

DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS DE LOS ACUÍFEROS BARRANCONES Y VOLTES (ALICANTE)

TOMO I. MEMORIA



Marzo 2010

Este Estudio ha sido realizado por el **Instituto Geológico y Minero de España (IGME)**, del Ministerio de Educación y Ciencia, en Convenio con la **Excma. Diputación Provincial de Alicante**, habiendo intervenido el siguiente:

EQUIPO DE TRABAJO

Ramón Aragón Rueda. **Director del Proyecto (IGME)**
Luis Rodríguez Hernández. **Director del Proyecto (DPA)**

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Oficina de Murcia

José Luis García Aróstegui. Doctor en CC Geológicas
Jorge Enrique Hornero Díaz. Ingeniero Técnico de Minas

DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE

Departamento del Ciclo Hídrico

Juan Antonio Hernández Bravo. Lcdo. CC Geológicas.
Miguel Fernández Mejuto. Lcdo. CC Geológicas e Ingeniero Técnico Informático.

Empresa consultora: INTECSA-INARSA

Delegación de Murcia

Luis Solís García-Barbón. Lcdo. CC Geológicas, responsable empresa consultora.
José Arocha Pareja. Lcdo. CC Geológicas.
José Antonio Bernedo Garrido. Lcdo. CC Geológicas
María Máximo Marín. Lcda. CC Físicas.
José Luis Quintana García. Ingeniero Técnico de Minas

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	15
2. RECOPIACIÓN, ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	16
3. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y EXTRACCIONES	23
3.1. OBJETIVOS.....	23
3.2. TRABAJOS REALIZADOS.....	23
3.2.1. <i>Datos de inventario</i>	23
3.2.2. <i>Profundidad de la superficie piezométrica</i>	28
3.2.3. <i>Medidas de caudales</i>	29
3.2.4. <i>Calidad química</i>	30
3.2.5. <i>Extracción en los puntos de agua</i>	31
3.3. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	32
3.3.1. <i>Abastecimiento urbano</i>	32
3.3.2. <i>Usos agrícola y doméstico</i>	35
3.3.3. <i>Síntesis de los usos del agua</i>	36
4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA	38
4.1. ACUÍFERO BARRANCONES.....	38
4.1.1. <i>Formaciones permeables e impermeables</i>	38
4.1.2. <i>Localización y geometría del acuífero</i>	40
4.2. ACUÍFERO VOLTES.....	44
4.2.1. <i>Formaciones permeables e impermeables</i>	44
4.2.2. <i>Localización y geometría del acuífero</i>	46
5. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS FORMACIONES PERMEABLES	48
5.1. ACUÍFERO BARRANCONES.....	48
5.2. ACUÍFERO VOLTES.....	51
6. PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA A APLICAR PARA LA EVALUACIÓN DE LAS RESERVAS	52
6.1. MÉTODO BASADO EN LAS ISOPACAS DEL ACUÍFERO (IGME 2003).....	52
6.2. MÉTODO DE INTEGRACIÓN NUMÉRICA (IGME 2003).....	53
6.3. MALLADO DE ACUÍFERO (IGME 2003).....	59
6.4. MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO (IGME 2003).....	62
6.5. MODELO ÁCARO (DPA 2007).....	63

6.6.	MODELO IGME 2008	65
6.7.	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL CÁLCULO DE RESERVAS.....	70
6.8.	RMODF, UN PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESERVAS DE UN ACUÍFERO MEDIANTE EL MÉTODO DE MALLADO	71
6.8.1.	<i>Alcance</i>	71
6.8.2.	<i>Fichero de datos</i>	72
6.8.3.	<i>Fichero de parámetros</i>	74
6.8.4.	<i>Ficheros de resultados</i>	77
7.	DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS CONCEPTUALES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS Y REALIZACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS DE FLUJO	82
7.1.	ACUÍFERO BARRANCONES.....	82
7.1.1.	<i>Modelo conceptual</i>	82
7.1.1.1.	Piezometría y funcionamiento hidrodinámico.....	84
7.1.1.2.	Hidrometría.....	91
7.1.1.3.	Balance hídrico	91
7.1.1.4.	Calidad del agua.....	93
7.1.2.	<i>Modelo matemático</i>	101
7.1.2.1.	Introducción	101
7.1.2.2.	Antecedentes	101
7.1.2.3.	Software empleado	103
7.1.2.4.	Discretización espacial	103
7.1.2.5.	Propiedades hidráulicas	107
7.1.2.6.	Discretización temporal	109
7.1.2.7.	Calibración.....	117
7.1.2.8.	Comportamiento simulado del acuífero en escenarios tipo.....	124
7.2.	ACUÍFERO VOLTES.....	147
7.2.1.	<i>Modelo conceptual</i>	147
7.2.1.1.	Piezometría y funcionamiento hidrodinámico.....	148
7.2.1.2.	Balance hídrico	153
7.2.1.3.	Calidad del agua.....	154
7.2.2.	<i>Modelo matemático</i>	156
7.2.2.1.	Introducción	156
7.2.2.2.	Software empleado	157
7.2.2.3.	Discretización espacial	157
7.2.2.4.	Propiedades hidráulicas	161
7.2.2.5.	Discretización temporal	161
7.2.2.6.	Calibración.....	167
7.2.2.7.	Comportamiento simulado del acuífero en escenarios tipo.....	182
8.	EVALUACIÓN DE LAS RESERVAS Y DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL. ANÁLISIS DE LAS POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN	191
8.1.	ACUÍFERO BARRANCONES.....	191

8.2. ACUÍFERO VOLTES.....	196
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.1. Curva cota superficie.	54
Figura 6.2. Esquemas de integración numérica.....	54
Figura 6.3. Curva explotación de un acuífero	55
Figura 6.4. Perfil ideal en un acuífero libre.	56
Figura 6.5. Perfil ideal en un acuífero libre de dos capas con diferentes valores de propiedades de almacenamiento.	56
Figura 6.6. Perfil ideal en un acuífero que funciona en sectores como libre y en sectores como cautivo.....	58
Figura 6.7. Perfil discretizado de un acuífero para el cálculo de reservas	60
Figura 6.8. Discretización espacial de un acuífero en forma de sección en el plano XZ	60
Figura 6.9. Modelos geométricos correspondientes a las curvas características 2D-Invariante y 2D-Bidimensional.....	67
Figura 6.10. Modelos geométricos para la construcción de curvas características 3D complejas.	68
Figura 6.11. Curva de explotación de un acuífero en un situación piezométrica determinada.....	72
Figura 6.12. Curva de explotación sintética.	72
Figura 6.13. Gráfico del fichero r_ce_todas.txt (a).....	79
Figura 6.14. Gráfico del fichero r_ce_todas.txt (b).....	79
Figura 6.15. Gráfico del fichero r_t.png.....	80
Figura 6.16. Gráfico del fichero r_hmax.png.....	80
Figura 6.17. Curva de explotación sintética (1).....	81
Figura 6.18. Curva de explotación sintética (2).....	81
Figura 6.19. Gráfico del fichero r_gravitativas.txt.....	81
Figura 7.1. Evolución piezométrica del acuífero Barrancones. Sectores Molinar y Ondoxes (DPA-IGME, 2006).....	85
Figura 7.2. Evolución piezométrica del acuífero Barrancones, en el entorno del manantial	85
Figura 7.3. Evolución piezométrica del acuífero Barrancones. Sectores Molinar, Negre y Safarich (DPA-IGME, 2006).	86
Figura 7.4. Evolución piezométrica comparativa de los sectores Negre y Safarich.....	87
Figura 7.5. Evolución piezométrica comparativa entre los acuíferos Sierra del Cuartel y Barrancones	88
Figura 7.6. Descargas anuales en el manantial El Molinar.....	91
Figura 7.7. Evolución de la temperatura en los sectores Molinar, Negre y Ondoxes.....	94
Figura 7.8. Evolución de la conductividad en el acuífero Barrancones.	95
Figura 7.9. Evolución de la conductividad respecto a los iones cloruros.	95

Figura 7.10. Diagrama Piper representativo de las aguas subterráneas del acuífero Barrancones	96
Figura 7.11. Evolución de la relación rMg/rCa en el acuífero Barrancones	97
Figura 7.12. Evolución de la relación rSO_4/rCl en el acuífero Barrancones	98
Figura 7.13. Evolución de la relación $rCl/rHCO_3$ en el acuífero Barrancones.....	98
Figura 7.14. Evolución de la relación $rSO_4/rHCO_3$ en el acuífero Barrancones.....	99
Figura 7.15. Clasificación Riverside para las aguas del acuífero Barrancones.....	100
Figura 7.16. Rejilla definida en el acuífero Barrancones	104
Figura 7.17. Representación en cada celda de los valores de cota del muro del acuífero Barrancones	105
Figura 7.18. Representación en cada celda de los valores de cota del techo del acuífero Barrancones	106
Figura 7.19. Potencia en las celdas del acuífero Barrancones.....	107
Figura 7.20. Barrera de conductividad entre los sectores Molinar - Negre y en la Sierra de Ondoxes.	109
Figura 7.21. Alturas piezométricas al comienzo de la simulación en el acuífero Barrancones.	110
Figura 7.22. Zona de acuífero cautivo (rojo) en el acuífero Barrancones.	111
Figura 7.23. Zonas secas al comienzo de la calibración en el acuífero Barrancones.....	111
Figura 7.24. Espesor saturado al comienzo de la calibración en la zona de comportamiento libre del acuífero Barrancones.	112
Figura 7.25. Estaciones meteorológicas de la AEMET en el entorno del acuífero Barrancones.	113
Figura 7.26. Afloramientos permeables sobre el acuífero Barrancones.....	114
Figura 7.27. Zonas de recarga del acuífero Barrancones.	114
Figura 7.28. Media móvil (12 meses) en los afloramientos permeables del acuífero Barrancones.....	116
Figura 7.29. Sondeos considerados en el acuífero Barrancones.....	117
Figura 7.30. Explotación anual en el acuífero Barrancones por sectores	117
Figura 7.31. Distribución espacial de la transmisividad en el acuífero Barrancones (m^2/d).	119
Figura 7.32. Distribución del coeficiente de almacenamiento en la zona libre (adimensional) en el acuífero Barrancones.	120
Figura 7.33. Evolución piezométrica en el sondeo Molinar 1, del sector Molinar según calibración inicial básica.....	121
Figura 7.34. Evolución piezométrica en el sondeo Molinar 2, del sector Molinar según calibración inicial básica.....	122
Figura 7.35. Evolución piezométrica en el sondeo Campos nº 2, del sector Molinar según calibración inicial básica.....	122

Figura 7.36. Evolución piezométrica en el sondeo Safarich, del sector Safarich según calibración inicial básica.....	123
Figura 7.37. Evolución piezométrica en el sondeo nº 4, del sector Negre según calibración inicial básica.....	123
Figura 7.38. Evolución piezométrica en el sondeo Penella, del sector Ondoxes según calibración inicial básica.....	124
Figura 7.39. Caudales surgentes en el manantial del Molinar (hm ³ /año) medidos y obtenidos de la calibración inicial básica.....	124
Figura 7.40. Evolución piezométrica en Molinar 1 según hipótesis simulación Escenario 1.....	126
Figura 7.41. Evolución piezométrica en Molinar 2 según hipótesis simulación Escenario 1.....	127
Figura 7.42. Evolución piezométrica en Penella según hipótesis simulación Escenario 1.....	127
Figura 7.43. Evolución piezométrica en Sondeo nº 4 según hipótesis simulación Escenario 1.....	128
Figura 7.44. Evolución piezométrica en Safarich según hipótesis simulación Escenario 1.....	128
Figura 7.45. Caudales en el Molinar según hipótesis Escenario 1.....	129
Figura 7.46. Evolución piezométrica en Molinar 1 según hipótesis simulación Escenario 2.....	132
Figura 7.47. Evolución piezométrica en Molinar 2 según hipótesis simulación Escenario 2.....	132
Figura 7.48. Evolución piezométrica en Penella según hipótesis simulación Escenario 2.....	133
Figura 7.49. Evolución piezométrica en Sondeo nº 4 según hipótesis simulación Escenario 2.....	133
Figura 7.50. Evolución piezométrica en Safarich según hipótesis simulación Escenario 2.....	134
Figura 7.51. Evolución piezométrica en Calderete según hipótesis simulación Escenario 2.....	134
Figura 7.52. Número de habitantes (INE) en las poblaciones abastecidas del acuífero Barrancones.....	137
Figura 7.53. Crecimiento esperado en los municipios que reciben agua de Barrancones.....	137
Figura 7.54. Demanda futura en Barrancones por sectores.....	140
Figura 7.55. Demanda futura por sectores limitando explotación en el sector Negre.....	141
Figura 7.56. Explotación en sondeos del sector Molinar.....	141
Figura 7.57. Evolución piezométrica en Molinar 1 según hipótesis simulación Escenario 3.....	142

Figura 7.58. Evolución piezométrica en Molinar 2 según hipótesis simulación Escenario 3.....	142
Figura 7.59. Evolución piezométrica en Calderete según hipótesis simulación Escenario 3.....	143
Figura 7.60. Evolución piezométrica en El Estepar según hipótesis simulación Escenario 3.....	143
Figura 7.61. Evolución piezométrica en Penella según hipótesis simulación Escenario 3.....	144
Figura 7.62. Evolución piezométrica en Sondeo nº 4 según hipótesis simulación Escenario 3.....	144
Figura 7.63. Evolución piezométrica en Safarich según hipótesis simulación Escenario 3.....	145
Figura 7.64. Evolución en el piezómetro 2833–30066. Acuífero Voltes	149
Figura 7.65. Mapa de isopiezas del acuífero Voltes. Septiembre 2009.	151
Figura 7.66. Diagrama Piper representativo del acuífero Voltes	155
Figura 7.67. Clasificación Riverside para las aguas del acuífero Voltes	155
Figura 7.68. Rejilla definida en el acuífero Voltes.....	157
Figura 7.69. Isohipsas del muro del acuífero Voltes.....	158
Figura 7.70. Isohipsas del techo del acuífero Voltes.	159
Figura 7.71. Potencia en las celdas del acuífero Voltes.	160
Figura 7.72. Alturas piezométricas al comienzo de la simulación en el acuífero Voltes.	163
Figura 7.73. Espesor saturado al comienzo de la calibración en el acuífero Voltes.	163
Figura 7.74. Inventario de estaciones meteorológicas de la AEMET próximas al acuífero Voltes.....	164
Figura 7.75. Serie completada de precipitación en la estación de Castalla.	165
Figura 7.76. Agua disponible para infiltración. Datos mensuales, acuífero Voltes.....	166
Figura 7.77. Explotación mensual en el acuífero Voltes.....	166
Figura 7.78. Piezómetros en el acuífero Voltes.	167
Figura 7.79. Evolución piezométrica en los puntos de observación del acuífero Voltes.....	168
Figura 7.80. Muro del acuífero Voltes considerando el tramo de areniscas del Langhiense.....	169
Figura 7.81. Espesor saturado en el acuífero Voltes considerando el muro en el tramo de areniscas del Langhiense.....	169
Figura 7.82. Zonas de recarga en el acuífero Voltes.....	171
Figura 7.83. Reparto mensual de un pulso de recarga por entradas laterales en el acuífero Voltes.....	172
Figura 7.84. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.I.....	173
Figura 7.85. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.I	173

Figura 7.86. Serie de recarga en el acuífero Voltes basada en la existencia de una relación lineal con la serie de precipitación.....	174
Figura 7.87. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.II	175
Figura 7.88. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.II	175
Figura 7.89. Serie recarga en el acuífero Voltes obtenida a partir de la serie de precipitación con una retención constante de 600 dm ³	176
Figura 7.90. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.III	176
Figura 7.91. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.III	177
Figura 7.92. Distribución espacial de la transmisividad en el acuífero Voltes (m ² /d).....	178
Figura 7.93. Distribución espacial de la conductividad en el acuífero Voltes (m/d).....	178
Figura 7.94. Evolución piezométrica en Voltes I según calibración final básica.....	179
Figura 7.95. Evolución piezométrica en Voltes II según calibración final básica.....	179
Figura 7.96. Mapa de isopiezas al comienzo de la calibración del acuífero Voltes.....	181
Figura 7.97. Mapa de isopiezas al final de la calibración del acuífero Voltes.	181
Figura 7.98. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 1.....	183
Figura 7.99. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 1 con un aumento en los bombeos.....	184
Figura 7.100. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 2.....	185
Figura 7.101. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 2 con un aumento en los bombeos.....	186
Figura 7.102. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 3.....	187
Figura 7.103. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 3 con un aumento en los bombeos.....	189
Figura 7.104. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 4.....	190
Figura 7.105. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 4 con un aumento en los bombeos.....	190
Figura 8.1. Variación de reservas del acuífero Barrancones. Escenario de simulación 1.....	191
Figura 8.2. Evolución temporal de las reservas gravitativas en el acuífero Barrancones.....	192
Figura 8.3. Curva de explotación sintética del acuífero Barrancones. Escenario de simulación 1.....	192

Figura 8.4. Rangos de reservas entre cotas en la curva de explotación sintética. Acuífero Barrancones, escenario de simulación 1.....	194
Figura 8.5. Relación entre la cota máxima de la superficie piezométrica y el volumen de reservas total del acuífero Barrancones.	195
Figura 8.6. Curva de explotación (ce) en la situación de máximo llenado del acuífero Barrancones.	195
Figura 8.7. Curva de explotación (ce) en la situación de volumen mínimo de reservas en el acuífero Barrancones.	196
Figura 8.8. Variación de reservas del acuífero Voltes. Escenario de simulación 1.....	197
Figura 8.9. Evolución temporal de las reservas gravitativas en el acuífero Voltes.....	197
Figura 8.10. Curva de explotación sintética del acuífero Voltes. Escenario de simulación 1.....	198
Figura 8.11. Relación entre la cota máxima de la superficie piezométrica y el volumen de reservas total del acuífero Voltes.....	199
Figura 8.12. Curva de explotación (ce) en la situación de máximo llenado del acuífero Voltes.....	199
Figura 8.13. Curva de explotación (ce) en la situación de volumen mínimo de reservas en el acuífero Voltes.....	200

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Puntos de agua actualizados según tipos.....	24
Cuadro 3.2. Datos básicos de los puntos de agua actualizados	25
Cuadro 3.3. Datos constructivos de los pozos e infraestructura hidráulica	27
Cuadro 3.4. Relación de medidas piezométricas.....	28
Cuadro 3.5. Relación de medidas de caudales.	29
Cuadro 3.6 . Calidad del agua en los pozos del Molinar (Alcoy)	30
Cuadro 3.7. Bombeos en los acuíferos.....	31
Cuadro 3.8. Acuífero Barrancones. Extracciones para abastecimiento urbano	32
Cuadro 3.9. Acuífero Voltes. Extracciones para abastecimiento urbano.....	34
Cuadro 3.10. Acuífero Serravalliense de Benifallim. Extracciones para abastecimiento urbano.....	34
Cuadro 3.11. Volumen y procedencia del agua subterránea destinada a abastecimiento e industria.....	35
Cuadro 3.12. Superficies de riego atendidas	36
Cuadro 3.13. Acuífero Barrancones. Síntesis de los volúmenes de agua suministrados por usos	36
Cuadro 3.14. Acuífero Voltes. Síntesis de los volúmenes de agua suministrados por usos	37
Cuadro 5.1. Interpretación de ensayos de bombeo en el acuífero Barrancones	49
Cuadro 5.2. Transmisividades estimadas a partir de caudales específicos en el acuífero Barrancones.....	50
Cuadro 5.3. Síntesis de valores de transmisividades estimadas en puntos de explotación del acuífero Barrancones	51
Cuadro 5.4. Interpretación de ensayo de bombeo en el acuífero Voltes.....	51
Cuadro 5.5. Transmisividades estimadas a partir de caudales específicos en el acuífero Voltes	52
Cuadro 6.1. Tipos de curvas características (IGME 2008).....	67
Cuadro 7.1. Relación entre el comportamiento de un pozo y su transmisividad (Villanueva, M., Iglesias, A.)	107
Cuadro 7.2. Estimación de la transmisividad en los diferentes puntos de bombeo controlados en el acuífero Barrancones	108
Cuadro 7.3. Valores del coeficiente de almacenamiento (Villanueva, M., Iglesias, A.).....	108
Cuadro 7.4. Explotación Barrancones correspondiente a 2009.	125
Cuadro 7.5. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 1)	129
Cuadro 7.6. Explotación Barrancones correspondiente a 1999.	131
Cuadro 7.7. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 2).	134

Cuadro 7.8. Dotaciones máximas asignadas para el abastecimiento urbano en función de la actividad industrial en l/habitante y día, según PHJ (1997).....	138
Cuadro 7.9. Previsión de la demanda en los municipios abastecidos por Barrancones.	139
Cuadro 7.10. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 3)	145
Cuadro 7.11. Extracciones por bombeo en el acuífero Voltes.....	153
Cuadro 7.12. Piezómetros en el acuífero Voltes.....	167
Cuadro 7.13. Balance hídrico en el acuífero Voltes (escenario 1).....	183
Cuadro 7.14. Balance hídrico en el acuífero Voltes (escenario 3).....	187
Cuadro 8.1. Valores de reservas considerados en la curva de explotación sintética del acuífero Barrancones. Escenario de simulación 1.	194
Cuadro 8.2. Valores de reservas considerados en la curva de explotación sintética del acuífero Voltes. Escenario de simulación 1.....	198

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1. Mapa hidrogeológico del acuífero Barrancones
- Plano 2. Cortes hidrogeológicos del acuífero Barrancones (I-I' a IV-IV')
- Plano 3. Cortes hidrogeológicos del acuífero Barrancones (V-V' a VIII-VIII')
- Plano 4. Cortes hidrogeológicos del acuífero Barrancones (IX-IX' a XIV-XIV')
- Plano 5. Isohipsas de muro acuífero Barrancones
- Plano 6. Isohipsas del techo acuífero Barrancones
- Plano 7. Isopiezas acuífero Barrancones. Junio 2004
- Plano 8. Isopieza acuífero Barrancones. Octubre 2008
- Plano 9. Isopieza acuífero Barrancones. Febrero 2010
- Plano 10. Modelo conceptual del acuífero Barrancones

- Plano 11. Mapa hidrogeológico del acuífero Voltes
- Plano 12. Cortes hidrogeológicos del acuífero Voltes
- Plano 13. Isohipsas del muro del acuífero Voltes
- Plano 14. Isopacas acuífero Voltes
- Plano 15. Modelo conceptual del acuífero Voltes

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en cumplimiento de la normativa legal establecida en la disposición adicional cuarta del Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio), mantiene una línea de colaboración con la Diputación Provincial de Alicante (DPA) para la mejora del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos provinciales, instrumentado a través de un Convenio de colaboración.

Los acuíferos Barrancones y Voltes atienden el abastecimiento a los núcleos de población de Alcoy, Ibi y Castalla, además de otros algunos usos agrícolas. El objetivo del Estudio es establecer las reservas hídricas tanto en su magnitud total como la proporción de las mismas que pueda considerarse explotable y su distribución espacial, a fin de contribuir a la mejora en la planificación local de los abastecimientos urbanos.

2. RECOPIACIÓN, ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los primeros estudios de la zona comprendida en la poligonal de la unidad hidrogeológica (UH), definida en el PH de la cuenca del Júcar, estuvieron relacionados con el abastecimiento a la ciudad de Alcoy: Estudio hidrogeológico de la región de Alcoy (CEDEX, 1968); Informe sobre el abastecimiento de aguas a Alcoy (Reig, 1971); Estudio de regulación del manantial del Molinar (Sauquillo, 1972); Informe sobre los trabajos de reconocimiento hidrogeológico realizados en la región de Alcoy (SGOP, 1974); Estudio hidrogeológico para el abastecimiento del municipio de Alcoy (IGME, 1979). En el estudio del IGME se definen las unidades hidrogeológicas Barrancones–Carrasqueta y Sierra Mariola. En la primera se diferencian los sistemas acuíferos Tibi, Barrancones–Carrasqueta y Sistema del Cretácico Superior.

Las primeras referencias al acuífero Voltes se encuentran en la «Propuesta de perímetro de protección de un sondeo utilizado para el abastecimiento de Castalla (Alicante)» (IGME 1977), se incluye la definición de un perímetro de protección para el pozo de abastecimiento Voltes I (2833–60001), tomando como referencia los trabajos de cartografía geológica incluidos en la Hoja Geológica núm. 846 (Castalla).

En el estudio «Las Aguas Subterráneas de la Provincia de Alicante» (DPA-IGME 1982) se sintetiza el conocimiento hidrogeológico provincial y se incluyen los acuíferos de las UH Barrancones-Carrasqueta y Argueña–Maigmó. En la primera se distinguen los acuíferos: Barrancones-Carrasqueta, Menechaor, Cretácico superior, Tibi y Penáguila. Respecto al sistema Voltes este se encuadra dentro de la definición del acuífero Sierra de la Argueña de la UH Argueña–Maigmó.

En el «Estudio hidrogeológico de las Sierras de Madroñals, Carrasqueta y Plans para mejorar el abastecimiento público a Jijona (Alicante)» (IGME 1988) y en el informe «Problemática y Optimización en la Gestión del Abastecimiento Público con Aguas Subterráneas al Término Municipal de Ibi» (IGME 1988) se mejora el conocimiento de los acuíferos captados por los sondeos destinados al abastecimiento de Jijona e Ibi. En el informe de Ibi se actualiza el conocimiento hidrogeológico del acuífero Sierra del Carrascal (actual Negre). El sistema formado por 250 m de facies carbonatadas del Cenomaniense–Turonense, y tan sólo 4,5 km² de afloramientos permeables, presenta una estructura tectónica compleja, en el que se diferencia de NO a SE, el sinclinal–fosa de Gabanea, el anticlinal–falla del Carrascal y el sinclinal de la Carrasqueta. La conexión hidráulica entre la zona de explotación, sector suroeste de la fosa de Gabanea, y el área de recarga en el anticlinal del Carrascal, se supone en profundidad bajo los recubrimientos cuaternarios y miocenos de La Sarga a través de las fallas normales que interceptan el flanco meridional del anticlinal en el extremo noreste. La

elaboración de la curva de explotación estiman el volumen de reservas consumido entre 7,5 y 30 hm³, mientras que mediante el cálculo de balance se obtiene unos recursos medios de 0,23 a 0,18 hm³/año y un porcentaje de infiltración del 13 %.

En la publicación «Las Aguas Subterráneas en la Comunidad Valenciana» (IGME 1989), se recoge en esta zona el conocimiento del estudio «Las Aguas Subterráneas de la Provincia de Alicante» (DPA-IGME 1982).

En los estudios «Hidrogeología y regulación de recursos hídricos subterráneos para el abastecimiento a la ciudad de Alcoy (Alicante)» y «Estudio del comportamiento hidrogeológico de los sistemas acuíferos de: El Molinar, Barxell y Salt–San Cristóbal» (IGME, 1989) se define la «unidad Molinar», que coincide con el acuífero de Barrancones, y se evalúan las descargas naturales del manantial del Molinar, a partir de la interpretación de los datos históricos de niveles y caudales, la estimación de la infiltración, y un análisis de convolución entre la precipitación y los caudales aforados. Por último, se aplica el programa REGMA, que permite obtener las variaciones de las descargas del manantial bajo la influencia de bombeos considerando funciones de transferencia de tipo exponencial. Los parámetros utilizados para el ajuste sintetizan las características hidráulicas y geométricas del acuífero (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, forma, extensión, etcétera) y la distancia de los sondeos al manantial.

En el mismo año se publica el «Mapa de unidades hidrogeológicas de la España Peninsular e Islas Baleares» (MOPU, 1990), donde se recoge la catalogación de unidades hidrogeológicas realizada por el Ministerio de Obras Públicas a nivel nacional. La UH Barrancones-Carrasqueta tiene el código 08.44 de la cuenca hidrográfica del Júcar. Como es bien conocido, la definición de UH que realiza la Ley de Aguas de 1985 considera una poligonal que pretende ser definida con un número reducido de vértices, dentro de la cual se agrupan uno o varios acuíferos. Esta agrupación, además de por su proximidad, debe considerar un criterio de gestión del recurso.

En el año 1992 el IGME redacta las «Normas de explotación de la unidad de Barrancones» y «Normas de explotación del acuífero de Negre», que recoge la definición previa sintetizada en trabajos anteriores.

Este mismo año el IGME en convenio con la DPA presenta la «Metodología de trabajo y aplicaciones informáticas empleadas en la modelización estocástica de los acuíferos de Jijona–Carrasqueta, Negre, Ventós–Castelar y Solana». En el informe se realiza un cálculo de reservas explotables mediante las isohipsas del muro del acuífero, la cota de fondo de los pozos y la posición del nivel piezométrico en 1992. En el acuífero Negre para una porosidad del 1 % se obtiene un volumen máximo de reservas explotables desde las captaciones de 11 hm³.

Ese mismo año la DPA publica el Mapa del Agua, en el que se sintetiza la información hidrogeológica disponible hasta esa fecha. Por primera vez se recoge la definición y límites del acuífero Voltes asignándosele las explotaciones del pozo Voltes I (2833–60001) como única salida.

En 1993, la DPA realiza la primera campaña geoelectrica sobre la fosa de Ibi o de Gabanea con el objetivo de conocer la estructura litológica bajo los recubrimientos margosos miocenos, y su posible relación hidráulica con las formaciones permeables que definen el acuífero Barrancones. El informe geofísico denominado «Campaña de investigación geofísica SEM en Jijona (Alicante)», dentro del marco de los trabajos de «Prospección Geofísica en los acuíferos de Barrancones y Madroñals, en el término municipal de Castalla (Alicante)», consistió en 30 sondeos electromagnético (SEM), con una dimensión del bucle emisor de 200*200, repartidos de suroeste a noreste a través de una línea imaginaria que define el eje de la fosa de Ibi. La interpretación de los datos proporcionados por los SEM permitió elaborar hasta 12 cortes geoelectricos en los que se puso en evidencia la complejidad tectónica de la fosa de Ibi, con presencia de fracturas que hundeen o levanta los tramos permeables del acuífero.

En el estudio «Actualización del balance hídrico en el acuífero de Barrancones. Simulación de su evolución ante distintas hipótesis de funcionamiento» (DPA 2001) se evalúan los recursos del acuífero y se realizan predicciones de su evolución considerando los planes de explotación actuales y futuros en base a un modelo matemático de flujo, utilizando el programa Visual Modflow de Waterloo Hydrogeologic, que simula el funcionamiento del acuífero Barrancones. Este mismo año, en el estudio «Determinación de las reservas hídricas subterráneas en el acuífero de Jijona (provincia de Alicante)» (DPA-IGME 2001) se evalúan las reservas hídricas subterráneas, se actualiza la geometría del acuífero y se realiza una simulación numérica del flujo subterráneo en estado estacionario y transitorio, con el fin de evaluar las reservas explotables mediante el planteamiento de diferentes escenarios futuros de planificación y gestión. A partir de la simulación en estado estacionario se obtiene una recarga de 0,75 hm³/año para una superficie de 25,5 km², con una velocidad de flujo de 0,17 m/d, mientras que mediante el método transitorio se obtiene valores de permeabilidad que se ajustan a 20 y 0,5 m/d, y coeficiente de almacenamiento 0,0022 y 0,0001, según la hipótesis adoptada. Finalmente, a partir de la definición de la geometría, el modelo conceptual y los coeficientes de almacenamientos y la piezometría obtenida a partir de la simulación, se obtienen unas reservas hídricas subterráneas comprendidas entre 2 y 7 hm³.

En «Determinación de las reservas útiles en acuíferos de abastecimiento público en Alicante. Acuíferos de Onil, Negre y Peña Chico» (DPA-IGME 2002) se realiza un cálculo de la recarga del acuífero Negre que no puede justificar la evolución piezométrica observada. Del

ajuste del balance con la piezometría se obtiene una recarga anual de 1,22 hm³/año, respecto a los 0,35 hm³/año cuantificados para una superficie de afloramiento de 4,5 km². Este aumento en la recarga se deriva de la existencia de una mayor zona de recarga en el acuífero que alcanzaría los 24 km², sin que se llegue a determinar en este estudio la procedencia de estos recursos.

En «Asistencia para la determinación de los límites hidrogeológicos en los acuíferos de Sierra Mariola, Anticlinales de Orxeta y Barrancones. Definición geométrica» (DPA-2003) se diferencian los sectores acuíferos Sierra del Cuartel y Safarich dentro del sistema Barrancones. El análisis de la cota piezométrica captada en los pozos Madroñals 2 (2833–40056) y Safarich (2833–40053), permitió sectorizar la estructura acuífera constituida por facies carbonatadas del Eoceno superior–medio y Oligoceno de la Sierra del Cuartel. Del análisis piezométrico se dedujo un flujo subterráneo principal hacia el oeste en dirección hacia la Hoya de Castalla, con un gradiente hidráulico elevado del 6 %, como consecuencia de los cambios de facies que experimenta la serie terciaria hacia el SE, que se hace más arcillosa. El balance del acuífero indica que ambos sectores se encuentran sobreexplotados, estando sus recursos destinados al abastecimiento de Jijona, en el caso de la Sierra del Cuartel, y a riego de la Hoya de Castalla, en Safarich.

En 2003 la DPA-IGME continúan los trabajos de determinación de las reservas en acuíferos relacionados con el abastecimiento urbano en Alicante. Se analizan, entre otros, las posibilidades de explotación de los acuíferos Ventós–Castellar, Cabranta, Rentonar, Canaleta y Masets–Alcoyes. En el caso del acuífero Ventós–Castellar se aplica el código Visual BALAN v.1 (Samper et al, 1999) para la determinación del balance hídrico. Se trata de un modelo numérico que permite la realización simultánea de balances diarios en el suelo edáfico, la zona no saturada y el acuífero. El método permite la aplicación de distintas hipótesis de cálculo a nivel diario, de ETP, ETR, infiltración directa y diferida, escorrentía superficial y otros factores que inciden en la recarga, como la intercepción o el encharcamiento. El código contempla la opción de realizar un análisis de la sensibilidad de los parámetros del modelo, permitiendo calibrar los parámetros mediante la minimización de errores de ajuste a datos disponibles de niveles piezométricos y aforos. Junto a este modelo se realiza también un modelo de flujo simple en régimen transitorio mediante la aplicación del código Modflow (Visual Modflow 2.7) para la determinación del balance. Por último, se establece las reservas totales del acuífero a partir de la geometría del acuífero (mapas de isohipsas de techo y muro del acuífero), la posición del nivel piezométrico y distintos valores de porosidad eficaz.

En el estudio «Realización de estudios de definición geométrica de acuíferos de la unidad de Barrancones-Carrasqueta, (Alicante)» (DPA-IGME 2004) y «Estudios de determinación del funcionamiento hidrogeológico y balance, caracterización hidroquímica y evaluación de recursos de los acuíferos de la unidad de Barrancones-Carrasqueta (Alicante)»

(DPA-IGME 2006) se actualiza el conocimiento de esta UH. El primero tiene como principal objetivo la mejora de la caracterización geométrica, en lo referente a la definición y características de algunos acuíferos o sectores de los mismos. El acuífero Barrancones queda definido como un sistema en el que se pueden reconocer 4 sectores hidrogeológicos con comportamiento hidrodinámicos sensiblemente diferentes. Se definen los sectores: Negre, Sierra del Cuartel y Safarich, en el sector meridional, y septentrional, siendo este último el que constituye el cuerpo principal que drena hacia al manantial del Molinar. Respecto al segundo estudio, se concentra en la actualización del conocimiento de los aprovechamientos del agua, la recarga de los acuíferos, el funcionamiento hidrogeológico y el conocimiento hidroquímico. Para el acuífero Barrancones se realiza una simulación del balance hidrológico mediante la aplicación del código Visual BALAN v.2 (Samper et al., 2004; Samper y García Vera, 1999). Las tasas de infiltración obtenidas mediante el cálculo de la recarga se comparan con los valores determinado mediante la aplicación de un balance de cloruro. Finalmente se identifican las posibles cotas de recarga en la UH a partir del muestreo y el análisis isotópico. La curva del gradiente altitudinal permite establecer las cotas de recarga en el acuífero Barrancones entre 1.050 y 1.150 m s.n.m.

En 2005 dentro de las recomendaciones realizadas por DPA-IGME (2004) en los trabajos de definición de acuíferos de la UH Barrancones–Carrasqueta, la DPA realizó una campaña de geofísica en la fosa de Ibi con el objetivo de mejorar en el conocimiento de la geometría del acuífero Barrancones («Prospección geofísica mediante ondeos electromagnéticos en el término municipal de Ibi (provincia de Alicante)»). Se realizaron 20 sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (SEDT), con bucle emisor de dimensión de 200*200. La interpretación de los perfiles permite deducir la existencia en la fosa de Ibi de una estructura compartimentada en bloques, con un progresivo hundimiento del techo de la formación carbonatada terciaria hacia el oeste, pasando de cota 720 a 390 m s.n.m. en el límite occidental del acuífero.

En 2009 la DPA propone la realización de un nuevo modelo de simulación numérica del acuífero Barrancones, a partir de la información proporcionada por el estudio de geofísica en la fosa de Ibi (DPA, 2005), referente a la geometría en profundidad de la fosa de Ibi, y la mejora del conocimiento hidrogeológico del acuífero Barrancones (DPA-IGME, 2004 y 2006). Se reduce la geometría del acuífero, aunque se incluyen los afloramientos del acuífero Menechaor como propios de Barrancones, ya que existe recarga lateral. Las calizas del Eoceno de la Sierra del Cuartel, sectores Sierra del Cuartel y Safarich, se incluyen en el funcionamiento hidrodinámico del acuífero mediante la existencia de un flujo subterráneo de este a oeste en dirección hacia la fosa de Ibi. Respecto a las formaciones permeables del Cretácico (Sector Negre) se supone en relación hidráulica con las formaciones carbonatadas del terciario que constituyen el cuerpo principal del acuífero. El modelo se construyó sobre una malla rectangular de 128 filas y 160 columnas. En total 20.480 celdas de 125x125 m, con una

superficie total de 320 km² (20 x 16 km). En la simulación se realizó un ajuste simultáneo del modelo en régimen permanente y transitorio, al tener un único punto de descarga (manantial del Molinar) el ajuste piezométrico se realizó mediante la evolución piezométrica procedente de los puntos representativos del acuífero. El balance hídrico obtenido mediante la simulación simultánea del régimen permanente y transitorio cuantifica en 8,11 hm³/año los recursos medios para el periodo comprendido entre octubre de 1950 y de 2007. En el cálculo de reservas útiles se utiliza una metodología consistente en la utilización del nivel piezométrico obtenido en la simulación en régimen permanente a partir de la infiltración, las salidas a través del punto de recarga y un parámetro de antirecarga que simula una explotación generalizada del acuífero. Mediante la utilización de estos tres componentes se produce el vaciado del acuífero, que genera una variación del almacenamiento y el establecimiento de las reservas mediante una curva de llenado. Las reservas máximas resultantes fueron de 116 hm³ para una cota del muro del acuífero de 230 m s.n.m. Las reservas útiles se obtienen de la diferencia del nivel piezométrico límite y el máximo obtenido en régimen permanente. Por sectores el Negre es el que presenta las mayores reservas útiles (101 hm³), seguido por Molinar y Ondoxes (45 hm³) y, finalmente, Sierra del Cuartel y Safarich (25 hm³). Por último, se analiza las posibilidades futuras de suministro del acuífero ante eventos de sequía en un periodo de 50 años, considerando la alimentación media determinada para el periodo 1950–2007 y un régimen constante de bombeo medio de 7,57 hm³/año. Se observa que sólo el sector Negre se encuentra en condiciones de proporcionar caudales en eventos extremos de sequía, mientras que Molinar u Ondoxes pueden tener problemas puntuales, quedando anulado el suministro. Respecto a Safarich su estado no es capaz de garantizar el suministro para riego a lo largo de la serie de 50 años tomados como representativo.

Junto a los estudios indicados, desde 1997 hasta la actualidad, la DPA ha realizado numerosas actuaciones técnicas dentro de los acuíferos estudiados (ensayos de bombeos, prospecciones geofísicas de carácter local, levantamientos de columnas litoestratigráficas de sondeos de abastecimiento, etcétera). Los estudios específicos realizados para ubicar nuevos sondeos, los controles realizados durante las perforaciones y los ensayos de bombeo han permitido obtener una información de mucha calidad que ha resultado fundamental para alcanzar los objetivos marcados en el presente Estudio. Se destacan los siguientes:

- 1995. Nota técnica sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas en la sierra de Ondoches.
- 1996. Posibilidades de captación de aguas subterráneas en el término municipal de Jijona.
- 1997. Informe sobre la prueba de bombeo de ensayo del sondeo de La Serreta en el término municipal de Cocentaina.
- 1998. Informe sobre la prueba de bombeo de ensayo del sondeo Barranco Vivens del término municipal de Castalla

- 1999. Informe sobre la segunda prueba de bombeo de ensayo del sondeo Barranco Vivens del término municipal de Castalla.
- 2001. Informe de acidificación y bombeo de ensayo del sondeo Voltes II en el paraje Les Voltes del término municipal de Castalla.
- 2002. Informe de ensayo de bombeo del sondeo La Doncellica en el término municipal de Ibi
- 2002. Informe de reconocimiento del sondeo Los Molinos en Ibi
- 2002. Informe de ensayo de bombeo del sondeo Negre Emergencia en el término municipal de Ibi.
- 2004. Informe del 1º ensayo de bombeo del sondeo Calderete en el término municipal de Ibi.
- 2005. Informe del 2º ensayo de bombeo del sondeo Calderete en el término municipal de Ibi.

Por último, dentro de las actuaciones destinadas a controlar la evolución de los acuíferos provinciales, el Departamento de Ciclo Hídrico mantiene una red de control piezométrico y de calidad química desde el año 1987, continuación de las redes de control que hasta entonces gestionaba el IGME.

3. REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y EXTRACCIONES

3.1. OBJETIVOS

Entre la información que se ha actualizado se destaca la identificación del propietario, el acuífero captado, caudal de bombeo en caso de pozos o de surgencia en caso de manantiales/galerías; uso y destino del agua; posición actual del nivel piezométrico; infraestructura hidráulica y actualización del régimen de explotación durante los últimos años.

Algunos puntos de agua carecen de contador volumétrico y, debido al limitado uso que se realiza de los mismos, los titulares no conocen de manera precisa el volumen extraído.

La explotación de agua de algunos pozos se actualiza mediante telecontrol, en otros casos los titulares de los aprovechamientos han estimado la extracción mediante contador volumétrico y, en otros, el volumen bombeado ha sido estimado en base a las horas de riego y las dotaciones de los cultivos.

3.2. TRABAJOS REALIZADOS

3.2.1. Datos de inventario

Como consecuencia de los numerosos trabajos de actualización de datos, tomas de muestras de agua y visitas a los propietarios de los aprovechamientos se ha observado una cierta desgana por parte de los propietarios a facilitar información. Los puntos de agua considerados se presentan en los Planos 1 y 11.

En la UH Barrancones se ha procedido a actualizar las extracciones de los puntos que disponían de instalaciones elevadoras en la última actualización de la explotación en 2005. La extracción principal del acuífero Voltes la realiza el Ayuntamiento de Castalla en un pozo telecontrolado por la Diputación. Se ha comprobado que algunos pozos se encontraban fuera de uso o carentes de instalación electromecánica. Dentro de este trabajo se han actualizado 39 puntos de agua, de los que 33 pertenecen al acuífero Barrancones, 3 de Voltes, 2 de Menechaor (manantial de Santa María-283340031 y pozo Santa María-283340047) y 1 de Hoya de Castalla (pozo Devesa-283340036). En cuanto al tipo de captación, 33 son pozos perforados, 5 manantiales y 1 galería (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Puntos de agua actualizados según tipos

Acuífero	Tipo	Nº de puntos
Barrancones	Pozo	28
Barrancones	Manantial	4
Barrancones	Galería	1
Menechaor	Pozo	1
Menechaor	Manantial	1
Hoya de Castalla	Pozo	1
Voltes	Pozo	3

Los principales núcleos urbanos abastecidos son Alcoy, Castalla, Ibi y Benilloba, así como algunas pedanías diseminadas de Cocentaina.

