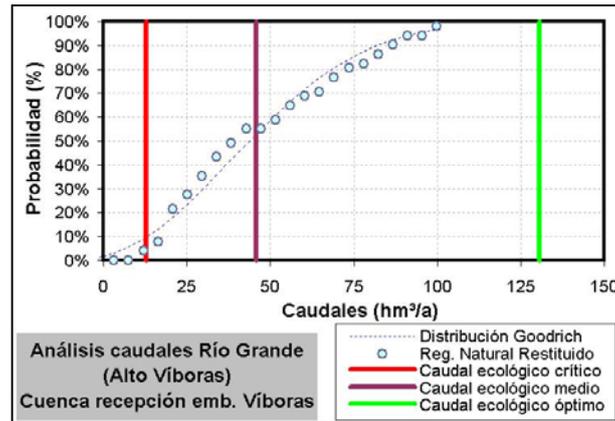


Figura 165. Régimen de caudal ecológico en la zona hidroecológica Alto Víboras (río Grande, aguas abajo de la Toma Fuentes de Martos)

Figura 166.

- Nacimiento del río San Juan, que corresponde a la descarga natural del acuífero Gracia-Morenita. Se ha seleccionado una sección del cauce situado aguas abajo de la zona de ocio que existe en el propio nacimiento y de las tomas y canales de derivación que dotan abastecimientos urbanos y regadíos. La descarga natural del acuífero Gracia-Morenita supone una aportación media anual de 10,01 hm³. Esta descarga está influenciada por los bombeos que pudieran producirse en los bombeos del Víboras que dotan el Canal de Martos. Para mitigar este efecto se previó la interposición de una instalación de recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita con excedentes del Alto Víboras.

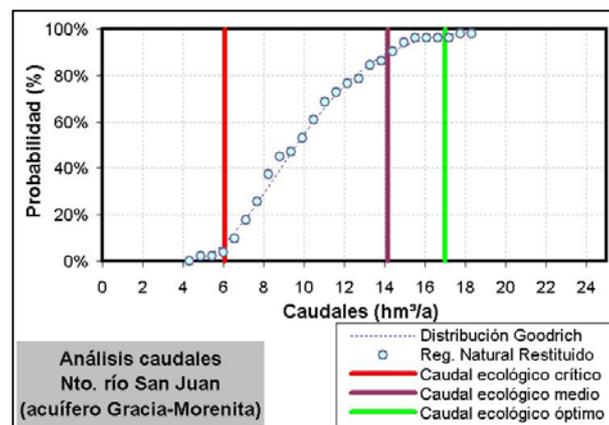


Figura 167. Régimen de caudal ecológico en la zona hidroecológica Nacimiento del río San Juan

MESES	CAUDAL ECOLÓG. CRÍTICO (hm ³)				ESCORRENTÍA RÉG. NATURAL (AÑO TIPO SECO) (hm ³)				Ratio entre el Caudal Ecológ. Crítico y el Rég.Nat. año Tipo Seco
	Caños de Mingo (Río Frío)	Nacimiento del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	SUMA	Caños de Mingo (Río Frío)	Nacimiento del río San Juan	Río Grande (Alto Víboras)	SUMA	
Octubre	0,62	0,34	0,72	1,68	1,27	0,48	1,35	3,11	63,4%
Noviembre	0,80	0,43	0,90	2,13	1,29	0,53	1,26	3,08	70,7%
Diciembre	1,17	0,67	0,89	2,73	1,33	0,55	1,20	3,08	88,7%
Enero	1,32	0,65	0,96	2,93	1,35	0,58	1,52	3,45	90,1%
Febrero	1,35	0,75	1,21	3,31	1,48	0,61	1,68	3,77	89,0%
Marzo	1,32	0,75	1,65	3,73	1,61	0,62	2,50	4,73	83,2%
Abril	1,35	0,58	1,73	3,65	1,62	0,64	2,21	4,47	80,1%
Mayo	1,22	0,50	1,45	3,17	1,47	0,62	2,02	4,11	78,7%
Junio	0,83	0,43	1,01	2,27	1,32	0,57	1,42	3,30	70,2%
Julio	0,73	0,37	0,86	1,95	1,17	0,53	1,10	2,80	68,5%
Agosto	0,62	0,32	0,74	1,68	1,06	0,48	0,97	2,51	66,4%
Septiembre	0,57	0,31	0,69	1,56	0,97	0,45	0,99	2,40	67,3%
ANUAL	11,90	6,08	12,81	30,79	15,92	6,66	18,22	40,80	77,5%
PROMEDIO	0,99	0,51	1,07	2,57	1,33	0,55	1,52	3,40	

Tabla 103. *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 SECO.*

Tabla 104.

Los datos de caudales ecológicos críticos fijados ascienden a un volumen anual de 30,8 hm³, lo que supone un 77,5% del caudal correspondiente a la escorrentía en régimen natural para años tipo seco y el 40,7% de la escorrentía en régimen natural para años tipo medio.

11.1.6 Modelo de Uso Conjunto

Teniendo en cuenta los objetivos del estudio y el encuadre hidrológico del área de trabajo, la metodología que se ha aplicado para el análisis de la gestión integrada de recursos hídricos ha contemplado el importante papel que puedan jugar los recursos subterráneos en un marco de utilización conjunta.

Por ello, la simulación del uso conjunto del Sistema Quiebrajano-Víboras se ha realizado mediante el paquete AQUATOOL, basado en el código SIMGES, el cual responde al esquema de un modelo general para la simulación de sistemas complejos de explotación de recursos hídricos, presentando notables ventajas sobre otras aplicaciones en razón de la versatilidad para la simulación de las relaciones río-

acuífero, la consideración de embalses superficiales y subterráneos y otra serie de elementos que intervienen en la gestión hídrica, tales como aportaciones, demandas (consuntivas y no consuntivas, así como consumos y retornos), caudales ecológicos, conducciones (canalizaciones y cauces de diferente forma de funcionamiento - gravedad, diferencia de potencial, etc.-), bombeos adicionales y dispositivos de recarga artificial.

Los escenarios de gestión conjunta simulados se han vertebrado en dos situaciones hidráulicas:

- ESCENARIO DE GESTIÓN SIN CONEXIÓN responde a un esquema donde se consideran por separado los subsistemas Quiebrajano (Mancomunidad del Quiebrajano) que abastece a Jaén capital y municipios de la Campiña de Jaén-Córdoba) y Víboras (abastecimiento a los municipios de la Comarca de Martos).
- ESCENARIO DE GESTIÓN CON CONEXIÓN corresponde al supuesto de que las obras de interconexión y las actuaciones complementarias entren en funcionamiento.