Los pozos han sido situados mediante GPS y de ellos se ha obtenido una fotografía general y, a ser posible, otra de detalle. Se ha procedido a realizar una nivelación de precisión en sondeos seleccionados sobre los que existían algunas dudas sobre la cota de referencia del suelo y podía afectar a la interpretación de los mapas de isopiezas. Se ha utilizado la Estación Total GPS 5700 de Trimble, con una precisión horizontal de 10 mm + 1 ppm RMS y vertical de 20 mm + 1 ppm RMS (Anexo 1).

Se realizado una campaña de mediciones piezométricas (Anexo 2), que se ha complementado con mediciones facilitadas por algunas entidades de abastecimiento, una vez cotejadas con las mediciones previas disponibles.

Datos básicos de los puntos de agua

En el Cuadro 3.2 se presenta un resumen con la información básica más relevante de los 40 puntos de agua actualizados en el presente estudio. Se observa que 16 pertenecen al municipio de Ibi, 6 a Alcoy, 4 a Benifallín, 4 a Jijona, 4 a Cocentaina, 4 a Castalla y 2 a Onil.

Prácticamente la mayor parte de los puntos de agua son propiedad municipal, es decir, de ayuntamientos (21 puntos) y el resto de propiedad privada (en 8 de los cuales no se conoce la titularidad).

Los cuadros nº 2 y nº 3 pueden considerarse complementarios, ya que hacen referencia a los datos básicos del pozo, situación geográfica, datos constructivos e infraestructura hidráulica

Cuadro 3.2. Datos básicos de los puntos de agua actualizados

Acuífero	Código	Propietario	Tipo	Municipio	Toponimia	XUTM	XUTM	Cota
Barrancones (Molinar)	283330009	Explotaciones Finca La Cañada	Pozo	Onil	La Cañada	706.909	4.276.858	710
Barrancones (Molinar)	283330024	José Antonio Ferri Ferri	Pozo	Onil	La Doncella	707.249	4.276.891	705
Barrancones (Negre)	283340017	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Villalobos	712.623	4.275.971	793
Barrancones (Negre)	283340019	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Pozo nº 5	712.064	4.275.934	752
Barrancones (Negre)	283340020	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Sondeo nº 4	712.011	4.275.976	748
Barrancones (Molinar)	283340029	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Campo nº 2	712.735,06	4.279.254,04	806,02
Barrancones (Molinar)	283340030	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Barranco de la Rabosa nº 1	711.348	4.279.316	820
Barrancones (Negre)	283340041	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Masía de Félix nº 7	712.812,25	4.275.860,99	807,98
Barrancones (Negre)	283340053	Juan Casanova Civera	Pozo	Castalla	Safarich	710.538,92	4.273.782,25	678,93
Barrancones (Negre)	283340057	Diputación de Alicante	Pozo	Castalla	Vivens	710.920	4.273.500	705
Barrancones (Negre)	283340059	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Pozo nº 8	711.930	4.275.900	748
Barrancones (Molinar)	283340065	Diputación de Alicante	Pozo	Ibi	Campos nº 4	712.521	4.279.015	829
Barrancones (Molinar)	283340072	Diputación de Alicante	Pozo	Ibi	Calderete	712.523,77	4.279.019,37	828,67
Barrancones (Molinar)	293250002	Ayuntamiento de Alcoy	Manantial	Alcoy	Fuente del Molinar	720.608,84	4.284.497,43	602,34
Barrancones (Molinar)	293250037	Ayuntamiento de Alcoy	Pozo	Alcoy	Molinar 1	720.591,03	4.284.367,66	611,02
Barrancones (Molinar)	293250045	Ayuntamiento de Alcoy	Pozo	Alcoy	Molinar 2	720.596,16	4.284.395,87	610,49
Barrancones (Molinar)	293250052	Ayuntamiento de Alcoy	Pozo	Alcoy	Molinar 3	720.592	4.284.458	612
Barrancones (Molinar)	293250054	Aguas Pozo Fontanelles	Pozo	Cocentaina	Pozo Fontanelles	723.195	4.286.178	806
Barrancones (Molinar)	293250055	Ayuntamiento de Cocentaina	Pozo	Cocentaina	Ondoxes	723.007,29	4.286.117,54	750,07
Barrancones (Ondoxes)	293260016	Ayuntamiento de Beniloba	Pozo	Cocentaina	Penella nº 2	724.708,91	4.286.657,63	664,10
Barrancones (Molinar)	293260033	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Pozo	Alcoy	Torretas	723.599,75	4.284.236,76	701,44
Barrancones (Molinar)	293260036	Mª Milagros Nadal Montava	Pozo	Cocentaina	Penella-Masía La Era	723.744	4.287.088	703
Barrancones (Molinar)	293310010	Urbanización El Estepar	Pozo	Alcoy	El Estepar	721.234,09	4.281.873,22	753,38
Cuaternario de La Sarga	293310030	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Pozo	Jijona	Mas del Roc-Riu Rau	719.474	4.280.142	813
Cuaternario de La Sarga	293310031	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Pozo	Ibi	Mas del Roc-Pozo Roc	718.891	4.280.267	825

Cuadro 3.2. Datos básicos de los puntos de agua actualizados

Acuífero	Código	Propietario	Tipo	Municipio	Toponimia	XUTM	XUTM	Cota
Cuatenario de La Sarga	293310032	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Pozo	Ibi	Mas del Roc	717.676	4.280.904	927
Hoya de Castalla	283340023	Imberón Molina, Isidro	Pozo	Ibi	Rambla de María	713.223	4.276.776	789
Hoya de Castalla	283340027	CR Sopalmo	Manantial	Ibi	Fuente Sopalmo	714.352	4.278.276	769
Hoya de Castalla	283340036	Ayuntamiento de Ibi	Pozo	Ibi	Devesa	713.823	4.277.662	768
Menechaor	283340031	CR Santa María	Manantial	Ibi	Fuente Santa María	710.911	4.279.840	862
Menechaor	283340047	Usuarios Pozo Santa María	Pozo	Ibi	Santa María nº 1	710.821	4.279.986	862
Serravaliense Benifallim	293320002	Ayuntamiento de Benifallim	Manantial	Benifallim	Manantial del Parque	725.878	4.283.047	685
Serravaliense Benifallim	293320021	Ayuntamiento de Benifallim	Manantial	Benifallim	Pozo del Calvario	726.280	4.282.563	729
Serravaliense Benifallim	293320022	Ayuntamiento de Benifallim	Manantial	Benifallim	Galería del Viudo o Font d'Alt	726.217	4.282.489	735
Serravaliense Benifallim	293320028	Ayuntamiento de Benifallim	Galería	Benifallim	Galería Rincón de la Balsa	725.328	4.282.336	760
Sierra del Cuartel	283340056	Ayuntamiento de Jijona	Pozo	Jijona	Madroñals nº 2	713.621	4.273.816	921
Sierra del Cuartel	283340061	Ayuntamiento de Jijona	Pozo	Jijona	El Madroñals	713.626	4.273.875	910
Sierra del Cuartel	293310013	Ayuntamiento de Jijona	Pozo	Jijona	Maset de Brossa	718.393	4.277.273	1.060
Voltes	283330066	Ayuntamiento de Castalla	Pozo	Castalla	Voltes II	701.729	4.273.409	765
Voltes	283360001	Ayuntamiento de Castalla	Pozo	Castalla	Voltes I	701.460	4.272.905	776
Voltes	283360033	Luis Seva Pérez	Pozo	Castalla	El Planets	700.519	4.272.437	890

Datos constructivos e infraestructura hidráulica

En el Cuadro 3.3 se presenta una síntesis de la información relativa a la infraestructura hidráulica de los puntos de agua, mostrándose solo aquellos que incluyeran algunos de los parámetros que se aluden. Cuando los pozos fueran propiedad del mismo titular, el volumen de la balsa figura repetido, como es el caso de los pozos del Molinar en Alcoy (293250037 y 293250045).

Cuadro 3.3. Datos constructivos de los pozos e infraestructura hidráulica

Código	Profundidad (m)	Diámetro entubación (mm)	Diámetro aspiración (mm)	Diámetro impulsión (mm)	Marca de la bomba	Potencia bomba CV	Profundidad aspiración (m)	Volumen balsa (m ³)
Acuífero Barrancones								
283330009	135	550			Pleuger	108	160	
283330024	180	150			Indar	70	140	
283340017	440	250			Indar	516	246	
283340019	365	300	300	300	Indar 257-10	326	243,08	
283340020	350		300	200	Indar-8-12	380	169	
283340023	118							
283340027								
283340029	290	200			Indar 253-7	220	240	
283340030	390	20				50	250	
283340041	464	600						
283340053	148				Ideal	20	100	
283340056	400	450	125	125	Caprari	125	179	400
283340057								
283340059	454		300	300	Indar 344-10	600	263,32	
283340061	650							
283340065	438							
283340072	438							
293250037	86	550			Ideal 9/2F2	109	48	19.970
293250045	206	600			Ideal 9/2F2	109	36	19.970
293250052	220	600						
293250054	270				Ideal	260	240	5.000
293250055	380				Aturia	260	232	
293260016	200	125	125	125	Indar GP65-60-13	35	118	
293260033								
293260036	120		75	75		4		
293310010	260	1200	120	120	Ideal	100	195	650
293310013	392	500	80		Indar	85	370	550
293310031	274					35	270	29.000
Acuífero Voltes								
283330066	520				Aturia XN10E7A	164	188,7	
283360001	158				Indar 385/3	300	150	
Acuífero Cuaternario de la Sagra								
293310030		400				7,5	96	5.000
293310032		200						
Acuífero Serravaliense de Benifallim								
293320002								
293320021	41			90				
293320022				90				
293320028		0						

Cuadro 3.3. Datos constructivos de los pozos e infraestructura hidráulica

Código	Profundidad (m)	Diámetro entubación (mm)	Diámetro aspiración (mm)	Diámetro impulsión (mm)	Marca de la bomba	Potencia bomba CV	Profundidad aspiración (m)	Volumen balsa (m ³)
Acuífero Menechaor								
283340031								
283340047	150							
Acuífero Hoya de Castalla								
283340036	44				Indar	8	29	

3.2.2. Profundidad de la superficie piezométrica

Se han obtenidos datos piezométricos de 14 sondeos. El número de mediciones piezométricas obtenidas en el presente estudio ha sido de 235, de los que 124 son estáticos y 111 dinámicos (Anexo 2). Los datos piezométricos obtenidos se han complementado con otros facilitados por la Diputación de Alicante, que ha puesto a disposición del estudio las mediciones disponibles. Es el caso de los pozos Ondoxes (293250055), Madroñals 2 (283340056), actualizados en el presente estudio y Vivens, Barranco de los Molinos y Campos nº 4 que, por no estar sometidos a bombeo, no han sido considerados en esta actualización. El ayuntamiento de Alcoy mantiene un control piezométrico permanente en los pozos del Molinar y que han sido facilitados.

Cuadro 3.4. Relación de medidas piezométricas

Acuífero	Código	Toponimia	Propietario	Mediciones
Barrancones (Molinar)	283330009	La Cañada	Explotaciones Finca La Cañada	1
Barrancones (Negre)	283340019	Pozo nº 5	Ayuntamiento de Ibi	2
Sierra del Cuartel	283340056	Madroñals nº 2	Ayuntamiento de Jijona	2
Barrancones (Negre)	283340059	Pozo nº 8	Ayuntamiento de Ibi	2
Barrancones (Molinar)	293250037	Molinar 1	Ayuntamiento de Alcoy	112
Barrancones (Molinar)	293250045	Molinar 2	Ayuntamiento de Alcoy	105
Barrancones (Molinar)	293260036	Penella-Masía La Era	M ^a Milagros Nadal Montava	1
Barrancones (Molinar)	293310010	El Estepar	Urbanización El Estepar	2
Sierra del Cuartel	293310013	Masset de Brossa	Ayuntamiento de Jijona	1
Cuaternario de la Sarga	293310030	Mas del Roc-Riu Rau	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	2
Cuaternario de la Sarga	293310031	Mas del Roc-Pozo Roc	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	1
Cuaternario de la Sarga	293310032	Mas del Roc	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	1
Serravaliense de Benifallim	293320021	Pozo del Calvario	Ayuntamiento de Benifallín	1
Voltes	283330066	Voltes II	Ayuntamiento de Castalla	2

3.2.3. Medidas de caudales

Durante la actualización de las explotaciones, también se han obtenido datos de los caudales de bombeo en pozos y surgencias en manantiales. En total se han actualizado 26 caudales instantáneos que corresponden a 24 puntos de agua, de los que 17 son pozos, 6 manantiales y 1 galería. En el Cuadro 3.5 se presenta la relación de caudales instantáneos de bombeo o surgencia.

Cuadro 3.5. Relación de medidas de caudales.

Acuífero	Código	Término Municipal	Tipo de punto	Fecha	Caudal (l/s)
Barrancones	283330009	Onil	Pozo perforado	17/10/2008	75
Barrancones	283340017	Ibi	Pozo perforado	15/10/2008	0
Barrancones	283340019	Ibi	Pozo perforado	03/09/2008	50
Barrancones	283340027	Ibi	Manantial	13/02/2009	0,5
Barrancones	283340053	Castalla	Pozo perforado	12/09/2008	20
Barrancones	283340056	Jijona	Pozo perforado	03/11/2008	25
Barrancones	283340059	Ibi	Pozo perforado	08/01/2008	78
Barrancones	293250002	Alcoy	Manantial	10/12/2009	0
Barrancones	293250037	Alcoy	Pozo perforado	10/12/2009	160
Barrancones	293250045	Alcoy	Pozo perforado	10/12/2009	140
Barrancones	293250054	Cocentaina	Pozo perforado	20/09/2009	55
Barrancones	293260033	Alcoy	Pozo perforado	07/06/2009	5
Barrancones	293310010	Alcoy	Pozo perforado	10/12/2009	13
Barrancones	293310013	Jijona	Pozo perforado	06/11/2008	8
Barrancones	293310030	Jijona	Pozo perforado	07/06/2009	3
Barrancones	293310031	Ibi	Pozo perforado	07/06/2009	6
Barrancones	293320002	Benifallim	Manantial	09/09/2008	2
Barrancones	293320021	Benifallim	Manantial	15/01/2008	2
Barrancones	293320021	Benifallim	Manantial	09/09/2008	0,2
Barrancones	293320022	Benifallim	Manantial	15/01/2008	2
Barrancones	293320022	Benifallim	Manantial	09/09/2008	0,2
Barrancones	293320028	Benifallim	Galería	27/05/2008	0,5
Menechaor	283340031	Ibi	Manantial	13/02/2009	20
Voltes	283330066	Castalla	Pozo perforado	04/09/2008	35
Voltes	283360001	Castalla	Pozo perforado	28/11/2008	0
Voltes	283360033	Castalla	Pozo perforado	14/10/2008	1

3.2.4. Calidad química

Se ha obtenido un análisis de agua reciente, de fecha 28 de julio de 2009, que ha sido facilitado por la empresa AQUALIA, de Alcoy. El agua se destina al abastecimiento a Alcoy y procede de uno de los pozos del Molinar (293350037). En el Cuadro 3.6 se muestran las diferentes concentraciones de los parámetros analizados.

Cuadro 3.6 . Calidad del agua en los pozos del Molinar (Alcoy)

Parámetro	Valor	Unidad medida
Calcio	56,8	mg/l
Cloro residual libre	1,14	mg/l
Cloruros	28,3	mg/l
Clostridium perfringens	0	ufc/100 ml
Conductividad a 20°C	451	uS/cm
Enterococos	0	ufc/100 ml
Olor	0	mg/l
Oxidabilidad	1,21	mg/l
pH	7,5	pH
Sabor	0	Índice dilución
Selenio	6,4	ug/l
Sodio	19,2	mg/l
Sulfatos	32,2	mg/l
Temperatura	20,4	°C
pH	7,7	
Conductividad	468	μS/cm

Igualmente, la empresa Aqualia ha facilitado los valores de conductividad y pH del agua del pozo 293310010, utilizada para abastecimiento de la pedanía El Estepar y cuyos valores a fecha 18 de diciembre de 2009 eran de 468 μS/cm y de 7,7, respectivamente.

3.2.5. Extracción en los puntos de agua

Uno de los objetivos principales del estudio es la actualización de las explotaciones de los pozos, para lo que se ha solicitado a los propietarios el historial de bombeo de los últimos 4 o 5 años. En el caso del acuífero Voltes sólo ha sido posible la información relacionada con el periodo 2005–2008, si bien este año solo de un modo parcial.

En los pozos que son gestionados por ayuntamientos, generalmente han sido facilitados los datos mensuales de extracción. En el caso de titularidad privada, algunas veces se ha obtenido la información detallado en base a horas de riego y en otros casos a través de estimaciones en función de dotaciones hídricas medias aplicadas para riego. Los pozos de abastecimiento urbano a Benilloba (293260016), Madroñals 2 (283340056), Ondoxes (293250055) y Voltes II (283330066), del acuífero Barrancones, son telecontrolados por Diputación de Alicante.

Las extracciones actualizadas de los pozos con indicación del uso se indican en el apartado 3.3 del presente estudio y en el Anexo 3. Se han obtenido la serie completa de explotación correspondiente a los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009, además de volúmenes puntuales procedentes de las extracciones de los años 2003 y 2004. Respecto al acuífero Voltes las extracciones facilitadas por AQUAGEST abarcan los años 2005, 2006 y 2007, y de manera incompleta el 2008. Una síntesis de las extracciones de los acuíferos se presenta a continuación:

Cuadro 3.7. Bombeos en los acuíferos

Acuífero	Año	Bombeos (m ³)
Barrancones	2005	6.553.653
	2006	6.450.844
	2007	6.883.400
	2008	6.694.540
	2009	6.424.841
	Media (2005-09)	6.601.456
Volcadores	2005	587.645
	2006	566.289
	2007	590.310
	2008 (1)	442.033
	Media (2006-07)	581.415
(1). Explotación hasta septiembre		

3.3. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA

3.3.1. Abastecimiento urbano

Los recursos hídricos subterráneos del acuífero Barrancones constituyen el abastecimiento de agua de varios municipios de Alicante, tales como Ibi y Benilloba, además de algunas pedanías de Cocentaina. En este apartado se incluyen también el agua destinada a la industria, ya que no es posible separar el agua de uso urbano del industrial, sin tener acceso a los contadores de agua de las empresas municipales encargadas de la distribución de aguas potables.

De los 36 puntos de agua actualizados, 2 destinan el agua a uso urbano e industrial, 11 para abastecimiento exclusivamente y 2 a doméstico. En el Cuadro 3.8 se identifican los puntos de agua del acuífero Barrancones que destinan el agua a estos usos.

Puesto que de todos los puntos de agua no se han obtenido las explotaciones del mismo período, la extracción más representativa del acuífero Barrancones destinada a uso urbano e industrial se corresponde con los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009, y la de los años 2003 y 2004 está incompleta.

El volumen medio anual de agua subterránea destinada a uso urbano e industrial con agua del acuífero Barrancones es de 6.271.290 m³ para el periodo 2005–2009.

Cuadro 3.8. Acuífero Barrancones. Extracciones para abastecimiento urbano

Año	Código pozo	Término municipal	Propietario	Volumen anual (m ³)
2003	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	266.788
Subtotal año 2003 (parcial)				266.788
2004	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	275.181
2004	283340056	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	201.416
Subtotal año 2004 (parcial)				275.181
2005	283340059	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	2.053.508
2005	293250037	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	2.033.729
2005	293250045	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	1.732.436
2005	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	275.403
2005	283340056	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	258.577
Subtotal año 2005				6.353.653
2006	283340019	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	39.695
2006	283340059	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	1.781.523
2006	293250037	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	2.031.159
2006	293250045	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	1.730.246

Cuadro 3.8. Acuífero Barrancones. Extracciones para abastecimiento urbano

Año	Código pozo	Término municipal	Propietario	Volumen anual (m ³)
2006	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	283.624
2006	293260016	Cocentaina	Ayuntamiento de Benilloba	110.948
2006	283340056	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	272.486
Subtotal año 2006				6.249.681
2007	283340019	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	93
2007	283340059	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	1.906.256
2007	293250037	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	2.146.867
2007	293250045	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	1.828.813
2007	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	218.440
2007	293260016	Cocentaina	Ayuntamiento de Benilloba	101.895
2007	283340056	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	153.303
2007	293310013	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	1.880
Subtotal año 2007				6.357.547
2008	283340019	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	108
2008	283340029	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	0
2008	283340059	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	2.072.844
2008	293250037	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	2.009.161
2008	293250045	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	1.711.504
2008	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	339.440
2008	293260016	Cocentaina	Ayuntamiento de Benilloba	77.656
2008	283340056	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	115.836
2008	293310013	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	1.967
Subtotal año 2008				6.210.713
2009	283340019	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	4.746
2009	283340029	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	0
2009	283340059	Ibi	Ayuntamiento de Ibi	1.945.999
2009	293250037	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	1.957.924
2009	293250045	Alcoy	Ayuntamiento de Alcoy	1.667.860
2009	293250055	Cocentaina	Ayuntamiento de Cocentaina	377.073
2009	293260016	Cocentaina	Ayuntamiento de Benilloba	81.447
2009	283340056	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	138.824
2009	293310013	Jijona	Ayuntamiento de Jijona	10.984
Subtotal año 2009				6.184.857

Respecto al acuífero Voltes, la casi totalidad de sus recursos se destinan al abastecimiento urbano de Castalla con un volumen medio anual de 581.414 m³ para el periodo 2005–2007. El Sr. Seva utiliza su pozo para uso doméstico con un pequeño apoyo para riego.

Cuadro 3.9. Acuífero Voltes. Extracciones para abastecimiento urbano

Año	Código pozo	Término municipal	Propietario	Volumen anual (m ³)
2005	283330066	Castalla	Ayuntamiento de Castalla	586.645
2005	283360001	Castalla	Ayuntamiento de Castalla	0
2005	283360033	Castalla	Luís Seva Pérez	1.000
Subtotal año 2005				587.645
2006	283330066	Castalla	Ayuntamiento de Castalla	565.289
2006	283360001	Castalla	Ayuntamiento de Castalla	0
2006	283360033	Castalla	Luís Seva Pérez	1.000
Subtotal año 2006				566.289
2007	283330066	Castalla	Ayuntamiento de Castalla	589.310
2007	283360001	Castalla	Ayuntamiento de Castalla	0
2007	283330033	Castalla	Luís Seva Pérez	1.000
Subtotal año 2007				590.310

Dentro de la UH Barrancones, el ayuntamiento de Benifallim utilizó un volumen variable de agua de la galería Rincón de la Balsa (2933-20028), complementado con el de otros puntos situados en el acuífero Penáguila.

Cuadro 3.10. Acuífero Serravaliense de Benifallim. Extracciones para abastecimiento urbano

Año	Código galería	Término municipal	Propietario	Volumen anual (m ³)
2007	293320028	Benifallim	Ayuntamiento de Benifallim	19.798
2008	293320028	Benifallim	Ayuntamiento de Benifallim	4.108

3.3.2. Usos agrícola y doméstico

De los 36 puntos de agua actualizados, 2 a uso doméstico, 7 a riego y 2 a doméstico y riego conjuntamente. En el Cuadro 3.11 se identifican los puntos de agua que destinan el agua a estos usos.

Puesto que de todos los puntos de agua no se han obtenido las explotaciones del mismo período, la extracción más representativa del acuífero Barrancones para uso agrícola y doméstico se corresponde con los años 2006, 2007 y 2008, ya que los trabajos se llevan a cabo en el tercer trimestre de 2009 y la de los años 2003 al 2005 está incompleta.

El volumen medio anual de agua subterránea destinada a riego y doméstico con aguas del acuífero Barrancones, para el período 2006-2008 se cifra en 403.614 m³.

Cuadro 3.11. Volumen y procedencia del agua subterránea destinada a abastecimiento e industria.

Año	Código pozo	Término municipal	Propietario	Volumen anual (m ³)
2003	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	61.121
Subtotal año 2003 (*)				61.121
2004	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	63.041
Subtotal año 2004 (*)				63.041
2005	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	63.093
Subtotal año 2005 (*)				63.093
2006	283330024	Onil	José Antonio Ferri Ferri	136.187
2006	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	64.976
Subtotal año 2006				201.163
2007	283330009	Onil	Explotaciones Finca La Cañada	4.800
2007	283330024	Onil	José Antonio Ferri Ferri	136.187
2007	283340053	Castalla	Juan Casanova Civera	215.250
2007	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	69.616
2007	293310010	Alcoy	Urbanización El Estepar	100.000
Subtotal año 2007				525.853
2008	283330009	Onil	Explotaciones Finca La Cañada	4.800
2008	283330024	Onil	José Antonio Ferri Ferri	136.000
2008	283340053	Castalla	Juan Casanova Civera	215.250
2008	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	60.909
2008	293260033	Alcoy	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	37.700
2008	293260036	Cocentaina	M ^a Milagros Nadal Montava	1.500
2008	293310030	Jijona	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	6.919
2008	293310031	Ibi	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	20.749
Subtotal año 2008				483.827
2009	283330024	Onil	José Antonio Ferri Ferri	136.000
2009	283340023	Ibi	Imberón Molina, Isidro	1.500
2009	293250054	Cocentaina	Aguas Pozo Fontanelles	63.986
2009	293260033	Alcoy	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	38.498
Subtotal año 2009 (*)				239.984
(*) Información incompleta a escala de acuífero				

Las superficies de riego y tipos de cultivos que han sido identificadas o facilitadas por los titulares de los aprovechamientos se incluyen en el Cuadro 3.12, donde se incluyen, además, algunas observaciones al respecto.

Cuadro 3.12. Superficies de riego atendidas

Acuífero	Código	Propietario	Destino	Superficie de riego (ha)	Observaciones
Barrancones (Molinar)	283330009	Explotaciones Finca La Cañada	Regadío	85	Área regable. No riegan nada si llueve
Barrancones (Molinar)	283330024	José Antonio Ferri Ferri	Regadío	70	Vid
Hoya de Castalla	283340023	Imberón Molina, Isidro	Doméstico		Abastece a 20 vecinos
Menechaor	283340031	CR Santa María	Regadío		No especificado
Barrancones (Safarich)	283340053	Juan Casanova Civera	Regadío	75	Área de riego conjunta con otros pozos de la Hoya de Castalla
Barrancones (Molinar)	293250054	Aguas Pozo Fontanelles	Doméstico y riego		180 socios y chalets
Barrancones (Molinar)	293260033	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Regadío	77	Regable 120 has.
Barrancones	293260036	M ^a Milagros Nadal Montava	Doméstico y riego		Riega 0,4 ha. Tocó agua a los 83 m
Barrancones (Molinar)	293310010	Urbanización El Estepar	Doméstico		60 personas en invierno 300 en verano
Cuaternario de la Sarga	293310030	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Regadío	52	70% cerezo y 30% peral.
Cuaternario de la Sarga	293310031	Sociedad Cooperativa Mas del Roc	Regadío	52	Motor gas-oil. 70% cerezo y 30% peral. Superficie común con el 293310030

3.3.3. Síntesis de los usos del agua

En el Cuadro 3.13 se recoge una síntesis de los usos de agua dentro del acuífero Barrancones para los años con datos completos.

Cuadro 3.13. Acuífero Barrancones. Síntesis de los volúmenes de agua suministrados por usos

Año	Urbano e industrial	Agrícola y doméstico	Total (m ³)
2005	6.353.653	200.000	6.553.653
2006	6.249.681	201.163	6.450.844
2007	6.357.547	525.853	6.883.400
2008	6.210.713	483.827	6.694.540
2009	6.184.857	239.984	6.424.841
Media (2005-09)	6.271.290	330.165	6.601.456

Respecto al acuífero Voltes una síntesis de los volúmenes suministrados y sus uso se incluye en el Cuadro 3.14.

Cuadro 3.14. Acuífero Voltes. Síntesis de los volúmenes de agua suministrados por usos

Año	Urbano e industrial	Agrícola y doméstico	Total (m ³)
2005	586.645	1000	587.645
2006	561.289	1000	562.289
2007	589.310	1000	590.310
Media 2006-07	579.081	1.000	580.081

4. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA

4.1. ACUÍFERO BARRANCONES

4.1.1. Formaciones permeables e impermeables

El acuífero Barrancones está formado por varias formaciones permeables superpuestas separadas por niveles impermeables de potencia variable, entre las que se establecen relaciones hidráulicas por causas estratigráficas (cambios de facies, control deposicional, etcétera) y tectónicas (fallas). Pueden diferenciarse dos grandes zonas, septentrional y meridional, separadas por el sinclinal-fosa de Ibi o Gabanea (IGME, 1988, 2004 y 2006) (Plano 1)

Las formaciones acuíferas principales captadas en la zona septentrional (sierras Grossa, Menechaor y Barrancones) son:

- Entre 110 y 120 m de calizas, calizas detríticas y calizas arcillosas del Eoceno superior (E_{2C} , E_{2CSM}). Permeabilidad alta.
- 25 m de calizas pararecifales del Oligoceno (O_C). Permeabilidad alta.
- Entre 100 y 170 m de calizas pararecifales, detríticas del Mioceno inferior (M_{1C}). Permeabilidad alta.
- 50 m de calcarenitas bioclásticas del Serravalliense. (M_{2CS})

Las formaciones acuíferas principales captadas en la zona meridional (sierras del Cuartel y del norte de Madroñals) son:

- 240 m de calizas del Cenomaniense–Turonense (C_{2-3C}). Permeabilidad muy alta.
- Entre 90 y 130 de calizas pararecifales, biomicritas dolomitizadas, calcarenitas bioclásticas con intercalaciones margosas del Eoceno medio-superior (E_{2C}). Hacia el sureste cambia a facies con alternancia de paquetes de margas y calizas detríticas, de menor importancia como acuífero. El grado de permeabilidad puede variar entre alta a baja a medida que aumenta el contenido arcilloso.
- 80 m de calizas pararecifales, calizas bioclásticas, calizas blancas y algunos niveles de calizas detríticas (O_{2C}).
- 300 m calcarenitas, calizas arenosas, calizas micríticas y calizas arcillosas (O_{3C}).

Leyenda de los materiales representados en la cartografía y cortes geológicos del acuífero Barrancones, con interpretación del grado de permeabilidad

Código	Litología	Edad	Potencia (m)	Permeabilidad	Sector
E _{2C} , E _{2CSM}	calizas, calizas detríticas y calizas arcillosas	Eoceno superior	110	Alta	Septentrional
O _{2C}	Calizas pararecificales	Oligoceno	25	Alta	Septentrional
M _{1C}	Calizas pararecificales	Mioceno inferior (Aquitaniense)	150	Alta	Septentrional
M _{2CS}	Calcarenitas	Mioceno medio-superior (Serravalliense)	50	Media	Septentrional
C _{2-3C}	Calizas	Cenomaniense-Turoniense	240	Muy Alta	Meridional
E _{2C}	Calizas pararecificales	Eoceno superior	120	Alta-Media	Meridional
O _{2C}	Calizas pararecificales	Oligoceno	80	Alta	Meridional
O _{3C}	Calcarenitas y calizas arcillosas	Oligoceno	300	Media	Meridional

Como impermeables principales actúan:

- Arcillas de colores abigarrados y yesos en facies Keuper del Triásico (T_K).
- Una potencia no determinada (no aflora el muro) de margas del Cenomaniense (C_{2M}). Constituye el impermeable de base del sistema.
- Margas y margocalizas blancas y rosadas del Senoniense (C_{4M}) más la formación de arcillas verdes del Eoceno inferior-medio (E_{1M}). Este conjunto actúa como impermeable de base local en el sector septentrional (donde no se ha captado el Cenomaniense y se desconoce el grado de comunicación hidráulica con el conjunto Eoceno-Oligoceno-Aquitaniense, aunque puede suponerse diferenciación piezométrica).
- Conjunto margoso y margodetrítico del Oligoceno (O_{1M}, O_{4MCS}, O_{6M}, O_{1M}, OT_{2CM}, OT_{4CM}, OT_{6M}).
- Oligoceno continental en facies de conglomerados y arcillas salmón con cantos de cuarcita (O_M).
- Margas del Burdigaliense-Langhiense (M_{1M}), el Mioceno inferior en facies Tap 1 (M_{2M}) y el Mioceno superior en facies Tap 2 (M_{3M}).

4.1.2. Localización y geometría del acuífero

El acuífero Barrancones se encuentra en la zona central de la provincia de Alicante. Este acuífero constituye el sistema más complejo y extenso dentro de la Unidad Hidrogeológica (UH) Barrancones–Carrasqueta, identificándose con el código 08.44 dentro de la Cuenca Hidrográfica del Júcar (MOPU, 1990). A consecuencia de la promulgación de la Directiva Marco del Agua de octubre de 2000 y su transposición en la Ley de Aguas, se define la Masa de Agua Subterránea (MASub) 080.176 Barrancones–Carrasqueta, con unos límites similares, aunque más adaptados a la definición de acuíferos que se manejó en su definición.

Desde el punto de vista administrativo, ocupa parcialmente los términos municipales de Ibi, Castalla, Jijona, Alcoy, Benilloba, Cocentaina y Benifallim.

La orografía de esta zona está marcada por las estructuras geológicas presentes e incluye las sierras de Grosa, Barrancones, Menechaor, Ondoxes, del Cuartel y del Plans. Las cotas más elevadas (1.300 m s.n.m.) se localizan en las sierras de Menechaor y del Plans.

El acuífero se caracteriza por tener una disposición geométrica de dirección predominante sudoeste–noreste, con varias formaciones permeables superpuestas entre las que se intercalan niveles impermeables de potencia variable, con relaciones hidráulicas establecidas por causas estratigráficas y tectónicas (Plano 1).

Litológicamente el sistema está formado por facies carbonatadas del Cenomaniense–Turonense, calizas bioclásticas y calizas detríticas del Eoceno medio–Oligoceno y calizas bioclásticas y calcarenitas del Mioceno. Actúan como impermeables laterales o de base las facies margosas del Cenomaniense y las margas y margocalizas blancas y rosadas del Senoniense más la formación de arcillas verdes del Eoceno inferior–medio. Como impermeable regional actúa la facies Keuper del Trías, formada por arcillas y yesos.

Para la definición de la estructura interna del acuífero se han elaborado 14 cortes hidrogeológicos (I–I' a XIV–XIV', Planos 2 a 4) definidos a partir de la interpretación de la geofísica realizada en la fosa de Ibi (DPA, 1993 y 2005), la cartografía hidrogeológica (DPA–IGME, 2004 y 2006) y las columnas litológicas de los sondeos disponibles en las BBDD del IGME y DPA. En base a estos cortes se han elaborado mapas de isohipsas de techo y muro de la formación permeable (Planos 5 y 6).

El acuífero presenta una estructura tectónica compleja, en el que se diferencia de NO a SE, el sinclinal–fosa de Ibi, el anticlinal–falla del Carrascal y el sinclinal de la Carrasqueta.

El sinclinal-fosa de Ibi es un pliegue de orientación bética NE-SO con un eje de 9 km de longitud, entre los parajes Fondó de Alfás, al oeste, y la confluencia de los barrancos de la Sevillana y la Ermita, al este, y una amplitud máxima de 4 km en su límite occidental.

La base del acuífero lo conforman en el flanco septentrional del sinclinal las arcillas verdes del Eoceno inferior, que afloran entre los parajes de Cabezo Redó y El Caño (Cortes I-I' a V-V').

El núcleo del sinclinal se encuentra fracturada por fallas normales de orientación bética que deprimen la zona central y por fallas perpendiculares que define una geometría en bloques, con una sucesión de horst y graben, que condiciona el comportamiento hidráulico del acuífero (Cortes I-I' a VII-VII'). El muro del acuífero eoceno en el eje del sinclinal puede oscilar entre la cota 0 y los 200 m b.n.m., según se interpreta por geofísica, detectándose las profundidades mayores en dos bloques hundidos situados a ambos extremos del pliegue: el primero al oeste, en el paraje de Alfás y el segundo al este, en la cabecera del barranco de la Carbonera. El eje del sinclinal hacia el este se levanta a la altura del paraje Casa de la Gavernera, desplazándose hacia sureste coincidente con el eje de drenaje del Arroyo del Regal y el Barranco de la Batalla, definiendo lo que se puede denominar como fosa de La Sarga.

Hacia el sur el flanco meridional del sinclinal se encuentra fallado y hundido bajo recubrimientos miocenos.

Al sinclinal le sucede un anticlinal fallado en su flanco septentrional en cuyo núcleo aflora o subaflora la serie impermeable del Cretácico inferior, como se observa en las inmediaciones del barranco Carrascal en la Sierra del Cuartel. Hacia el sur, en el flanco meridional aflora la serie estratigráfica completa del Cretácico superior-Mioceno. El acuífero queda limitado en esta zona por el afloramiento de las margas del Oligoceno inferior, que actúa como impermeable de techo que conforman el sistema en la zona meridional del acuífero, siendo el impermeable de base en este sector la serie margosas del Cretácico inferior.

El anticlinal de la Sierra del Cuartel en el extremo noreste se ve interrumpido por una falla normal de dirección principal E-O, que hunde el conjunto bajo los miocenos que rellenan la depresión de La Sarga (Cortes VIII-VIII' y IX-IX').

Hacia el noreste en dirección hacia el manantial del Molinar los empujes halocinéticos del Trías del Río Barxell, aumenta la complejidad tectónica de este sector. Juegos de fallas normales e inversas levantan o hundes bloques que afectan a la serie carbonatada del Eoceno-Oligoceno, principalmente (Cortes X-X' a XIV-XIV'). El flanco septentrional del sinclinal de Ibi se pliega en anticlinal en el paraje Sambenet Alto-Monte de la Guerra, en dirección hacia el manantial, y en la Sierra de Ondoxes, hacia el sur juego de fallas inversas de

dirección bética levanta el núcleo del sinclinal en el paraje El Estepar, siendo interrumpido entre el Regadiuet y el Caserío de Penella por una falla normal de gran salto, que en el labio meridional hunde la serie del Eoceno–Oligoceno bajo un potente relleno margoso del Mioceno medio–superior. Esta falla rota a una dirección NE–SO entre el Caserío de Penella y la Font de Penella, hasta verse interrumpido por la falla del Molinar, asociada a la alineación diapírica de Castalla–Cocentaina, a través de la cual se dan inyecciones de materiales impermeables del Keuper triásico.

La conexión hidráulica entre las formaciones carbonatadas del Cretácico superior, que definen el sector Negre y la serie permeable del Eoceno–Oligoceno del acuífero principal, se produce en extremo más occidental del acuífero, a través de falla que ponen en contacto ambas formaciones, la presencia de estas fallas que ocasionalmente puede tener inyecciones puntuales del Trías condicionan el gradiente piezométrico en la zona y el vaciado de reservas observado en el compartimento cretácico (Cortes I–I' a IV–IV'). Las entradas en la zona de bombeo procedentes de los afloramientos permeables del Cretácico de la Sierra del Cuartel sólo es posible en los bordes occidental y oriental de la alineación carbonatada aflorante, ya que el levantamiento de su impermeable de base cretácico entre los parajes de Foyes Blanques y Mas del Fondó impide la conexión hidráulica entre los sectores acuíferos y la zona de explotación del Negre. De este modo las entradas a las formaciones dolomíticas y calcáreas del Cretácico, captadas en la batería de bombeo de la Campaneta, se producirían en una franja comprendida entre Cabezo de San Pere y el barranco de Vivens en el borde occidental, mientras en el borde nororiental los recursos podrían incorporarse al flujo principal del acuífero Barrancones a favor de la falla normal que hunde los cretácicos en la depresión de La Sarga. Esta descarga sería limitada a una franja de poco más de un kilómetro entre los parajes Mas Riu Riau y Mas del Racó.

Respecto a las formaciones carbonatadas del Eoceno y Oligoceno de la Sierra del Cuartel que conforman el sector Safarich (IGME 2004 y 2006), su drenaje hacia el cuerpo principal del acuífero se produce a través de la fosa de Ibi, en una franja comprendida entre los parajes Pla del Pinar y Casa de San Juan. En esta zona de manera oculta y a través de falla debe producirse el contacto entre formaciones carbonatadas del acuífero, no se descarta que pueda existir una conexión hidráulica entre las formaciones carbonatadas del Cretácico del Negre y las facies terciarias del Safarich bajo los recubrimientos miocenos.

Al anticlinal–falla de la Sierra del Cuartel le sucede el sinclinal de la Carrasqueta de directriz bética. El Eoceno–Oligoceno del sector Safarich y el Cretácico del Negre se hunden hacia el sur bajo la potente serie estratigráfica del Oligoceno–Mioceno que se localiza en el eje del sinclinal.

De este modo los límites del sistema se pueden definir de la siguiente manera:

- El límite septentrional, situado entre los municipios de Ibi y Cocentaina, corresponde a la alineación diapírica de materiales triásicos Castalla–Cocentaina.
- El límite meridional se extiende, en el borde occidental, por el contacto con la serie discordante del Mioceno de la Sierra del Madroñals, actuando el conjunto margoso del Oligoceno-Mioceno como impermeable de techo. Este límite a la altura del paraje Els Madroñals se desplaza hacia el norte por una falla de dirección principal N–S, que actúa como barrera de baja permeabilidad. Desde el Collado del Roch, el límite discurre por los afloramientos de las calizas del Eoceno medio–superior a lo largo de la Sierra de la Carrasqueta, que se identifican como afloramientos permeables del sector acuífero Sierra del Cuartel. Este límite entre los parajes de La Sarga y Regadiú coincide con un juego de fallas normales que define la fosa tectónica de La Sarga. Hacia el noroeste, se supone la existencia de una falla directa de elevado salto que hunde las formaciones acuíferas bajo un potente recubrimiento de materiales del Mioceno superior en el paraje del Barranco dels Horts.
- Al este, el límite está definido por la falla de Cocentaina–Penáguila que hunde las series carbonatadas de Barrancones bajo las facies margosas del Mioceno medio–superior.
- Por el oeste, el límite corresponde a la alineación diapírica triásica de Castalla–Río Verde.

Ocupa una superficie total de 184,09 km², de los cuales 49,03 km² corresponden a afloramientos de formaciones permeables que se distribuyen entre calizas y dolomías del Cenomaniense–Turoniense (4,74 km²), calizas bioclásticas y calizas detríticas del Eoceno medio-Oligoceno (23,74 km²) y calizas bioclásticas y calcarenitas del Mioceno (20,54 km²).

4.2. ACUÍFERO VOLTES

4.2.1. Formaciones permeables e impermeables

El acuífero Voltes se caracteriza por estar formado por un paquete principal de 180 m de calcarenitas del Serravalliense y un tramo inferior intercalado entre margas de entre 25 y 40 m de areniscas finas del Langhiense (Plano 11).

Leyenda de los materiales representados en la cartografía y cortes geológicos del acuífero Voltes, con interpretación del grado de permeabilidad

Código	Litología	Edad	Potencia (m)	Permeabilidad
M _{4c}	Calcarenitas bioclásticas y calizas	Serravalliense	180	Media
M _{3cs}	Areniscas	Langhiense	40	Media-Baja

Las margas blancas del Langhiense inferior constituyen el impermeable de base.



Foto 4.1. Calizas tableadas del Serravalliense
Afloramiento de la serie del Serravalliense en el flanco meridional del sinclinal de Voltes



Foto 4.2. Areniscas finas del Langhiense
Contacto estratigráfico entre las areniscas finas y las
margas blancas de techo del Langhiense



Foto 4.3. Margas blancas del Langhiense
Afloramiento del impermeable de base en el paraje
Planet de Juan, en el límite occidental del acuífero

4.2.2. Localización y geometría del acuífero

El acuífero Voltes se encuentra en la zona central de la provincia de Alicante (Plano 5). El acuífero se incluye dentro de la definición de la UH Argueña–Maigmó, identificándose con el código 08.43 dentro de la Cuenca Hidrográfica del Júcar (MOPU, 1990). La adaptación a la Directiva Marco del Agua de octubre de 2000 transforma la UH Argueña–Maigmó en la Masa de Agua Subterránea (MASub) 080.182 Argueña–Maigmó.

Desde el punto de vista administrativo ocupa íntegramente el término municipal de Castalla.

La orografía de esta zona está marcada por las estructuras geológicas en sinclinal que define el sistema. Los flancos septentrional y meridional incluyen las sierras de Argueña y Castalla, respectivamente, mientras la zona central deprimida la conforma la serranía del Pinar de la Umbría. Las cotas más elevadas se localizan en ambas sierras con cotas que pueden superar los 1.100 m s.n.m.

Litológicamente el sistema está formado principalmente por calcarenitas del Serravaliense, y, menor medida, por un paquete de areniscas finas (M_{3cs}), a techo del Langhiense, intercalado entre margas grises del Langhiense, con una potencia comprendida entre 25 y 40 m, captadas en la columna litológica del pozo Voltes II (2833–30066). Como impermeable actúa la serie margosa del Langhiense infrayacente al nivel de areniscas. En el límite oriental la facies Keuper del Trías, formado por arcillas y yesos, actúan como impermeable lateral.

La estructura es un sinclinal suave amplio de dirección SO–NE, fallado en los flancos, que afecta a la serie del Mioceno, cuyo eje se levanta y se pliega hacia el SO, a la altura del paraje Planet de Juan, donde aflora el impermeable de base, mientras que hacia el NO el cierre periclinal se ve interrumpido por el Trías de Castalla, aflorando sólo el flanco septentrional que se hunde en dirección a Castalla bajo las margas del Tortoniense.

La conexión hidráulica con los tramos carbonatados del Oligoceno y Eoceno que afloran en la Sierra de Argueña, es muy difícil de establecer, siendo a nivel cartográfico sólo posible a través del nivel de areniscas que intercalan las margas del Mioceno inferior y en el flanco septentrional del sinclinal, por contacto lateral con rocas carbonatadas del Oligoceno a favor de la falla normal que hunde el núcleo del pliegue (Plano 12, cortes: I–I', II–II', III–III', IV–IV', V–V', VI–VI', VII–VII' y VIII–VIII'). Se han elaborados mapas de isohipsas del muro y de isopacas de la formación permeable (Planos 13 y 14).

Los límites del acuífero vienen definidos por:

- Al norte y noreste, en las estribaciones meridionales de la Sierra de Argueña, el límite del acuífero lo constituye el afloramiento del impermeable de base, formado por las margas grises del Langhiense, que a techo está constituido por una ritmita de margas grises y areniscas de espesor decimétrico.
- Hacia el noreste, el sinclinal cuyo eje se levanta hacia el NE, sufre un plegamiento a modo de anticlinal de dirección perpendicular a la directriz principal del sinclinal, que provoca el levantamiento y afloramiento del impermeable de base, entre los parajes Planet de Juan y El Blanquizal. Este pliegue, asociado probablemente a empujes del diapiro del Trías de la Rambla de Aguarríos–L´Avaiol, condiciona la existencia de un umbral piezométrico que delimita el sentido de flujo subterráneo, hacia el norte en dirección hacia los pozos de abastecimiento de Castalla, Voltes I (2833–60001) y Voltes II (2833–30066), y hacia el sur, hacia el manantial de Caprala (2833–60007).
- Los límites este y sureste, entre los parajes Blanquizal y L´Avaiol están definidos por el afloramiento del impermeable de base mioceno y las facies Keuper del Trías asociado a los empujes e inyecciones del diapiro Rambla de Aguarríos–L´Avaiol.

El acuífero así definido tiene una superficie de 7,8 km², de los cuales en su totalidad corresponde a afloramientos permeables.



Foto 4.4. Umbría de los Pinos en el paraje del Saltel.

En la zona deprimida se localiza el núcleo del sinclinal serravallense que define el acuífero Voltes.

Al fondo se destaca la Sierra de Castalla.

5. ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS FORMACIONES PERMEABLES

5.1. ACUÍFERO BARRANCONES

En julio de 2002 la DPA realizó un ensayo de bombeo en un sondeo particular denominado La Doncellica (2833–30024), tras resultar negativo el sondeo de investigación realizado. El aforo consistió en 4 escalones con un máximo de 12 l/s. La interpretación de la recta de recuperación permitió estimar una transmisividad baja de 60 m²/día.

La DPA realizó en julio de 2004 el primer ensayo de bombeo en el sondeo Calderete (2833–40072) empleando como piezómetro el pozo Campos II (2833–40029). En el sondeo, que capta la serie permeable del Mioceno inferior–Oligoceno bajo los recubrimientos margosos del Mioceno medio–superior, se obtuvo una transmisividad de 340 m²/día, con un espesor saturado de 198 m. Respecto al piezómetro de observación la interpretación del ensayo de bombeo y el posterior ensayo de recuperación, permitió ajustar una transmisividad de comprendida entre 590 y 610 m²/día. Los descensos medidos en este pozo permitieron estimar un coeficiente de almacenamiento entre $1 \cdot 10^{-3}$ y $1,06 \cdot 10^{-3}$.

En julio de 2005 la propia DPA procedió al desarrollo químico mediante polifosfatos y ácido clorhídrico del sondeo Calderete (2833–40072) para aumentar las posibilidades de explotación del sondeo. Tras el desarrollo químico se incrementó la transmisividad del acuífero en el entorno del sondeo a 550 m²/día.

En agosto de 2002 la DPA realiza un ensayo de bombeo en el sector acuífero Negre. La prueba de bombeo realizada en el sondeo Negre (2833–40059) consistió en 6 escalones de bombeo alcanzándose un caudal máximo de 115 l/s. La interpretación del ensayo de bombeo y el posterior ensayo de recuperación, permitió ajustar una transmisividad en 135.000 m²/día.

En el sector Safarich se conoce la realización de al menos cuatro aforos: tres en el sondeo Vivens (2833–40057) y uno en un sondeo denominado “El Madroñal nº 1”, situado al sur del primero en la falda meridional de la sierra de Els Madroñals.

El sondeo Vivens (2833–40057) realizado por la DPA en el Barranco de Vivens captó tramos permeables del Oligoceno y Eoceno. Sin embargo, se observa un cambio importante de facies y espesor de los tramos permeables terciarios que se captan en profundidad. La reducción de espesor de los tramos acuíferos y el aumento en el contenido arcillosos es la responsable de los valores de transmisividad obtenidas en el sondeo, 20 m²/día a partir de la interpretación del ensayo de recuperación. Posteriormente en junio de 2005 el ayuntamiento de

Castalla realiza un aforo a partir del cual se estima una transmisividad 150 m²/día en el último escalón de bombeo (30 l/s), aunque sin llegar a estabilizarse el nivel piezométrico.

En el sondeo El Madroñal nº 1 la prueba de bombeo puso en evidencia las malas cualidades de las formaciones permeables terciarias en este sector, con una transmisividad muy baja de 1 m²/día y un vaciado importante del acuífero de 112 m en 8 horas para un volumen bombeado total de 19,8 m³.

En el Cuadro 5.1 se incluye una síntesis de las transmisividades obtenidas en los ensayos de bombes realizados por la DPA en el acuífero Barrancones.

Cuadro 5.1. Interpretación de ensayos de bombeo en el acuífero Barrancones

Código	Fecha	Sectores acuíferos	Formación permeable	Prueba	Caudal (l/s)	T (m ² /día)	Observ.
283330024	26/07/2002	Molinar	Mioceno inferior– Oligoceno	Recup.	12	60	1
283340072	23/08/2004	Molinar	Mioceno inferior– Oligoceno	Recup.	10	340	1
283340029	23/08/2004	Molinar	Mioceno inferior– Oligoceno	Recup.	10	600	1
283340072	25/07/2005	Molinar	Mioceno inferior– Oligoceno	Recup.	30	550	2
283340059	20/08/2002	Negre	Cenomaniense– Turoniense	Recup.	115	136.000	1
283340057	16/05/2005	Safarich	Oligoceno–Eoceno medio–superior	Bombeo	30	150	1

(1). Desarrollo; (2). Acidificación y desarrollo

De un modo complementario a los ensayos interpretados, se ha realizado una estimación del caudal específico en varios de los pozos puestos en explotación en el acuífero Barrancones (Cuadro 5.2), a partir del cual se obtiene el valor de T, si bien son de menor precisión que los obtenidos a partir de un ensayo de bombeo. Para obtener el valor aproximado

de T se utiliza la fórmula de Thiem simplificada $T(m^2 / dia) = \frac{Q(l/s)}{d_p(m)}$, siendo T la

transmisividad (m²/día) y $\frac{Q(l/s)}{d_p(m)}$ el caudal específico ((l/s) / m).

Cuadro 5.2. Transmisividades estimadas a partir de caudales específicos en el acuífero Barrancones

Código	Fecha	Formación permeable	Caudal (l/s)	Descenso np (m)	Q específico ((l/s) / m).	T (m ² /día)
2932-50037	15/07/2009	Oligoceno	160	3	53,33	5.500
2932-50045	15/07/2009	Oligoceno	140	0,2	700	70.000
2932-50054	01/10/1983	Oligoceno	55	0,75	73,33	7.300
2932-50055	17/02/2000	Oligoceno	73	1	73	7.300
2932-60016	01/07/2001	Oligoceno-Eoceno	14,37	0,60	23,95	2.400
2933-10010	01/01/1970	Oligoceno	20	43	0,47	50
2833-40019	13/08/1987	Cenomaniense-Turonense	80	0,15	533,33	50.000

A partir de los parámetros hidráulicos estimados mediante los análisis de bombeo y el análisis de caudales específicos, se pueden diferenciar varias zonas en función de la magnitud de transmisividad (Krásný, J., 1993):

- Sector Molinar. Se pueden diferenciar 4 zonas:
 - ✓ Al noreste del manantial, las formaciones carbonatadas de la Sierra de Ondoxes puede alcanzar transmisividades de 7.000 m²/día, que se califica como "Alta"
 - ✓ En el entorno del manantial la transmisividad puede ser superior a los 70.000 m²/día, que se califica como "Muy Alta".
 - ✓ En la zona central del acuífero, en la fosa de ibi, la transmisividad del acuífero puede estimarse próxima a 600 m²/día que se califica como "Alta".
 - ✓ En el extremo noroeste, el ensayo de bombeo realizado permite estimar la transmisividad en 60 m²/día que se califica como "Moderada".
- Sector Ondoxes el análisis de caudales específicos del pozo Penella nº 2 permite estimar una transmisividad próxima a 2.000 m²/día, que se califica como "Alta".
- Sector Negre, los ensayos de bombeo realizados y los caudales específicos permite estimar valores de transmisividad comprendido entre 50.000 y 140.000 m²/día que se califica como "Muy Alta".
- Sector Safarich presenta una transmisividades de 150 m²/día, que se califica como "Alta".

Un cuadro resumen con valores de transmisividad se incluye a continuación.

Cuadro 5.3. Síntesis de valores de transmisividades estimadas en puntos de explotación del acuífero Barrancones

Código	Sectores acuíferos	Formación permeable	T (m ² /día)	Método de análisis
283340059	Negre	Cenomaniense–Turonense	136.000	Ensayo de bombeo
283340019	Negre	Cenomaniense–Turonense	50.000	Caudales específicos
283330024	Molinar	Mioceno inferior–Oligoceno	60	Ensayo de bombeo
283340029	Molinar	Mioceno inferior–Oligoceno	600	Ensayo de bombeo
283340072	Molinar	Mioceno inferior–Oligoceno	340	Ensayo de bombeo
283340072	Molinar	Mioceno inferior–Oligoceno	550	Ensayo de bombeo
293250037	Molinar	Oligoceno–Eoceno	5.500	Caudales específicos
293250045	Molinar	Oligoceno–Eoceno	70.000	Caudales específicos
293250054	Molinar	Oligoceno–Eoceno	7.300	Caudales específicos
293250055	Molinar	Oligoceno–Eoceno	7.300	Caudales específicos
293310010	Molinar	Oligoceno–Eoceno	50	Caudales específicos
293260016	Ondoxes	Oligoceno–Eoceno	2.400	Caudales específicos
283340057	Safarich	Oligoceno–Eoceno	150	Ensayo de bombeo

5.2. ACUÍFERO VOLTES

Se dispone del ensayo de bombeo realizado por el DCH en el pozo Voltes II (2833–60033).

El sondeo capta las formaciones permeables del Serravalliense–Langhiense, con un tramo saturado durante la prueba de bombeo de 416 m.

La interpretación de la prueba fue realizada por la propia DPA mediante el método de Jacob (DPA, 2007), $T(m^2 / dia) = 0,128 \frac{Q(l/s) \cdot 86,4}{\Delta h(m)}$. Los resultados se sintetizan en el

Cuadro 5.4

Cuadro 5.4. Interpretación de ensayo de bombeo en el acuífero Voltes

Código	Fecha	Formación permeable	Prueba	Caudal (l/s)	Depresión en ciclo log m (m)	T (m ² /día)	Obser.
2833–30066	07/04/01	Serravalliense	Recuperación	36,21	2,2	260	2

(1). Desarrollo; (2). Acidificación y desarrollo

De un modo complementario al ensayo interpretado, se ha realizado una estimación del caudal específico en los sondeos de abastecimiento 2833–60001 y 2833–30066 (Cuadro 5.5), a partir del cual se obtienen valores de T, si bien son de menor precisión que los obtenidos a

parir de un ensayo de bombeo. Para obtener el valor aproximado de T se utiliza la fórmula de Thiem simplificada $T(m^2 / dia) = \frac{Q(l/s)}{d_p(m)}$, siendo T la transmisividad (m²/día) y $\frac{Q(l/s)}{d_p(m)}$ el caudal específico ((l/s) / m).

Cuadro 5.5. Transmisividades estimadas a partir de caudales específicos en el acuífero Voltes

Código	Fecha	Formación permeable	Caudal (l/s)	Descenso np (m)	Q específico ((l/s) / m).	T (m ² /día)
2833-60001	31/12/2004	Serravaliense	25	9,7	2,58	258
2833-30066	10/06/2008	Serravaliense-Langhiense	35	14,28	2,45	245

El análisis de caudales específicos para los sondeos que captan las formaciones permeables del acuífero Voltes, reflejan valores medios de transmisividad próximos a 250 m²/día, por lo que se podría dar una calificación estimativa de “Media”.

6. PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA A APLICAR PARA LA EVALUACIÓN DE LAS RESERVAS

El IGME (2003) analizó de un modo exhaustivo los diferentes métodos de cálculo de las reservas, totales y útiles.

- Basados en las isopacas del acuífero.
- Integración numérica.
- Mallado del acuífero.
- Modelos matemáticos de flujo.

Con posterioridad, la DPA (2007) y el IGME (2008) profundizan en la evaluación de las reservas, A continuación se realiza una breve síntesis de las características principales de cada uno de ellos.

6.1. MÉTODO BASADO EN LAS ISOPACAS DEL ACUÍFERO (IGME 2003)

El método se basa en la realización de una definición precisa del acuífero, la potencia saturada de las formaciones permeables del acuífero (mapa de isopacas) y porosidad eficaz media de las mismas. Utilizado en los primeros trabajos del PIAS en la década de los años 70

(IGME, PIAS) es un método sencillo que a partir de buen conocimiento hidrogeológico del acuífero permite obtener unos valores de referencia del volumen de agua almacenado.

Tiene como principales ventajas que se basa en el conocimiento hidrogeológico, permite una estimación rápida del volumen de reservas en acuíferos y admite variaciones laterales de la porosidad eficaz del acuífero.

Como inconvenientes el volumen del acuífero se calcula en conjunto, sin que sea posible determinar la distribución de las reservas en profundidad, tampoco permite una distribución en la vertical de la porosidad eficaz del acuífero, en el caso de medios estratificados, pero que puede ser solventado mediante la estimación de la media ponderada de la porosidad.

6.2. MÉTODO DE INTEGRACIÓN NUMÉRICA (IGME 2003)

Este método ampliamente utilizado para el cálculo de volúmenes de embalses superficiales, fue adaptado por Solís et al 1983, para el cálculo de la curva de explotación del acuífero, que relaciona las reservas almacenadas a distintas cotas.

La aplicación de esta familia de métodos requiere la confección de los mapas de isohipsas de muro y techo del acuífero, y la superficie piezométrica del acuífero en el momento en que se va a realizar la evaluación de reservas. A partir de estos planos se determina la superficie entre cotas, aplicando a continuación un método de integración numérica (Plano 16 y Plano 17).

El procedimiento genérico de cálculo de volumen de una superficie cerrada es el siguiente:

1. Se dibuja el mapa de isolíneas de la superficie.
2. Comenzando por la cota inferior, se calcula la superficie existente entre la cota inferior y la siguiente, y así sucesivamente hasta alcanzar la cota máxima.

Cota	Área entre cotas	Área total
Z1	A1 = 0	0
Z2	A2	A2+A1
Zn	An	An+An- 1+....+A2+A1

3. Se representa la curva cota-superficie, tal como se indica en la figura siguiente a modo de ejemplo.

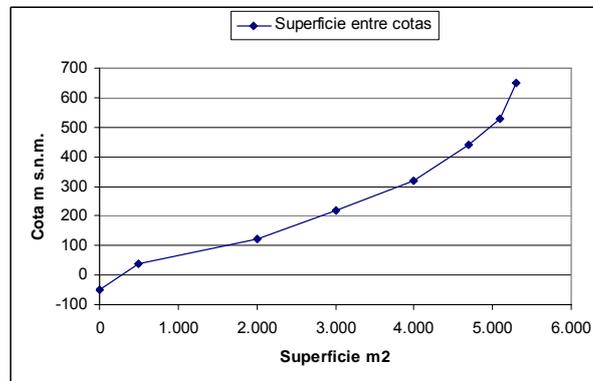


Figura 6.1. Curva cota superficie.

4. La integración de esta función dará el volumen por debajo de la superficie en el intervalo de cotas mínimo y máximo de la superficie el volumen buscado.

$$V = \int_{z_1}^{z_2} A(z) dz \text{ siendo } V, \text{ volumen; } A, \text{ área; } z, \text{ cota}$$

La integral se resuelve utilizando un método de integración numérica.

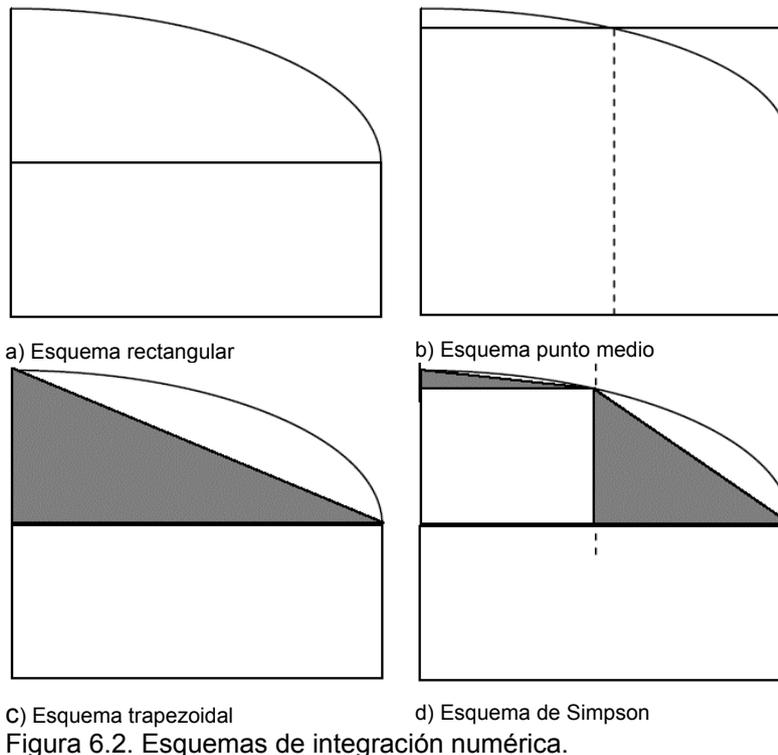


Figura 6.2. Esquemas de integración numérica.

Para el caso de los acuíferos, la función que estrictamente hay que considerar es

$$V = \int_{z_1}^{z_2} Ss(z)A(z)dz$$

siendo Ss el almacenamiento específico (L^{-1}). Suponiendo Ss constante resulta

$$V = Ss \int_{z_1}^{z_2} A(z)dz$$

5. La integral se resuelve para distintas cotas de referencia del acuífero, de modo que se puede representar una curva de explotación del mismo, o función de reparto de las reservas hídricas en profundidad, referida en términos de cota s.n.m. La curva obtenida es de la forma que se indica en la figura a continuación:

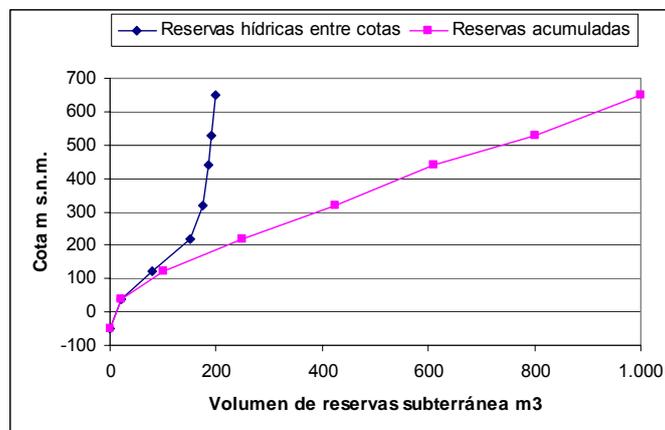


Figura 6.3. Curva explotación de un acuífero

El volumen a calcular se obtiene por diferencias entre varias superficies, variando el método según se trate de un acuífero libre, cautivo o funcione en parte como libre en parte como cautivo.

Acuífero libre

En acuífero libre las reservas se calculan por diferencia entre el muro del acuífero y la superficie piezométrica. El volumen total de roca saturada es la diferencia entre el valor máximo de la superficie piezométrica en el intervalo comprendido entre el valor máximo de la superficie piezométrica y la cota mínima del muro del acuífero, y el volumen total situado debajo de la superficie representativa del muro del acuífero en el intervalo comprendido entre el mínimo y el máximo.

Si la porosidad eficaz Ss se supone constante se multiplica por el volumen de roca permeable y se obtiene las reservas entre cotas.

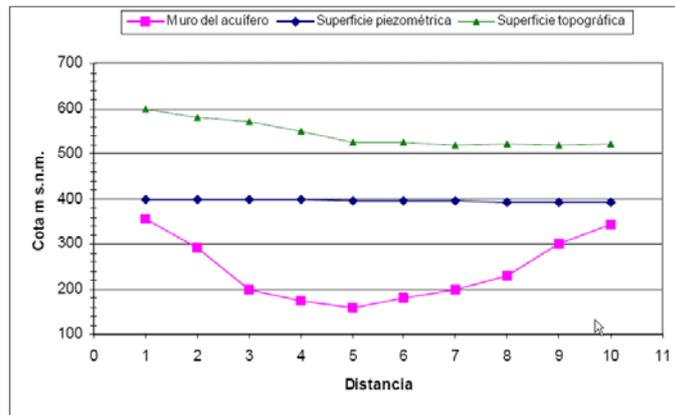


Figura 6.4. Perfil ideal en un acuífero libre.

Para el caso de S_s variable en profundidad y en el plano horizontal, se puede obtener una función de variación con la cota de modo que la función a integrar fuese:

$$V = \int_{z_1}^{z_2} Vad(z)dz$$

siendo el volumen de agua drenable del acuífero.

La obtención de valores representativos de Vad en función de la cota puede ser una tarea muy laboriosa para acuíferos con capas superpuestas de diferente permeabilidad, con buzamientos apreciables, una tectónica de cierta complejidad e incluso con variaciones de para una misma capa, tal como puede observarse en la figura a continuación.

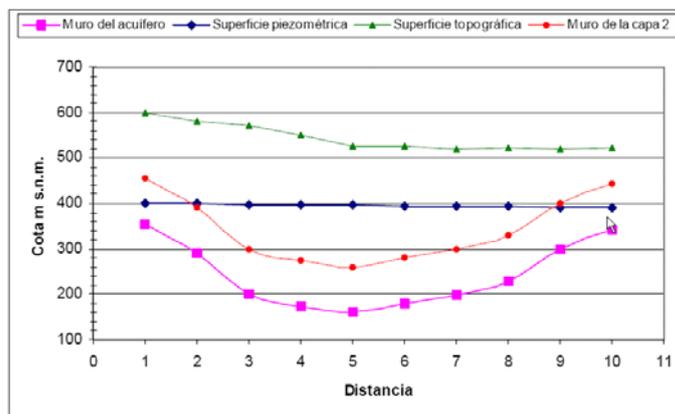


Figura 6.5. Perfil ideal en un acuífero libre de dos capas con diferentes valores de propiedades de almacenamiento. La distribución de almacenamiento en profundidad debe calcularse en función del volumen de roca de los dos tipos para cada rango de cotas, tarea que puede ser muy laboriosa para acuíferos de una cierta complejidad litológica o estructural.

Acuífero cautivo

En acuíferos completamente cautivos, el almacenamiento está comprendido fundamentalmente entre el muro y el techo de la formación permeable, por lo que el cálculo es similar al caso de acuífero libre, sustituyendo la superficie piezométrica por la superficie de cotas del techo del acuífero. Puede considerarse también el almacenamiento elástico asociado al abatimiento de la superficie piezométrica. Por otro lado, se puede conocer el almacenamiento en conjunto con las dos situaciones libre-cautivo, el cálculo también puede abordarse con un criterio simplificado por diferencia de volúmenes: el volumen total por debajo del techo del acuífero menos el volumen por debajo de la superficie piezométrica nos da el volumen en el que la liberación de agua se produce por fenómenos elásticos del agua y la roca permeable (no hay desaturación pero sí liberación de agua por disminución de la presión hidrostática); el volumen total por debajo de la superficie de techo menos el volumen total por debajo del muro del acuífero nos da el volumen de roca permeable drenable.

En el caso de considerarse dos valores de almacenamiento específico para los estados cautivo-libre, S_s varía en la vertical, y para un acuífero plegado y fracturado, también en la horizontal, independientemente de la variación de S_s dentro de una misma capa. No obstante, la diferencia de órdenes de magnitud entre los dos valores hace que el cálculo de la variación vertical de S_s esté dominado por el valor de la porosidad eficaz, por lo que no es preciso un cálculo adicional demasiado laborioso.

Acuífero que funciona en parte como libre y en parte como cautivo

Para este caso la simple distribución de la superficie piezométrica entre cotas no permite conocer estrictamente el volumen de roca saturada, pues tal como se muestra en la figura a continuación, se puede tener la misma distribución de superficies piezométricas con distintas relaciones volumétricas acuífero libre/cautivo. Esta situación puede abordarse desde tres perspectivas diferentes:

- Incorporar una cota media de la superficie piezométrica (superficie plana horizontal).
- Despreciar el almacenamiento elástico del acuífero
- Calcular la función de distribución de S_s en la vertical, con las dificultades ya indicadas anteriormente.

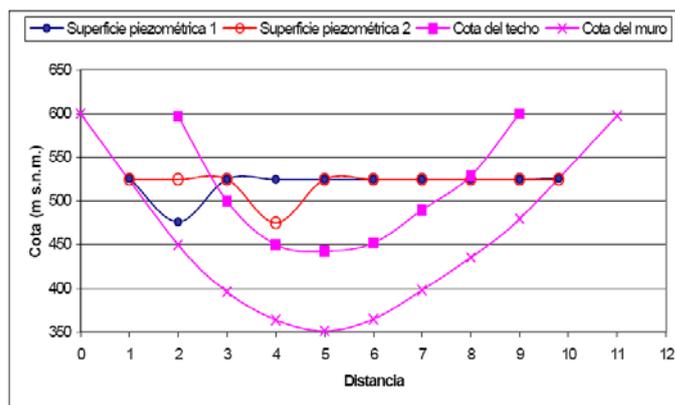


Figura 6.6. Perfil ideal en un acuífero que funciona en sectores como libre y en sectores como cautivo.

Puede observarse que las dos superficies piezométricas tienen un mismo reparto de superficie (línea) entre cotas, y también iguales valores mínimo y máximo, pero la relación acuífero libre/cautivo es diferente en las dos situaciones.

El método de integración numérica permite obtener buenos resultados para caracterizar las reservas en acuíferos libres, con valores de S_s uniformes entre cotas, de modo que si S_s experimenta variaciones en la vertical, puedan ser estimadas con una cierta facilidad a partir del comportamiento hidrogeológico observado en los pozos de captación o por la naturaleza de la roca permeable. Para el caso de acuíferos de funcionamiento mixto libre-cautivo y para los casos de geometrías complicadas, la estimación en detalle de la variación de S_s en la vertical puede ser lo suficientemente compleja como para desistir de su cálculo y optar por un valor medio obtenido a partir de un análisis menos cuantitativo.

- Permiten diferenciar explícitamente diferentes valores de porosidad eficaz en medios estratificados.
- Se pueden caracterizar las reservas subterráneas por cotas y conocer su distribución en la vertical (curva de explotación del embalse subterráneo). En base a esta curva de embalse, pueden realizarse análisis hidrogeológicos de la gestión de las reservas, tales como:
 - ✓ Limitación por una profundidad del agua que no puede ser rebasada sin ocasionar graves perjuicios económicos a los usuarios actuales del agua debido a la elevación de los costes de extracción.
 - ✓ Limitación de alcanzar una cota por problemas de intrusión salina en el acuífero.

Un inconveniente que se puede atribuir a estos métodos es que no se puede realizar de modo explícito una distribución en horizontal (dentro de un determinado rango de cotas) de

la porosidad eficaz del acuífero. No obstante y de un modo similar al método basado en las isopacas, debe considerarse que la porosidad eficaz entre cotas en el dominio donde se va a calcular la curva de explotación se debe obtener como media volumétrica de los distintos dominios homogéneos relativos a esta propiedad del medio, por lo que el cálculo de reservas entre cotas siempre se ajustaría al conocimiento hidrogeológico existente. En algunos casos se ajustaría al conocimiento hidrogeológico existente. En algunos casos se puede dividir el acuífero en sectores (especialmente si la distribución de la porosidad es relativamente homogénea para cada sector y la definición de éstos se basa en criterios de geometría del acuífero), para cada uno de los cuales se calcularía una curva de explotación propia.

6.3. MALLADO DE ACUÍFERO (IGME 2003)

Este método permite superar los problemas que encuentra el modelo de integración debido a la morfología de las capas que forman un acuífero, la propia de la superficie piezométrica y la heterogeneidad del medio subterráneo con respecto a los valores de almacenamiento. El método consiste en discretizar espacialmente un acuífero en elementos tridimensionales de propiedades homogéneas de almacenamiento. Cada elemento tiene unas dimensiones y una situación determinada en el espacio. La superficie piezométrica se caracteriza mediante su discretización en una rejilla en el plano XY y asignando un valor homogéneo de cota de agua a la superficie de cada elemento. La curva de explotación se obtiene contabilizando por celdas, el producto del volumen del elemento por el valor de almacenamiento en los intervalos de cotas elegidos para representar la curva de explotación.

El método así planteado permite alcanzar un conocimiento geométrico en tres dimensiones de gran detalle del acuífero, y las reservas subterráneas pueden ser calculadas con gran precisión, condicionadas por el conocimiento geológico del medio, de la posición de la superficie piezométrica y de los valores de almacenamiento.

Tal como sucede con los métodos de integración, este método parte de un conocimiento lo más exhaustivo posible de la geometría del acuífero, que se sintetiza en los correspondientes mapas de isohipsas de muro y techo de cada una de las capas que forman el acuífero, y del mapa de isopiezas a partir del instante en que se quiere calcular las reservas. Los pasos a seguir son:

- Se discretiza el acuífero en elementos tridimensionales. Los criterios de discretización deben basarse en la geometría del acuífero y el grado de precisión que se quiera alcanzar en el cálculo de las reservas. A cada elemento del acuífero se le asigna un valor de almacenamiento.
- Es aconsejable para facilitar el cálculo que la rejilla definida en el plano XY coincida en toda la vertical del acuífero (fig. 3.8). De un modo estricto, el acuífero se debe

discretizar en una rejilla tridimensional de elementos cúbicos de tamaño igual a la precisión alcanzada en la definición geométrica del acuífero.

- Se discretiza en coordenadas XY la cota de la superficie piezométrica para la misma definición de rejilla adoptada en la definición geométrica del acuífero.
- Se calcula el volumen de roca, el volumen de agua drenable, la curva de explotación del acuífero y, en su caso, las reservas y la curva de explotación entre varias situaciones piezométricas.

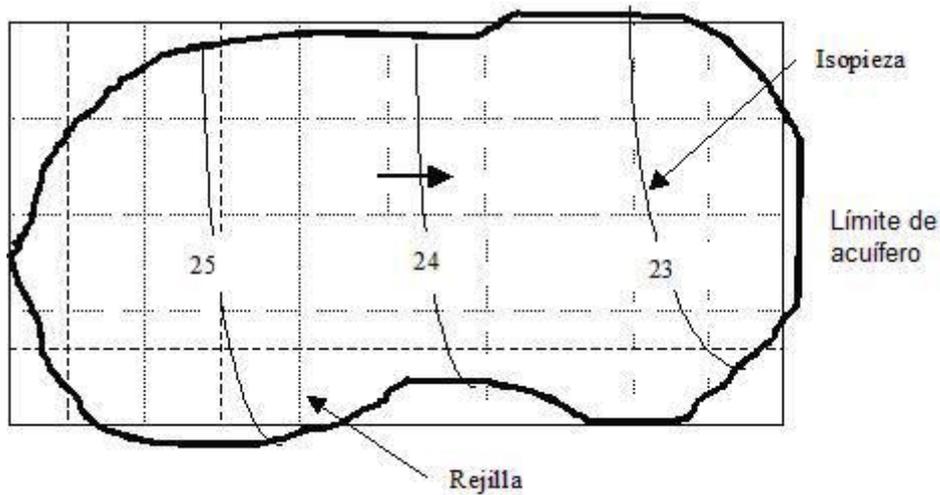


Figura 6.7. Perfil discretizado de un acuífero para el cálculo de reservas

En la figura a continuación se presentan un ejemplo de discretización espacial de un acuífero en forma de sección en el plano XZ y de un cálculo simplificado de reservas basado en este perfil.

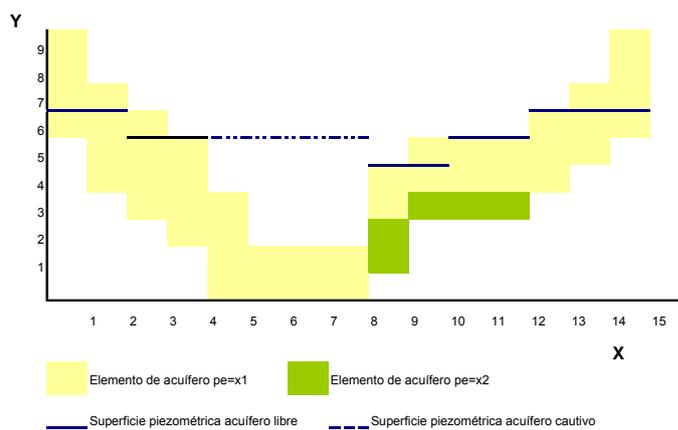


Figura 6.8. Discretización espacial de un acuífero en forma de sección en el plano XZ

El procedimiento de cálculo es sencillo. Considerando las siguientes cotas representativas de curva de explotación: 2, 4, 6, 8 y 10 y siendo: Av el volumen de roca de cada elemento y "x" el valor de la porosidad eficaz (pe) en cada elemento, el procedimiento operativo consistiría en multiplicar en cada elemento del acuífero el volumen de roca por pe, acumulando por los niveles definidos en la curva de explotación. La organización del cálculo se indica a continuación:

Identificación de rejilla

Niveles en eje Z	Elementos en eje X					Cota curvas de explotación	Reservas entre cotas
	0-1	...	8-9	...	14-15		
1	0	...	0	...	0	2	v2+....
2	0	...	$Av \cdot x2 = v2$	...	0		
3	0	...	$Av \cdot x2 = v2$	...	0	4	v1+v2+....
4	0	...	$Av \cdot x1 = v1$	...	0		
5	0	...	$Av \cdot x1 = v1$	...	0	6	v1+....
6	0	...	0	...	0		
7	$Av \cdot x1 = v1$	...	0	...	$Av \cdot x1 = v1$	8	2v1+....
8	0	...	0	...	0		
9	0	...	0	...	0	10	
10	0	...	0	...	0		
Total:							$4v1+2v2+....$

El método de mallado presenta grandes ventajas para el cálculo de reservas.

- Presenta una gran flexibilidad a la hora de definir la discretización espacial del acuífero y de este modo se puede conseguir la mejor aproximación a su definición geométrica.
- Permite evaluar las reservas por cualquier sector de acuífero, entendiendo por sector dentro de este entorno de trabajo a cualquier agrupación de celdas colindantes que presentan un interés hidrogeológico derivado de su estructura geométrica, propiedades hidráulicas, distribución de las explotaciones, etcétera.
- Permite calcular las reservas entre dos posiciones cualesquiera de la superficie piezométrica, pudiendo proceder su definición de estudios hidrogeológicos, estimaciones hidrogeológicas a buen juicio, modelos matemáticos, etcétera.

Para la calibración del almacenamiento del acuífero es conveniente disponer de un periodo en el que el acuífero haya experimentado un vaciado significativo, aunque presente un carácter temporal. En este periodo debe evaluarse el volumen de vaciado y el correspondiente volumen de roca, de modo que pueda extrapolarse el almacenamiento específico del acuífero a otras zonas del mismo no afectadas.

El principal inconveniente del método estriba en que conforme se mejora el ajuste entre el mallado del modelo y la geometría del acuífero, se incrementa también el número de celdas cuyo rellenado con los valores de almacenamiento puede llegar a ser una tarea laboriosa. La discretización por celdas permite también introducir fácilmente restricciones, tales como calcular las reservas extraíbles desde los pozos actualmente en funcionamiento, impedir que en unas determinadas celdas se extraigan reservas por debajo de una determinada cota para impedir una intrusión salina, etcétera.

El estudio incluye el código de un programa FORTRAN que implementa el método y otro con el que se puede calcular la recarga para la evaluación de las reservas extraídas con las que tratar la calibración del almacenamiento específico del acuífero en un periodo de vaciado.

6.4. MODELO MATEMÁTICO DE FLUJO (IGME 2003)

La construcción de un modelo de flujo es una labor generalmente compleja. El modelo matemático resuelve numéricamente la ecuación de flujo subterráneo para unos valores de parámetros hidráulicos del acuífero considerado (permeabilidad y almacenamiento específico) y unas condiciones de borde del sistema (condiciones en los límites y acciones exteriores).

$$-div(q) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{para el caso de un agua de densidad constante, siendo:}$$

q , el caudal específico o velocidad Darcy

S_s , el almacenamiento específico

h , carga hidráulica

t , tiempo

presenta múltiples aplicaciones:

- Permite validar el modelo conceptual de funcionamiento.
- Permite realizar predicciones sobre la distribución de la carga hidráulica para unas condiciones impuestas de recarga y bombeos.
- Permite realizar cálculos de optimización sobre la distribución de las explotaciones y su magnitud frente a unas condiciones de recarga dadas.

Su aplicación al estudio de las reservas subterráneas presenta las varias ventajas:

- Para unas condiciones de balance dadas y partiendo de la información hidráulica disponible del acuífero, se puede obtener una distribución del almacenamiento coherente con el conjunto de la información disponible. Los valores calibrados del

almacenamiento se pueden incorporar a un programa externo de cálculo de las reservas totales de un acuífero, sujetos a la limitación que supone extrapolar los valores considerados de almacenamiento fuera de las condiciones en que fueron ajustados.

- Permite evaluar la posición de la superficie piezométrica para unas condiciones de balance dadas y una serie de restricciones que pueden ser introducidas directa o indirectamente al modelo. Estas restricciones conducen a la definición de los siguientes tipos de reservas:
 - ✓ Reservas explotables desde la situación actual.
 - ✓ Reservas económicamente explotables.
 - ✓ Reservas explotables sujetas a una restricción de conservación de la calidad del agua o de unas determinadas condiciones ambientales.

En general, las principales limitaciones que pueden presentarse son las siguientes:

- Aunque existe un modelo conceptual básico de funcionamiento del acuífero, los datos de balance disponibles o los valores puntuales de transmisividad y coeficiente de almacenamiento en los pozos pueden ser insuficientes para obtener calibraciones de suficiente calidad o predicciones fiables sobre el comportamiento futuro del acuífero.
- Si el acuífero funciona predominantemente en carga durante el periodo seleccionado para la calibración, los valores de almacenamiento obtenidos no corresponden a la porosidad eficaz que caracteriza el volumen de agua drenable.
- Una vez calibrado satisfactoriamente un acuífero, la obtención de la posición final de la superficie piezométrica tras una simulación en que se somete al acuífero a una importante extracción de reservas a lo largo de un periodo normalmente prolongado, puede ser relativamente insegura.

6.5. MODELO ÁCARO (DPA 2007)

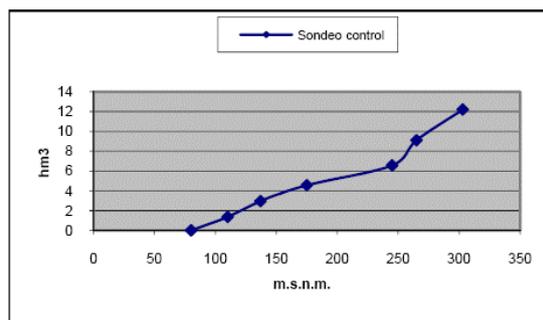
Es un desarrollo del método basado en un modelo matemático de flujo. En el caso que no exista, se debe desarrollar al menos un modelo de flujo simplificado.

Cálculo de reservas totales a partir de un modelo matemático existente (Modelo de flujo ajustado)

En primer lugar se procede al “llenado del acuífero” en régimen permanente mediante una recarga muy superior a la existente. El acuífero presenta entonces una piezometría máxima. Seguidamente, en régimen transitorio se lleva a cabo el “vaciado del acuífero” a través

de las descargas naturales y de un parámetro de antirecarga, los sondeos de explotación se anulan para evitar descensos piezométricos localizados. El parámetro denominado antirecarga consiste en un volumen de extracción generalizado en el sector de explotación del acuífero que permite el vaciado del mismo. Del vaciado se obtendrá un descenso piezométrico que implicará una variación en el almacenamiento del acuífero. Dicha variación nos permitirá establecer las reservas totales del acuífero mediante una curva de llenado. A partir de dicha curva se extraen parejas de valores (reservas, piezometría) que se introducen en la aplicación Ácaro que permite deducir las reservas útiles del acuífero en función de una cota piezométrica dada.