El modelo de simulación de la gestión conjunta construido sobre SIMGES permite optimizar la gestión para los escenarios fijados o incluso escenarios intermedios aprovechando las diferentes infraestructuras existentes o que se van a implantar próximamente.

Analizando los índices de garantía correspondientes a los principales sistemas de abastecimiento se observa que para la situación previa a la interconexión de los subsistemas Víboras y Quiebrajano, el subsistema de la Mancomunidad del Quiebrajano presenta unos índices de garantía bastante satisfactorios, por la complementación que ofrecen al sistema las fuentes de suministro asociadas a las aguas subterráneas sobre los recursos aportados por el embalse del Quiebrajano.

En cambio, el subsistema asociado al Canal de Martos (abastecimiento a la Comarca de Martos) presenta una situación insatisfactoria para el ESCENARIO SIN CONEXIÓN, principalmente debido a la limitación que imponen las infraestructuras de conducción (conducciones por gravedad provenientes de las Fuentes de Martos) y

potabilización (ETAP de Martos) y la limitada productividad de los sondeos existentes en los acuíferos de Jaén-Jabalruz en periodos de sequía.

Criterios de Garantía		Mancomunidad Quiebrajano		Comarca de Martos	
		ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN	ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN
Garantía mensual	Nº fallos	78	65	389	65
	G_m	87,3%	89,4%	36,4%	89,4%
Garantía volumétrica G_v		95,3%	99,4%	91,1%	97,0%
Máximo Déficit Mensual (hm^3)	1 mes	0,923	0,352	0,326	0,361
	2 meses	1,710	0,589	0,696	0,640
Plan Hidrológico	Nº fallos	10	8	51	9
	G_{CPH}	80,4%	84,3%	0,0%	82,4%
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Demanda simulada ¹⁷ (hm^3)	Anual	17,618		6,58	
	Mensual máxima	1,640		0,659	
% Déficit mensual máximo respecto a la Demanda		56,3%	21,5%	49,5%	54,8%

Tabla 105. Comparativa de los criterios de garantía para los principales sistemas de abastecimiento

Una vez entre en funcionamiento las infraestructuras de elevación, conducción y potabilización asociadas al proyecto de interconexión de los subsistemas Víboras y Quiebrajano, la garantía del subsistema de la Mancomunidad del Quiebrajano adquiere índices muy satisfactorios, mientras que el subsistema Víboras (Comarca de Martos) pasa de una situación desfavorable a índices de garantía satisfactorios, equiparándose al subsistema Quiebrajano.

¹⁷ Sin considerar las pérdidas en los canales de conducción

Criterios de Garantía		Regadíos		Caudales Ecológicos	
		ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN	ESCENARIO SIN CONEXIÓN	ESCENARIO CON CONEXIÓN
Garantía mensual	Nº fallos	289	244	77	104
	G_m	52,8%	60,1%	87,4%	83,0%
Garantía volumétrica G_v		45,0%	61,7%	97,8%	97,2%
Máximo Déficit Mensual (hm^3)	1 mes	2,137	1,756	1,796	1,984
	2 meses	4,243	3,486	3,375	3,511
Plan Hidrológico	Nº fallos	51	51	14	20
	G_{CPH}	0,0%	0,0%	72,5%	60,8%
DEF15				NO CUMPLE	NO CUMPLE
DEF50		NO CUMPLE	NO CUMPLE		
Demanda simulada (hm^3)	Anual	12,49		9,22	
	Mensual máxima	2,663		3,830	
% Déficit mensual máximo respecto a la Demanda		80,2%	65,9%	46,9%	51,8%

Tabla 106. Comparativa de los criterios de garantía para las demandas agrícolas y los caudales ecológicos

Respecto a la mejora de los suministros cuando entren en funcionamiento los sistemas asociados a la interconexión de los subsistemas Quiebrajano-Víboras, los resultados que se obtienen implican un aumento de los volúmenes suministrados de algo menos de $1 \text{ hm}^3/\text{a}$ de promedio, si bien, es notorio el descenso de los déficits máximos mensuales.

Simulación SIMGES	Suministro (hm ³)				Déficit máximo mensual (hm ³)		
	Canal Mancomunidad Quiebrajano	Canal de Martos	Sistemas abastec. Municipal ⁽¹⁾	SUMA	Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos	SUMA
ESCENARIO SIN CONEXIÓN (sin conexión y con sondeos del Víboras)	19,16	6,45	2,89	28,51	0,923	0,326	1,249
ESCENARIO CON CONEXIÓN (con conexión entre subsistemas, con embalse del Víboras y sondeos del Víboras)	18,48	8,01 ⁽²⁾	2,88	29,38	0,352	0,361	0,711
ESCENARIO CON CONEXIÓN sin embalse del Víboras y con sondeos del Víboras	18,93	6,76	2,85	28,54	0,417	0,433	0,851
ESCENARIO CON CONEXIÓN (con embalse del Víboras, sin sondeos del Víboras y con embalse del Quiebrajano impermeabilizado)	18,39	8,17 ⁽²⁾	2,80	29,36	0,312	0,372	0,684
⁽¹⁾ Abastecimientos a Fuensanta de Martos, Valdepeñas de Jaén, Los Villares y Alcaudete							
⁽²⁾ Incluye el canal de Martos y el Canal del Víboras-ETAP Martos							

Tabla 107. Suministro y déficit en las simulaciones realizadas.

Para el modelo de gestión con conexión se han diseñado dos variantes que constituyen alternativas de gestión para la situación generadas tras la conexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras, las características esenciales de estas variantes se exponen a continuación:

- No utilización del embalse del Víboras y explotación de los sondeos de Gracia-Morenita, aprovechando la mayor capacidad de la ETAP de Martos. Se considera que las conducciones desde las Fuentes de Martos hasta la ETAP de Martos se mantienen bajo las actuales circunstancias y que se dispone de las instalaciones de recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita. A este escenario de simulación se le ha denominado ESCENARIO CON CONEXIÓN alternativa sondeos Víboras.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Abastecimientos		Regadíos	Caudales Ecológicos
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos		
Garantía mensual	Nº fallos	81	84	263	104
	G_m	86,8%	86,3%	57,0%	83,0%
Garantía volumétrica G_v		98,7%	94,7%	54,3%	97,1%
Máximo Déficit Mensual (hm^3)	1 mes	0,417	0,433	1,908	2,033
	2 meses	0,748	0,840	3,774	3,609
Plan Hidrológico	Nº fallos	10	15	51	20
	G_{CPH}	80,4%	70,6%	0,0%	60,8%
DEF15					NO CUMPLE
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE		
DEF50				NO CUMPLE	

Tabla 108. Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA SONDEOS VÍBORAS

- A la situación correspondiente a la conexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras, previendo la utilización del embalse del Víboras bajo las circunstancias descritas en la simulación correspondiente al ESCENARIO CON CONEXIÓN, se suma la impermeabilización del embalse del Quiebrajano, de forma que se anule la recarga artificial no programada que recibe el acuífero Grajales. A este escenario de simulación se le ha denominado ESCENARIO CON CONEXIÓN alternativa impermeabilización embalse Quiebrajano.

Criterios de Garantía		Demandas			
		Abastecimientos		Regadíos	Caudales Ecológicos
		Mancomunidad Quiebrajano	Comarca de Martos		
Garantía mensual	Nº fallos	60	61	269	104
	G_m	90,2%	90,0%	56,0%	83,0%
Garantía volumétrica G_v		99,5%	92,1%	60,7%	97,2%
Máximo Déficit Mensual (hm^3)	1 mes	0,312	0,372	1,756	1,984
	2 meses	0,513	0,655	3,486	3,511
Plan Hidrológico	Nº fallos	7	7	51	20
	G_{CPH}	86,3%	86,3%	0,0%	60,8%
DEF15					NO CUMPLE
DEF25		CUMPLE	NO CUMPLE		
DEF50				NO CUMPLE	

Tabla 109. Criterios de garantía de los principales sistemas de abastecimiento para el ESCENARIO CON CONEXIÓN ALTERNATIVA IMPERMEABILIZACIÓN EMBALSE QUIEBRAJANO

En el análisis del sistema también se han considerado los costes del agua de abastecimiento en alta, ya que ésta es la principal demanda consuntiva del sistema (67,6 %), comparando para cada escenario de simulación los índices de garantía obtenidos con el coste unitario asociado a las diferentes fuentes de suministro.

FUENTES DE SUMINISTRO PARA ABASTECIMIENTO URBANO SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS	Tarifas en alta (€/m ³)	VOLÚMENES CAPTADOS (hm ³ /a)			
		Simulación Situación SIN Conexión	Simulación Situación CON Conexión	Simulación Situación CON Conexión sin embalse Víboras	Simulación Situación CON Conexión impermeabilizando el embalse del Quiebrajano
Embalse Quiebrajano	0,105	5,220	5,280	5,530	8,600
Sondeos La Merced	0,108	0,818	0,734	0,812	0,710
Elevaciones de Mingo	0,042	8,530	9,060	8,690	5,450
Fuentes de Martos	0,108	4,710	5,290	5,410	5,170
Canal Los Villares	0,045	2,500	2,380	2,430	2,150
Sondeos abto. Jaén	0,090	0,431	0,246	0,295	0,380
Sondeos abto. Comarca de Martos y Bajo Víboras	0,080	1,207	0,833	0,886	0,870
Captación manantiales para abastecimiento a Los Villares y núcleos de la cuenca del Víboras	0,025	2,187	2,177	2,147	2,100
Embalse del Víboras	0,340	0,000	1,620	0,000	1,690
Sondeos Gracia-Morenila ^(a)	0,212	1,243	0,977	1,172	1,150
Suma (hm ³)		26,846	28,596	27,373	28,266
Coste promedio del agua para abastecimiento urbano (€/m ³)		0,056	0,069	0,055	0,079

^(a) Incluye un sobrecoste por la recarga artificial

ÍNDICES DE GARANTÍA ABASTECIMIENTO SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS					
Garantía mensual	Nº Fallos	389	65	84	61
	G _m	36,4%	89,4%	86,3%	90,0%
Garantía volumétrica (G _v)		91,1%	97,0%	94,7%	92,1%
Máximo Déficit Mensual (hm ³)	1 mes	1,25	0,71	0,85	0,68
	2 meses	2,41	1,23	1,59	1,17
Criterios PHN	Nº fallos	1.710	640	840	655
	Garantía	0,0%	82,4%	70,6%	86,3%
DEF25		NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 110. *Cálculo de costes específicos en alta correspondientes a las diferentes simulaciones de gestión consideradas*

11.2 CONCLUSIONES

El análisis del Sistema Quiebrajano-Víboras bajo la óptica de la gestión conjunta de los recursos hídricos convencionales y no convencionales ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

1. El Sistema Quiebrajano-Víboras es excedentario en términos de balance si se consideran las cifras correspondientes al año tipo medio, ya que las demandas máximas se cifran en 70,37 hm³/a (demandas consuntivas máximas de 46,87 hm³/a y no consuntivas -ecológicas- de 30,08 hm³/a) mientras que la aportación media anual del sistema en régimen natural es de 125,86 hm³.
2. La estacionalidad en las aportaciones que registra el sistema de rango mensual (el 68% de la aportación se registra en el periodo diciembre-abril) e hiperanual (en el periodo 1951-2002 un 16% de los años se registró una aportación inferior a la demanda máxima, siendo especialmente delicada la situación en el periodo 1992-1995 donde se registraron 3 años consecutivos con aportaciones por debajo de los 50 hm³), exige implementar esquemas de gestión conjunta que aseguren una regulación eficaz de sus aportaciones, para alcanzar índices de garantía aceptables en la satisfacción de las demandas consuntivas (urbanas y agrícolas) y no consuntivas (ecológicas).

La limitación que existe para la implantación de infraestructuras de regulación superficial (embalses) y la presencia de acuíferos con importantes recursos renovables, permite plantear esquemas de uso conjunto enfocados a mejorar los índices de garantía en la satisfacción de demandas e incluso podrían constituir alternativas de menor coste económico y ambiental, aportando al planificador herramientas para avanzar en un uso sostenible de los recursos hídricos.

De hecho, el uso combinado de recursos superficiales y subterráneos es una práctica que se viene utilizando en el Sistema Quiebrajano-Víboras para garantizar los suministros a las demandas urbanas, no obstante, se lleva a efecto sin atender a criterios objetivos de gestión conjunta, razón por la que se ha

estimado conveniente llevar a cabo el presente estudio, incluyendo, además de criterios garantistas, criterios ambientales y económicos (coste del agua).