Tiempo	ΔV (hm ³)	Reservas = ΔV acumulado(hm ³)	Nivel piezo. (m.s.n.m.)
0	-	12,21	303
1	3,11	9,10	265
2	2,53	6,57	245
3	2,01	4,56	175
4	1,61	2,95	137
5	1,59	1,36	110
6	1,36	1,36	80
TOTAL	12,21	0	-



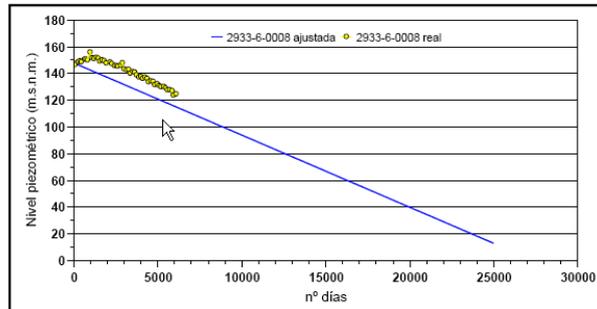
Datos tabulados para construcción de la curva de llenado de la derecha.

Cálculo de reservas totales cuando no existe modelo matemático previo (Modelo de flujo simplificado)

En estos casos, que son la mayoría, se procede a realizar un modelo matemático sencillo, basado en la organización específica de la información existente en el Departamento de Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante.

- Se parte de la geometría en planta del acuífero existente en la capa Ali_acui de la Base de Datos de Aguas (BDA).
- Se toman las isohipsas de muro si es que existen o bien una potencia media de acuífero, a partir de datos litológicos existentes procedentes de la tabla IPA 13 de la BDA, o bien de consultas bibliográficas (Ej.: Las Aguas Subterráneas de la Provincia de Alicante).
- Se consultan en la BDA las salidas naturales de dicho acuífero que constituirán los límites del modelo matemático simplificado.
- Se introduce la recarga media proveniente del Mapa del Agua de la Provincia de Alicante o de otra información que se considera más fiable.
- Se imponen unos parámetros hidráulicos (K, S) generalizados a todo el acuífero, según bibliografía y en el caso de no existir se introducen valores teóricos. Por último, en el caso de no resultar fiable la bibliografía consultada se procede a realizar el calibrado del coeficiente de almacenamiento a partir de los descensos conocidos en

un punto del acuífero y los resultantes de la modelización (ajuste), de manera que ambos descensos sean similares o al menos muestren la misma tendencia a través de la pendiente de una recta de vaciado).



Ajuste entre observaciones y evolución teórica.

- Se calcula una plano de isopiezas en régimen no influenciado “coherente” con los datos piezométricos disponibles en la BDA (IPA2).
- Se procede al llenado y vaciado del acuífero de la misma manera que en el caso del modelo de flujo ajustado.

Para el cálculo de las reservas útiles se definen unos puntos de control piezométrico con unos niveles piezométricos límite indicativos de la cota máxima de explotación que determinará las reservas útiles del acuífero.

6.6. MODELO IGME 2008

En este trabajo se realiza un análisis exhaustivo de los métodos de cálculo descritos en IGME (2003) y se desarrolla un tratamiento sistemático de las reservas que contempla su catalogación y procedimiento de cálculo. Para el cálculo de las reservas se consideran los aspectos geométricos, los parámetros de almacenamiento del acuífero y la evolución de su balance hídrico, aunque en el momento de redactar este capítulo no está disponible una implementación del procedimiento.

La metodología establece unas pautas para el cálculo de reservas hidrogeológica que permite abordar cualquier situación en el embalse subterráneo derivada del régimen de influenciado a que haya sido sometido. El procedimiento de cálculo de las reservas hidrogeológicas requiere de unas variables intrínsecas que condicionan el almacenamiento del embalse subterráneo:

- Valoración de los datos disponibles (geológicos, piezométricos e hidrodinámicos – coeficiente de almacenamiento elástico o porosidad eficaz)

- Modelo geométrico: se diferenciará en geometría 2D y geometría 3D, que permite construir un modelo digital tridimensional del embalse subterráneo.
- Situación piezométrica del embalse subterráneo, que se entiende como la respuesta hidrodinámica al régimen influenciado impuesto o al régimen natural o escasamente influenciado.

La metodología general de trabajo se inicia con la definición de unos supuestos (hipótesis de partida) y el posterior procedimiento de cálculo, mediante la utilización de modelos analíticos o numéricos de parámetros distribuidos, en función de los datos de partida, la complejidad geológica y la situación piezométrica.

El primer procedimiento de cálculo consiste en la determinación de la curva característica del embalse subterráneo o curva del embalse, que relaciona la cota topográfica con la capacidad de almacenamiento del embalse subterráneo, constituye un concepto estático (invariante en el tiempo) de las reservas hidrogeológicas.

La curva característica del embalse subterráneo se construye en función de los datos geológicos e hidrodinámicos disponibles y responde a una función matemática que calcula el volumen de almacenamiento existente en función de la cota topográfica.

$$V = f(z) = \sum_{n=0}^N A_n \cdot z^n$$

Donde:

V, volumen de embalse subterráneo

A_n , coeficientes de ajuste (dependen de la geometría y del parámetro de almacenamiento –S–)

Z, cota topográfica

N, grado del polinomio de ajuste

En función del tipo de modelo geométrico y de la configuración del parámetro de almacenamiento, que puede ser invariante (constante para todo el volumen de roca que constituye el acuífero), bidimensional o tridimensional se pueden calcular diferentes tipos de curvas características:

Cuadro 6.1. Tipos de curvas características (IGME 2008)

TIPOS de CURVAS CARÁCTERÍSTICAS		PARÁMETROS DE ALMACENAMIENTO		
		Modelo Invariante	Modelo Bidimensional	Modelo Tridimensional
MODELO GEOMÉTRICO	2D	2D-Invariante	2D-Bidimensional	-
	3D-estructura geológica simple	3DSimple-Invariante	3DSimple-Bidimensional	3DSimple-Tridimensional
	3D-estructura geológica compleja	3DCompleja-Invariante	3DCompleja-Bidimensional	3DCompleja-Tridimensional

- Tipo 2D-Invariante: su geometría está caracterizada por la superficie de techo ($z_{i,j}$), un espesor promedio del embalse subterráneo (B) y un valor invariante de la porosidad eficaz (S) para todo el acuífero.
- Tipo 2D-Bidimensional: su geometría está caracterizada por la superficie de techo ($z_{i,j}$), un espesor promedio del embalse subterráneo (B) y un mapa de isovalores de porosidad eficaz ($S_{i,j}$).

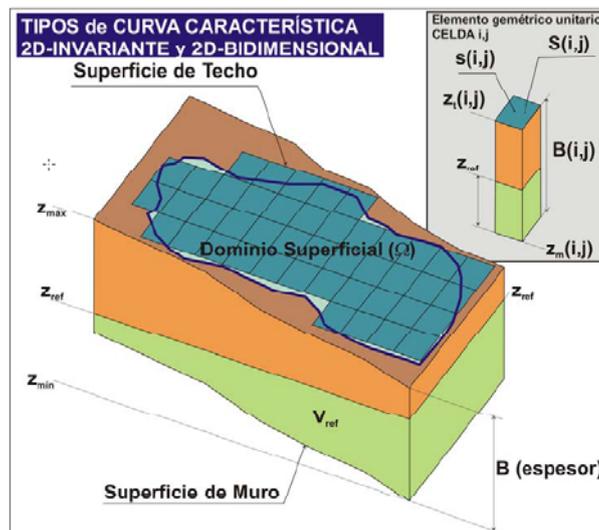


Figura 6.9. Modelos geométricos correspondientes a las curvas características 2D-Invariante y 2D-Bidimensional

- Tipo 3DSimple-Invariante: su geometría está caracterizada por la superficie de techo ($z_{t,i,j}$), una superficie de muro ($z_{m,i,j}$), y un valor invariante de la porosidad eficaz (S) para todo el acuífero.
- Tipo 3DSimple-Bidimensional: su geometría está caracterizada por la superficie de techo ($z_{t,i,j}$), una superficie de muro ($z_{m,i,j}$), y un mapa de isovalores de porosidad eficaz ($S_{i,j}$).

- Los recursos renovables naturales (RR_N): Constituye el volumen de agua promedio anual que recarga un embalse subterráneo en régimen natural y que descarga a través de masas de aguas superficiales o de forma subterránea a otras masas de aguas subterráneas o al mar.
- Los recursos renovables influenciados (RR_F): Se define como el volumen de agua promedio anual que recibe como recarga en régimen influenciado, mientras que las descargas se produce mediante extracciones a través de infraestructuras de captaciones de aguas subterráneas.
- Los reservas renovables (RsR): Corresponde al volumen de agua que puede almacenarse en el embalse subterráneo como consecuencia del régimen de funcionamiento hidrogeológico en régimen natural.
- Las reservas no renovables (RsN): Constituye el volumen de agua almacenado en el embalse subterráneo, a través del tiempo geológico, y que NO son objeto de renovación anual como consecuencia del régimen de funcionamiento hidrogeológico natural. Estas se pueden desagregar en:
 - ✓ Reservas de Agotamiento (RsA): Se definen como el volumen de agua almacenada en el embalse subterránea que puede drenarse de forma natural, en el supuesto que la recarga fuese nula, partiendo de la superficie piezométrica mínima correspondiente al régimen natural.
 - ✓ Reservas Estáticas (RsE): Corresponde al volumen de agua que no puede drenarse de forma natural, atendiendo al régimen de funcionamiento hidrogeológico del sistema.

Para cada uno de los conceptos definidos se requiere previamente el cálculo del balance hidrogeológico, para lo cual se calculan los diferentes componentes por separado (balance desagregado) o mediante un modelo matemático (balance mediante parámetros agregados o bien distribuidos).

Se definen varios conceptos de reservas relacionados con la gestión.

- Reservas Sostenibles (RsS): Volumen almacenado por encima de la superficie piezométrica mínima en régimen natural.
- Reservas Disponibles (RsD): Volumen almacenado en un instante determinado (t) por encima de la cota de rebose.
- Reservas Estratégicas (RsT): Volumen cuya explotación se lleva a cabo bajo situaciones excepcionales (sequía), con el objeto de asegurar la satisfacción de determinadas demandas en condiciones adecuadas de garantía.

- Reservas Explotables (RsP): Volumen de agua subterránea que puede ser aprovechados de forma continuada en el tiempo, considerando criterios de producción, garantía y rentabilidad.

En el momento de analizar este estudio no se ha desarrollado todavía un procedimiento de cálculo que implemente la metodología desarrollada.

6.7. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL CÁLCULO DE RESERVAS

1) La metodología más recomendable para el análisis del comportamiento de un acuífero es la modelación del flujo subterráneo en régimen transitorio. El modelo matemático calibrado permite analizar la evolución de las reservas en las diferentes situaciones tipo:

- Periodo climático largo con diferentes niveles de bombeo.
- Periodos secos con incrementos temporales de los bombeos.
- Recuperación de situaciones de sequía o periodos de sobreexplotación.

En este sentido, los modelos de flujo son los más adecuados para probar las distintas hipótesis de comportamiento y el análisis de la evolución piezométrica en las situaciones de interés permite analizar la movilización de las reservas que se realiza en cada caso.

2) En el caso de que no se pueda utilizar un modelo matemático, la evaluación de las reservas por un método de mallado (IGME 2003) presenta la ventaja que puede incluir un fuerte conocimiento geométrico, con la posibilidad de calibrar el almacenamiento específico del acuífero en periodos seleccionados. Los avances metodológicos realizados por el IGME (2008) aún no han concluido con un código que implemente la metodología de cálculo desarrollada, aunque presenta una mayor complejidad que el código RESERVAS1 (IGME 2003). Deberá valorarse los aparentemente crecientes recursos requeridos para evaluación de las reservas por métodos de mallado en comparación con la construcción de un modelo de flujo, que aporta una información más completa.

3) Cuando no hay posibilidades de realizar ni un modelo matemático de flujo o el conocimiento geométrico o los recursos disponibles no permiten aplicar un método de mallado, se aconseja la utilización de la técnica de integración numérica (Solís et al 1983). El método requiere la utilización de los mapas de isohipsas de muro y techo del acuífero, y la superficie piezométrica del acuífero en el momento en que se va a realizar la evaluación de reservas. Esta información se considera más asequible y más fácil de aproximar, incluso en situaciones de un conocimiento geométrico no muy preciso.

4) La Diputación de Alicante (2007) realiza un intento de análisis de las reservas extendible a toda la provincia en los casos de acuíferos con pocos datos y con un conocimiento geométrico incompleto, desarrollando una aproximación a las reservas movilizables en función del comportamiento de un piezómetro seleccionado. Es un objetivo de difícil aplicación y aún más difícil generalización. Sería de utilidad realizar aproximaciones sucesivas a los acuíferos de mayor interés en la mejora del conocimiento geométrico e hidrodinámico que permita ir perfeccionando la evaluación de los distintos tipos de reservas.

5) En base al análisis realizado, en el presente estudio se ha optado por aplicar el método del método basado en la utilización del modelo matemático de flujo, y escribir un código de ordenador (FORTRAN en este caso) de análisis de las reservas y obtención de las curvas de explotación.

6.8. RMODF, UN PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE LAS RESERVAS DE UN ACUÍFERO MEDIANTE EL MÉTODO DE MALLADO

6.8.1. Alcance

El programa es una implementación del cálculo de reservas por el método de mallado, con la posibilidad de analizar la evolución de las reservas de un acuífero del que se dispone de sucesivos estado de la carga hidráulica en cada una de sus capas. La organización del código y los ficheros de datos permite analizar los resultados de un modelo de flujo en régimen transitorio en que el espacio se discretiza en filas y columnas de celdas rectangulares.

El análisis de las reservas se basa en la denominada curva de explotación, que recibe este nombre por analogía con la curva característica cota-volumen de un embalse superficial. Una particularidad de los acuíferos es que su curva de explotación no es única, debido a la distinta morfología de la superficie piezométrica en el tiempo. El programa caracteriza y representa una curva de explotación para cada periodo de tiempo en que se dispone de una superficie piezométrica y una curva de explotación sintética, que caracteriza la envolvente a todas las curvas de explotación obtenidas para cada una de las superficies piezométricas disponibles. La curva de explotación sintética es una curva empírica, que serán tanto más precisa en tanto se disponga de una amplia variedad de superficies piezométricas.

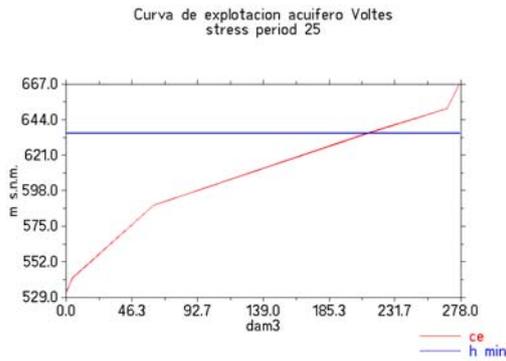


Figura 6.11. Curva de explotación de un acuífero en un situación piezométrica determinada. En este caso representa el mes 283 desde el inicio de una simulación en régimen transitorio

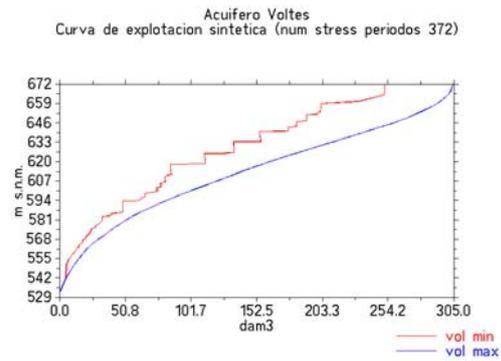


Figura 6.12. Curva de explotación sintética. Para cada cota de la curva de explotación hay un rango posible de reservas, obtenido del análisis de cada una de las curvas de explotación del periodo de simulación.

En el presente estudio el programa se ha aplicado en el análisis de las reservas de los acuíferos Volcadores y Barrancones, simulados con el modelo MODFLOW, del USGS.

Convenciones tipográficas en los ficheros de texto utilizados

Para diferenciar mejor los contenidos del fichero de datos, del fichero de parámetros y de los ficheros de resultados, las referencias a sus contenidos se escribirán en letra Courier New (ejemplo del tipo de letra Courier New que se utiliza en las referencias al contenido del fichero de datos). Todos los ficheros manejados son de tipo texto sin formato. Las líneas que empiezan por el símbolo # son cabeceras, o líneas explicativas de los datos que la siguen. Cuando en una línea se encuentran unos puntos sucesivos hace referencia a una repetición del contenido de una o varias líneas precedentes de datos, aunque con diferentes valores numéricos, y que no son relevantes a la hora de explicar los contenidos del fichero que se está analizando. Si una línea empieza por el símbolo <- indica que es continuación de la línea precedente, que en el presente documento se presenta dividida por causa de su tamaño, pero que en el fichero de texto original es una línea única. Los separadores entre los datos de las filas son espacios en blanco y como separador decimal se utiliza el . sin que se utilice símbolo separador de miles. Para los números reales puede utilizarse la notación exponencial; así 3.259e-002 es igual a 0.0325.

En el CD que acompaña a la presente Memoria se incluyen los ficheros de datos y resultados de los acuíferos estudiados.

6.8.2. Fichero de datos

Los contenidos son los siguientes:

La primera línea es una breve descripción del contenido del fichero de datos. La segunda línea es una explicación del contenido de la tercera: número de capas, número de filas, número de columnas y número de periodos de simulación del modelo.

```
#reservas acuífero voltes
#nlayers nrows ncols stress_periods
1 25 25 372
```

A continuación se incluyen la longitud de la dimensión x de las celdas del modelo, y después lo mismo para la dimensión y.

```
#deltax
250.0
250.0
....
#deltay
250.0
250.0
....
```

Definición de las celdas activas de cada capa. Son bloques de 0 y 1 de tamaño $nrows \times ncols \times nlayers$. El 0 indica que la celda no es activa y el 1 que sí lo es. Por motivos de espacio, en el resto del capítulo se hará referencia a los contenidos de las celdas marcadas en **negrita**.

```
#layers boundary
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0
....
```

Cota del techo de cada capa.

```
#layers top
0.0 709.5 800.0 722.8 697.6 764.4 0.0 0.0 0.0
0.0 790.0 735.1 670.0 649.4 661.7 0.0 0.0 0.0
850.0 743.2 705.6 669.9 603.2 685.8 0.0 0.0 0.0
...
```

Cota del muro de la capa

```
#layers botton
0.0 708.0 793.9 722.7 688.4 654.2 0.0 0.0 0.0
0.0 789.2 735.1 668.4 621.6 608.2 0.0 0.0 0.0
788.8 724.2 673.3 594.4 572.9 568.5 0.0 0.0 0.0
...
```

Porosidad eficaz

```
#layers secondary storage
0 2.97e-005 0.0001227 1.147e-006 0.0001834 0.002205 0 0 0
0 1.572e-005 2.488e-007 3.259e-005 0.0005556 0.00107 0 0 0
0.001224 0.0003798 0.0006462 0.001511 0.0006049 0.002345 0 0 0
...
```

Carga hidráulica en cada capa y periodo de simulación

```
#layers stress_period h
0.0 640.3 640.2 640.1 640.0 640.0 0.0 0.0 0.0
0.0 640.4 640.2 640.0 640.0 640.0 0.0 0.0 0.0
641.1 640.7 640.2 639.8 639.9 639.9 0.0 0.0 0.0
....
```

6.8.3. Fichero de parámetros

Las opciones del programa se introducen a través de un fichero de texto de nombre rmodf.par que debe residir en el directorio donde se sitúa el fichero ejecutable. Su contenido es el siguiente:

Nombre del acuífero, en este caso Voltes

```
#aquifer_name
Voltes
```

Directorio donde se localiza el fichero de datos

```
#dir
C:\IGME\ReservasBarrancones\Voltes
```

Nombre del fichero de datos

```
#fdat  
voltesc.stor
```

A continuación se incorpora una información relacionada con el número de cotas de referencia para la curva de explotación del acuífero en cada periodo de tiempo en que existe dato de la superficie piezométrica. De este modo se consigue obtener suficientes puntos para obtener una curva de explotación bien formada.

Primero se introduce el número de niveles que se diferencian entre la cota piezométrica máxima y mínima en cada periodo de simulación, en este caso 1.

```
#num_levels_gt_hmin  
1
```

Se indica después el número de niveles que se van a diferenciar entre la cota piezométrica mínima en cada periodo de simulación y el valor mínimo en todos los periodos simulados, en este caso se pone un 2 como ejemplo.

```
#num_levels_lt_hmin_and_gt_hmin_stres_period  
2
```

Para finalizar, debe indicarse el número de niveles de cada curva de explotación entre la cota piezométrica mínima en todos los periodos simulados y la valor mínimo de la cota del muro del acuífero, en este caso 5.

```
#num_levels_lt_hmin_stres_period  
5
```

Debe incorporarse también la información de los niveles con los que se va a construir la curva de explotación sintética, entre la cota piezométrica máxima en todos los periodos con dato de superficie piezométrica y la cota mínima del muro del acuífero, 10 en el ejemplo.

```
#num_levels_ce_sintetica  
10
```

La discretización de la curva de explotación sintética puede realizarse de dos maneras, que se seleccionan por un número entero, 1 o 2. En el primer caso, 1, se diferencian con un intervalo regular constante determinado por el número de niveles elegido. Si selecciona la opción 2, los niveles de la curva de explotación sintética se seleccionan en dos tramos: en el tramo comprendido entre el muro del acuífero y la cota piezométrica mínima de la simulación se

colocan los niveles indicados bajo la línea #num_levels_ce_sintetica; desde este nivel piezométrico hasta la cota piezométrica máxima de simulación, se seleccionan las cotas piezométricas máximas de cada curva de explotación.

```
#calculo_ce_sintetica
```

```
2
```

Rango mínimo entre dos curvas de referencia de la curva de explotación. Esta opción previene de una selección de un número de niveles tal que el espacio entre dos niveles sea demasiado pequeño.

```
#min_range_2_levels
```

```
1
```

Para el caso de que la unidad de longitud sea el metro, la siguiente opción permite que las unidades de volumen que aparecen en los gráficos xy generados tenga un menor número de cifras enteras. Por ejemplo, con la opción 2 un volumen del reservas de 1.000.000.000 m³, se presenta en el gráfico como 1.000 hm³.

```
#units_vol_xy (1 m3, 2 dm3, 3 hm3)
```

```
2
```

Por último se indican las acciones a realizar por el programa. Está formado un listado formado por un mínimo de 1 número y un máximo de 5 números enteros colados en líneas sucesivas que informan al programa de las acciones a realizar en una ejecución. Los números deben situarse en orden creciente. El significado de los códigos numéricos el siguiente:

1. Graba un fichero de nombre r_rangos_cotas.txt con los rangos de cota presentes en el fichero de datos entre la altura piezométrica máxima de cada ejecución y la cota mínima del muro del acuífero. Su inspección permite seleccionar el número más adecuado de niveles para las curvas de explotación.
2. Graba un fichero de nombre r_ce_todas.txt con los datos de la curva de explotación para cada periodo en que hay una estimación de la superficie piezométrica.
3. Graba un fichero de formato png con un gráfico de cada curva de explotación por cada periodo con datos de superficie piezométrica. Los ficheros tienen de nombre ce_*.png, donde el símbolo * es un comodín que representa el número de orden de la superficie piezométrica en el fichero de datos. Para un fichero de datos con, por ejemplo 15 superficies piezométricas, se generan 15 ficheros, el primero de los cuales se llama ce_1.png y el último ce_15.png.
4. Graba un fichero de nombre r_vol_hmax.txt con un la relación entre la altura piezométrica máxima de cada superficie piezométrica máxima de cada periodo y el

volumen de reservas totales. Además se generan dos ficheros de gráficos xy: r_hmax.png y r_t.png.

5: Graba en un fichero llamado r_ce_sintesis.txt un cuadro con los datos de la curva de explotación sintética y un fichero ce_sintetica.png con el gráfico xy de la curva de explotación sintética.

6: Graba en el fichero r_gravitativas.txt la serie temporal de evolución de las reservas gravitativas (las que se sitúan entre la cota máxima y la cota mínima de la superficie piezométrica).

En el ejemplo se dan instrucciones para ejecutar las opciones 3 y 5.

```
#actions
```

```
3
```

```
5
```

El fichero rmodf.par termina en un 0 (en cuyo caso pueden escribirse anotaciones a continuación que no interfieren la lectura de los parámetros) o en el fin de fichero.

6.8.4. Ficheros de resultados

Fichero r_rangos_cotas.txt

Contiene los rangos de cota presentes en el fichero de datos entre la altura piezométrica máxima de cada ejecución y la cota mínima del muro del acuífero, diferenciando los niveles de referencia considerados en el fichero de parámetros. En las salidas del programa se sigue la terminología de *stress period* para hacer referencia a un periodo en que se dispone de información de la superficie piezométrica, y que en la mayor parte de los casos procederá de las salidas de una simulación de modflow. Un contenido de ejemplo se reproduce a continuación

```
#rangos de alturas para dimensionamiento de las curvas de explotacion
#altura piezometrica: hp
#hp max todos los stress periods - muro del acuifero:      142.3
#hp max - hp min en cada stress period
#media:          9.2
#max   :         49.1
#min   :         3.2
#hp maxima en cada stress period - hp minima de todos los stress periods
#media:          79.6
#max   :         130.3
#min   :         9.0
#hp minima en cada stress period - hp minima de todos los stress period
```

```

#media:      70.5
#max  :      98.4
#min  :       0.0
#hp minima en cada stress period - cota minima del muro
#media:      82.5
#max  :      110.4
#min  :       12.0

```

Fichero r_ce_todas.txt

Contiene los resultados de la curva de explotación del acuífero calculados en cada *stress period*:

```

#Volumen maximo de reservas:      304352.9
#Stress period volumen maximo de reservas:      1
#Curvas de explotacion para cada stress period
#sp      1
#num niveles 11
#cota h      vol total      vol entre cotas
672.0 304352.9
655.2 283777.5      20575.4
638.4 228037.8      55739.7
590.1 64923.5      163114.3
541.7 4682.3 60241.2
539.7 3691.8 990.5
537.7 2701.3 990.5
535.7 1710.7 990.5
533.7 720.2 990.5
531.7 206.3 513.9
529.7 0.0 206.3
...
#sp      237
#num niveles 11
#cota h      vol total      vol entre cotas
595.4 62437.8
591.6 62437.8      0.0
587.7 60063.9      2373.9
564.7 22673.5      37390.4
541.7 4682.3 17991.2
539.7 3691.8 990.5
537.7 2701.3 990.5
535.7 1710.7 990.5
533.7 720.2 990.5
531.7 206.3 513.9
529.7 0.0 206.3

```

...

Ficheros ce_*.png

Es una representación gráfica de los contenidos del fichero r_ce_todas.txt. Se reproducen como ejemplo los gráficos correspondientes a los *stress periods* 1 y 237. En cada gráfico se presenta además de la curva de explotación en rojo (ce), una línea horizontal azul (h min) que representa la cota piezométrica mínima del acuífero.

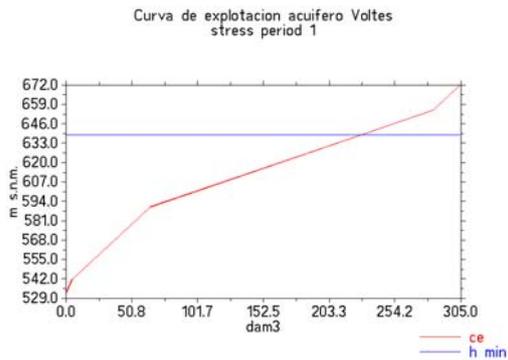


Figura 6.13. Gráfico del fichero r_ce_todas.txt (a).
Curva de explotación del acuífero considerando la superficie piezométrica al inicio de un periodo de simulación

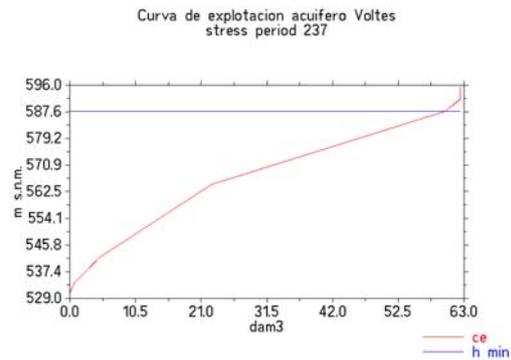


Figura 6.14. Gráfico del fichero r_ce_todas.txt (b).
Curva de explotación del acuífero transcurridos 237 meses del inicio de considerando la superficie piezométrica al inicio de un periodo de simulación

Fichero r_vol_hmax.txt

Contiene la relación entre la altura piezométrica máxima en cada *stress period* y el volumen total de reservas del acuífero.

```
#Relacion entre hmax y reservas totales para cada stress period
#sp    hmax    vol
1      672.0  304352.9
2      664.6  286025.8
3      658.2  271281.4
4      653.3  260042.1
5      649.5  250305.5
6      646.5  242200.0
...
```

Con esta información se generan dos gráficos: r_t.png y r_hmax.png, que relacionan el volumen de reservas con el tiempo y la altura piezométrica máxima de cada *stress period*.

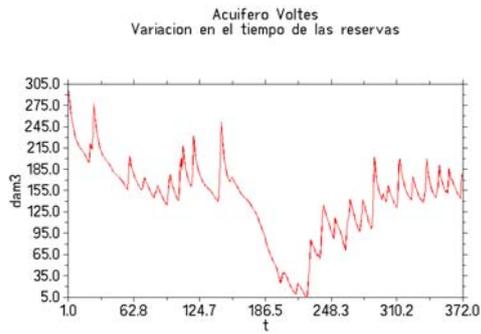


Figura 6.15. Gráfico del fichero r_t.png. Se presenta le evolución temporal de las reservas del acuífero.

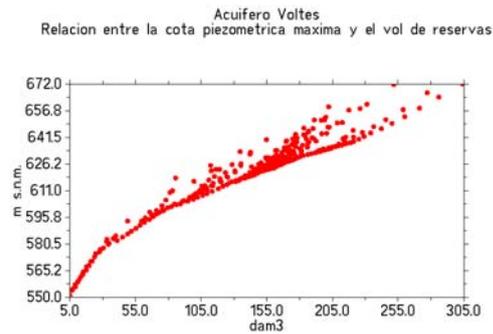


Figura 6.16. Gráfico del fichero r_hmax.png. Representa la relación existente entre la altura piezométrica máxima en cada *stress period* con el volumen total de reservas.

Fichero r_ce_sintesis.txt

En general, si en un acuífero se dispone de información sobre la evolución de la geometría de la superficie piezométrica en el tiempo, puede observarse que la altura piezométrica máxima (el nivel máximo de llenado) en cada *stress period* no guarda una relación unívoca con el volumen de reservas en el acuífero (ver gráfico en r_hmax.png). Una curva de explotación sintética es una curva de explotación en la que se definen el valor mínimo y máximo de reservas observado para cada nivel de referencia de su curva de explotación.

```
#Curva de explotacion para todos el periodo de simulacion
#cota vol min      vol max
672.0 304352.9    304352.9
665.2 287570.5    297520.9
658.4 271851.6    289656.1
651.7 245646.9    275041.9
644.9 232449.7    252861.8
638.1 206721.4    226940.2
...
529.7 0.0      0.0
```

Estos resultados se representan en el gráfico ce_sintetica.png. Según el método seleccionado para el cálculo de la curva de explotación sintética, y el número de niveles seleccionado, los gráficos representativos pueden diferir ligeramente. En general se alcanza una mayor precisión con la opción de cálculo 2:

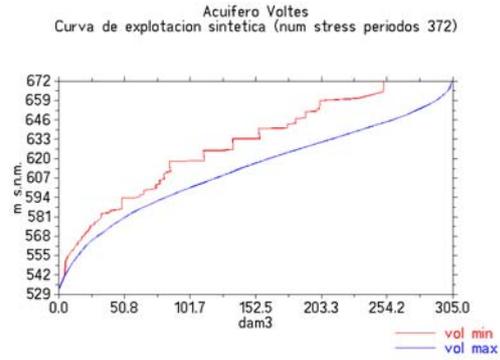
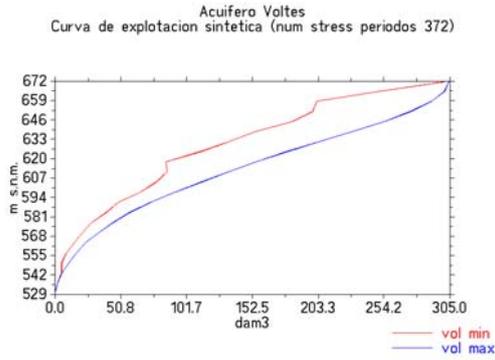


Figura 6.17. Curva de explotación sintética (1) Figura 6.18. Curva de explotación sintética (2)

Fichero r_gravitativas.txt

Contiene una serie temporal con la evolución de las reservas almacenadas entre la altura piezométrica máxima y mínima del acuífero. La distribución espacial de estas reservas determina el gradiente de cargas hidráulicas en el acuífero en régimen natural. Si para una situación ideal el acuífero no estuviese sometido a acciones externas y no intercambiase agua con el exterior, este volumen tiende a reajustarse y producir una superficie piezométrica plana bajo la acción de la gravedad, por lo que a estas reservas se las ha denominado gravitativas. También se genera un gráfico XY en que se representa la evolución temporal.

```
#Volumen entre h max y h min
#t      vol
1       34.9
2       38.9
3       40.7
4       41.8
5       42.6
... .
```

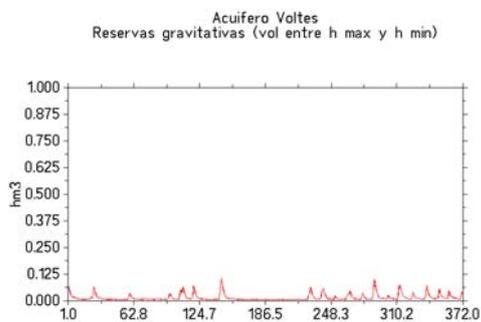


Figura 6.19. Gráfico del fichero r_gravitativas.txt.

7. DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS CONCEPTUALES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS Y REALIZACIÓN DE LOS MODELOS NUMÉRICOS DE FLUJO

7.1. ACUÍFERO BARRANCONES

7.1.1. Modelo conceptual

El acuífero Barrancones responde al esquema de un acuífero complejo, funcionando como libre cuando afloran los materiales permeables, o el nivel piezométrico desciende por debajo de la cota del techo del acuífero cuando está confinado (Negre o Safarich), o en carga bajo los recubrimientos margosos del Mioceno en la Depresión de Ibi. El sustrato impermeable está constituido por las margas del Eoceno inferior, por margas del Cretácico inferior y por las arcillas y yesos del Keuper. El impermeable de techo, en zonas centrales de la depresión de Ibi, está definido por las series margoarcillosas del Mioceno medio–superior, lateralmente éstas y las facies del Keuper pueden actuar como impermeable (Plano 7).

Los límites hidrogeológicos del acuífero Barrancones se definen por grandes fracturas que configuran límites cerrados, a excepción del límite meridional donde éste se hace coincidir con el hundimiento de la serie cretácica (Negre) y terciaria (Safarich) bajo una potente serie margosas del Oligoceno. Los límites norte y oeste quedan definidos por las alineaciones diapíricas de Font Roja–Cocentaina y Río Verde, respectivamente. Mientras que hacia el este y sureste un conjunto de fallas normales pone en contacto lateral las formaciones acuíferas con la serie margosa del Mioceno medio–superior.

La compleja estructura geológica que presenta la geometría del acuífero, las diferentes formaciones permeables que lo conforman, unida a los descensos piezométricos provocados por la explotación intensiva de los recursos subterráneos ha determinado la definición de bloques de funcionamiento hidrogeológico diferenciado. En el acuífero Barrancones se han definido los siguientes sectores (DPA-IGME, 2004 y 2006):

- Sector Molinar: Es el más extenso, constituye la práctica totalidad del acuífero. Pertenecen a este sector los afloramientos permeables de las sierras de Barrancones, dels Plans, Grossa y Ondoxes, y las depresiones intermontañosas de Ibi y La Sarga. Su geometría principal es la de un sinclinal de directriz bética con núcleo en las depresiones de Ibi–La Sarga. La formación permeable principal la componen la serie carbonatada del Mioceno inferior–Eoceno superior–medio. Sus límites coinciden a grandes rasgos con las fracturas que conforman los límites cerrados del acuífero, a excepción de la zona meridional de la fosa de Ibi, donde el límite se desplaza hacia la zona de afloramiento o subafloramiento de las facies

margosas del Cretácico inferior de la Sierra del Cuartel, que actúa como límite lateral con las formaciones permeables del sector Negre. Se trata de un contacto cerrado en la franja donde aflora el Cretácico, mientras que se considera abierto en dos zonas: en el borde suroccidental, bajo recubrimientos cuaternario de la fosa de Ibi, entre los parajes de Foyes Blanques y La Campaneta, y al norte, en una pequeña franja bajo los recubrimientos cuaternarios de La Sarga, entre los parajes Mas Riu Riau y Mas del Racó. Respecto a su contacto con el sector Ondoxes, en el extremo noroeste, un umbral piezométrico define el límite.

- Sector Ondoxes: Situado en el borde noreste del acuífero, en la Sierra de Ondoxes, este pequeño compartimento viene definido por el umbral piezométrico que lo limita con respecto al Molinar, probablemente coincidente con el eje de un pequeño anticlinal, y por las fallas de gran salto del Regadiuet y el Caserío de Penella que actúan como límites laterales. La formación permeable está constituida por la serie de calizas del Oligoceno–Eoceno superior–medio.
- Sector Safarich: Se trata de una pequeña zona limitada estratigráficamente al norte y sur, y por fallas al este y oeste. Sólo el límite oeste se considera abierto siendo posible la conexión hidráulica con el sector Molinar bajo los recubrimientos cuaternarios y miocenos de la fosa de Ibi. Su estructura es la de un bloque monoclinal de dirección bética y buzante hacia el sur, constituido por facies carbonatadas del Eoceno medio–superior y el Oligoceno inferior.
- Sector Negre: La geometría corresponde al eje del anticlinal fallado de la Sierra del Cuartel, en el que afloran las calizas y dolomías del Cretácico superior. Su límite norte coincide con el del sector Molinar, siendo cerrado en la zona central por el afloramiento y subafloramiento del impermeable de base, y abierto en los bordes occidental y nororiental, por contacto lateral con facies permeables del Molinar. El límite meridional se define por inaccesibilidad a los recursos subterráneos, que se supone en el contacto estratigráfico entre el impermeable de techo Senoniense–Eoceno inferior y las facies calizas del Eoceno medio–superior que afloran en la Sierra del Cuartel.

Respecto al sector Sierra del Cuartel (DPA-IGME, 2004 y 2006) constituido por afloramientos permeables del Eoceno medio–superior y del Oligoceno, se considera un acuífero independiente a razón de su evolución piezométrica (2833–40055) que presenta un salto piezométrico importante respecto a Barrancones y una tendencia diferente.

En régimen natural, el acuífero se recarga por infiltración de lluvia útil sobre los afloramientos permeables cretácicos y terciarios que afloran en el sistema. Además se producen entradas subterráneas desde el acuífero Menechaor hacia los materiales carbonatados del acuífero Barrancones. Este acuífero presenta un umbral piezométrico en su zona central, con un flujo subterráneo divergente en dos direcciones: una hacia el oeste con

descarga en el manantial-galería de Santa María, y la otra se incorpora al flujo subterráneo del acuífero Barrancones.

En régimen natural, la descarga se producía a través de la fuente del Molinar (2932–50002), a cota 602 m s.n.m., con un caudal variable comprendido entre los 30 y 500 l/s. En la actualidad, el régimen del acuífero se encuentra influenciado por una significativa explotación por bombeo principalmente destinada al abastecimiento público.

Los pozos que captan tramos permeables del acuífero presentan profundidades que oscilan entre 135 y 454 m, y caudales de explotación variables entre 20 y 160 l/s.

7.1.1.1. Piezometría y funcionamiento hidrodinámico

La piezometría del acuífero Barrancones refleja el estado de equilibrio a largo plazo en el que se alterna dos ciclos descendentes con otros ascendentes y de estabilización de la cota de agua (Figura 7.1). El primer ciclo descendente coincide con periodo 1980–1985, donde la sequía supone un descenso brusco de las entradas por infiltración de lluvia que tiene como consecuencia un balance negativo del acuífero durante este periodo. La cota de agua se sitúa próxima a 570 m s.n.m. en el entorno del manantial, 40 m por debajo de la cota de surgencia. A este periodo le sigue otro definido por intensas y cuantiosas lluvias (1986–1989) que facilitan la recuperación del acuífero, volviendo a situarse la cota de agua por encima de la cota de surgencia en la zona del manantial. Este periodo de estabilidad del acuífero se ve truncado con el periodo seco de 1994–1995, que genera un nuevo déficit hídrico en el acuífero iniciándose un periodo de progresivo y continuo descenso piezométrico en todo el sistema, alcanzándose el mínimo a inicio de 2004, coincidente con otro ciclo seco. La cota piezométrica en el manantial se sitúa de nuevo por debajo de la de surgencia a 580 m s.n.m. Las lluvias que se producen sobre el sistema en 2005 favorecen su recuperación, comienza un periodo de ascenso piezométrico, sólo interrumpido en el año hidrológico seco de 2006–2007, que continúa hasta la actualidad. A fecha de febrero de 2010, las cuantiosas precipitaciones que se vienen produciendo durante el año hidrológico 2009–2010 han provocado un fuerte ascenso generalizado de la superficie piezométrica en todo el acuífero, con cotas en el entorno del manantial similares a las observadas durante el periodo 1986–1994. Este dato supone que el nivel piezométrico se encuentra en la actualidad por encima de la cota de surgencia del manantial 602 m s.n.m.

Por otro lado se observa como dentro del acuífero todos los puntos de control sitúan su cota piezométrica por encima de la zona de surgencia, a excepción del pozo de Penella (2932–60016) y Ondoxes (2932–50055) cuya puesta en funcionamiento supuso el descenso de su cota de agua por debajo de la del manantial partir de 1981. La proximidad del pozo 2932–60016 a la falla de Benilloba, que actúa como barrera hidráulica, motiva la generación de un conoide de bombeo que es responsable del salto piezométrico de más de 20 m observado,

siendo su evolución piezométrica similar a la del resto del acuífero. Respecto al pozo Ondoxes (2932–50055) su explotación junto con la del pozo Formiñá (2932–50054) provoca que la cota de agua en este sector sea ligeramente inferior a la observada en el manantial. A esta zona siguiendo los criterios piezométricos y la cartografía hidrogeológica se le ha definido como sector acuífero Ondoxes (IGME, 2006).