3. Los problemas seculares de escasez de recursos para dotar el abastecimiento urbano que ha presentado el sistema se debían a una capacidad de regulación insuficiente, fundamentada en el embalse del Quiebrajano (con una capacidad de regulación promedio de $6,84 \text{ hm}^3$), la captación directa de surgencias kársticas ($12,28 \text{ hm}^3/\text{a}$), dependientes de la limitada capacidad de regulación natural de los grandes acuíferos kársticos del sistema y en la captación de aguas subterráneas mediante sondeos ($6,56 \text{ hm}^3/\text{a}$). Así, la mayor parte de los recursos disponibles han provenido de fuentes de suministro vinculadas con acuíferos (73,4%), totalizando un volumen de recursos disponibles medio anual de $25,68 \text{ hm}^3$, frente a unas demandas consuntivas máximas para abastecimiento urbano de $33,77 \text{ hm}^3/\text{a}$, lo que ha originado situaciones de escasez, que se han pretendido paliar mediante sondeos en los acuíferos de Jaén-Jabalruz, los cuales constituyen embalses subterráneos de limitada capacidad de almacenamiento que no han ofrecido la solución requerida y que han desembocado en situaciones de sobreexplotación de estos recursos subterráneos. Asimismo, el aprovechamiento intensivo de ciertas fuentes de suministro (Fuentes de Martos y Cañones de Mingo) han originado la merma insostenible de los caudales circulante por los cauces en periodos de sequía.

4. Como consecuencia de las obras de mejora en la regulación e interconexión de los subsistemas Quiebrajano y Víboras, ejecutadas tras la situación crítica de escasez acontecida en la sequía de 1993-1995, el conjunto dispone actualmente de una capacidad de captación para abastecimiento de 2.002 l/s ($172.960 \text{ m}^3/\text{d}$) en las fuentes de suministros adscritas a los grandes sistemas de abastecimiento del sistema (la Mancomunidad del Quiebrajano y la Comarca de Martos), para una demanda consuntiva máxima de 838 l/s^{18} ($72.400 \text{ m}^3/\text{d}$).

¹⁸ Esta cifra sólo incluye el suministro a los núcleos de población sin acoger las pérdidas que se producen en las aducciones en alta, estimadas en un orden de magnitud del 15%. Si se consideran estas pérdidas en caudal de suministro máximo para abastecimiento a la Mancomunidad del Quiebrajano y la Comarca de Martos ascendería a 940 l/s . Las actuaciones de la CHGuadalquivir en el canal del Quiebrajano, de AQUAVIR en la Comarca de Martos y las futuras obras de Egmasa en las conducciones del Canal de Martos y conducciones de la Mancomunidad del Quiebrajano permitirán descender notablemente estas pérdidas en las conducciones.

Asimismo, el sistema dispone de una capacidad de potabilización de 813 l/s (70.240 m³/d) asociada a las ETAPs de Jaén y Martos (ésta ha sido recientemente remodelada), más unos 246 l/s (21.235 m³/d) de capacidad de potabilización para aguas captadas en manantiales y sondeos en los abastecimientos Jaén capital y pueblos de la Comarca de Martos, lo que totaliza una capacidad de potabilización en el Sistema Quiebrajano-Víboras de 1.059 l/s (91.475 m³/d).

No obstante, en periodos de sequía es factible que la capacidad de regulación para abastecimiento se reduzca a 908 l/s (78.465 m³/d), por la lógica reducción de las aportaciones y la imposibilidad de tratar en las ETAPs de Jaén y Martos los caudales adicionales que podrían ser captados en los sondeos de La Merced y el embalse del Víboras (respectivamente). Ante una situación de sequía, el 88,4% de los recursos que se destinarían a abastecimiento urbano procederían de fuentes de suministro de origen subterráneo (captaciones en sondeos o descarga de acuíferos).

Por otra parte, la disposición de los citados caudales en periodos de sequía supondría derivar para abastecimiento urbano la totalidad de los recursos de las Fuentes de Martos y de los Cañones de Mingo, dejando, por tanto, prácticamente secos los cauces del río Grande (Alto Víboras) y de río Frio, y afectando al nacimiento del río San Juan por la utilización de los sondeos del Víboras.

Por tanto, a pesar de la indiscutible mejora que ha registrado el sistema Quiebrajano-Víboras como consecuencia del aumento en la disponibilidad de recursos y la mejora sustancial de las infraestructuras, resulta necesario establecer una gestión sostenible del sistema a través de esquemas de uso conjunto, que aseguren el mantenimiento de un régimen ecológico adecuado en los cauces más sensibles y que permita satisfacer las demandas urbanas del sistema con las garantías exigibles y en condiciones de eficacia económica.

5. El modelo matemático desarrollado para la simulación de la gestión de los recursos hídricos convencionales y no convencionales del Sistema Quiebrajano-Víboras, apoyado en el código SIMGES, constituye una herramienta

eficaz para el análisis de la gestión de este sistema, por cuanto permite considerar diferentes escenarios.

Los resultados del modelo de uso conjunto desarrollado implican que para el escenario de gestión SIN conexión (los subsistemas Quiebrajano y Víboras funcionando de forma independiente), el subsistema de la Mancomunidad del Quiebrajano presenta unos índices de garantía bastante satisfactorios, por la complementación que ofrecen al sistema las fuentes de suministro asociadas a las aguas subterráneas sobre los recursos aportados por el embalse del Quiebrajano. En cambio, el subsistema asociado al Canal de Martos (abastecimiento a la Comarca de Martos) presenta una situación insatisfactoria, debido, principalmente, a la limitación que imponen las infraestructuras de conducción (conducciones por gravedad provenientes de las Fuentes de Martos) y potabilización (ETAP de Martos) y la limitada productividad de los sondeos existentes en los acuíferos de Jaén-Jabalruz en periodos de sequía (La Maleza, Cuesta Negra y Santa Ana, fundamentalmente).

Una vez entre en funcionamiento las infraestructuras de elevación, conducción y potabilización asociadas al proyecto de interconexión de los subsistemas Víboras y Quiebrajano, la garantía del subsistema de la Mancomunidad del Quiebrajano adquiere índices muy satisfactorios, mientras que el subsistema Víboras (Comarca de Martos) pasa de una situación desfavorable a índices de garantía satisfactorios, equiparándose al subsistema Quiebrajano.

7. La puesta en funcionamiento de los sondeos del Víboras permite alcanzar unos índices de garantía en la satisfacción de los caudales ecológicos mayores en el río Víboras, respecto a la simulación en la que no se consideran estos bombeos. Asimismo, sería factible, en términos de garantía, dejar de bombear en los sondeos de abastecimiento existentes en los embalses subterráneos sobreexplotados de las unidades Jabalruz y Jaén, sustituyendo estos bombeos por los sondeos del Víboras, permitiendo de esta forma, paliar los problemas de sobreexplotación que existen en estos acuíferos.

No obstante, estos bombeos derivan en una merma en la garantía de los caudales ecológicos en el Nacimiento del río San Juan, afección que no se vería

paliada por la puesta en funcionamiento de la recarga artificial del acuífero Gracia-Morenita. La escasa efectividad de la recarga artificial, en términos de garantía, reside en dos aspectos:

- La baja capacidad de regulación del acuífero calizo-dolomítico que constituye el embalse subterráneo Gracia-Morenita.
- La ausencia de excedentes para recargar en los meses de mayor estiaje en el Alto Víboras.

De hecho se han realizado simulaciones aumentando la capacidad de recarga a 0,5 hm³/a y considerando no sólo los excedentes del río Papel (acuífero Cornicabra-Noguerones) sino también del acuífero Ventisquero (río Grande), ubicando para ello la toma de recarga artificial en el Azud de Castellón, sin que mejoren los indicadores de garantía del caudal ecológico en el río San Juan.

8. El embalse del Víboras permanece prácticamente lleno durante toda la simulación, registrando leves descensos en los periodos de máximo estiaje, lo que se explica por la restricción ambiental fijada para el Alto Víboras (río Grande) que asegura una aportación muy significativa al embalse (37,19 hm³/a de promedio, con un mínimo anual de 6,37 hm³ y mensual de 0,69 hm³). Resulta evidente, que en este escenario el embalse tendría una función de regulación más eficaz si existen demandas a satisfacer aguas abajo del mismo complementarias al suministro de aguas para abastecimiento en el sistema Quebrajano-Víboras.
9. El Sistema Quebrajano-Víboras ha sido simulado bajo restricciones ambientales asociadas a los caudales ecológicos críticos calculados en tres cauces de especial relevancia ambiental: Cañones de Mingo, Alto Víboras y Nacimiento del río San Juan (descarga natural del acuífero Gracia-Morenita). Estos caudales ecológicos críticos suponen un 77,5% de la esorrentía para el régimen natural si se considera el año tipo seco, un 40,1% si se considera el año tipo medio de aportaciones y un 21,4% si se considera el año tipo húmedo. El régimen de caudales ecológicos calculado son más restrictivos que los caudales ecológicos fijados por el Plan Hidrológico de la Cuenca del Guadalquivir (10% de los caudales circulante para el año tipo medio).

El régimen de caudales ecológicos fijados, tratados como una demandas no consuntiva del sistema, mantienen unos indicadores de garantía algo menos satisfactorios en el ESCENARIO CON CONEXIÓN, ya que la conexión de ambos subsistemas propicia que el conjunto sea más exigente, por la necesidad de satisfacción de un mayor número y cuantía de las demandas urbanas (las demandas urbanas de la Mancomunidad del Quiebrajano y Comarca de Martos que se simulaban por separado en la SITUACIÓN SIN CONEXIÓN, pasan a estar combinadas en la SITUACIÓN CON CONEXIÓN), lo que propicia que en la resolución matemática de la ecuación que optimiza el binomio recursos-demandas tienda a minimizar los déficits de abastecimiento, en detrimento de la satisfacción de los caudales ecológicos, a pesar, que los caudales ecológicos hayan sido declarados de máxima prioridad.

No obstante, considerando la restricción en el uso de los recursos hídricos que supone el mantenimiento de un régimen de caudales ecológico en los cauces más sensibles del sistema, los resultados ofrecidos por AQUATOOL indican que los índices de garantía que se obtienen para las demandas urbanas son satisfactorios. Así, las diversas simulaciones realizadas para escenarios en los cuales se considera la conexión entre los subsistemas Quiebrajano y Víboras (obras ejecutadas por AQUAVIR,SA), ofrecen índices de garantía mensual superiores al 85%, de garantía volumétrica superiores al 92%, y déficits máximos mensuales inferiores a 0,85 hm³, lo que constituye un 30% de la demanda mensual promedio considerada en el modelo de simulación de la gestión conjunta para la demanda urbana (2,81 hm³/a). Puntualizar que las demandas urbanas consideradas en el modelo desarrollado sobre SIMGES para la simulación de la gestión conjunta corresponden a valores máximos, incluyendo las pérdidas en las canalizaciones (fijadas en un 15% del caudal circulante). Las políticas de ahorro de agua en el consumo urbano y la mejora de las conducciones y las redes de distribución en baja ofrecerán un escenario más favorable.

10. Respecto al régimen de caudales ecológicos fijados, se obtienen unos índices de garantía mensual y volumétrica muy satisfactorios, por encima del 83% y del 97% respectivamente. Si bien, puntualmente y para el río Grande (Alto Víboras) se obtienen déficits máximos mensuales muy elevados (hasta un 80% de déficit). Esta situación exige analizar dos alternativas:

- Fijar en que medida una reducción temporal de los caudales circulantes por debajo del límite que constituyen los caudales ecológicos críticos pueden afectar al sistema (análisis de la resiliencia del sistema, bajo la perspectiva de la capacidad del sistema hidroecológico para absorber la perturbación que supone un caudal inferior al caudal ecológico crítico - análisis de la capacidad del sistema para mantener su estructura y asegurar su continuidad, evolucionando e integrando las transformaciones que se le impongan-).
- Analizar la posibilidad de complementar los caudales ecológicos críticos, que es necesario mantener en los cauces en periodos de intensa sequía, con bombeos ecológicos de aguas subterráneas en los embalses subterráneos de cabecera de las cuencas, mediante la implantación de **sondeos ecológicos de regulación en manantiales (sondeos tipo SER)**, construyendo un **sistema de regulación de los embalses subterráneos para uso ecológico**. Estas captaciones tendrían un objetivo medioambiental, no comprometiendo, los abastecimientos urbanos. Los caudales bombeados al cauce del Víboras sería regulados por el embalse del Víboras.

Concretando al Alto Víboras, el análisis realizado implica la posibilidad de implantar un sistema de bombeo ecológico de 193 l/s de capacidad en el embalse subterráneo de Cornicabra-Noguerones. Estos sondeos sólo funcionarían en periodos de intensa sequía y permitirían alcanzar una garantía mensual ecológica en el río Grande del 96,6% y una garantía volumétrica del 99,1%, con un déficit máximo mensual de 0,783 hm³ (registrado en abril-95) y déficit nulo en los meses de estío.