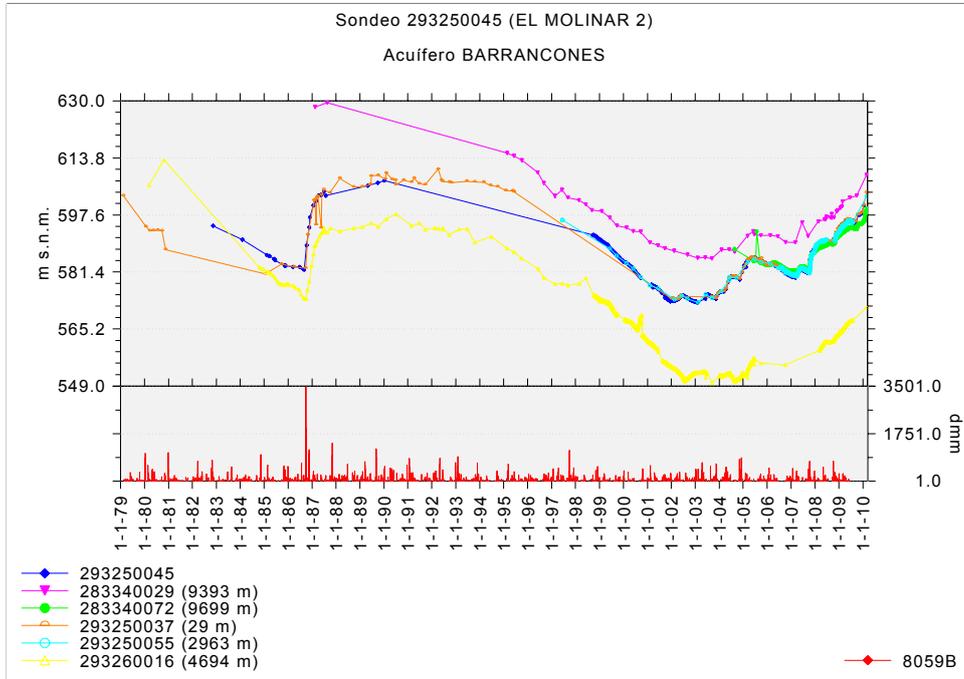


Figura 7.1. Evolución piezométrica del acuífero Barrancones. Sectores Molinar y Ondoxes (DPA-IGME, 2006).

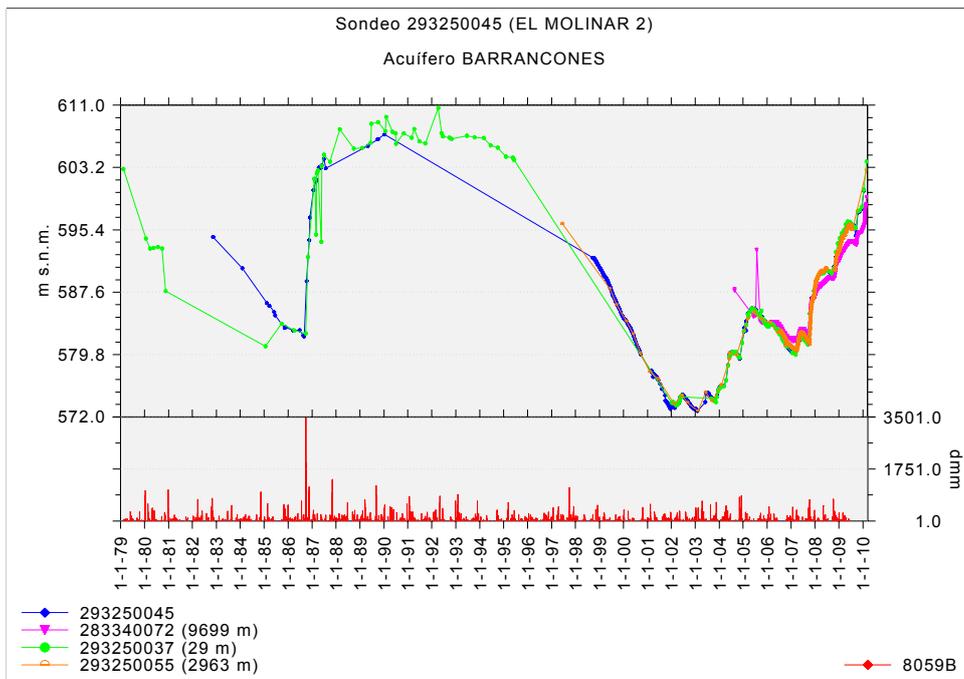


Figura 7.2. Evolución piezométrica del acuífero Barrancones, en el entorno del manantial.

En la Figura 7.3 se compara la evolución piezométrica del acuífero Barrancones con los sectores Negre (2833–40041 y 2833–40020) y Safarich (2833–40053 y 2833–40057).

La piezometría en el acuífero Barrancones y en el sector Negre presentan una evolución y una tendencia similares para el periodo 1971–1992, con una cota piezométrica 20 m por debajo de la existente en el entorno del manantial. Esta tendencia se rompe a partir de 1992 cuando el régimen de bombeo en el sector Negre genera un déficit hídrico que provoca el hundimiento de la cota de agua, primero suave entre 1992 y 1998, y después de manera más acusada entre este último y 2004. El descenso total supone un vaciado de reservas de 75 m entre 1992 y 2004, a un ritmo medio aproximado de 3,5 y 8 m/año, en sendos ciclos. Desde 2004 hasta la actualidad se aprecia como la cota piezométrica se estabiliza próxima a 515 m s.n.m., a pesar de la explotación de 2 hm³/año, lo que induce a pensar que debe de estar produciéndose una recarga profunda procedente del sector Molinar que equilibra las extracciones.

Respecto al sector Safarich la evolución piezométrica del acuífero muestra una tendencia descendente en dientes de sierra indicativo de un sistema sobreexplotado afectado por el régimen de bombeo desde su puesta en explotación. La sobreexplotación provoca que la cota piezométrica en este compartimento se sitúe por debajo de la del Molinar a partir de 2003 con una tendencia que tiende a estabilizarse en los últimos años.

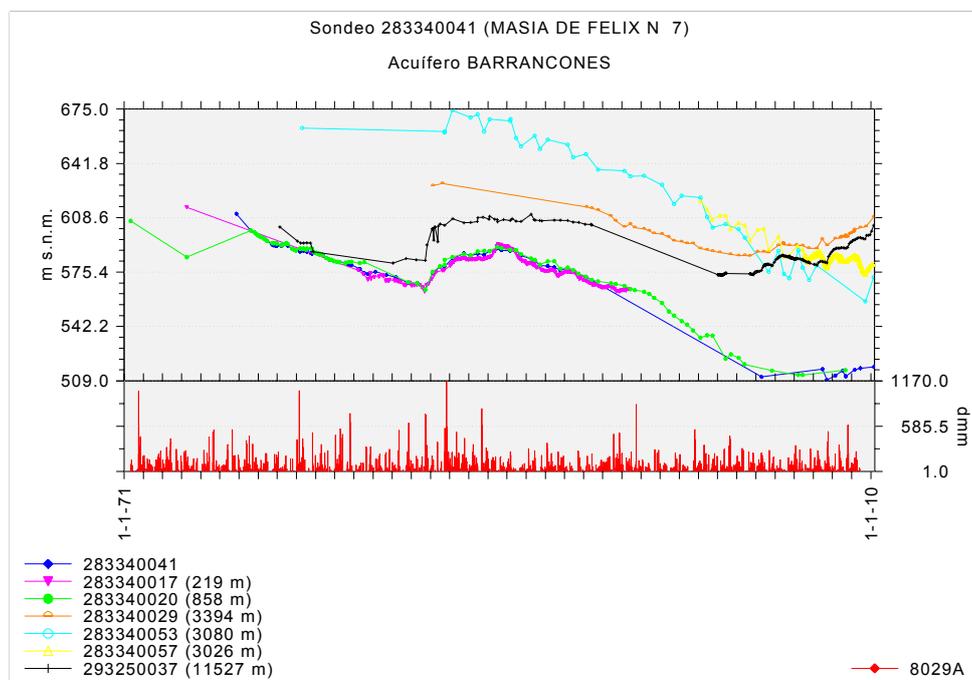


Figura 7.3. Evolución piezométrica del acuífero Barrancones. Sectores Molinar, Negre y Safarich (DPA-IGME, 2006).

En la Figura 7.4 se muestran las evoluciones piezométricas en los sectores Negro y Safarich. Se observa una evolución piezométrica similar entre ambos sectores, con un salto piezométrico de más de 60 m, que podría explicarse por la presencia de una zona de baja permeabilidad que conecta los tramos carbonatados del terciario y cretácico en el límite occidental del sector acuífero Safarich.

Por otro lado, el nivel piezométrico asociado al paquete de calizas detríticas y arcillosas del Oligoceno que aflora en la falda septentrional de la sierra del Madroñals, y que fue definido como sector acuífero Sierra del Cuartel (DPA-IGME, 2004 y 2006), presenta un salto y una evolución diferente respecto a la observada en el sector Safarich y el resto del acuífero Barrancones (Figura 7.5). Por ello se deduce que este tramo acuífero se comporta de manera independiente, estando regulado por los bombeos del pozo 2833-40056.

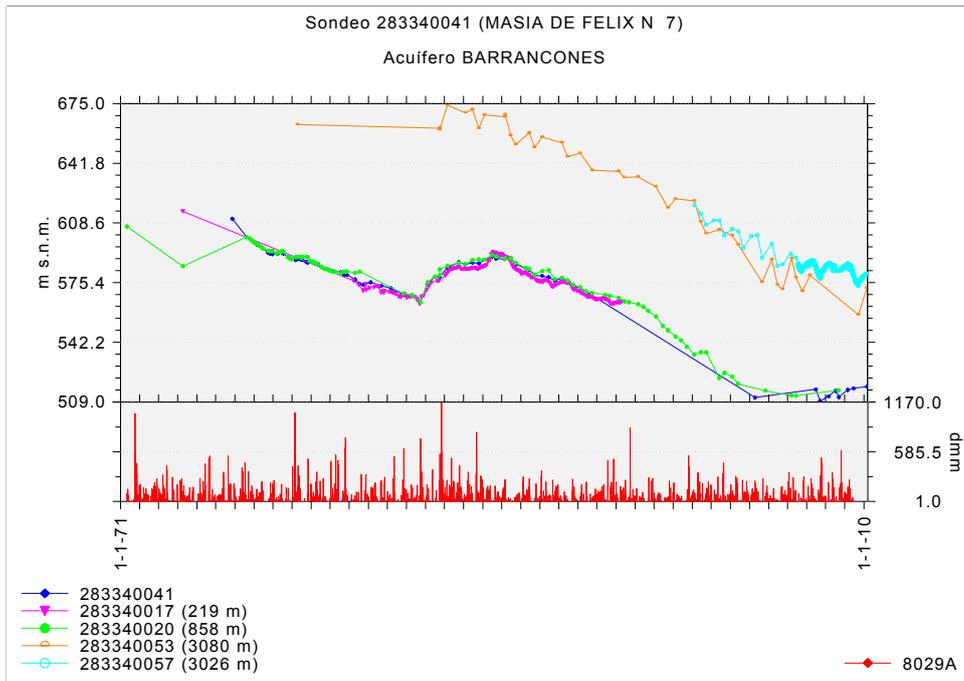


Figura 7.4. Evolución piezométrica comparativa de los sectores Negro y Safarich.

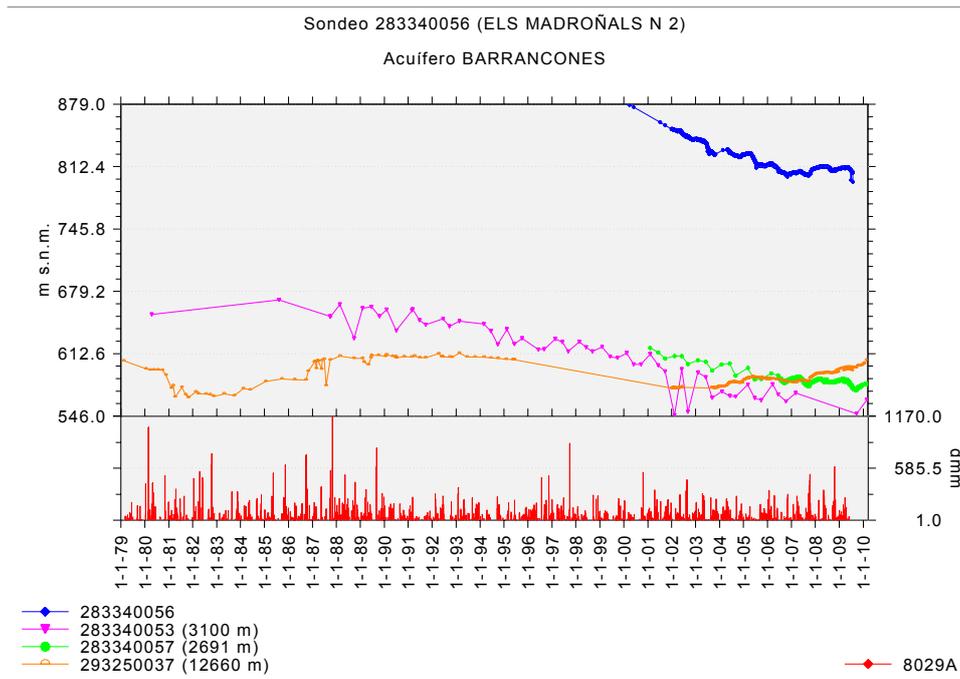


Figura 7.5. Evolución piezométrica comparativa entre los acuíferos Sierra del Cuartel y Barrancones

El modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero en régimen natural vendría definido por un flujo subterráneo de dirección NE–SO y un gradiente generalizado hacia la fuente del Molinar (602 m s.n.m.), que era la salida natural de los recursos del sistema.

La puesta en funcionamiento de las captaciones en el acuífero, en especial la batería que capta el sector Negre (Cretácico superior), modificó sensiblemente el comportamiento inicial del acuífero.

La primera referencia a un nivel tomado en el sector Negre se tiene en el pozo Campaneta nº 5 con una cota de agua a 606 m s.n.m., por encima de la cota de surgencia del manantial del Molinar. La sobreexplotación que sufre el sector desde sus comienzos provoca que tres años después, en 1974, este mismo sondeo sitúe su cota piezométrica por debajo del manantial, a 584,5 m s.n.m. La presencia de otros puntos de control en el acuífero, como el pozo Masía de Félix nº 6 (2833–40017), permite deducir un gradiente piezométrico hacia zona de bombeo desde el área de recarga de las formaciones carbonatadas del Cretácico superior, en la Sierra del Cuartel.

La sobreexplotación del sector Negre que puede superar los 1,5 hm³/año, genera un conoide de bombeo que actúa como efecto llamada de los recursos movilizables en el entorno de las captaciones. La conexión hidráulica entre las formaciones carbonatadas del Cretácico superior y las de origen terciaria, que recubren las margas miocenas en la fosa de Ibi, provoca

la inversión de la tendencia en régimen natural del flujo subterráneo principal del acuífero Barrancones, que pasa a drenar hacia los pozos del Negre en la zona suroccidental del sector Molinar.

Esta situación se puede observar con claridad en la interpretación de las isopiezas construidas para junio de 2004 (Plano 8), octubre de 2008 (Plano 9) y febrero de 2010 (Plano 10).

En la isopiezas de junio de 2004 se observa una situación de aguas bajas dentro del sistema. El manantial se encuentra seco con un nivel piezométrico 15 m por debajo de la cota de surgencia. La interpretación de la distribución de las líneas de flujo permite deducir un flujo subterráneo principal hacia el noreste en dirección hacia el manantial desde la fosa de Ibi. Las cotas de agua se sitúan entre 587,6 m s.n.m. en el punto 2833-40029 y 578 m s.n.m. en la Fuente del Molinar, con un gradiente piezométrico del 1 ‰. En el borde nororiental, en la Sierra de Ondoxes los bombeos del pozo Penella nº 2 (2932-60016) determinan un pequeño umbral piezométrico, que moviliza el flujo hacia el pozo (552,3 m s.n.m.). La proximidad de las fallas de borde de la Sierra de Ondoxes son la razón del salto piezométrico observado en este punto.

En el sector suroccidental, la sobreexplotación que afecta al sector Negre es la responsable de que este año se alcancen las cotas mínimas desde el inicio de las extracciones, 514 m s.n.m. El gradiente piezométrico generado por el cono de bombeo debe influir en el comportamiento del flujo subterráneo de la fosa de Ibi en este sector. En el sector Safarich se aprecia un gradiente piezométrico hacia el noroeste en dirección al pozo San Juan (2833-40053) y la zona de contacto con la fosa de Ibi, con cotas de agua comprendidas entre 601 y 576 m s.n.m, en los puntos de control 2833-40057 y 2833-40053, respectivamente. El elevado gradiente hidráulico del 2,5 % corresponde a la afección que generan los bombeos durante este periodo.

En la isopiezas de octubre de 2008, la incorporación de nuevos puntos de control permite establecer con mayor claridad el funcionamiento del sistema. De esta forma se puede apreciar dos flujos subterráneos principales separados por un umbral piezométrico que se localiza probablemente, de norte a sur, entre los parajes Altos de Campos y Foyes Blanques en la fosa de Ibi. Hacia el suroeste el flujo está condicionado por el conoide de depresión piezométrica generado por los bombeos de la batería del Negre, con una posible inversión local del flujo en el extremo más noroccidental, por los bombeos de los pozos Casa de la Doncella (2833-30024) y La Cañada (2833-30009). Las cotas de agua se encuentran entre 589 (sector la Doncella) y 510 m s.n.m. (2833-40019). Respecto al drenaje subterráneo del sector Safarich, su evolución piezométrica indica un vaciado progresivo del compartimento acuífero, con una cota de agua a 582 m s.n.m. y un gradiente hacia el noroeste en dirección al pozo San Juan (2833-40053). Por diferencia de cotas y por evolución piezométrica (Figura 7.4) es

probable que exista una conexión hidráulica, aunque difícil, entre este sector y los bombeos en el Negre.

Al este del umbral piezométrico el flujo subterráneo se produce, como en régimen natural, hacia la Fuente del Molinar (2932–50002), con un gradiente piezométrico inferior al 0,5 ‰, indicativo de un medio muy transmisivo, si se toma como referencia las cotas de los puntos de control 2833–40029 (596,9 m s.n.m.) y 2932–50037 (590,7 m s.n.m.). Hacia el borde noroeste, en la Sierra de Ondoches, los bombeos en los pozos Ondoxes (2932–50055), Formiñá (2932–50054) y Penella nº 2 (2932–60016), generan conos de depresión locales que modifica el flujo en este sector. Es significativo como la proximidad del pozo Penella nº 2 (2932–60016) a la falla normal de Benilloba, que hunde el bloque oriental, provoca que los descensos residuales en el pozo sean mayores a los observado en el resto del sector Molinar, que definen saltos piezométricos mínimos, definiendo la formación de un pequeño umbral piezométrico entre los pozos de Ondoxes y Formiñá, y Penella nº 2.

El 25 de octubre de 2010 se realizó una campaña flash de piezometría en el acuífero Barrancones aprovechando la nivelación de los puntos de control del sistema. Las cuantiosas lluvias de los meses de invierno del año hidrológico 2009–2010 han supuesto un ascenso generalizado de la cota piezométrica en todo el acuífero, alcanzándose un estado próximo al observado después de las lluvias de 1989. En el sector suroccidental del acuífero, el flujo subterráneo continúa estando influenciado por los bombeos del sector Negre, con una cota de agua que se recupera levemente, situándose a 517,5 m s.n.m. En el sector Safarich los bombeos siguen vaciando el compartimento, aunque tiende a estabilizarse el nivel piezométrico como consecuencia del aumento de la recarga que experimenta el sistema. La cota de agua varía entre 580,4 y 572,26 m s.n.m.

Respecto al sector que alimenta el manantial, se observa la misma distribución de líneas de flujo que las observadas en octubre de 2008, pero con cotas de aguas más altas, que se sitúa entre 609 y 603 m s.n.m. Al noreste, en la Sierra de Ondoxes se sigue definiendo un pequeño umbral provocado por los bombeos del pozo Benilloba (2932–60016), a pesar de la tendencia y la recuperación que experimenta, sigue manteniendo un salto piezométrico importante cercano a los 30 m. La cota de agua en este sector se localiza a 571,36 m s.n.m.

7.1.1.2. Hidrometría

Las medidas disponibles en la Base de Datos de Aguas de la Diputación de Alicante de caudales surgentes en el manantial El Molinar se muestran en la Figura 7.6.

La evolución hidrométrica del manantial está directamente relacionada con la evolución piezométrica observada en los pozos que regulan la surgencia. A finales de los setentas se pone en funcionamiento la batería de bombeo del Molinar, que como consecuencia de los bombeos seca el manantial. Desde este momento el manantial se encuentra regulado, manando sólo en periodos excepcionalmente húmedos, como el de 1989–1992.

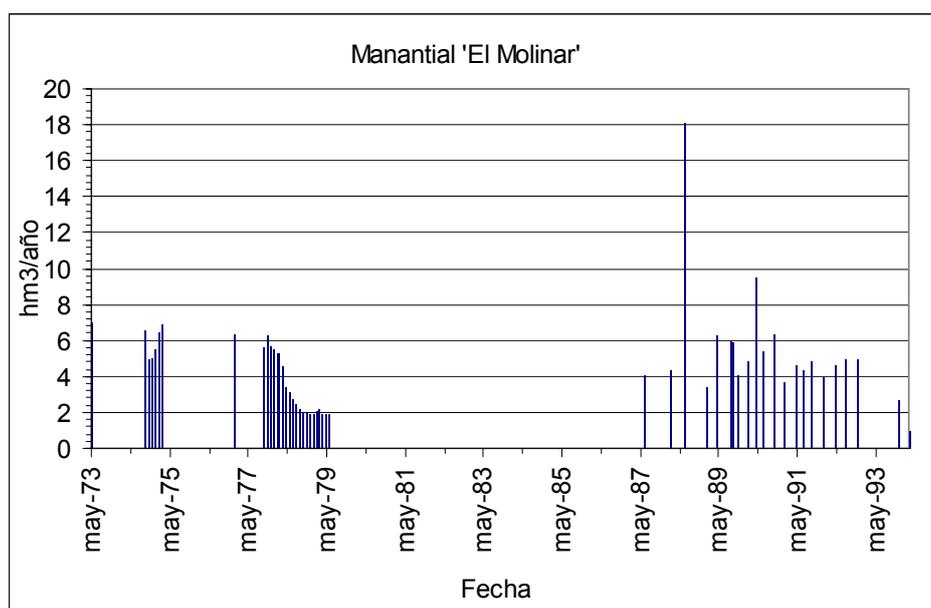


Figura 7.6. Descargas anuales en el manantial El Molinar.

7.1.1.3. Balance hídrico

El IGME (1989) obtiene una serie de descarga del manantial Molinar, generada por convolución para el periodo 1949–50 a 1988–89. Se obtiene un caudal medio de 485 l/s (15,3 hm³/año), que se consideran como recursos medios del sistema acuífero. Con estos recursos el porcentaje de infiltración de lluvia útil (504 mm) alcanzaría el 50 % sobre los afloramientos permeables del acuífero (61 km²).

El informe de la DPA (2001) crítica razonablemente el valor de recarga media calculada por el IGME, cuestionando una serie de deducciones previas y el método de cálculo utilizado para determinar las aportaciones históricas de la fuente del Molinar. La DPA para el periodo simulado (sep/1987–abril/1992), coincidente con un periodo muy húmedo, calcula unas entradas medias de 14,9 hm³/año; en una segunda simulación (oct/1973–sep/1999) la cifra de

recarga media anual la establecen en 7,89 hm³/año; y para una tercera simulación (oct/1950–sep/1999) las entradas medias se estiman en 7,87 hm³/año, cifra estas dos últimas próximas a la recarga de 8 hm³/año estimada por la DPA en la Segunda Edición del Mapa del Agua de la provincia de Alicante (2007).

La DPA-IGME (2006) evalúan la recarga mediante la aplicación informática Visual Balan, tomando como referencia la información hidrogeológica previa. Previa al ajuste que realiza Visual Balan respecto a los caudales calculados, se realiza una recopilación y validación de caudales o aforos, ya sean observados in situ (IGME, 1989), o bien, aquellos procedentes de la relación existente (DPA, 2001) entre la variación de altura en el recinto del manantial y el incremento de volumen almacenado en el acuífero entre dos intervalos de tiempo.

La metodología utilizada para la aplicación de Visual Balan parte de la definición de un periodo para el ajuste de caudales en régimen natural comprendido entre los años hidrológicos 1985/1986 y 1993/1994, periodo en el que nivel piezométrico en el entorno del manantial supera la cota de surgencia; datos de precipitación y temperatura de la estación termopluviométrica del INM nº 8059; y parámetros hidrogeológicos y valores utilizados en la calibración de caudales establecidos en informes previos IGME (1989) y DPA (2001).

Los resultados del modelo de balance una vez realizado el ajuste para el periodo en el que el acuífero estaba en régimen natural, permite observar tres ciclos hídricos sensiblemente diferentes donde los valores de recarga media pueden ser muy diferentes. Las entradas medias sobre una superficie permeable de afloramiento de 54,92 km² para el periodo 1985–1993 se cuantifican en 16,43 hm³/año, periodo en el cual el manantial se mantiene activo a pesar de los bombeos. Entre el periodo 1994–2002 el ciclo hídrico es relativamente seco, con entradas medias en el acuífero de 3,65 hm³/año para unas salidas medias por bombeo de 7,4 hm³/año, este déficit hídrico se refleja en la evolución negativa de la piezometría en el acuífero. Para los dos últimos años simulados 2003–2005, el modelo estima las entradas en 13,3 hm³/año, respecto a las salidas 6,9 hm³/año por bombeo, lo que supone un balance hídrico positivo del acuífero que favorece la recuperación de la superficie piezométrica como se viene observando desde el año 2004.

Del análisis de los resultados se obtiene para el periodo estudiado 1985/86 a 2004/05 una recarga media de 10,37 hm³/año.

El balance hídrico del acuífero para unas salidas medias máximas de 8 hm³/año indica que el acuífero se está recuperando.

Por último indicar, que aunque el modelo de Visual Balan permite estimar una recarga media de 10,37 hm³/año para el periodo de simulación, lo más característico es la distribución

anual de la recarga calculada y el balance hídrico acumulado, donde se aprecia durante el periodo de sequía de 1994 a 2002 un progresivo consumo de las reservas del acuífero, que a partir de 2004 ve interrumpida esta tendencia por el aumento de la tasa de recarga y el balance positivo del sistema. La evolución positiva de la piezometría entre 2004 y 2010 parece atenerse a las observaciones realizadas por la DPA-IGME, con un balance hídrico positivo que favorece el llenado del reservorio acuífero y la recuperación del nivel piezométrico hasta que se produzca de nuevo la surgencia del manantial Molinar, como ya se viene observando en marzo de 2010.

7.1.1.4. Calidad del agua

Para la caracterización de la calidad del agua subterránea del acuífero Barrancones, la DPA dispone de varios puntos de control repartidos por la geografía del sistema.

El sector Molinar tiene como punto de control de calidad el pozo de abastecimiento, a Alcoy, Molinar nº 2 (2932–50045), que se alterna en ocasiones con el Molinar nº 1 (2932–50037). Estos puntos de control se sitúan a escasos metros del manantial del Molinar (2932–50002) y producen su regulación. Junto a estos puntos de control se disponen de análisis químicos en otros pozos que captan el acuífero en este sector, se trata del pozo Serreta (2932–50055), el sondeo Calderete (2833–40072) y pozo La Doncellica (2833–30024).

Las determinaciones fisicoquímicas realizadas in situ en este sector, indica que se trata de un agua ligeramente termal entre 19 y 22,3 °C, que se relaciona con el gradiente térmico de la zona y la circulación de flujos profundos a través de niveles permeables del Mioceno o Oligoceno en dirección al manantial del Molinar, sólo en el sector donde se sitúa el pozo de la Serreta (2932–50055), el agua es más fría (< 17 °C) que se entiende por la proximidad entre el área de recarga y la de bombeo. El agua es ligeramente básica con un pH que oscila entre 7,5 y 8,12.

En el sector Ondoxes el punto de control corresponde al pozo Penella nº 2 (2932–60016). Las temperaturas en este sector oscilan entre 17,5 y 21,6 °C, que se explica por la entrada al sondeo de flujo subterráneos superficiales con tiempos de residencias cortos asociado a eventos lluviosos. El agua es ligeramente básica con un pH que oscila entre 7,4 y 8,2.

En el sector Negre, el punto de control perteneciente a la red de calidad de la DPA es el pozo Campaneta Nº 5 (2833–40019). El agua es ligeramente termal con una temperatura variable entre 16 y 23,8 °C. Los valores más altos pueden ser el resultado de una movilización de agua subterránea procedente de niveles más profundos. El nivel piezométrico en el área de captación se sitúa 250 m, alcanzando en su recorrido los 300 m de profundidad, lo que supone para un gradiente geotérmico natural de 3 °C/100 m, un incremento de entre 6 y 9 °C respecto

a la isoterma media en la zona de Alcoy, que se estima entre 12 y 13 °C (DPA, 2007), por lo que se deduce que las temperaturas observadas en el agua subterránea de este sector son acordes con el gradiente geotérmico natural. Lo mismo se aprecia en los sectores Molinar y Ondoches, aunque en estos casos la profundidad en los sondeos es mucho menor lo que reflejaría la existencia una circulación profunda de aguas subterráneas dentro del sistema. El agua es ligeramente básica con un pH que oscila entre 7,5 y 8,2

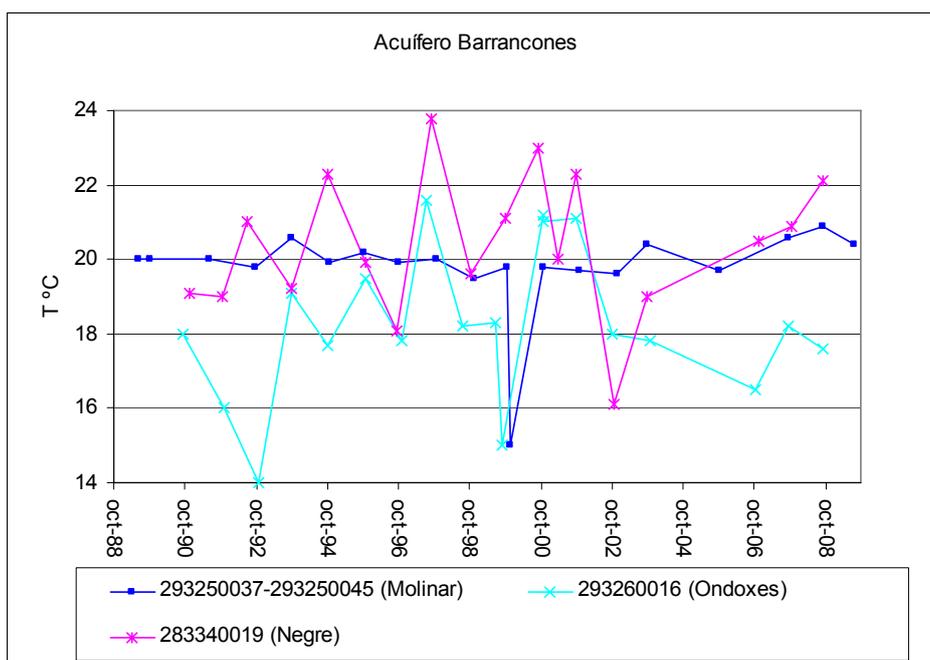


Figura 7.7. Evolución de la temperatura en los sectores Molinar, Negre y Ondoxes.

En el sector Safarich, los datos de temperatura disponible en el pozo 2833–80035 indica que se trata de un agua ligeramente termal (19 °C) y pH ligeramente básico (7,85).

Son aguas de mineralización ligera a notable con valores de conductividad que oscilan entre 400 y 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con pico que alcanzan los 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el sector Negre, que corresponde a los tramos permeables captados más profundos. La profundización del nivel piezométrico no se refleja en un efecto negativo significativo sobre la calidad del agua subterránea, tan sólo en el pozo Penella nº 2 (2932–60016) se aprecia un leve incremento de la salinidad del agua, interrumpido en el último muestreo coincidiendo con la recuperación de la superficie piezométrica del acuífero. En la Figura 7.8 se representa la evolución de la conductividad en los puntos de control del acuífero, la gráfica dibuja una tendencia muy estable con leves oscilaciones estacionales asociado al régimen de bombeo. En el caso del sector Negre, como ya se indicara con anterioridad, el aumento de la salinidad por la movilización de

aguas profundas, se correlaciona con un aumento en la concentración de cloruros que evoluciona de manera similar a la tendencia observada en la conductividad (Figura 7.9).

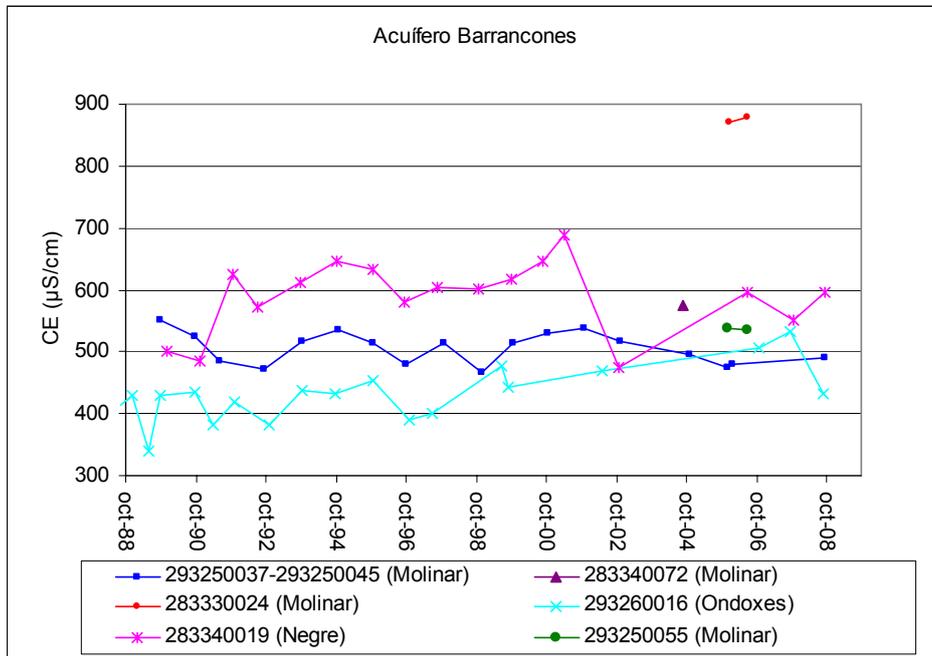


Figura 7.8. Evolución de la conductividad en el acuífero Barrancones.

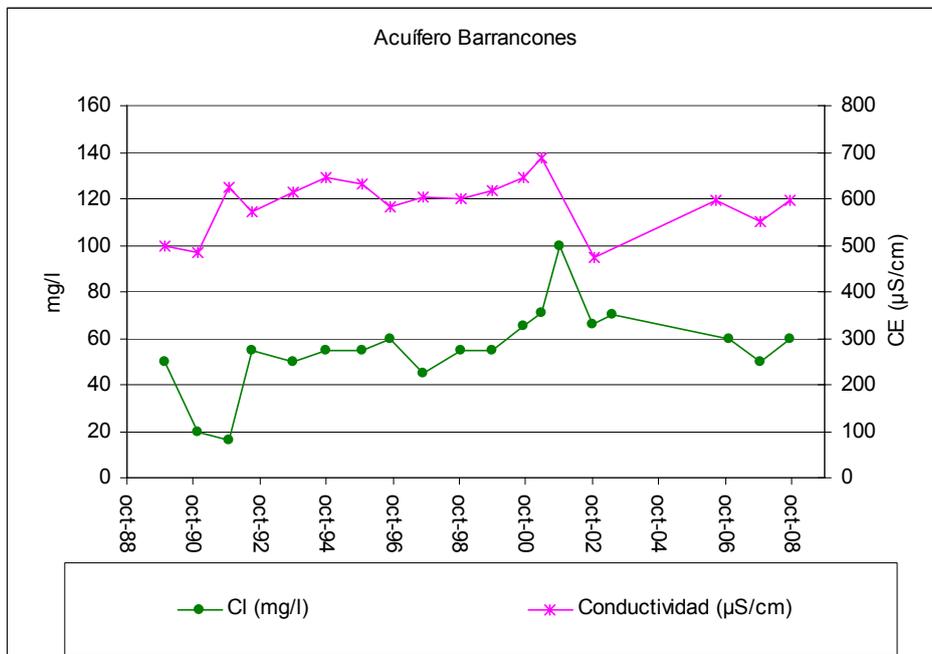


Figura 7.9. Evolución de la conductividad respecto a los iones cloruros.

Los aniones con mayor presencia son los bicarbonatos; en menor medida cloruros y sulfatos; los nitratos están prácticamente ausentes. El catión más representativo es el calcio, en menor proporción el magnesio; el sodio presenta por norma general concentraciones baja, aumentando su contenido en las aguas subterráneas del acuífero cretácico y en límite noroccidental del acuífero terciario por la presencia en profundidad de facies evaporíticas del Keuper del accidente del Río Verde; el potasio se presenta de forma testimonial.

Las facies del agua del acuífero terciario (Molinar, Safarich y Ondoxes) son de tipo bicarbonatada cálcica (Figura 7.10), a excepción del límite noroccidental donde es mixta de tipo bicarbonatada–clorurada mágnésico–sódica ocasionado por el lixiviado de los yesos de las facies Keuper del Trías que se observa en el límite occidental del acuífero, en la alineación diapírica del Río Verde–Monnegre.

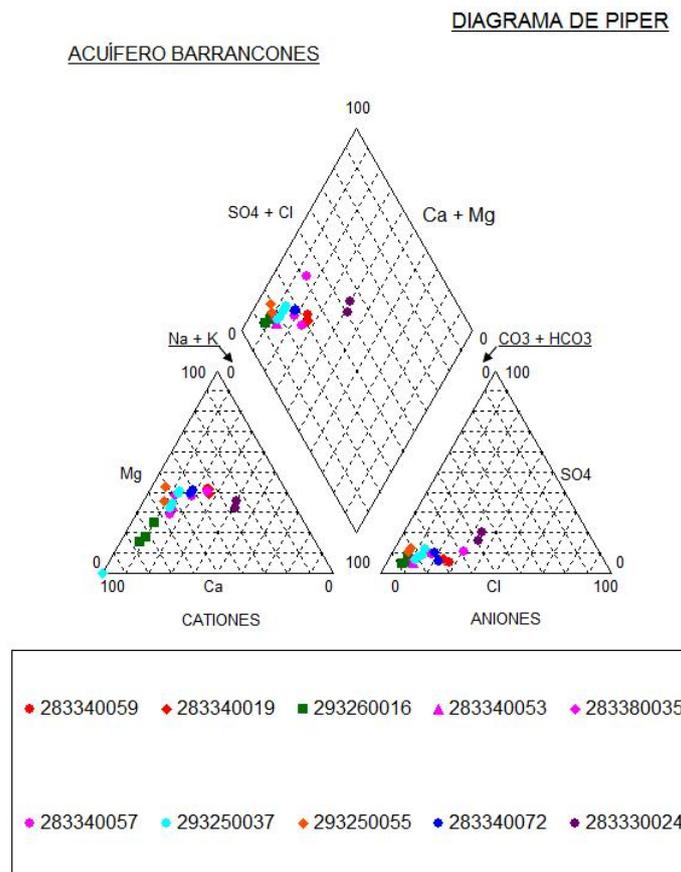


Figura 7.10. Diagrama Piper representativo de las aguas subterráneas del acuífero Barrancones

Respecto al sector Negre, la presencia de dolomías en las formaciones permeables del Cretácico superior supone que las facies sean de tipo bicarbonatada cálcica–magnésica o magnésica–cálcica.

Las relaciones entre las concentraciones de los iones mayoritarios (expresados en miliequivalentes/L -r-) se muestran en las Figura 7.11, Figura 7.12, Figura 7.13 y Figura 7.14.

La relación rMg/rCa es indicativa de la naturaleza carbonatada de la roca acuífera con valores entre 0,1 y 1,1 (Figura 7.11). El incremento de este valor indica el predominio en la zona saturada de facies dolomíticas, como es el caso en el sector Negre.

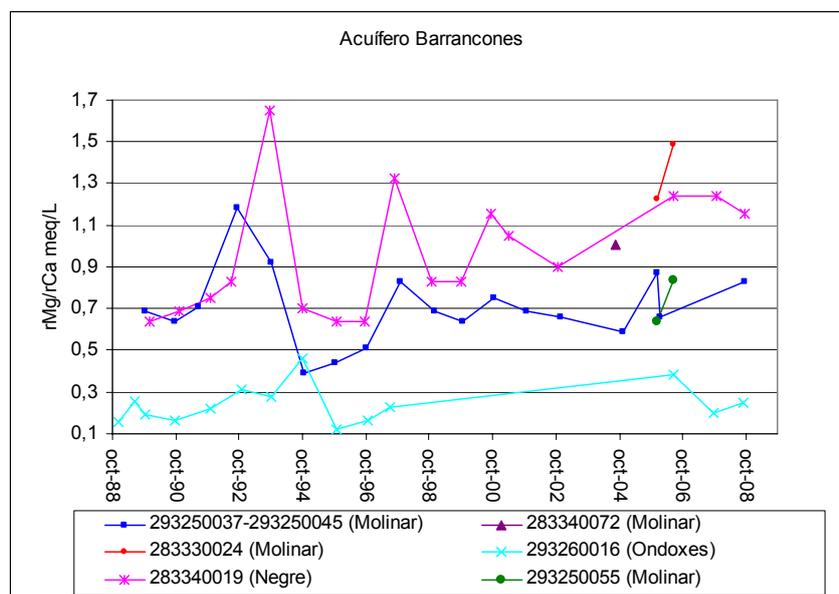


Figura 7.11. Evolución de la relación rMg/rCa en el acuífero Barrancones

Respecto a las relaciones aniónicas, la rSO_4/rCl se mantiene estable con valores comprendidos entre 0,4 y 1. En el Negre la movilización de aguas profundas del acuífero produce oscilaciones puntuales aunque con un predominio en el contenido de cloruros.

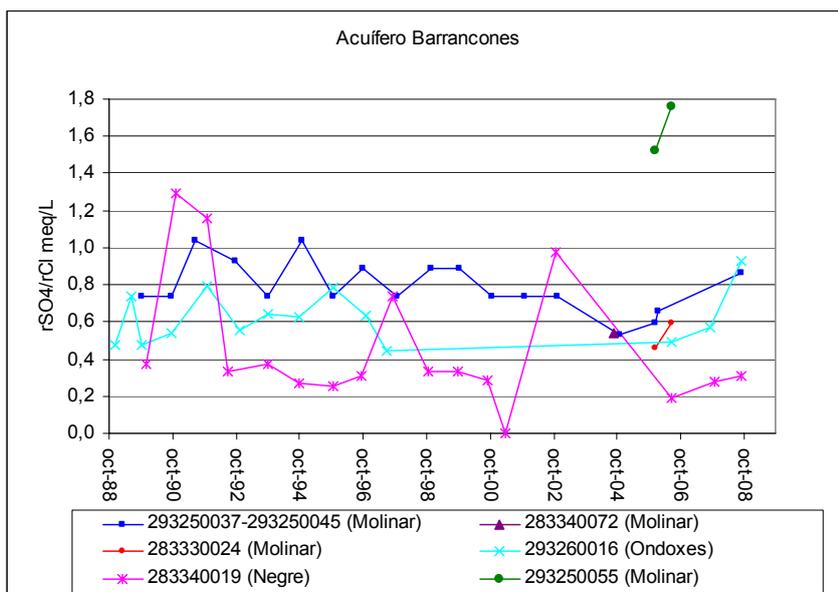


Figura 7.12. Evolución de la relación rSO_4/rCl en el acuífero Barrancones

La relación $rCl/rHCO_3$ y $rSO_4/rHCO_3$ es muy similar, con valores comprendidos entre 0,1 y 0,2 en el acuífero terciario, con una relación $rCl/rHCO_3$ más alta hacia el límite oeste por la presencia de facies evaporíticas. En el caso del sector Negre, la relación $rCl/rHCO_3$ es ligeramente más alta que la $rSO_4/rHCO_3$, encontrándose entre 0,3 y 0,4. Esta variación en el quimismo de las aguas del acuífero cretácico se puede asociar a la movilización de aguas más profundas con mayor tiempo de residencia como consecuencia de la profundización del nivel piezométrico, tampoco se puede descartar el lavado de facies evaporíticas de tipo halita por contacto lateral con facies Keuper.

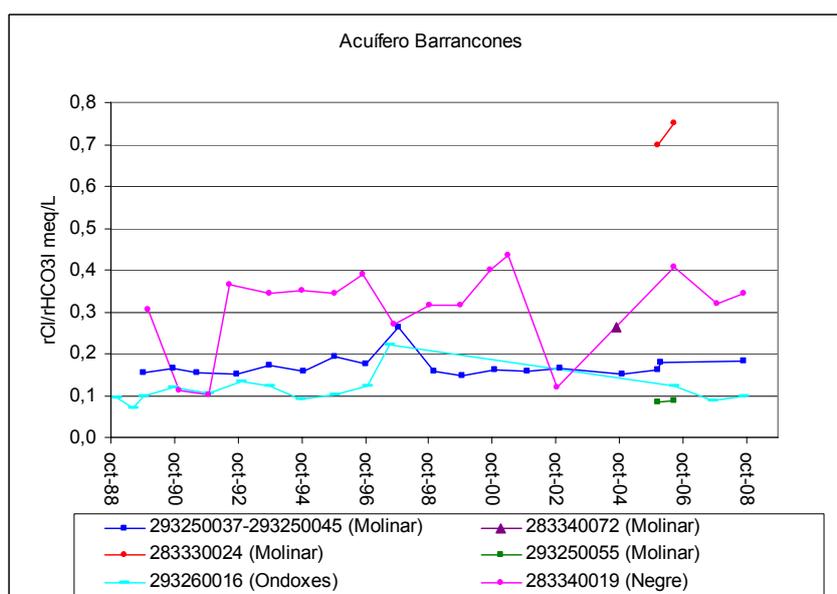


Figura 7.13. Evolución de la relación $rCl/rHCO_3$ en el acuífero Barrancones

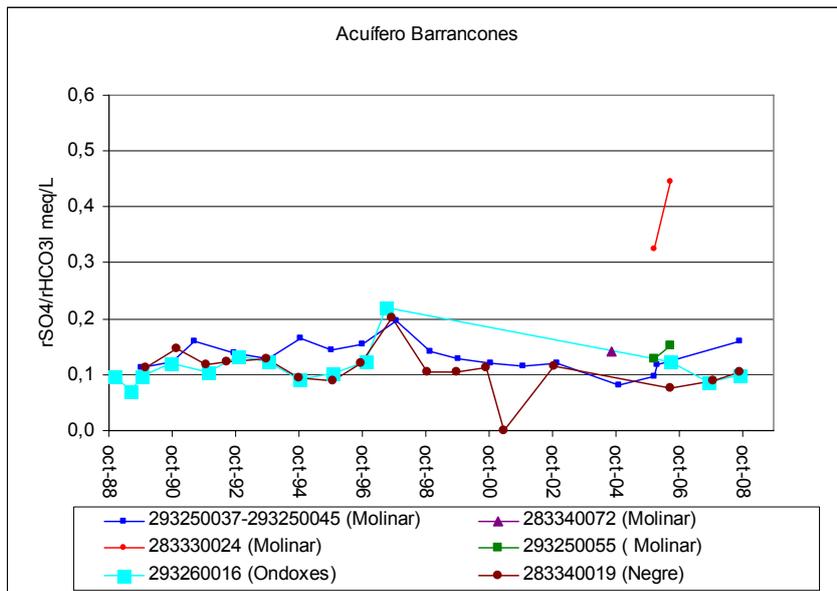


Figura 7.14. Evolución de la relación $rSO_4/rHCO_3$ en el acuífero Barrancones

A la vista de los resultados analíticos de los iones mayoritarios, el agua es apta para el consumo humano, según el R.D. 140/2003, de 7 febrero. Respecto a los nitratos presentan concentraciones por debajo de los 5 mg/l.

En cuanto a la calidad del agua para uso agrícola, predominan las facies que califican como de tipo C_2S_1 , de alta salinidad y baja en sodio (Figura 7.15), con lo que no se puede utilizar en suelos con drenaje deficiente.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

ACUÍFERO BARRANCONES

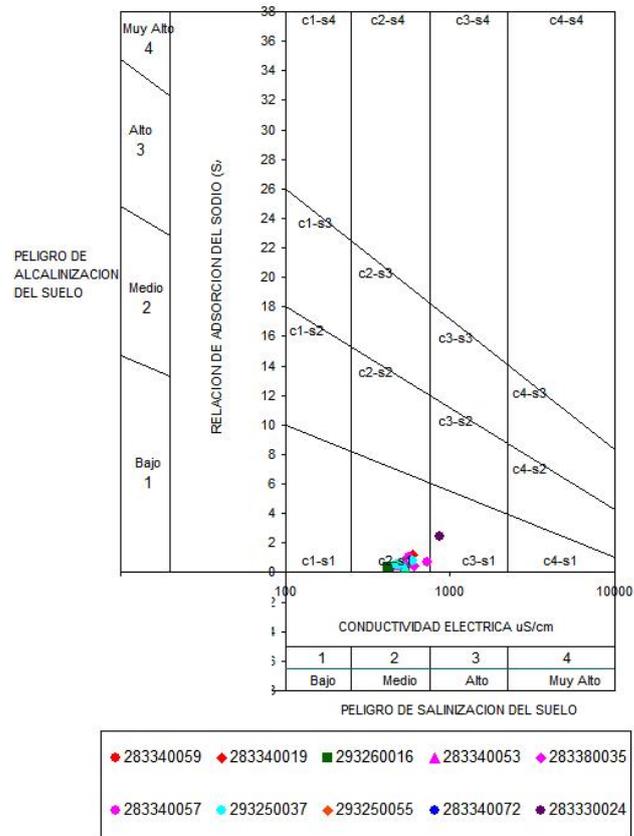


Figura 7.15. Clasificación Riverside para las aguas del acuífero Barrancones

7.1.2. Modelo matemático

7.1.2.1. Introducción

Para la construcción del modelo de flujo de agua subterránea del acuífero de Barrancones se ha llevado a cabo, en primer lugar, una exhaustiva recopilación de información geológica que permite definir la geometría del sistema y elaborar un modelo conceptual de funcionamiento del acuífero en régimen natural, suponiendo una dinámica en el flujo de agua coherente con la información disponible. A continuación, tomando como referencia un periodo representativo en la evolución del acuífero, se lleva a cabo la calibración del sistema, es decir, el ajuste de los parámetros hidráulicos que intervienen, de forma que, la evolución del sistema simulado reproduzca la situación observada. El tratamiento que se da al acuífero en el estudio para la calibración es complejo, se trata de un sistema con transmisividad variable que puede actuar como libre o en carga, en función de la situación de la cota piezométrica y la cota topográfica del techo de la formación permeable.

La metodología aplicada para la calibración manual del modelo de flujo hídrico subterráneo en el acuífero de Barrancones verifica el principio de parsimonia, según el cual se debe desarrollar un modelo tan simple como sea posible mientras cuente con los procesos del sistema y las características evidentes en las observaciones y mientras respete la información del conjunto. En base a este criterio, se elabora el modelo que es completado y corregido con la introducción de los pozos. Posteriormente se traslada el modelo conceptual que permite la definición de las propiedades hidráulicas básicas de funcionamiento. Se incorporan las medidas correspondientes a los piezómetros de observación y a partir de este momento se simulan diferentes hipótesis y se contrastan los resultados empíricos y simulados hasta conseguir una similitud satisfactoria.

Se realizan modificaciones en todos los parámetros que intervienen de modo que se alcance una solución convergente que: reproduzca un balance hídrico coherente con el que se da en el sistema real, unas alturas piezométricas simuladas semejantes a las observadas y unos valores para los parámetros hidráulicos dentro de los límites establecidos. Esto supondría que el modelo supuesto refleja las observaciones disponibles del sistema.

7.1.2.2. Antecedentes

Se ha partido del trabajo de modelación realizado por la DPA (2009). Este trabajo recoge la definición geométrica recogida por la DPA-IGME (2003,2006), en cuanto a la incorporación del sector Negre al sistema Barrancones, si bien la geometría del muro del acuífero se ha tratado de un modo relativamente simplificado. En función del análisis realizado

se pretende mejorar el conocimiento del funcionamiento del acuífero en los siguientes aspectos:

1. En DPA (2009) se indica.....*No obstante, para evitar problemas de convergencia del modelo, manteniendo dicha geometría, el muro ha tenido que modificarse en unos 300 m por debajo de su cota real en el sector de Menechaor, con objeto de evitar que el acuífero en esta zona se seque durante periodos importantes lo que originaría inestabilidades en los cálculos matemáticos.*]

Haciendo uso de la posibilidad de mojado de celdas, incorporada en MODFLOW y con unos valores para el coeficiente de almacenamiento superiores a los considerados, se va tratar de realizar una nueva calibración sin modificar la geometría del sistema. El modelo realizado incorpora una mayor definición geométrica alcanzado a partir de los cortes hidrogeológicos preparados en este estudio.

2. En DPA (2009) los valores de los parámetros hidráulicos obtenidos de la calibración automática están fuera del rango de valores esperados en el sistema. El rango esperado para el coeficiente de almacenamiento, en función del tipo de material permeable en la zona, cuando el acuífero funciona en modo libre oscila entorno a 0,02. En el estudio mencionado la calibración automática proporciona valores de 0,001 en prácticamente todo el acuífero y en el sector de Ondoxes de 0,0005. Únicamente en el sector del Negre el valor del coeficiente de almacenamiento presenta un valor razonable de 0,05.

Las zonas de distinta transmisividad en el presente estudio se han delimitado haciendo uso de los valores empíricos obtenidos en ensayos de bombeo y se ha interpolado dicho valor a zonas de influencia coherentes con el modelo conceptual del acuífero. En el estudio precedente los valores de los parámetros hidráulicos se han obtenido automáticamente y difieren en un orden de magnitud de los obtenidos de forma manual.

3. En DPA (2009) el cotejo de valores simulados y observados de evolución piezométrica en sondeos de estudio proporciona resultados satisfactorios en todo el acuífero excepto en la zona del Negre. La evolución piezométrica observada que se muestra en la memoria (página 32) está desplazada de la situación real para los tres pozos del sector Negre, llegando a ser la diferencia de 70 m en el caso del sondeo 283340020.

4. Con los valores de los parámetros hidráulicos, la geometría y acciones externas (a excepción de la recarga) obtenidos en el estudio precedente se ha reproducido la calibración del sistema y se obtienen valores en los niveles piezométricos superiores al terreno en zonas de afloramiento permeable (debido al pequeño valor considerado para el coeficiente de almacenamiento en zonas de recarga).

7.1.2.3. Software empleado

En la resolución de la ecuación fundamental de flujo subterráneo se ha utilizado el código MODFLOW (US Geological Survey, 2009) que simula el flujo subterráneo resolviendo la ecuación por el método de diferencias finitas.

Como interfaz visual se ha utilizado la aplicación Argus One (<http://www.argusint.com/GroundWater.html>). Argus One es una interfaz genérica de bajo coste muy flexible, orientada a un usuario técnico, que soporta varios tipos de modelos y mallados. El USGS ofrece una utilidad gratuita que permite la integración de MODFLOW en la interfaz.

7.1.2.4. Discretización espacial

El modelo geométrico considerado para el acuífero es un sistema de una sola capa con un contorno definido por la siguiente rejilla (Figura 7.16). (Plano 10).

El acuífero se ha discretizado según una malla rectangular de 28 filas y 55 columnas con un ángulo de inclinación de 31° para hacer coincidir la rejilla con el contorno del acuífero. Las dimensiones de las celdas son de 500 m x 500 m excepto en las zonas en que se dan piezómetros de observación. Dos motivos han conducido al refinamiento por zonas de la malla. En primer lugar, para facilitar el posterior estudio del comportamiento del sistema, en las zonas de interés se ha pretendido que el sondeo quede rodeado de celdas de comportamiento similar (cautivo-libre, celda activa-inactiva...). En segundo lugar, la posibilidad de incluir puntos de observación (herramienta incorporada de MODFLOW) exige que dichos puntos no se encuentren sobre celdas del contorno del sistema. Justificado por estos dos motivos (y dado que no supone alteraciones en la geometría del acuífero), se modifica el refinamiento de la malla llegando a alcanzar en algunas celdas dimensiones de 31,2 m x 31,2 m.

El contorno considerado como límite del sistema abarca una superficie de malla de 99,083 km² y un perímetro de 67,145 km.

En cuanto a las condiciones de contorno, se consideran bordes impermeables en todo el acuífero, a excepción de dos zonas donde se produce recarga lateral: la primera al norte por descargas ocultas desde las formaciones permeables de la Sierra de Menechaor, y la segunda al noreste por transferencia lateral desde la Sierra dels Plans.

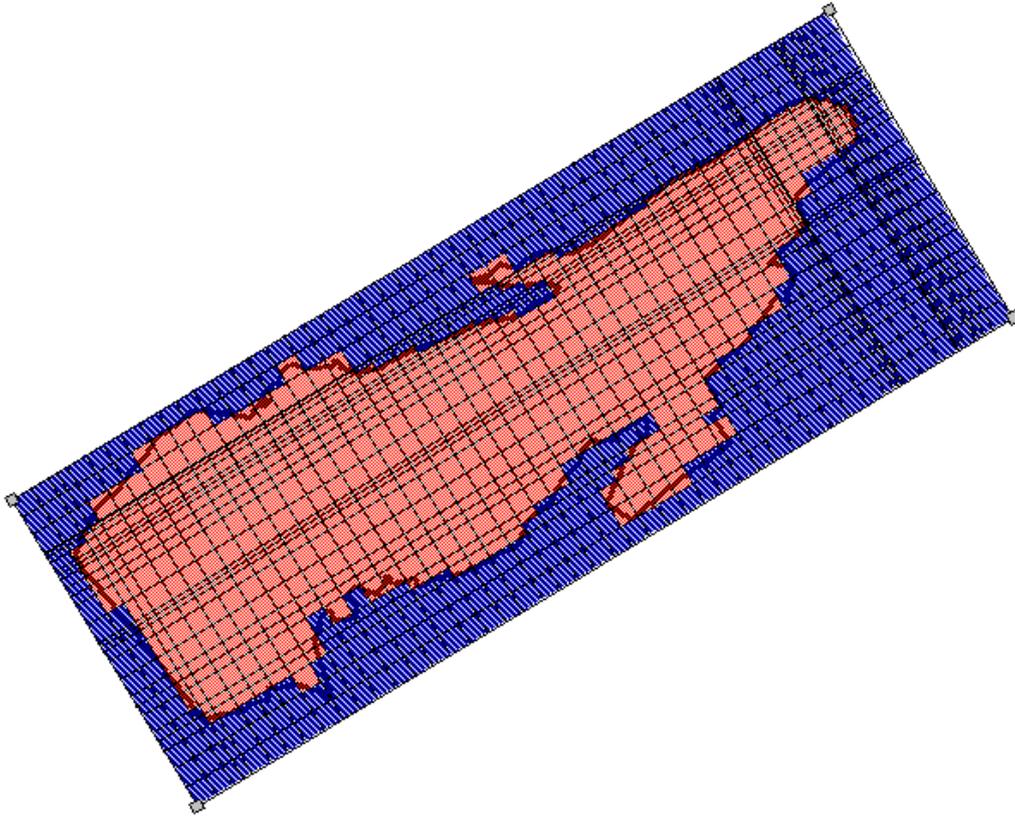


Figura 7.16. Rejilla definida en el acuífero Barrancones

7.1.2.4.A. Muro del tramo permeable

El límite inferior de la capa se ha trazado a partir de las cotas definidas en el mapa de isohipsas del muro del Eoceno superior–medio, a excepción del sector Negre (zona meridional) donde el muro se hace coincidir con la base de la formación carbonatada del Cretácico superior (Cenomaniense–Turonense).

El mapa de isohipsas de muro de la formación permeable del acuífero se ha construido a partir de los cortes hidrogeológicos seriados del sistema (Plano 5). Para lo cual se ha tenido en cuenta la cartografía hidrogeológica realizada (IGME, 2004 y 2006) y las columnas litológicas de pozos disponibles en la Base de Datos del Departamento del Ciclo Hídrico.

En la Figura 7.17 se representan los valores de la cota del muro del acuífero en cada una de las celdas, obtenidos por interpolación del mapa de isohipsas.

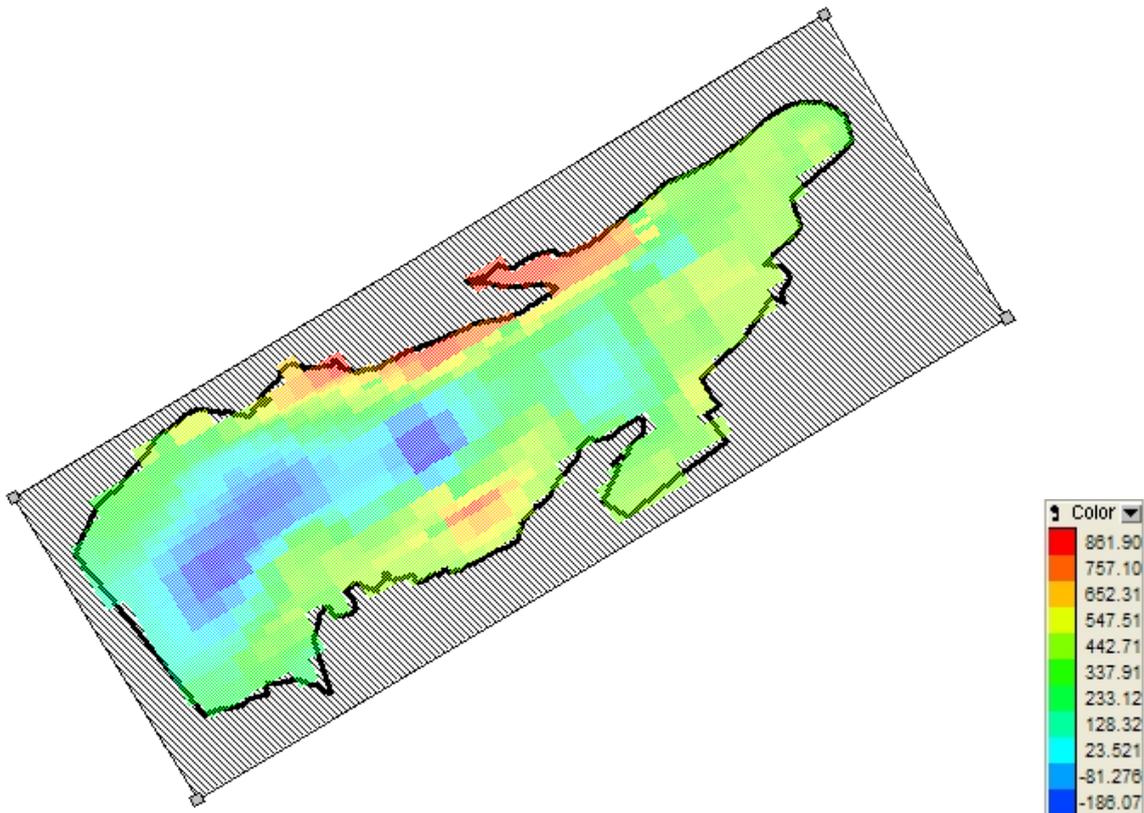


Figura 7.17. Representación en cada celda de los valores de cota del muro del acuífero Barrancones

7.1.2.4.B. Techo del tramo permeable

El techo de la formación permeable aflora en los bordes del acuífero, mientras que en las zonas centrales se encuentra recubierto por un potente relleno, que cubre la serie estratigráfica del Mioceno medio–superior al Cuaternario.

Para la definición del mapa de isohipsas del techo del acuífero se ha tomado como referencia los cortes hidrogeológicos seriados del sistema y las curvas de nivel del terreno obtenida de la cartografía 1:25.000, en aquellas zonas donde aflora la formación permeable (Plano 5).

En la Figura 7.18 se representa los valores de la cota del techo del acuífero en cada una de las celdas, obtenidos por interpolación del mapa de isohipsas.

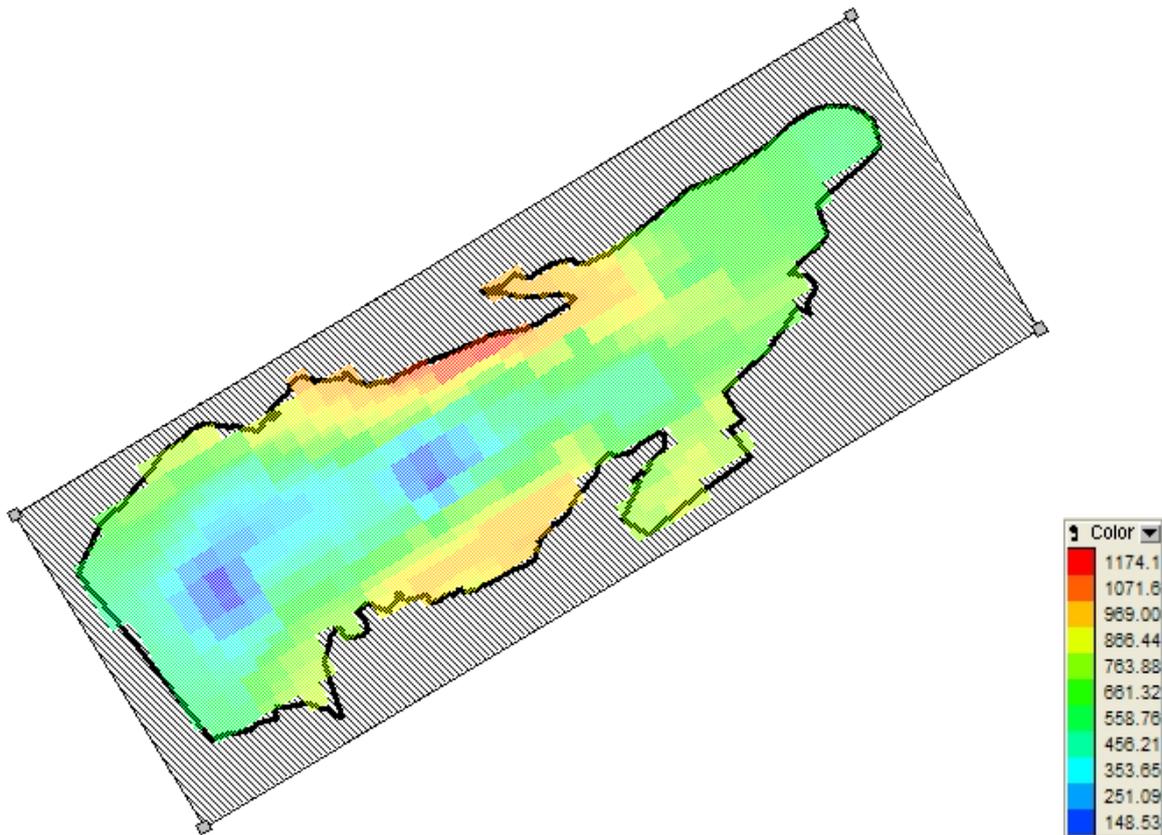


Figura 7.18. Representación en cada celda de los valores de cota del techo del acuífero Barrancones

7.1.2.4.C. Potencia del tramo permeable

Una vez definidas las isohipsas del muro y techo del acuífero, se obtienen por interpolación de éstas, los valores del muro y techo en cada una de las celdas de la malla. La potencia de la formación permeable es el resultado de la diferencia entre los valores techo y muro (Figura 7.19).

En general se observa como las mayores potencias en el acuífero se obtiene en el núcleo del sinclinal de Ibi, en el sector occidental, y en el sector Negre, en el borde meridional, con valores que pueden superar los 400 m. Las zonas de menor espesor coinciden con la zona de descarga natural del acuífero en régimen natural, en el entorno de la Fuente Molinar.

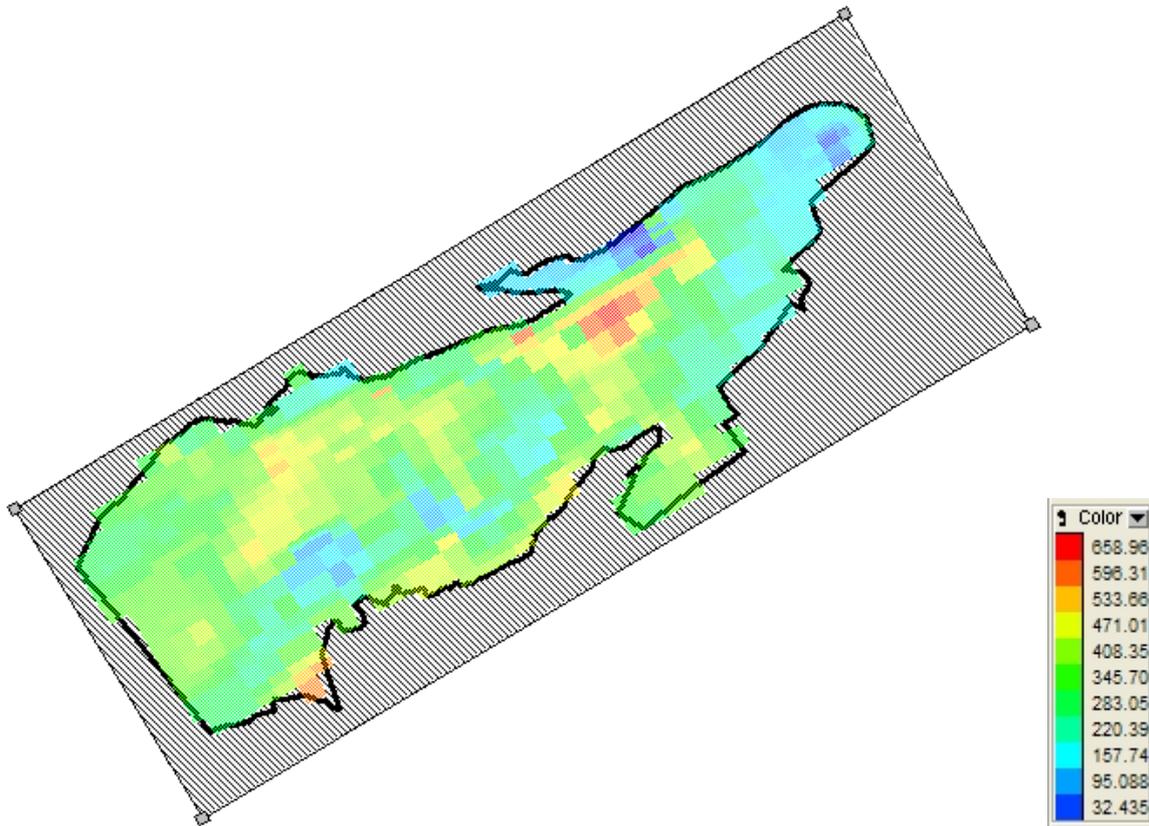


Figura 7.19. Potencia en las celdas del acuífero Barrancones

7.1.2.5. Propiedades hidráulicas

7.1.2.5.A. Transmisividad

Se realiza una estimación inicial de los parámetros hidráulicos que caracterizan el acuífero, en función de la información disponible de los sondeos (Villanueva e Iglesias, 1987). En base a las explotaciones, se establece un rango de valores posibles para la transmisividad en un entorno de los pozos según los criterios expuestos en el siguiente cuadro:

Cuadro 7.1. Relación entre el comportamiento de un pozo y su transmisividad (Villanueva, M., Iglesias, A.)

T (m ² /día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
T < 10	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica.
10 < T < 100	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica.
100 < T < 500	Media a alta	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica.
500 < T < 1000	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica.
T > 1000	Muy alta	Pozos superiores a 100 l/s con 10 m de depresión teórica.

La disponibilidad de ensayos de bombeo dentro del acuífero y sus caudales permite estimar el valor de transmisividad representativo de la formación permeable en diferentes áreas del acuífero.

Cuadro 7.2. Estimación de la transmisividad en los diferentes puntos de bombeo controlados en el acuífero Barrancones

Código del punto	T (m ² /día)	Caudal (l/s)
283330009	100<T<500	30
283330024	100<T<500	16
293260033	10<T<100	5
283340053	100<T<500	30
283380035	10<T<100	6
283340028	100<T<500	40
283340029	100<T<500	30
293250037	>1000	140
293250045	>1000	117
293310010	100<T<500	10
283340017	500<T<1000	80
283340019	500<T<1000	60
293250054	500<T<1000	55
293250055	500<T<1000	70
293260016	100<T<500	15
283340072	100<T<500	10
293250002	>1000	100-200

Para cada sondeo de explotación se ha asignado una zona de influencia en la que se aplica el valor de transmisividad estimada.

7.1.2.5.B. Coeficiente de almacenamiento

El sistema tiene un comportamiento complejo pudiendo actuar en modo libre o en carga según zonas. En una primera estimación se han considerado los valores estimados (Villanueva e Iglesias, 1987) en función del tipo de material permeable presente en el acuífero.

Cuadro 7.3. Valores del coeficiente de almacenamiento (Villanueva, M., Iglesias, A.)

Tipo de material permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores de S (medio)
Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	$2 \cdot 10^{-2} - 6 \cdot 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$

7.1.2.5.C. Barrera de conductividad

Con el fin de crear cierta desconexión entre el sector Negre y la fosa de Ibi se establece una barrera de conductividad según muestra la Figura 7.20. En la Sierra de Ondoxes se establece otra barrera intentando simular el efecto de las fallas.

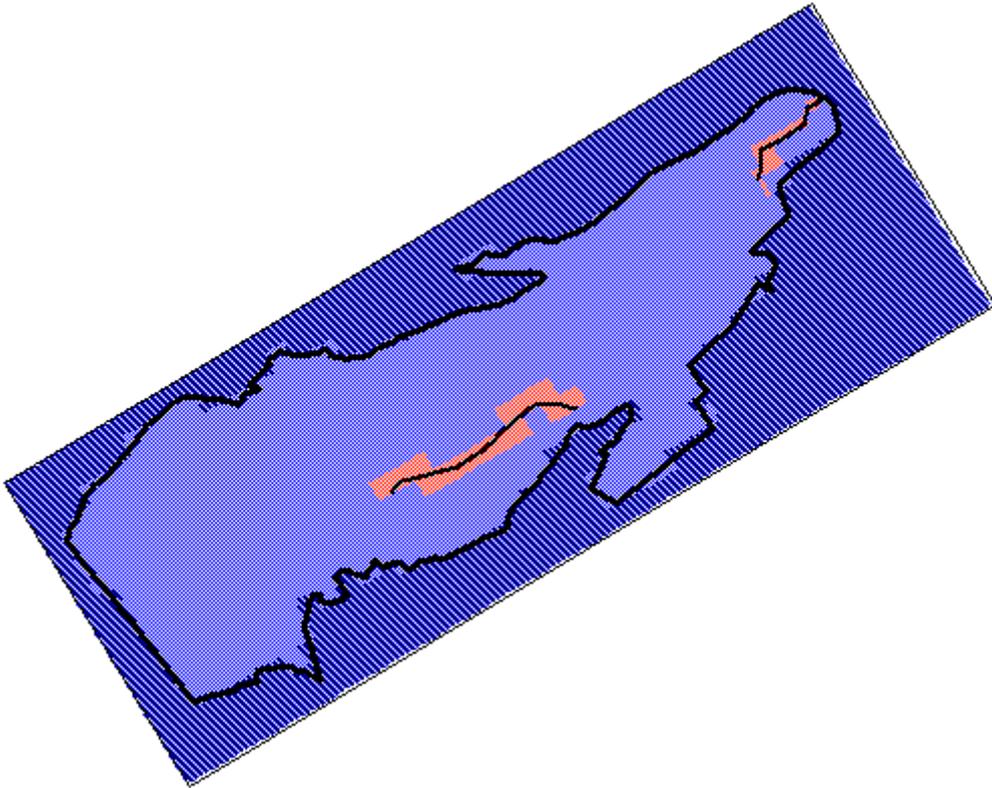


Figura 7.20. Barrera de conductividad entre los sectores Molinar - Negre y en la Sierra de Ondoxes.

7.1.2.6. Discretización temporal

El periodo temporal considerado para la calibración abarca desde 1950 a 2009. Este intervalo se ha dividido en 708 periodos de 1 mes de duración. La explotación no comienza hasta 1969, por lo que durante los 20 primeros años de la simulación queda de manifiesto el comportamiento del acuífero en régimen natural.

7.1.2.6.A. Piezometría

Dado que el periodo en que se realiza la calibración del sistema es suficientemente largo (1950-2009) y los primeros 20 años corresponden a un funcionamiento en régimen natural, la piezometría inicial supuesta coincide con los niveles obtenidos en la calibración después de alcanzar el equilibrio. Para comprobar la coherencia de las direcciones de flujo del

acuifero obtenidas con el modelo, se han elaborado 3 mapas de isopiezas con criterio de experto (7 al 9)

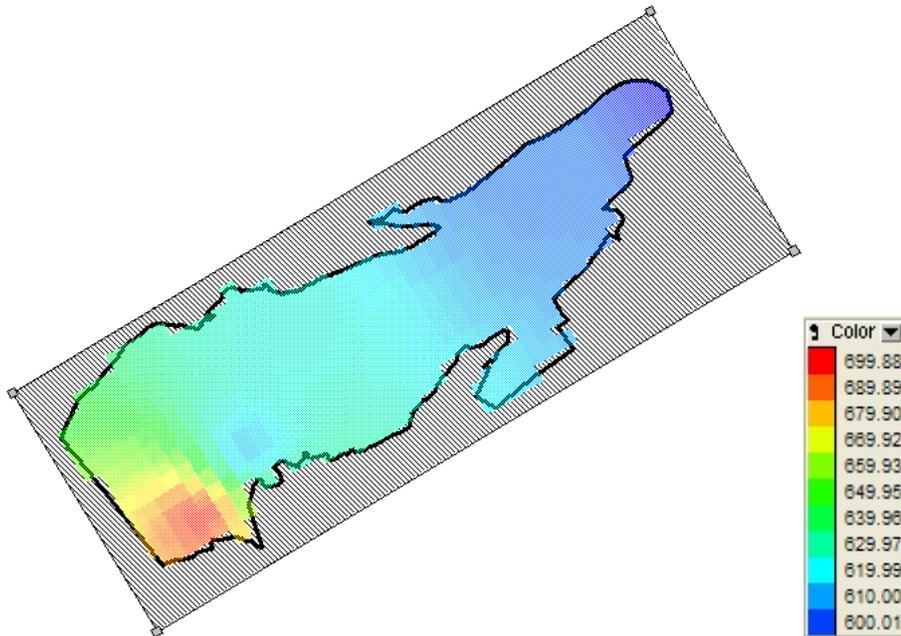


Figura 7.21. Alturas piezométricas al comienzo de la simulación en el acuífero Barrancones.

A partir de las alturas piezométricas iniciales de la Figura 7.21, se delimitan las diferentes zonas del acuífero en función de la saturación. Las zonas en que la piezometría inicial supera la cota del techo del acuífero, corresponde a la zona en que el acuífero trabaja en modo cautivo (Figura 7.22). Las zonas en que la piezometría inicial está por debajo del muro del acuífero, corresponden a zonas secas (Figura 7.23). Para las zonas en que los niveles de carga están comprendidos entre el muro y el techo, el acuífero trabaja en modo libre, el espesor saturado (Figura 7.24) se calcula a partir de la piezometría inicial (Figura 7.21) y el muro (Figura 7.17).

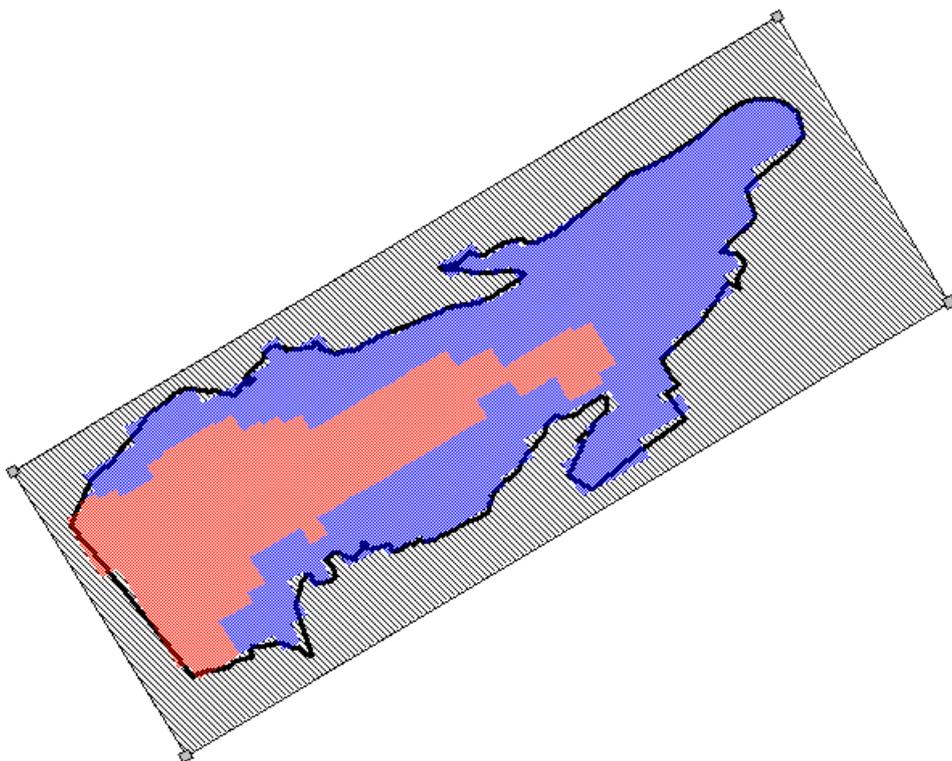


Figura 7.22. Zona de acuífero cautivo (rojo) en el acuífero Barrancones.

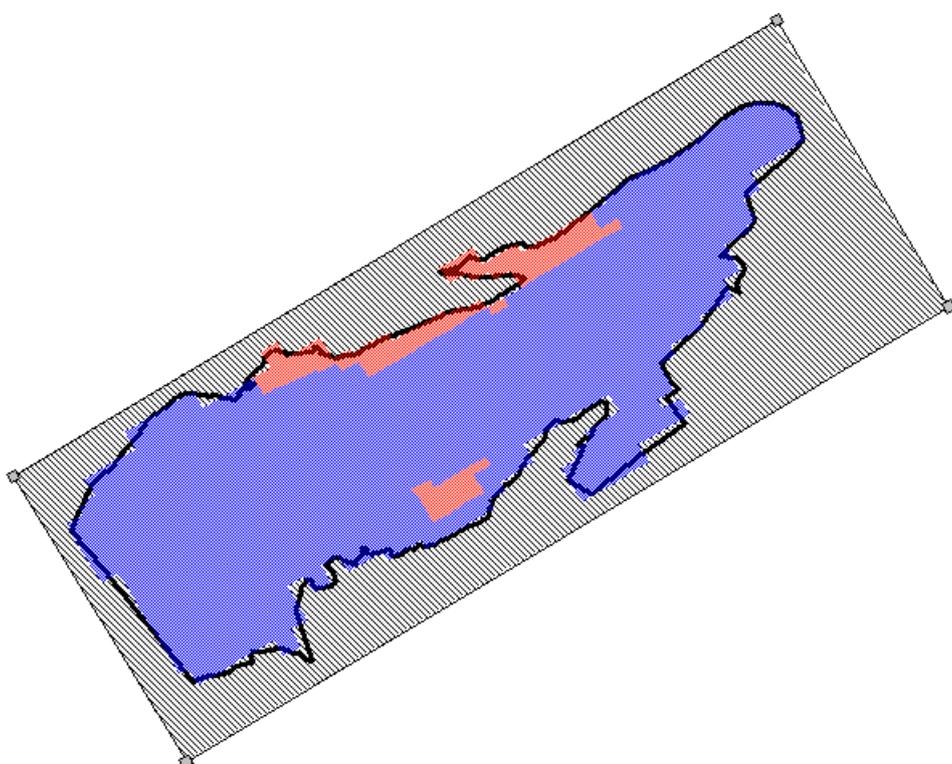


Figura 7.23. Zonas secas al comienzo de la calibración en el acuífero Barrancones.

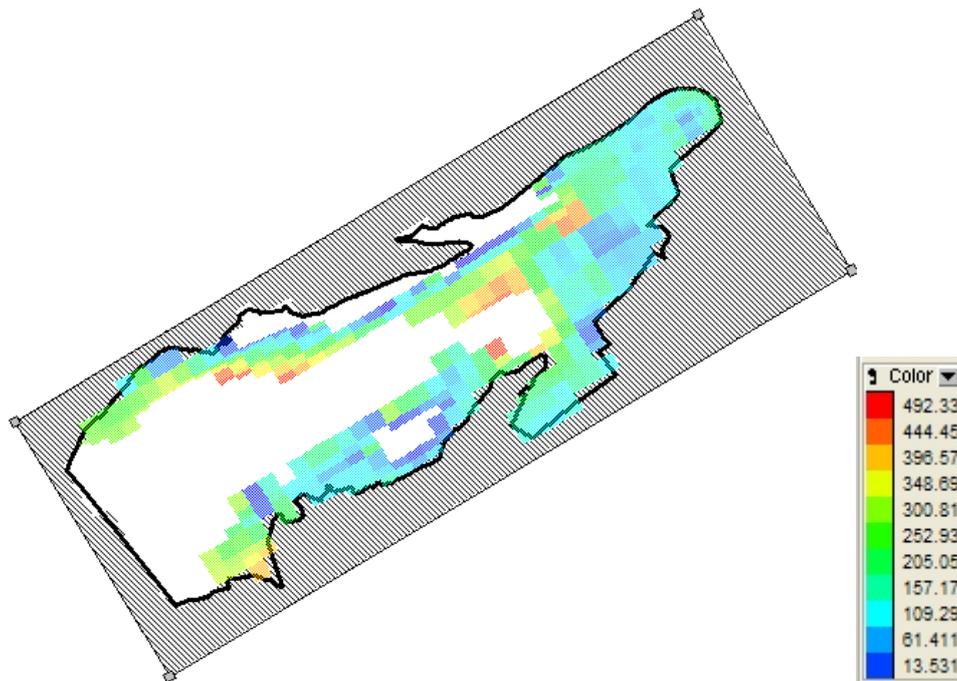


Figura 7.24. Espesor saturado al comienzo de la calibración en la zona de comportamiento libre del acuífero Barrancones.

7.1.2.6.B. Acciones exteriores

7.1.2.6.B.I. Recarga

En la Figura 7.25 se muestran las estaciones meteorológicas próximas al acuífero. Se han seleccionado las de Cocentaina 'P. Bomberos' (8059E), Benifallim (8061), Torremanzanas 'Ayuntamiento' (8029D) y Castalla Sarganella (8028C) por proximidad al acuífero y por la cantidad de información climática disponible en la base de datos referente a dichas estaciones.