La respuesta del embalse subterráneo Cornicabra-Noguerones ante los bombeos tipo SER provocarían el secado de los manantiales del Papel, que drenan naturalmente este acuífero, en los meses más secos, siendo necesario aportar el caudal que se capta desde estos manantiales para el Canal de Martos de otras fuentes (sondeos Gracia-Morenita o embalse del Víboras). Como consecuencia de los bombeos tipo SER (capacidad máxima de 193 l/s) se produciría un vaciado temporal de las reservas hidrogeológicas del embalse subterráneo Cornicabra-Noguerones. Se ha fijado que el vaciamiento promedio mensual es de 1,43 hm³ (lo que supone el 16,8% de las reservas

hidrogeológicas) y el máximo sería de 6,94 hm³ (un 81,7% de las reservas hidrogeológicas). Asimismo, la respuesta del acuífero ante los bombeos implica que se produciría la recuperación del mismo tras un periodo temporal de extracciones.

12. Los resultados obtenidos en el análisis comparativo de los indicadores de garantía, para los diversos escenarios de simulación considerados, y los costes del agua suministrada para abastecimiento urbano en alta, indican que se obtienen unos resultados más satisfactorios para el escenario que contempla la conexión de ambos subsistemas mediante las nuevas infraestructuras generadas, pero sin utilizar las aguas del embalse del Víboras para abastecimiento, por el incremento de coste que supone sin que el aumento de la garantía sea significativo. Así, se ha fijado que para el escenario CON conexión el coste promedio del agua en alta sería de 0,069 €/m³ si se utiliza el agua del embalse del Víboras y de 0,055 €/m³ si no se usan aguas del embalse y se ponen en funcionamiento los sondeos del Víboras (acuífero Gracia-Morenita) cuando sea necesario.

11.3 RECOMENDACIONES

Considerando los resultados del estudio realizado para el Sistema Quebrajano-Víboras parece razonable plantear esquemas de uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas bajo las siguientes pautas generales:

- Las instalaciones de regulación de aguas subterráneas mediante sondeos en acuíferos deficitarios deben utilizarse ante situaciones de escasez y en los supuestos de que no existan otras fuentes de recursos, estableciendo las medidas de control y gestión necesarias para asegurar su sostenibilidad e incluso disponer medidas correctoras para la recuperación de los embalses subterráneos.
- La utilización del embalse del Víboras para abastecimiento debe ser restringida, dando prioridad a la captación de recursos subterráneos en el Alto Víboras, favoreciendo la disposición de aguas para abastecimiento de mejor calidad y a un menor coste.

- Necesidad de analizar y mejorar el funcionamiento hidráulico de las captaciones y conducciones de las Fuentes de Martos.
- No sería necesario disponer de infraestructuras de regulación superficial en los Cañones de Mingo, aunque sería conveniente analizar la conveniencia de un aumento en la capacidad de potabilización de la ETAP de Jaén.
- La impermeabilización del embalse del Quiebrajano implicaría la mejora sustancial en los índices de garantía globales del sistema, si bien, es necesario analizar la viabilidad técnica de esta actuación y el aumento de coste que supondría respecto al agua regulada en el embalse, realizando comparativas con el escenario que implique la no impermeabilización del embalse y el aumento de la regulación en el acuífero Grajales, aprovechando eficazmente la recarga artificial no programada que, sobre este acuífero, produce el embalse sin impermeabilizar.
- Estudio y valoración económica de las actuaciones de recarga artificial necesarias en el acuífero Gracia-Morenita para implantar un régimen de explotación sostenible en este acuífero y de las posibilidades de regulación de los acuíferos del Alto Víboras, si se utiliza como fuente de suministro de agua potable alternativa al embalse del Víboras.
- Declarar como reservas estratégicas para abastecimiento urbano los acuíferos asociados al Sistema Quiebrajano-Víboras, haciendo uso de la actual legislación, favoreciendo de esta forma la implantación de conductas de protección de la cantidad y calidad de sus recursos subterráneos.
- Aunque en los escenarios de simulación considerados se han incorporado criterios de calidad y económicos en la gestión de las fuentes de suministro, particularmente en lo que respecta a la integración del embalse del Víboras, sería conveniente profundizar en este sentido.
- Mejorar el conocimiento actual sobre los usos del agua para regadío en el Sistema Quiebrajano-Víboras.
- Favorecer la implantación de esquemas de regulación que permitan la recuperación de los acuíferos deficitarios (con situaciones de balance hidrogeológico no sostenible), tales como Castillo-La Ímora o Ahillos.
- Llevar a efecto estudios hidrogeológicos detallados de los acuíferos más significativos del sistema que incluyan el desarrollo de modelos matemáticos de parámetros distribuidos.

- Mejorar los sistemas de vigilancia y control de los acuíferos del Sistema Quiebrajano-Víboras.
- Determinar con mayor exactitud el volumen de agua del sistema que se destina al riego del olivar y concretar las fuentes de suministro de que dispone.
- Analizar con mayor detalle el efecto ecológico que tendría sobre los cauces analizados una reducción temporal en los caudales fijados para el régimen ambiental (caudales críticos) ante situaciones de intensa sequía.
- La puesta en funcionamiento de los sondeos tipo SER en Cornicabra-Noguerones exige desarrollar un estudio hidrogeológico detallado de este embalse subterráneo y del coste del agua bombeada para considerarla como un sobrecoste del macro-sistema de abastecimiento Quiebrajano-Víboras.

11.4 ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS

A continuación se especifican una serie de actuaciones complementarias que se consideran necesarias.

11.4.1 Plan de Sistematización

El PLAN DE SISTEMATIZACIÓN del Sistema Quiebrajano-Víboras que se propone tiene como objetivo el el control periódico de las fuentes de suministro, al objeto de disponer de datos sistemáticos sobre los recursos disponibles del sistema, lo que permitirá al gestor disponer de la información necesaria para la gestión del sistema, incluso en situaciones críticas.

Este Plan de Sistematización se concreta en las siguientes actuaciones necesarias:

- Acondicionamiento de cauces para el control hidrométrico diario de la descarga de los acuíferos más importantes del sistema (Grajales-Pandera y Alto Víboras), al objeto de disponer de información que permita analizar con mayor detalle el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos y controlar la evolución de los embalses subterráneos.