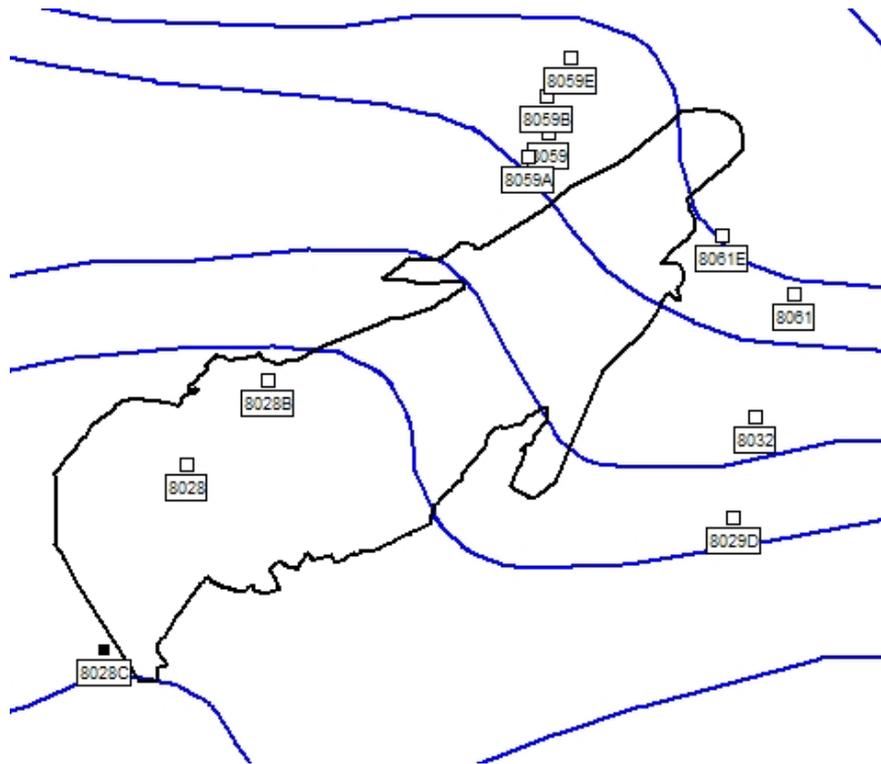


Figura 7.25. Estaciones meteorológicas de la AEMET en el entorno del acuífero Barrancones.

Los datos disponibles relativos a las cuatro estaciones mencionadas han sido completados de forma que la serie de datos de precipitación y temperatura abarque el periodo de calibración, 1950–2009. Para la obtención de las series completas se ha utilizado un programa de completado de series basado en las correlaciones existentes entre valores de pluviometría procedentes de estaciones próximas (Estrela, 1990).

La recarga al acuífero tiene lugar a través de los afloramientos permeables (Figura 7.26). Algunos de éstos no caen sobre la capa acuífera. A la hora de asociar la recarga a celdas activas del modelo se suponen dos entradas laterales, una tiene lugar al norte por descargas ocultas desde las formaciones permeables de la Sierra de Menechaor, y la segunda al noreste por transferencia lateral desde la Sierra dels Plans. Las zonas en las que tiene lugar la recarga se muestran en la Figura 7.27.

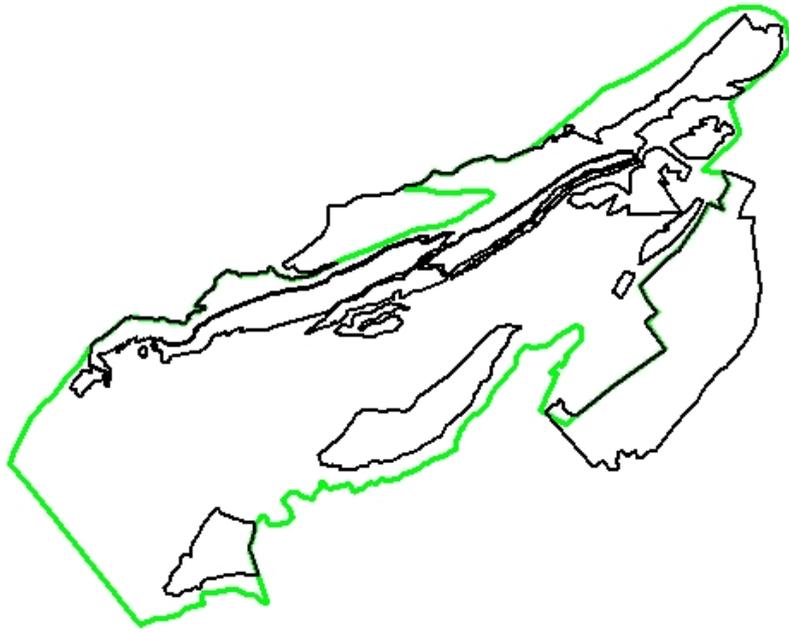


Figura 7.26. Afloramientos permeables sobre el acuífero Barrancones.

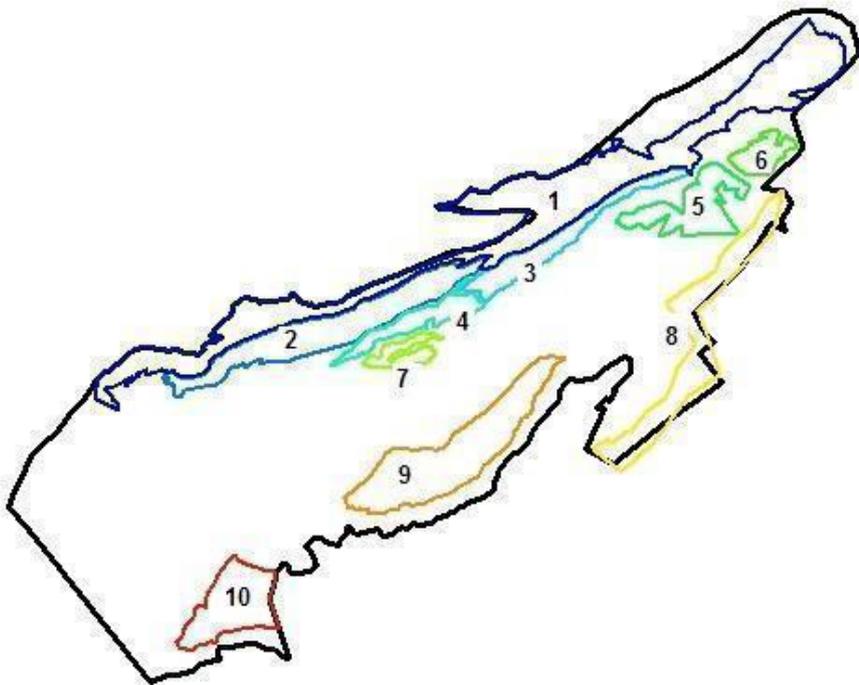
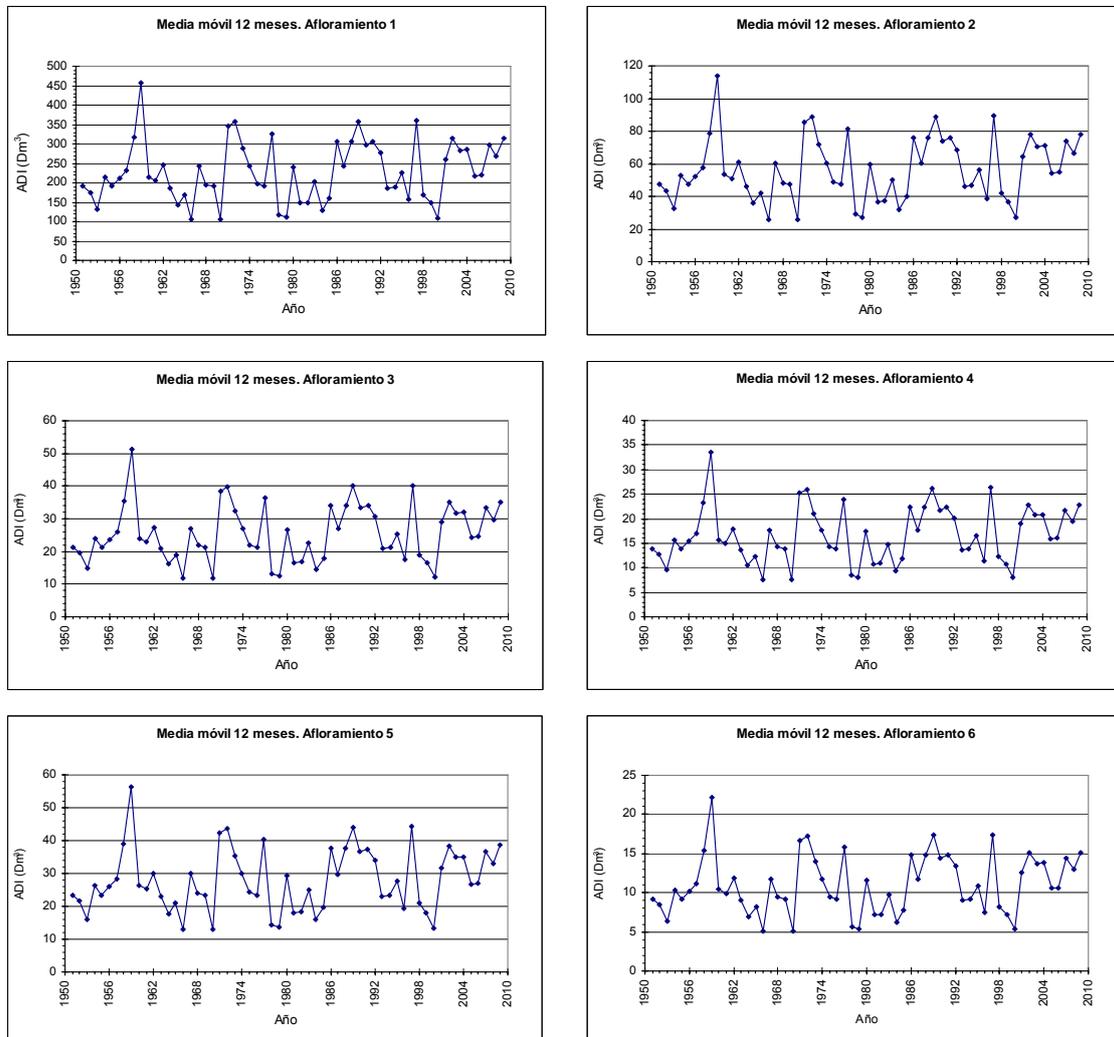


Figura 7.27. Zonas de recarga del acuífero Barrancones.

Dependiendo de la proximidad del afloramiento a la estación meteorológica, a cada zona de recarga se le asigna la serie de precipitación de la estación mas cercana de las cuatro mencionadas. A partir de la serie completa de precipitación, la infiltración de lluvia útil en cada afloramiento se ha calculado con ayuda de un modelo hidrológico de balance (DPA 2001a). Esta herramienta calcula la recarga a partir de los datos de precipitación de la estación climática y las características hidrogeológicas del acuífero, ajustando los parámetros que intervienen en el cálculo, de forma que, el valor medio obtenido para la infiltración de agua de lluvia sea de 8 hm³ por año medio como refleja el Mapa del Agua (2007).

Los volúmenes obtenidos de agua disponible para infiltración en el periodo de calibración se muestran en la Figura 7.28. Debido a que las series son demasiado extensas, se presenta la móvil a 12 meses.



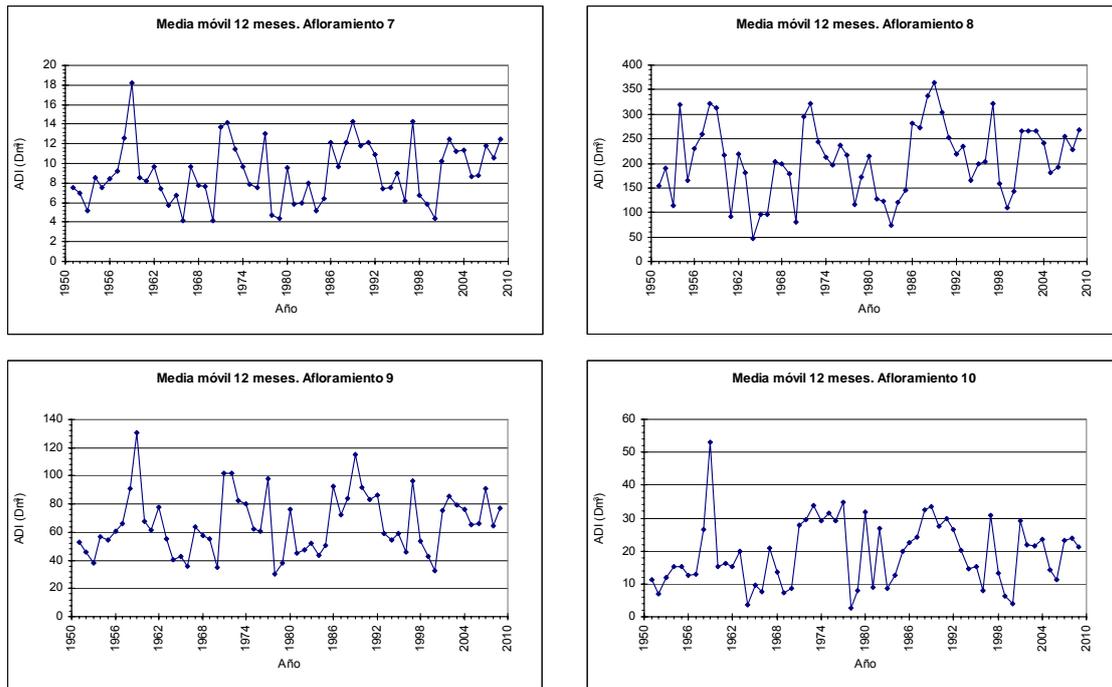


Figura 7.28. Media móvil (12 meses) en los afloramientos permeables del acuífero Barrancones.

7.1.2.6.B.II. *Bombeo*

La información referente a las extracciones de los recursos subterráneos en el acuífero Barrancones procede fundamentalmente del análisis de los datos disponibles en la Base de Datos de Aguas de la Diputación de Alicante. Los pozos considerados en el estudio son:

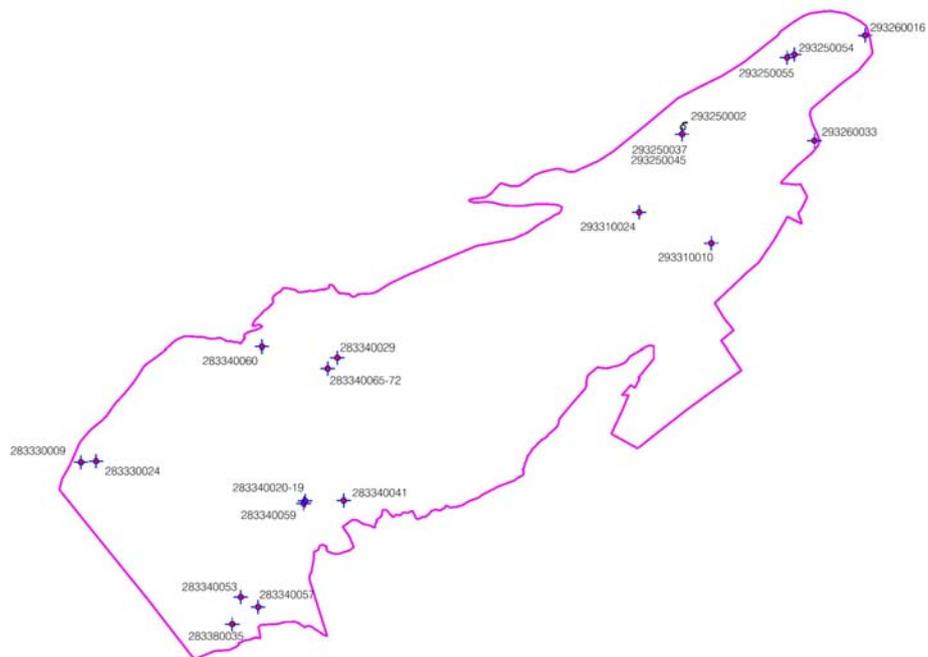


Figura 7.29. Sondeos considerados en el acuífero Barrancones

En la Figura 7.30 se representan los datos de explotación anual en el acuífero durante el periodo de calibración (1950–2009) agrupada por sectores. La explotación de los recursos del acuífero comienzan en 1968, hasta ese momento el acuífero permanece en régimen natural.

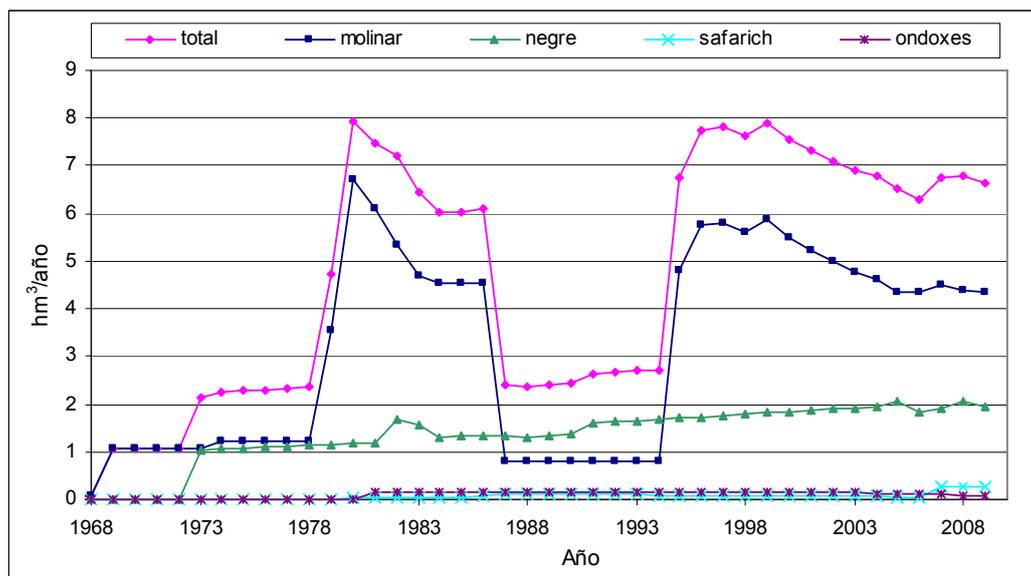


Figura 7.30. Explotación anual en el acuífero Barrancones por sectores

7.1.2.7. Calibración

El propósito del estudio es disponer de un modelo de flujo que permita simular distintas alternativas de explotación del acuífero ante situaciones de recarga variables en el tiempo. Para lograr este propósito, se analiza el comportamiento de puntos del acuífero de los que se dispone de información y se persigue un modelo capaz de reproducir las alturas piezométricas observadas en dichos puntos de control.

Los puntos de observación considerados para la calibración coinciden con los pozos de explotación. Las alturas piezométricas en los puntos de observación a lo largo del periodo de calibración se muestran en las figuras: Figura 7.1, Figura 7.2, Figura 7.3, Figura 7.4 y Figura 7.5.

7.1.2.7.A. *Distintas hipótesis incorporadas al modelo*

Partiendo del modelo conceptual expuesto en epígrafes anteriores se han realizado modificaciones locales que permitan ajustar con mayor precisión los resultados observados y

simulados. Estas modificaciones han sido incorporadas al modelo y afectan a parámetros hidráulicos y a la recarga.

Relativas a la recarga

La explotación en el acuífero está entorno a 7 hm^3 en los últimos años y puesto que se observa un descenso en los niveles piezométricos, se limita la entrada a 7 hm^3 en lugar de los 8 hm^3 supuestos inicialmente.

En el sector del Negre se reduce la entrada a $0,4 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Mapa de Agua, 1992) y esta diferencia se aplica a los afloramientos 1 al 7.

En el sector de Safarich se bombean $2,43 \text{ hm}^3$ en todo el periodo de calibración. Se modifica la recarga en esta zona de forma que sólo entren 2 hm^3 . Estas reducción se incrementa en los afloramientos 1 al 7.

Relativas a la transmisividad

Se considera una barrera de transmisividad (zona 9 en la Figura 7.31) que aísla parcialmente el sector Safarich de la zona central del acuífero.

7.1.2.7.B. Distintas hipótesis no incorporadas al modelo

El análisis de los primeros resultados permite plantear hipótesis adicionales que no se incorporan al modelo por no conducir a una mejora en los resultados.

Relativas a la geometría del acuífero

Elevación del muro hasta 600 m en las celdas entre Safarich y Negre para impedir el intercambio hidráulico cuando la cota del agua en el Negre descienda de ese nivel. Las celdas afectadas son las que se encuentran entre los dos sectores mencionados.

Se pretende una desconexión (por elevación del muro) del sector de Ondoxes por debajo de 570 m (Figura 7.38) que haga descender la piezometría a partir de abril de 2000. Esta hipótesis no se incorpora al modelo porque provocaría un descenso similar en el periodo correspondiente a febrero de 1986. Es decir, para conseguir los descensos esperados en abril de 2000 con la definición actual del sistema de una sola capa, habría que modificar simultáneamente el muro y la recarga en esa zona en el periodo último con el fin de independizar el comportamiento del acuífero en los dos periodos en que la piezometría alcanza

la cota mínima de 570 m. Se sugiere la necesidad de considerar la existencia de dos capas en esa zona, ambas de comportamiento diferente.

7.1.2.7.C. Calibración final básica

Los parámetros hidráulicos que han proporcionado el mejor contraste de los valores observados y simulados, son:

- El coeficiente de almacenamiento de la zona cautiva es de $1 \cdot 10^{-3}$.
- El de la zona libre aparece en la Figura 7.32.
- La distribución de transmisividad se muestra en la Figura 7.31.

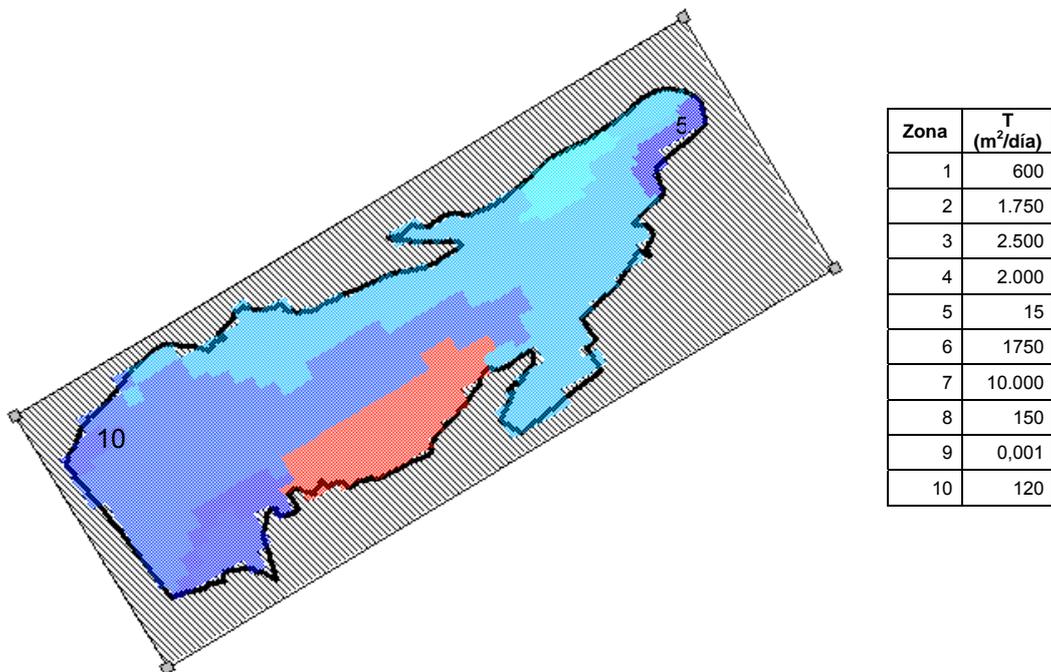


Figura 7.31. Distribución espacial de la transmisividad en el acuífero Barrancones (m²/d).

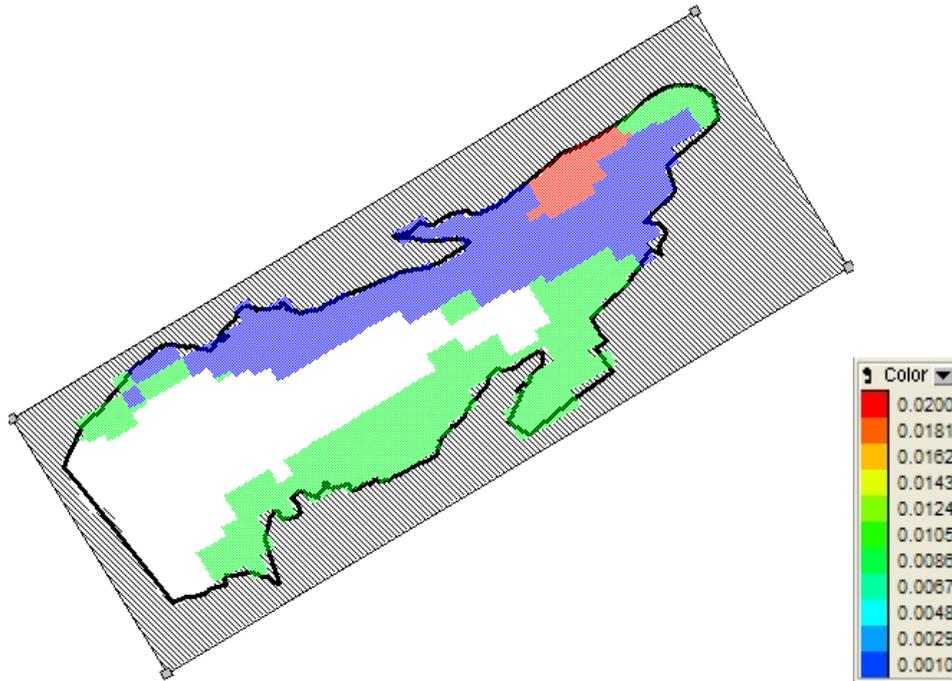


Figura 7.32. Distribución del coeficiente de almacenamiento en la zona libre (adimensional) en el acuífero Barrancones.

7.1.2.7.D. Resultados y análisis

Con estos valores de las propiedades hidráulicas se obtiene una dirección del flujo coherente con la hipótesis inicial y una evolución piezométrica simulada en los puntos de observación aproximada a la real.

Se consigue un sistema **estable**, es decir, pequeñas oscilaciones en los valores considerados para los parámetros hidráulicos no provocan cambios significativos en la respuesta del sistema.

La definición del sistema satisface el principio de **simplicidad**, es decir, no ha sido necesario incorporar demasiadas hipótesis al modelo para lograr la convergencia de las series simuladas y observadas.

Los parámetros característicos que definen el sistema presentan una variación **gradual** a lo largo del acuífero, es decir, no se han modificado localmente para reproducir descensos piezométricos observados.

El sistema es **coherente** con los parámetros hidráulicos esperados en el acuífero.

La evolución está afectada principalmente por la **recarga** y la incertidumbre en la serie histórica obtenida condiciona el mejor ajuste entre las series observada y calibrada. Se considera la recarga como factor determinante del comportamiento del acuífero.

Las evoluciones piezométricas en los puntos de observación se muestran a continuación, donde se pueden cotejar las series observadas y resultantes de la calibración.

De la observación de las figuras (Figura 7.37, Figura 7.38) se destaca la necesidad de definir dos capas en el acuífero al menos en los sectores del Negre y Ondoxes.

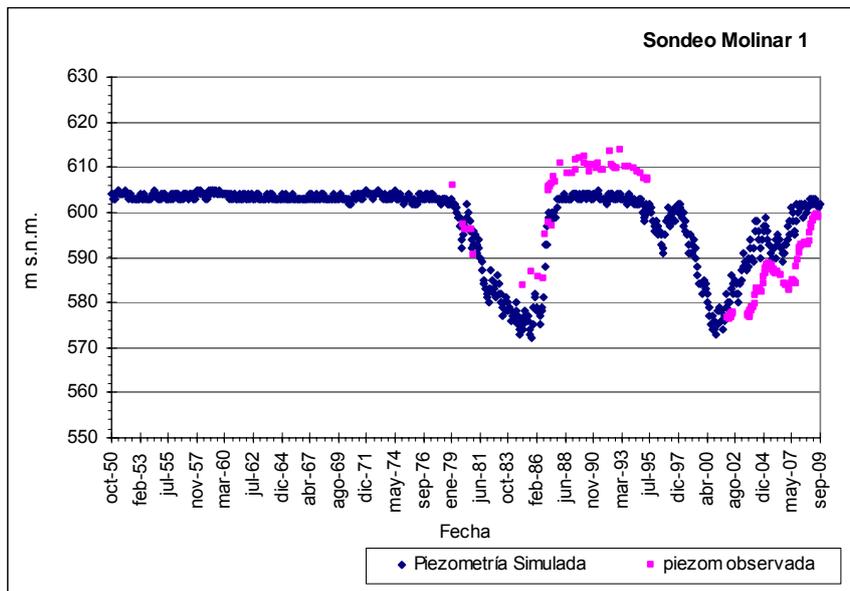


Figura 7.33. Evolución piezométrica en el sondeo Molinar 1, del sector Molinar según calibración inicial básica.

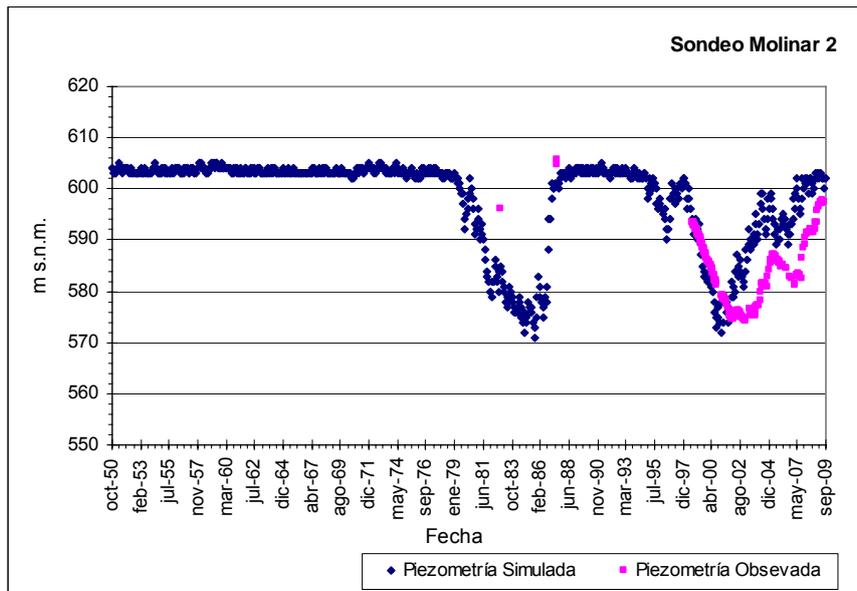


Figura 7.34. Evolución piezométrica en el sondeo Molinar 2, del sector Molinar según calibración inicial básica.

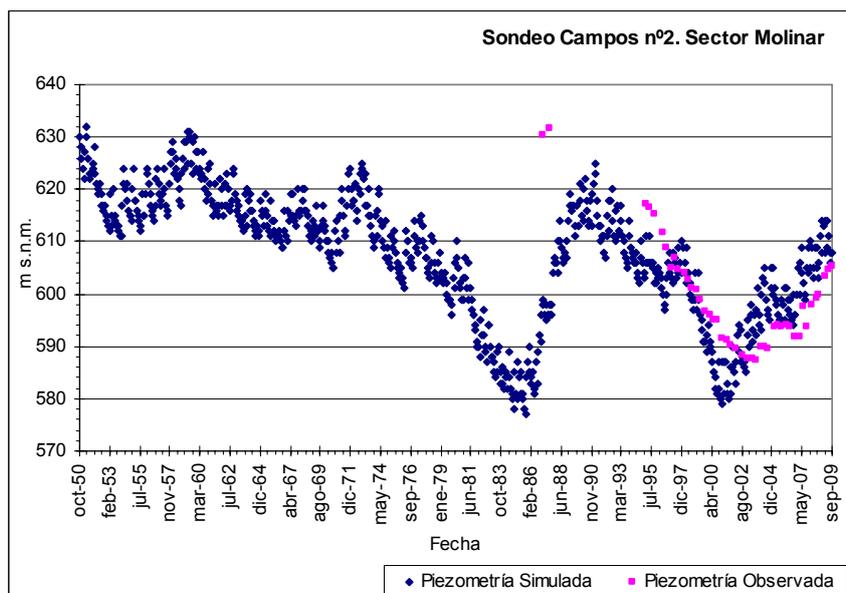


Figura 7.35. Evolución piezométrica en el sondeo Campos nº 2, del sector Molinar según calibración inicial básica.

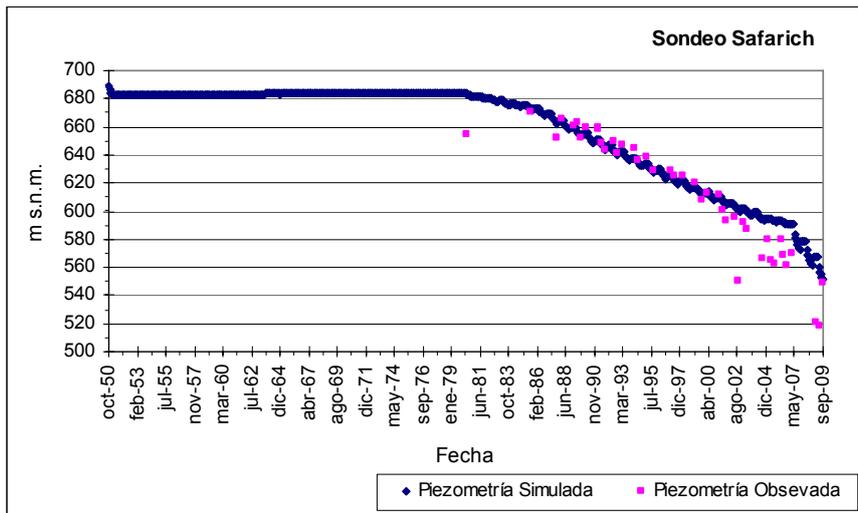


Figura 7.36. Evolución piezométrica en el sondeo Safarich, del sector Safarich según calibración inicial básica.

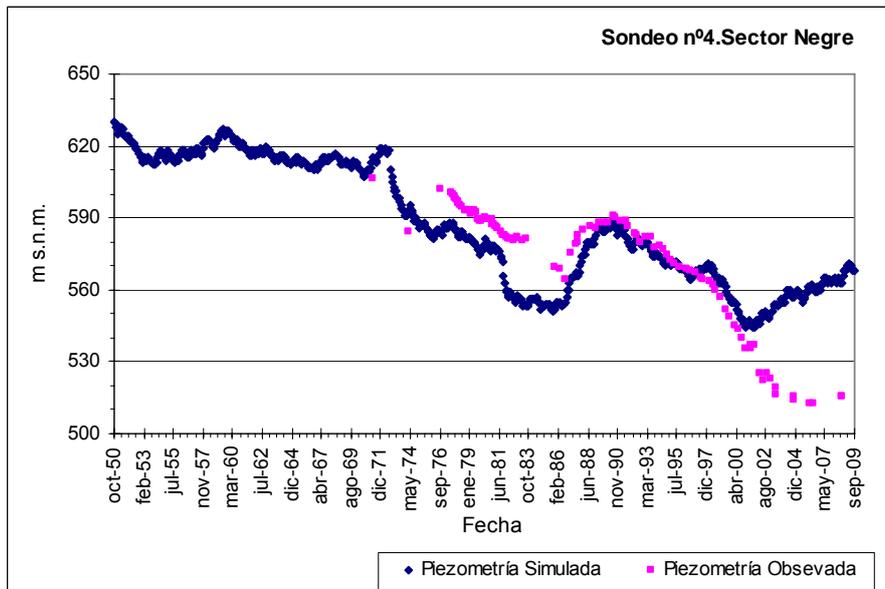


Figura 7.37. Evolución piezométrica en el sondeo nº 4, del sector Negro según calibración inicial básica.

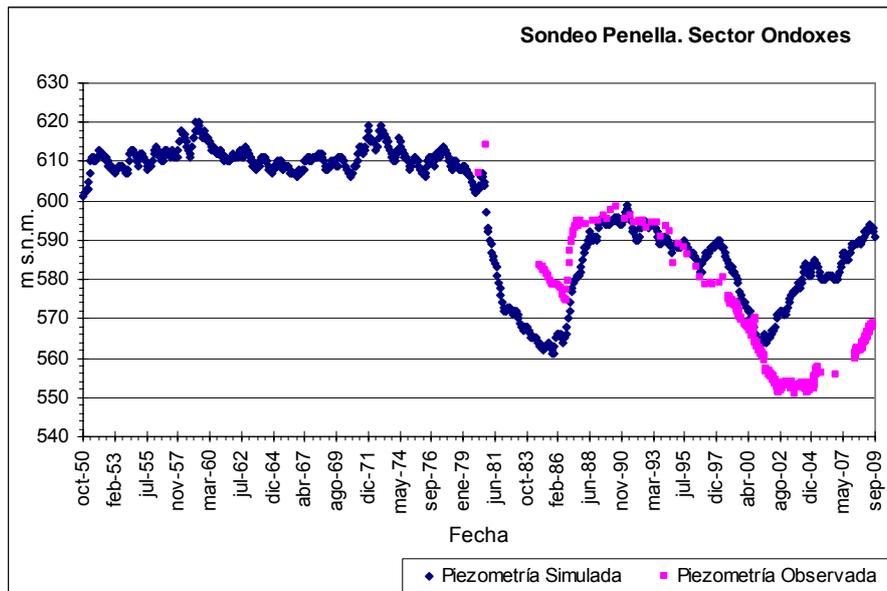


Figura 7.38. Evolución piezométrica en el sondeo Penella, del sector Ondoxes según calibración inicial básica.

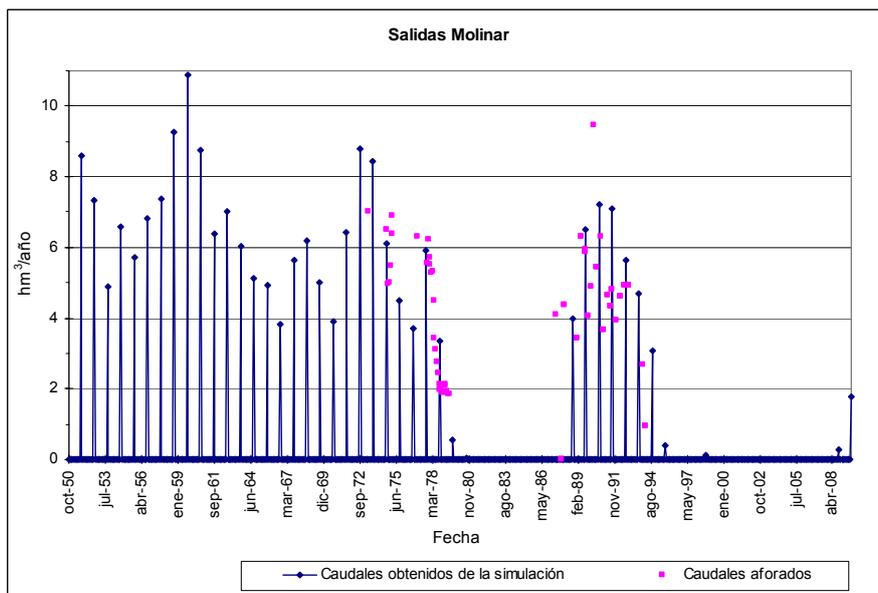


Figura 7.39. Caudales surgentes en el manantial del Molinar ($\text{hm}^3/\text{año}$) medidos y obtenidos de la calibración inicial básica.

7.1.2.8. Comportamiento simulado del acuífero en escenarios tipo

Una vez calibrado el sistema, se ha procedido a simular acciones exteriores determinadas para conocer la respuesta del acuífero frente a diferentes hipótesis de explotación. Las acciones exteriores van a consistir en la modificación del régimen de bombeo

analizando las diferentes respuestas del nivel piezométrico durante un periodo de simulación de un mínimo de 50 años.

Tomando como referencia la serie histórica de precipitación se proponen diferentes hipótesis de explotación planteándose 3 escenarios tipo.

7.1.2.8.A. Escenario 1

Las hipótesis de partida que conforman este escenario de simulación son:

Partiendo de las explotaciones que se dan en el año 2009, se prolongan estos bombeos durante un intervalo de 59 años y se considera la serie de recarga (histórica) empleada para la calibración. El intervalo temporal abarca desde octubre de 2009 a septiembre 2068. Este intervalo se ha dividido en 708 periodos de 1 de duración. Los niveles piezométricos supuestos al comienzo de la simulación, coinciden con la situación obtenida al final de la calibración.

Se ha tenido en cuenta que habría que eliminar la explotación de los sondeos Molinar 1 y 2 si en algún momento se da en el manantial un caudal de 3.6 hm³/año que reemplazaría la explotación de los pozos.

La explotación por sectores considerada en este escenario se presenta en la agrupada por sectores:

Cuadro 7.4. Explotación Barrancones correspondiente a 2009.

Sectores	Pozos		Explotación 2009 (hm ³ /año)
Safarich	283340053	Safarich	0,220
	283380035	Finca Forcall. Madroñal	0,040
Negre	283340019	Campaneta nº 5	0,654
	283340020	Sondeo nº 4	0,654
	283340059	Negre Emergencia	0,654
Ondoxes	293250054	Formiñá nº 2	0,064
	293250055	Ondoxes	0,380
	293260016	Penella nº 2 (Benilloba)	0,077
Molinar	293250037	El Molinar 1	1,813
	293250045	El Molinar 2	1,812
	283330024	Casa La Doncella	0,136
	293310010	Urb. El Estepar	0,090
	293260033	Pozo Torretas	0,038
Total			6,632
En gris los pozos de abastecimiento urbano. En verde los de uso agrario.			

El balance medio en el acuífero es el siguiente: 6,6 hm³ de explotación anual y 7 hm³ de recarga.

En Safarich se da un descenso piezométrico muy brusco durante la simulación. Para frenar el descenso de los sondeos de Safarich se reduce la explotación hasta que coincida con la recarga media y el agua restante se asocia a un pozo ficticio cercano a Safarich y en contacto con la zona central del acuífero (el sector Safarich había quedado aislado mediante una barrera de baja transmisividad).

Resultados obtenidos

La evolución de los sondeos de estudio parece ir en recuperación en todo momento, pero comparando estos gráficos con los de la calibración vemos que en el primer periodo tiene lugar el mayor descenso histórico y posteriormente una recuperación hasta llegar al nivel que había al final de la calibración.

Las evoluciones piezométricas en los sondeos de estudio son:

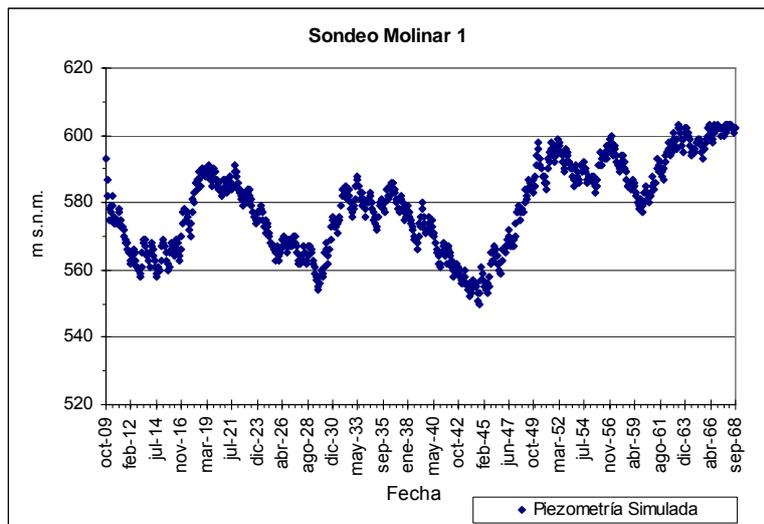


Figura 7.40. Evolución piezométrica en Molinar 1 según hipótesis simulación Escenario 1.