- Control de volúmenes de aguas subterráneas explotados en las principales captaciones de abastecimiento urbano en las unidades hidrogeológicas 05.16/Jabalruz, 05.17/Jaén, 05.66/Grajales-Pandera y 05.70/Gracia-Ventisquero, mediante la colocación de contadores (caudalímetros totalizadores). Estos datos son fundamentales para controlar la evolución de los embalses subterráneos.
- Rediseño y optimización de las redes de control y vigilancia de las aguas subterráneas, para el control mensual de las variables hidroquímicas (calidad del agua) y piezométricas (estado de llenado de los embalses subterráneos) en las unidades hidrogeológicas 05.16/Jabalruz, 05.17/Jaén, 05.66/Grajales-Pandera y 05.70/Gracia-Ventisquero.
- Desarrollo de un sistema informático para la gestión de la información que se genere de diversa procedencia:
 - Datos climatológicos estaciones INM.
 - Datos foronómicos CHGuadalquivir y redes de control propuestas.
 - Datos de explotación en acuíferos.
 - Datos de explotación de embalses.
 - Datos redes de control de las aguas subterráneas.

A continuación se realiza una valoración económica tentativa de la puesta en funcionamiento y mantenimiento del Plan de Sistematización propuesto. Se ha supuesto una ley de amortización lineal y una vida útil de 15 años para el cálculo de los costes fijos de operación y mantenimiento.

Según los datos estimados, el coste por m³ de agua consumida en el Sistema Quiebrajano-Víboras (27,11 hm³/a de promedio), para la implantación del Plan de Sistematización de los recursos hídricos, sería de 0,0026 €/m³. Asimismo, para el mantenimiento de este Plan de Sistematización sería necesaria una inversión anual de 2.227 €/hm³ de agua consumida (0,0022 €/m³).

PLAN DE SISTEMATIZACIÓN DEL SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS					
Componentes a generar	Unidades	Conceptos	Precio unitario	Coste estimativo de puesta en funcionamiento	Coste estimativo de operación y mantenimiento (€/año)
			(€)	(€)	
Acondicionamiento de secciones para el control de los drenajes de aguas subterráneas	5	Obra civil en cauces	21.300	106.500	
		Instrumentación	4.500	22.500	
			25.800	129.000	8.591
Control de volúmenes explotados de aguas subterráneas	20	Inventario de captaciones	5.340	106.800	
		Instalación de caudalímetros	45.000	900.000	
			8.900	8.900	1.260
Diseño redes de control de las aguas subterráneas	1	Rediseño y optimización de las redes	6.500	6.500	
		Ejecución y equipamiento de redes de piezometría e hidroquímica (10 sondeos de 200 m equipados)	510.000	510.000	
			516.500	516.500	47.311
Desarrollo de un sistema de informatización	1	Diseño y desarrollo del Sistema Informático	32.500	32.500	
		Implantación del Sistema Informático	15.600	15.600	
			48.100	48.100	3.203
Coste de la puesta en funcionamiento del Plan de Sistematización (€)				702.500	
Coste unitario (€/m ³ consumido)				0,026	
Coste del mantenimiento del Plan de Sistematización (€/año)				60.367	
Coste unitario (€/m ³ consumido)				0,002	

Tabla 111. Valoración económica estimativa de la implantación del Plan de Sistematización de los recursos hídricos del Sistema Quiebrajano-Víboras

El desarrollo de este Plan de Sistematización dotaría a la entidad gestora del sistema de una herramienta para el control de los recursos disponibles y para la toma de decisiones respecto a la gestión del sistema en diferentes escenarios, sustentando un conocimiento detallado del estado hidrológico de las fuentes de suministro y sirviendo de base, junto con el modelo de gestión desarrollo, para el desarrollo de la **Estrategia ante Situaciones de Sequía** mediante la que se concreten una serie de indicadores de sequía que combinando datos hidrológicos, hidroquímicos y ambientales procedentes del Plan de Sistematización propuesto, concreten la opertividad del sistema ante situaciones extremas.

11.4.2 Programa de Actuaciones sobre las Aguas Subterráneas

La inclusión satisfactoria de los acuíferos en la gestión integrada del Sistema Quiebrajano-Víboras exige la realización de una serie de actuaciones sobre las aguas subterráneas. Para ello, se ha elaborado un PROGRAMA DE ACTUACIÓN SOBRE LOS RECURSOS SUBTERRÁNEOS enfocado, esencialmente, a aumentar la eficacia en el suministro de aguas subterráneas a los núcleos de población y la protección ambiental de los cauces más sensibles del sistema.

Para la elaboración de este Programa de Actuaciones se han considerado la existencia de ciertas deficiencias existentes en el grado de conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de los principales sistemas hidrogeológicos del sistema Quiebrajano-Víboras y la necesidad de llevar a cabo determinadas actuaciones para la mejora de la regulación de los embalses subterráneos enfocada tanto a la dotación de los abastecimientos urbanos como al mantenimiento de los caudales ecológicos. Así, se han concretado las siguientes actuaciones:

- Inventario exhaustivo de puntos de agua, partiendo del actualmente existente en el archivo nacional de Puntos de Agua del IGME y los fondos documentales de la CHG (Registros de Expedientes). En total se prevé que será necesario actualizar unos 250 puntos.
- Modelo de parámetros distribuidos para la simulación del flujo subterráneo en los embalses subterráneos Grajales-Pandera, Gracia-Morenita, Ventisquero, Mentidero-Montesinos y Cornicabra-Noguerones.
- Plan de protección de las actuales captaciones de abastecimiento urbano mediante la implantación de perímetros de protección.
- Recalibración del modelo precipitación-aportación, con nuevos datos de descarga diaria en acuíferos.
- Análisis de la influencia del sistema de impermeabilización del vaso del embalse del Quiebrajano que propone la CHGuadalquivir sobre la descarga en Cañones de Mingo, valorando la capacidad de regulación natural del acuífero de Grajales sobre esta recarga artificial no programada.
- Análisis hidráulico de los sistemas de captación y conducción asociado a las Fuentes de Martos, valorando las posibilidades de regulación de los

manantiales principales de los acuíferos Ventisquero, Montesinos y Cornicabra-Noguerones.

Se han valorado económicamente las actuaciones propuestas, al objeto de obtener una estimación sobre los costes derivados de su desarrollo.

PROGRAMA DE ACTUACIONES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SISTEMA QUIEBRAJANO-VÍBORAS				
Actuaciones	Unidades	Conceptos	Precio unitario (€)	Coste estimativo (€)
Actualización del inventario de puntos de agua	250	Inventario de puntos de agua	52,00	13.000
Modelo parámetros distribuidos de embalses subterráneos	5	Elaboración de un modelo de flujo	45.000,00	225.000
Plan de protección abastecimientos urbanos	10	Delimitación de perímetros de protección en captaciones para abastecimiento urbano	21.000,00	125.000
Recalibración modelo precipitación-aportación	1	Actualización de datos y recalibración del modelo	15.000,00	15.000
Análisis de la influencia del sistema de impermeabilización del vaso del embalse del Quiebrajano	1	Estudio hidrogeológico del acuífero Grajales en el entorno del embalse del Quiebrajano	35.000,00	35.000
Análisis hidrogeológico de las captaciones Fuentes de Martos	1	Estudio hidrogeológico para valorar las posibilidades de regulación de los embalses subterráneos del Alto Víboras	48.000,00	45.000
Coste estimativo del Plan Estratégico de Actuación (€)				458.000
Inversión estimativa por unidad de recurso regulado (€/m ³ consumido)				0,017

Tabla 112. Valoración económica estimativa para la ejecución del Plan Estratégico de Actuaciones sobre los recursos subterráneos propuesto para el sistema Víboras-Quiebrajano

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Referencias

-  Andreu Álvarez, J.; Capilla Romá, J. y Ferrer Polo, J., 1992 : « Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Manual de usuario Versión 2.0”.
-  Castillo, E.; Hidalgo, J. y del Valle, M 1983: “Posibilidades de abastecimiento urbano a Jaén a partir de aguas subterráneas”. III Simposio de Hidrogeología. Madrid Mayo 1983, pp 217-232.
-  Castillo Pérez, E., 1987: “Alternativas de utilización de recursos subterráneos en el sistema de abastecimiento conjunto del Quiebrajano (Jaén)”. IV Simposio de Hidrogeología. Palma de Mallorca, octubre 1987, pp. 393-403.
-  Crochet pH, Marsaud,B. 1997 : « Approches conceptuelles de l’aquifère karstique. Problèmes méthodologiques et d’exploitation ». Rev. Hydrogéologie, nº3, pp 3-18.
-  Estrela Monreal, T., 1987:” Los modelos de simulación integral de cuenca y su utilización en estudios de recurso hídricos”. Rev. Ingeniería Civil nº72, pp 83-95.
-  González Hernando, L. y Ruiz Fernández de la Lopa, V. 1995:”El abastecimiento de emergencia a Jaén capital”. VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla, octubre 1995, pp. 127-136.
-  González Ramón, A., Rubio Campos, J.C. y López Geta, J.A. 1995:”Potencialidad de los acuíferos situados en el sector Quiebrajano-Víboras como apoyo al abastecimiento urbano en situación de sequía extrema”. VI Simposio de Hidrogeología. Sevilla, octubre 1995, pp. 193-207.
-  González Ramón, A. 2001: “Contribución al conocimiento hidrogeológico e hidroquímico del acuífero kárstico Gracia-Morenita (provincia de Jaén)”. Tesis de Licenciatura-Univ. Granada
-  González Ramón, A. 2001: “Los acuíferos de la cabecera del río Víboras, potencial hídrico garante del abastecimiento a la Comarca de Martos y al Sistema Quiebrajano”. Jornadas sobre el Presente y Futuro de las Aguas Subterráneas en la provincia de Jaén. Linares (Jaén), octubre 2001.
-  IGME, 1986:”Proyecto de investigación para la mejora del abastecimiento de agua a los núcleos urbanos del sector suroccidental de la provincia de Jaén”.
-  IGME-Junta de Andalucía, 1996:”Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público de Andalucía. Sector de acuíferos en relación con el abastecimiento del Quiebrajano-Víboras y el acuífero Gracia-Morenita (Jaén)”.
-  IGME-Junta de Andalucía, 1996:”Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público de Andalucía. Sector de acuíferos de Ahillo-Caracolera-Fte Higuera, en relación con el abastecimiento de la Bobadilla-Noguerones-Monte Lope Álvarez (Jaén)”.
-  Molina Molina, A., 1996: “Prospección de aguas subterráneas en la cabecera del río Víboras (Jaén). Resultados preliminares”. IV SIAGA, Almería 1996, pp 295-304.
-  MIMAM-DGOHCA, 1999:”Actualización del inventario de recursos subterráneos en la cuenca alta del río Guadalbullón y del río Torres”.
-  Sauquillo, A. y Sánchez González, A. (1983): “Metodología para la realización de estudios de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Boletín de Informaciones y Estudios. Madrid (43), pp. 1-95.

-  Temez, JR, 1977: "Modelo matemático de transformación precipitación-aportación". Asociación de investigación Industrial Eléctrica (ASINEL).
-  Thorthwait, C.W. y Mather, JR (1955): "The water balance". Publ. Climatol. Lab. Climatol. Drexel. Technol 8n (1), 1-104.

Documentos Técnicos

-  Aqualia: Memoria descriptiva del abastecimiento de Jaén Capital
-  AQUAVIR: Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la Adjudicación del Contrato de las Obras de las "Conducciones para el abastecimiento conjunto de los sistemas Víboras y Quiebrajano (Jaén)"
-  ASAJA, 1998: Programación de Riegos en Olivar en la provincia de Jaén. Boletín Informativo.
-  Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: Documento XYZT de la Presa del Víboras
-  Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: Documento XYZT de la Presa del Quiebrajano
-  Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: Descripción del abastecimiento de Martos (Jaén)
-  Confederación Hidrográfica del Guadalquivir: Descripción del abastecimiento al Conjunto del Quiebrajano (Jaén)
-  IGME-CHG: Normas de explotación de las UHs 16/Jabalucz, 17/Jaén, 22/Mentidero-Montesinos, 66/Grajales-Pandera-Carchel y 70/Gracia-Ventisquero. Documentos en revisión.
-  Junta de Andalucía, Febrero 1999: "Concurso para la adjudicación de los trabajos de consultoría para la redacción del proyecto de construcción, colaboración en las expropiaciones y opción de dirección de obras de Conducción General e Impulsión desde el embalse del Víboras a la ETAP de Martos (Jaén)".
-  Mapas Serie Magna escala 1:50.000 del IGME nos. 947 (Jaén), 968 (Alcaudete), 969 (valdepeñas de Jaén) y 946 (Martos).
-  Ministerio de Medio AmbienteCHG: Ficha Técnica de la presa, embalse y cuenca del Víboras
-  Ministerio de Medio AmbienteCHG: Ficha Técnica de la presa, embalse y cuenca del Quiebrajano