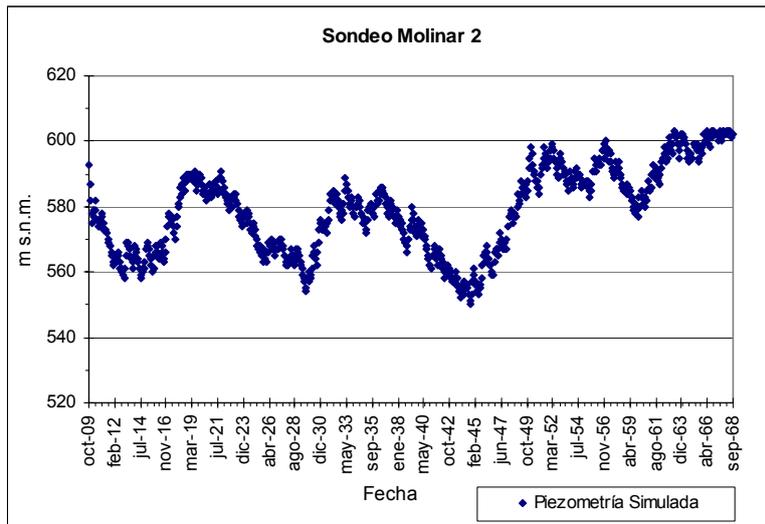


Figura 7.41. Evolución piezométrica en Molinar 2 según hipótesis simulación Escenario 1.

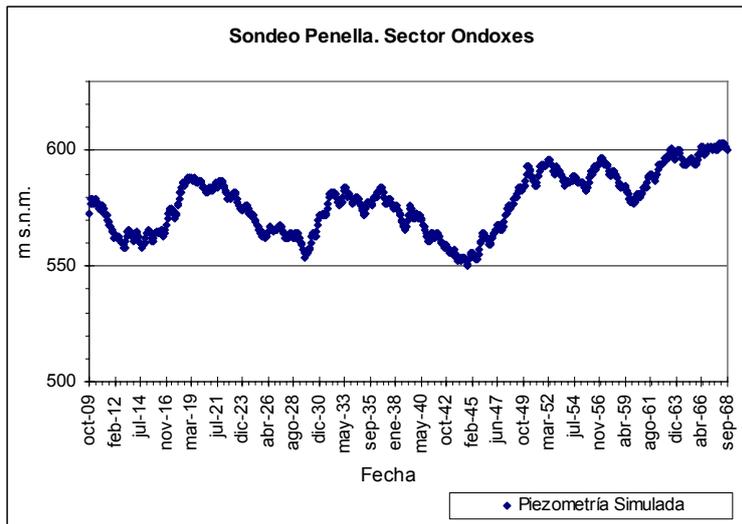


Figura 7.42. Evolución piezométrica en Penella según hipótesis simulación Escenario 1.

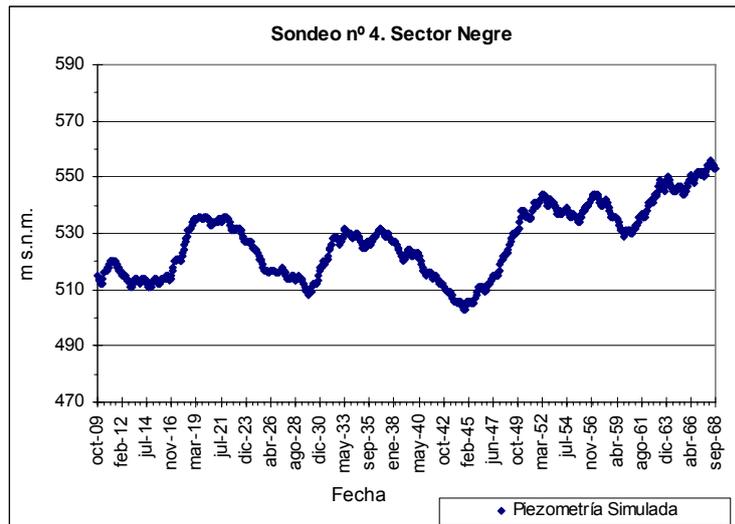


Figura 7.43. Evolución piezométrica en Sondeo nº 4 según hipótesis simulación Escenario 1.

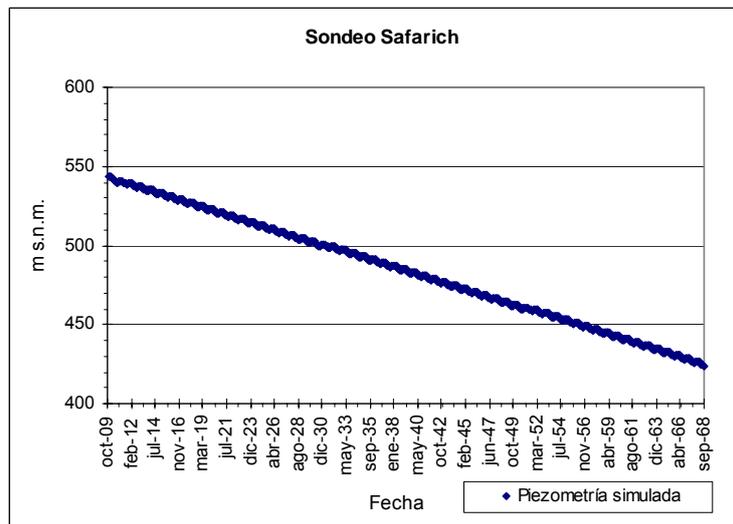


Figura 7.44. Evolución piezométrica en Safarich según hipótesis simulación Escenario 1.

Los caudales surgentes en el manantial según las hipótesis de simulación del Escenario 1 son:

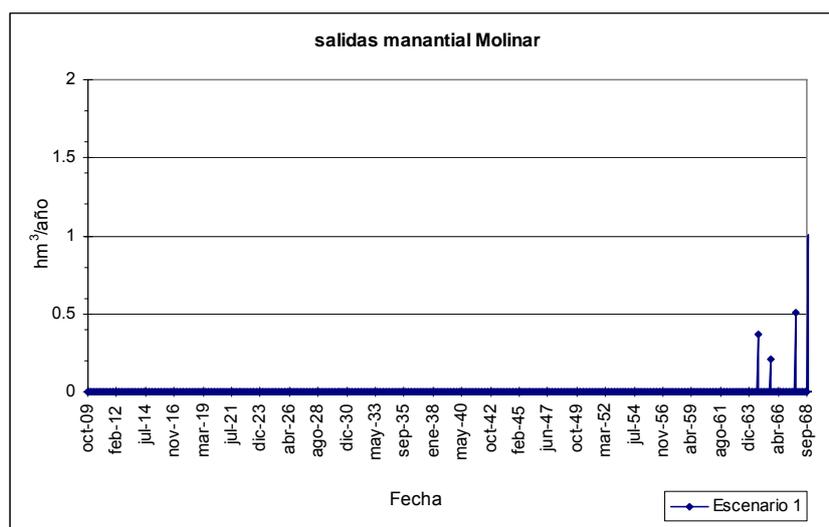


Figura 7.45. Caudales en el Molinar según hipótesis Escenario 1.

El balance hídrico obtenido refleja un llenado del acuífero Barrancones de 9 hm³ para este periodo.

Cuadro 7.5. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 1)

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombeos anuales (hm ³)	Salidas Manantial	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
1	5,61	6,63	0,00	-1,02	-1,02
2	5,44	6,63	0,00	-1,19	-2,21
3	3,92	6,63	0,00	-2,71	-4,92
4	7,17	6,63	0,00	0,54	-4,38
5	5,7	6,63	0,00	-0,94	-5,32
6	6,59	6,63	0,00	-0,04	-5,36
7	7,27	6,63	0,00	0,64	-4,72
8	9,77	6,63	0,00	3,14	-1,58
9	13,17	6,63	0,00	6,54	4,96
10	6,63	6,63	0,00	0	4,96
11	5,63	6,63	0,00	-1	3,96
12	7,4	6,63	0,00	0,76	4,72
13	5,69	6,63	0,00	-0,94	3,78
14	3,82	6,63	0,00	-2,81	0,97
15	4,73	6,63	0,00	-1,91	-0,94
16	3,2	6,63	0,00	-3,43	-4,37
17	7,18	6,63	0,00	0,55	-3,82
18	6,02	6,63	0,00	-0,61	-4,43
19	5,79	6,63	0,00	-0,84	-5,27
20	3,1	6,63	0,00	-3,53	-8,8
21	10,31	6,63	0,00	3,68	-5,12
22	10,74	6,63	0,00	4,1	-1,02

Cuadro 7.5. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 1)

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombeos anuales (hm ³)	Salidas Manantial	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
23	8,58	6,63	0,00	1,95	0,93
24	7,33	6,63	0,00	0,7	1,63
25	6,07	6,63	0,00	-0,56	1,07
26	6,15	6,63	0,00	-0,48	0,59
27	9,4	6,63	0,00	2,77	3,36
28	3,58	6,63	0,00	-3,06	0,3
29	3,8	6,63	0,00	-2,84	-2,54
30	7,25	6,63	0,00	0,62	-1,92
31	4,42	6,63	0,00	-2,21	-4,13
32	4,45	6,63	0,00	-2,18	-6,31
33	5,4	6,63	0,00	-1,23	-7,54
34	3,96	6,63	0,00	-2,67	-10,21
35	4,87	6,63	0,00	-1,77	-11,98
36	9,26	6,63	0,00	2,63	-9,35
37	7,63	6,63	0,00	1	-8,35
38	9,54	6,63	0,00	2,91	-5,44
39	11,11	6,63	0,00	4,47	-0,97
40	9,21	6,63	0,00	2,57	1,6
41	9,03	6,63	0,00	2,39	3,99
42	8,17	6,63	0,00	1,54	5,53
43	6,05	6,63	0,00	-0,58	4,95
44	5,66	6,63	0,00	-0,97	3,98
45	6,73	6,63	0,00	0,09	4,07
46	5,08	6,63	0,00	-1,55	2,52
47	10,77	6,63	0,00	4,14	6,66
48	5,17	6,63	0,00	-1,47	5,19
49	4,31	6,63	0,00	-2,33	2,86
50	3,57	6,63	0,00	-3,07	-0,21
51	8	6,63	0,00	1,36	1,15
52	9,3	6,63	0,00	2,67	3,82
53	8,59	6,63	0,00	1,95	5,77
54	8,47	6,63	0,37	1,47	7,24
55	6,47	6,63	0,20	-0,37	6,87
56	6,61	6,63	0,00	-0,02	6,85
57	8,92	6,63	0,50	1,78	8,63
58	7,88	6,63	1,01	0,24	8,87
59	9,27	6,63	2,07	0,57	9,44
Total	405	391	4,15	9,44	
Media	7	6,6	0,07		

7.1.2.8.B. Escenario 2

Las hipótesis de simulación son similares al Escenario 1 respecto de la recarga, discretización temporal y niveles piezométricos iniciales.

La explotación en el acuífero es similar a la explotación histórica máxima conocida. En este escenario se consideran 7,9 hm³ de explotación anual, correspondientes al año 1999 (ver Figura 7.30).

Los bombeos correspondientes al pozo 283340029 en el año 1999 se asignan al pozo Calderete, puesto que deja de funcionar en el año 2000.

La explotación por sectores considerada en este escenario se presenta en la agrupada por sectores:

Cuadro 7.6. Explotación Barrancones correspondiente a 1999.

Sectores	Pozos	Explotación 1999 (hm ³ /año)	
Safarich	283340053	Safarich	0,040
	283380035	Finca Forcall. Madroñal	0,040
Negre	283340019	Campaneta nº 5	0,604
	283340020	Sondeo nº 4	0,604
	283340059	Negre Emergencia	0,604
Ondoxes	293250054	Formiñá nº 2	0,410
	293260016	Penella nº 2 (Benilloba)	0,150
Molinar	293250037	El Molinar 1	2,460
	293250045	El Molinar 2	2,460
	283330024	Casa La Doncella	0,300
	293310010	Urb. El Estepar	0,080
	283340072	Calderete	0,150
Total			7,900
En gris los pozos de abastecimiento urbano. En verde los de uso agrario.			

El balance medio en el acuífero es el siguiente: 7,9 hm³ de explotación anual y 7 hm³ de recarga.

Resultados obtenidos

El manantial permanece seco durante toda la simulación.

Las evoluciones piezométricas en los sondeos de estudio son:

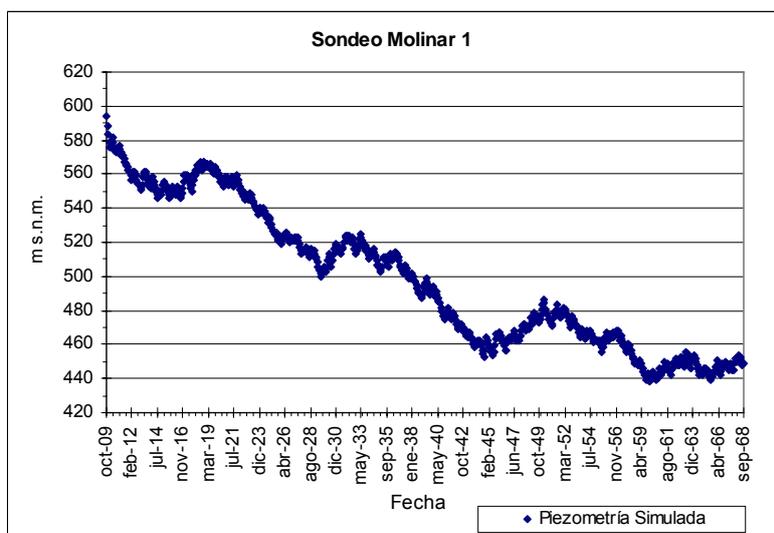


Figura 7.46. Evolución piezométrica en Molinar 1 según hipótesis simulación Escenario 2.

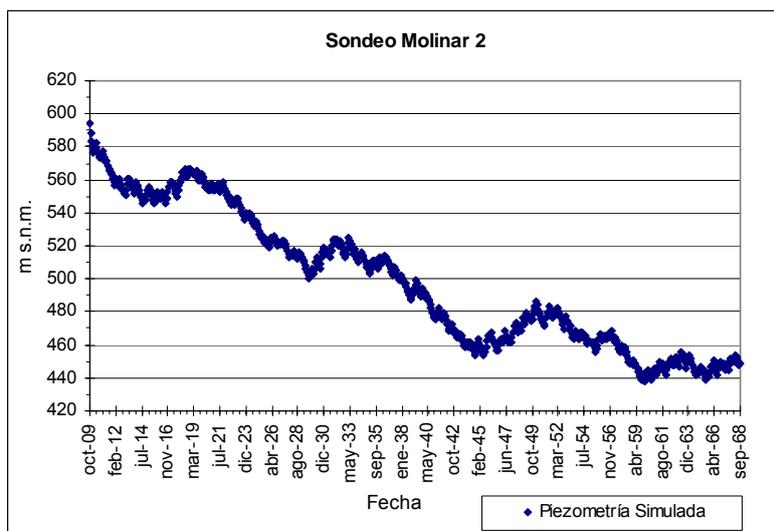


Figura 7.47. Evolución piezométrica en Molinar 2 según hipótesis simulación Escenario 2.



Figura 7.48. Evolución piezométrica en Penella según hipótesis simulación Escenario 2.

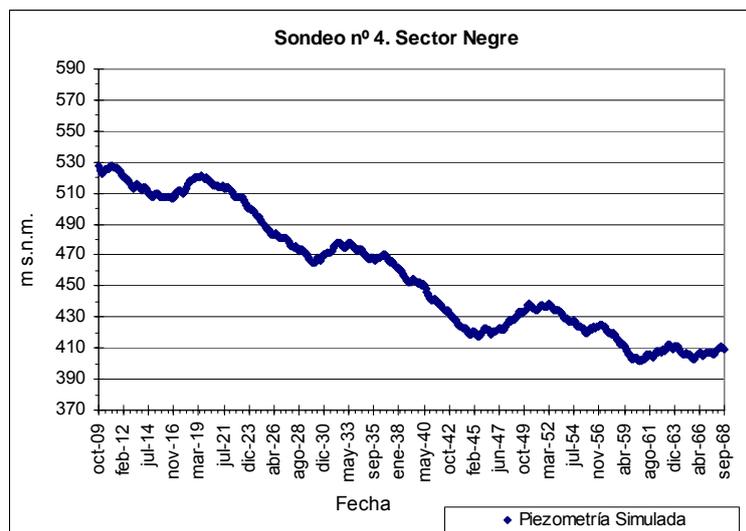


Figura 7.49. Evolución piezométrica en Sondeo nº 4 según hipótesis simulación Escenario 2.

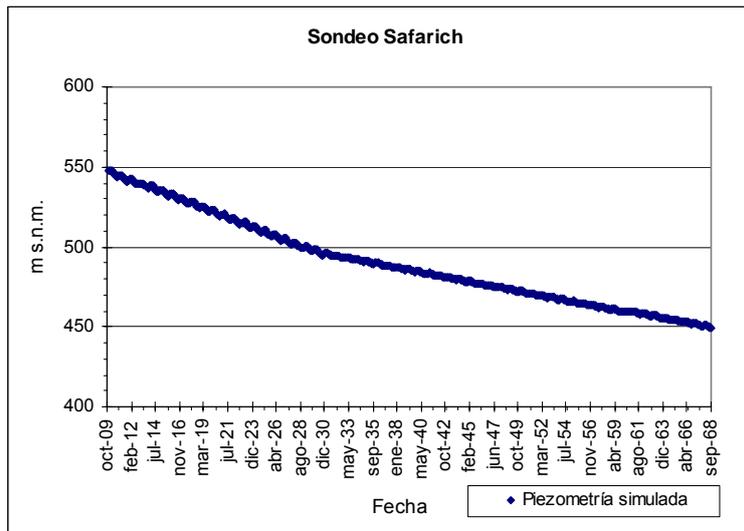


Figura 7.50. Evolución piezométrica en Safarich según hipótesis simulación Escenario 2.

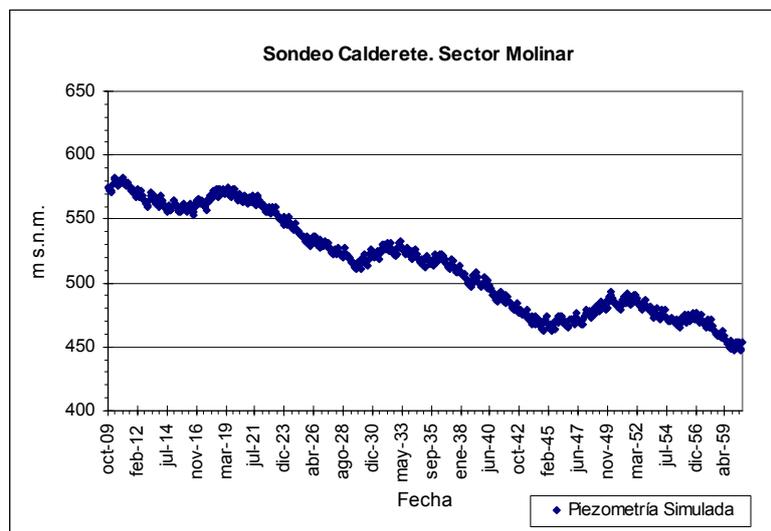


Figura 7.51. Evolución piezométrica en Calderete según hipótesis simulación Escenario 2.

El balance hídrico obtenido refleja un vaciado del acuífero Barrancones de 61 hm³ para este periodo.

Cuadro 7.7. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 2).

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombeos anuales (hm ³)	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
1	5,61	7,91	-2,3	-2,3
2	5,44	7,91	-2,46	-4,76
3	3,92	7,91	-3,98	-8,74
4	7,17	7,91	-0,74	-9,48
5	5,7	7,91	-2,21	-11,69

Cuadro 7.7. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 2).

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombes anuales (hm ³)	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
6	6,59	7,91	-1,32	-13,01
7	7,27	7,91	-0,63	-13,64
8	9,77	7,91	1,86	-11,78
9	13,17	7,91	5,27	-6,51
10	6,63	7,91	-1,27	-7,78
11	5,63	7,91	-2,28	-10,06
12	7,4	7,91	-0,51	-10,57
13	5,69	7,91	-2,21	-12,78
14	3,82	7,91	-4,09	-16,87
15	4,73	7,91	-3,18	-20,05
16	3,2	7,91	-4,71	-24,76
17	7,18	7,91	-0,73	-25,49
18	6,02	7,91	-1,88	-27,37
19	5,79	7,91	-2,11	-29,48
20	3,1	7,91	-4,8	-34,28
21	10,31	7,91	2,41	-31,87
22	10,74	7,91	2,83	-29,04
23	8,58	7,91	0,67	-28,37
24	7,33	7,91	-0,58	-28,95
25	6,07	7,91	-1,84	-30,79
26	6,15	7,91	-1,75	-32,54
27	9,4	7,91	1,5	-31,04
28	3,58	7,91	-4,33	-35,37
29	3,8	7,91	-4,11	-39,48
30	7,25	7,91	-0,66	-40,14
31	4,42	7,91	-3,48	-43,62
32	4,45	7,91	-3,45	-47,07
33	5,4	7,91	-2,5	-49,57
34	3,96	7,91	-3,94	-53,51
35	4,87	7,91	-3,04	-56,55
36	9,26	7,91	1,36	-55,19
37	7,63	7,91	-0,28	-55,47
38	9,54	7,91	1,63	-53,84
39	11,11	7,91	3,2	-50,64
40	9,21	7,91	1,3	-49,34
41	9,03	7,91	1,12	-48,22
42	8,17	7,91	0,26	-47,96
43	6,05	7,91	-1,85	-49,81
44	5,66	7,91	-2,24	-52,05
45	6,73	7,91	-1,18	-53,23
46	5,08	7,91	-2,82	-56,05
47	10,77	7,91	2,87	-53,18
48	5,17	7,91	-2,74	-55,92
49	4,31	7,91	-3,6	-59,52
50	3,57	7,91	-4,34	-63,86

Cuadro 7.7. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 2).

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombeos anuales (hm ³)	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
51	8	7,91	0,09	-63,77
52	9,3	7,91	1,39	-62,38
53	8,59	7,91	0,68	-61,7
54	8,47	7,91	0,57	-61,13
55	6,47	7,91	-1,43	-62,56
56	6,61	7,91	-1,29	-63,85
57	8,92	7,91	1,01	-62,84
58	7,88	7,91	-0,02	-62,86
59	9,27	7,91	1,37	-61,49
Total	405	466	-61,49	
Media	7	7,9		

7.1.2.8.C. Escenario 3

El tercer escenario corresponde a una simulación de un periodo largo con un incremento de la demanda urbana proporcional al crecimiento poblacional esperado.

El periodo temporal comprende desde octubre de 2009 hasta septiembre de 2060. El intervalo se divide en 612 periodos de un mes de duración.

Para el cálculo de la demanda futura en los próximos 50 años se realiza una estimación del crecimiento poblacional esperado, en segundo lugar se consideran una dotaciones por habitante/día. Con estos datos (previsiones de crecimiento poblacional y de demanda por habitante) se obtiene la demanda futura necesaria a obtener de recursos del acuífero de Barrancones.

Previsión de crecimiento poblacional

Para el cálculo de la previsión de crecimiento demográfico en los próximos 50 años se representa la evolución de la población de los municipios afectados según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) en los últimos 14 años. Se traza la recta de regresión característica de cada municipio (Alcoy, Ibi, Cocentaina y Benilloba) y las ecuaciones características (Figura 7.52) se extrapolan a años venideros obteniéndose el crecimiento demográfico esperado (Figura 7.53).

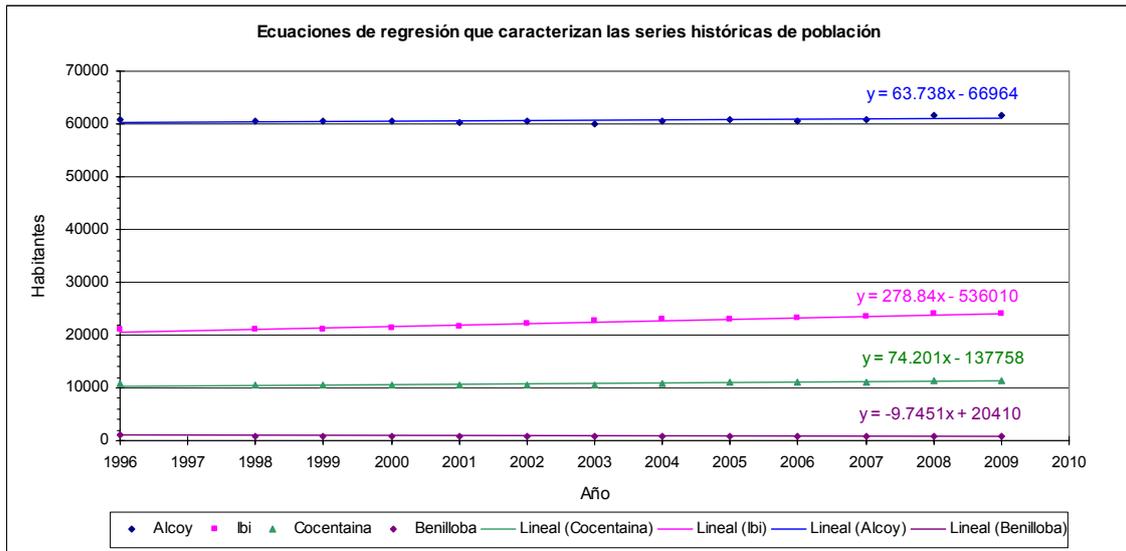


Figura 7.52. Número de habitantes (INE) en las poblaciones abastecidas del acuífero Barrancones.

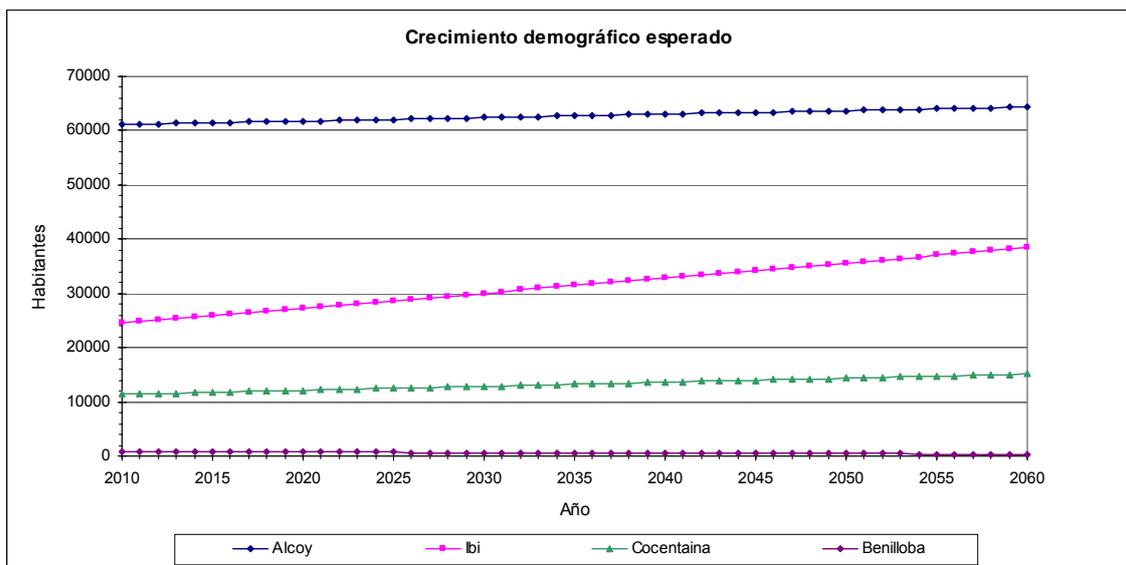


Figura 7.53. Crecimiento esperado en los municipios que reciben agua de Barrancones.

Previsión de demanda

Como se recoge en la normativa vigente del Plan Hidrológico del Júcar (1997), las dotaciones máximas, incluyendo pérdidas, que podrán ser asignadas para el abastecimiento de la población permanente serán las siguientes:

Cuadro 7.8. Dotaciones máximas asignadas para el abastecimiento urbano en función de la actividad industrial en l/habitante y día, según PHJ (1997).

Población Uso	< 10.000 hab.		10.000-50.000 hab.		50.000 - 250.000 hab.		> 250.000 hab.	
	1 ^{er}	2 ^o	1 ^{er}	2 ^o	1 ^{er}	2 ^o	1 ^{er}	2 ^o
	horizonte	horizonte	horizonte	horizonte	horizonte	horizonte	horizonte	horizonte
Totales Actividad								
Industrial Comercial								
Ganadera								
Alta	270	280	300	310	350	360	410	410
Media	240	250	270	280	310	330	370	380
Baja	210	220	240	250	280	300	330	350

En función de los datos recogidos en el Cuadro 7.8 y salvo pequeñas diferencias manifestadas por la Diputación se Alicante se consideran: para Ibi y Cocentaina 280 l/hab y día (como se recoge en el PHJ), para Alcoy 307 l/hab y día por ser la demanda real actual y 251 l/hab y día para Benilloba (por ser la demanda real actual y porque tiene una actividad industrial alta). Una vez obtenida la previsión de demanda por municipios se calcula el porcentaje de ésta cubierta con recursos del acuífero Barrancones, los resultados se pueden consultar en el Cuadro 7.9.

Cuadro 7.9. Previsión de la demanda en los municipios abastecidos por Barrancones.

	Procedentes de pozos de Barrancones (año 2009)		Procedentes de pozos de otros acuíferos (Pinar de Camús, Salt San Cristóbal y Cabranta, año 2009)		Total demanda (l/hab día)	Porcentaje de demanda cubierta con los recursos del acuífero Barrancones según la demanda actual	Nº de habitantes	Previsiones Diputación de Alicante (l/hab. día)	Demanda necesaria a cumplir con recursos del acuífero Barrancones según previsiones Diputación y el porcentaje de aportaciones actuales	
	hm ³ /año	l/hab y día	hm ³ /año	l/hab y día					l/hab. día	hm ³ /año (2009)
Ibi	1,96	223	0	0	223	100	24.113	280	280	2,5
Alcoy	3,71	165	3,2	142	307	54	61.552	307	166	3,73
Cocentaina	0,44	106	0,9	215	321	33	11.467	280	92	0,38
Benilloba	0,08	251	0	0	251	100	839	251	251	0,08

A las previsiones de demanda por municipio se les aplica el crecimiento demográfico esperado (Figura 7.53) y se obtiene la demanda futura en cada sector del acuífero:

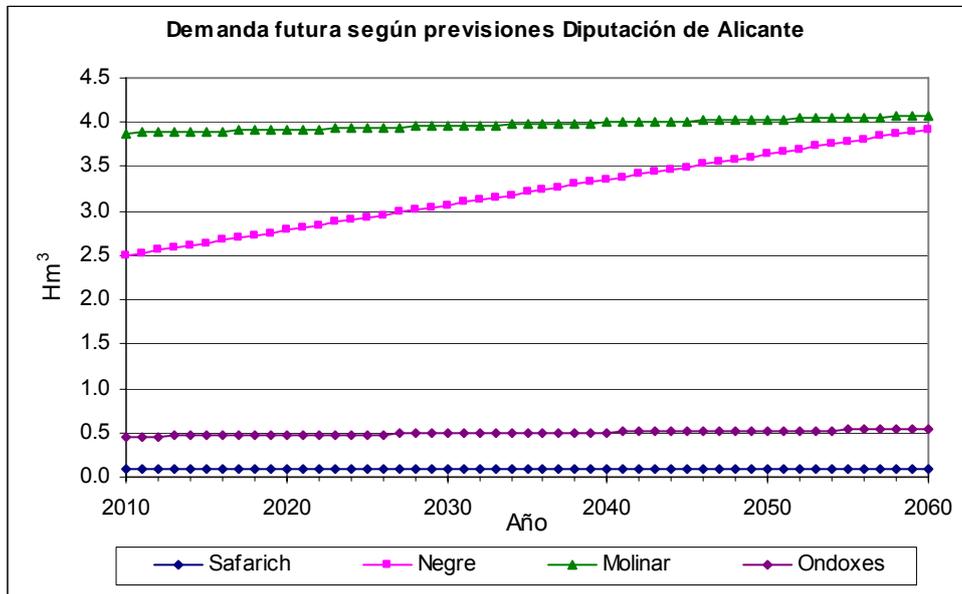


Figura 7.54. Demanda futura en Barrancones por sectores.

El incremento de la demanda se aplica sólo a los pozos de abastecimiento urbano, considerando que los de uso agrícola permanecen en la situación del año 2009. En Ibi (municipio abastecido por el sector del Negre) se considera que sólo 1 hm³ de los recursos requeridos se toman de los sondeos del Negre, el resto se obtienen del pozo Calderete (del sector Molinar). La demanda futura por sectores, queda:

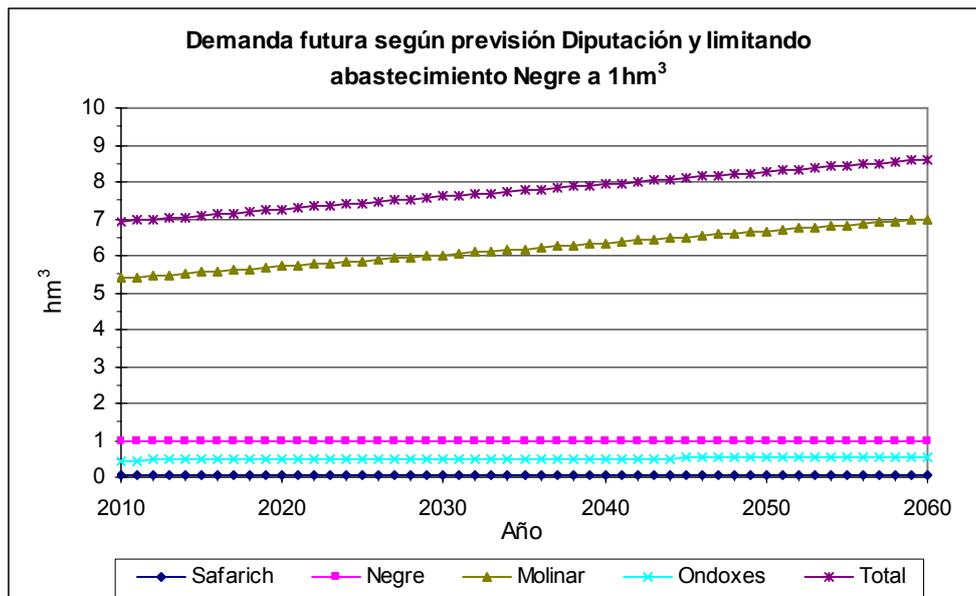


Figura 7.55. Demanda futura por sectores limitando explotación en el sector Negre.

Un gran porcentaje de la demanda requerida se obtiene del sector Molinar, la explotación en cada uno de los sondeos presentes en esta zona se muestra en la siguiente figura:

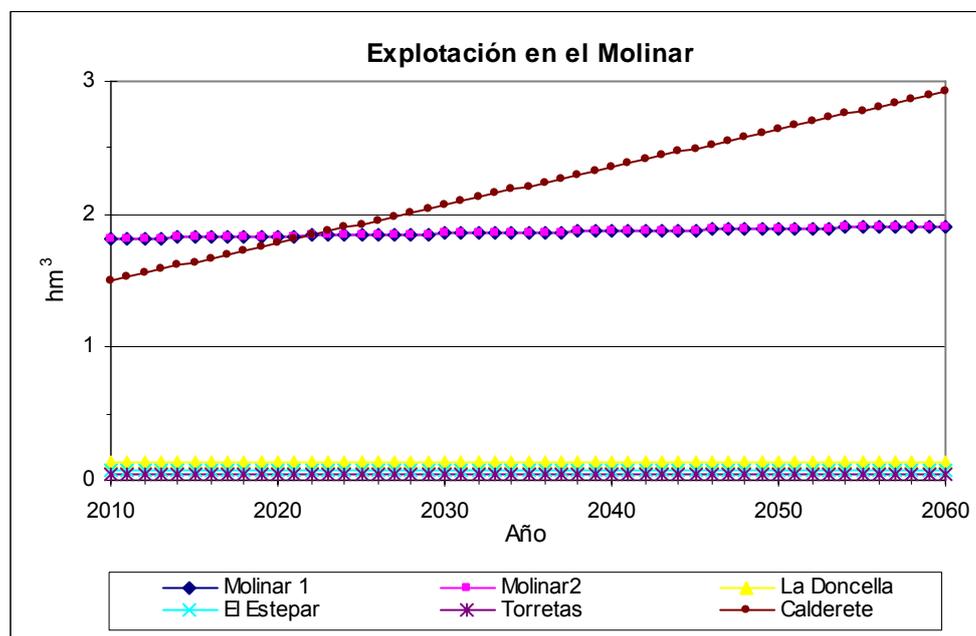


Figura 7.56. Explotación en sondeos del sector Molinar.

Resultados obtenidos

El manantial permanece seco durante toda la simulación.

Las evoluciones piezométricas en los sondeos de estudio son:

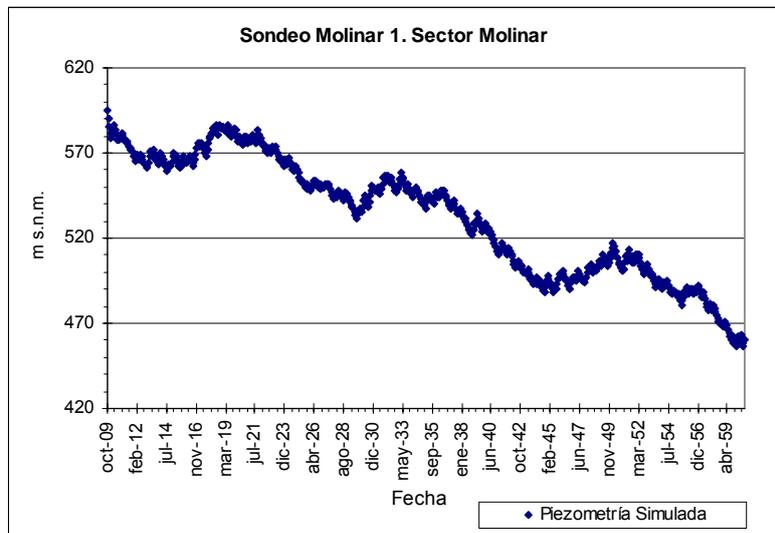


Figura 7.57. Evolución piezométrica en Molinar 1 según hipótesis simulación Escenario 3.

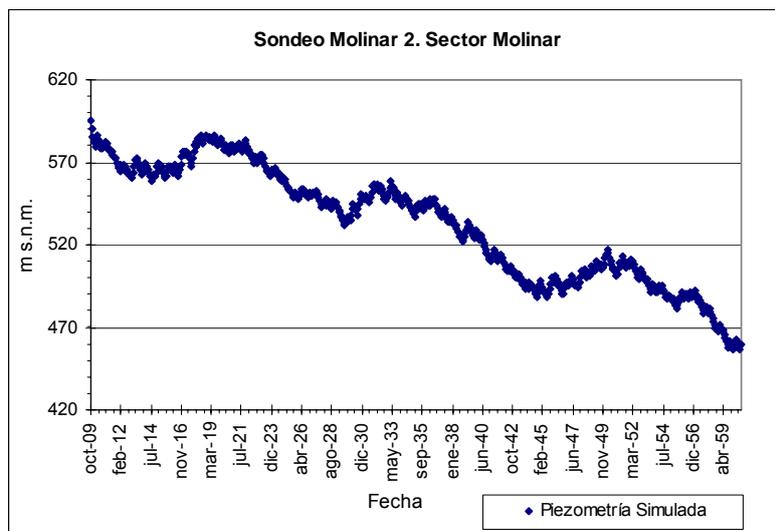


Figura 7.58. Evolución piezométrica en Molinar 2 según hipótesis simulación Escenario 3.

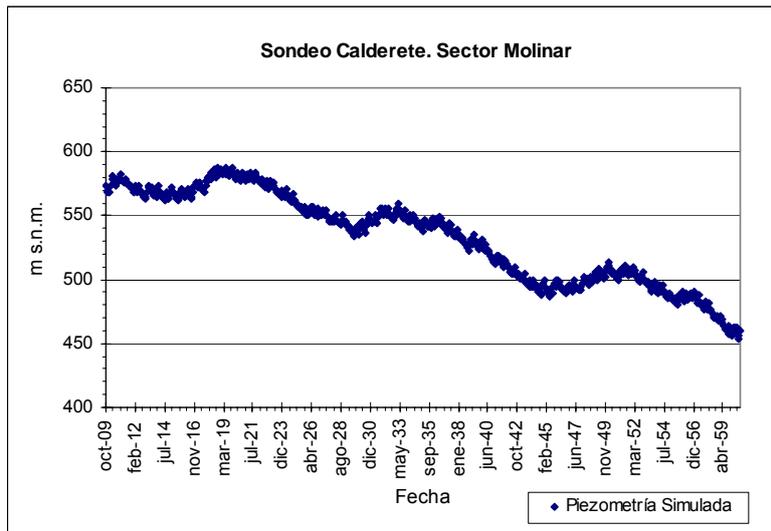


Figura 7.59. Evolución piezométrica en Calderete según hipótesis simulación Escenario 3.

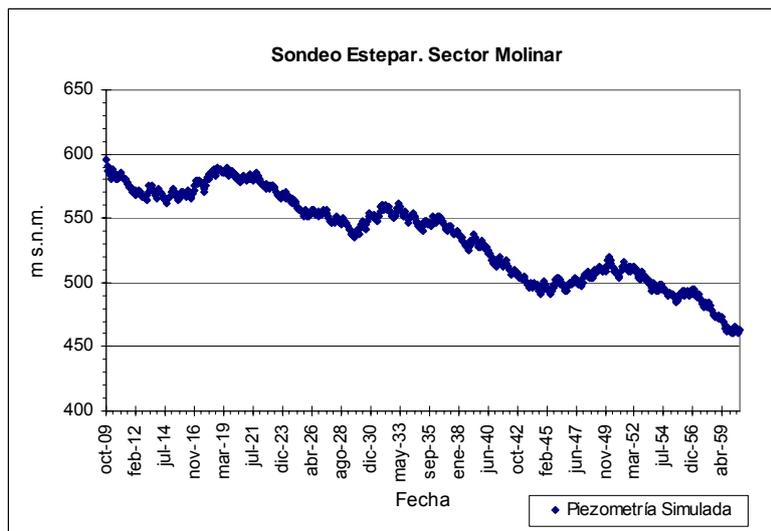


Figura 7.60. Evolución piezométrica en El Estepar según hipótesis simulación Escenario 3.

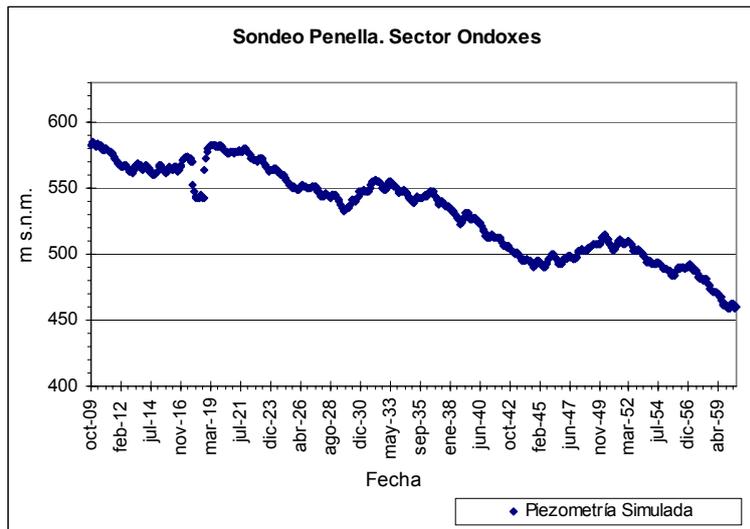


Figura 7.61. Evolución piezométrica en Penella según hipótesis simulación Escenario 3.

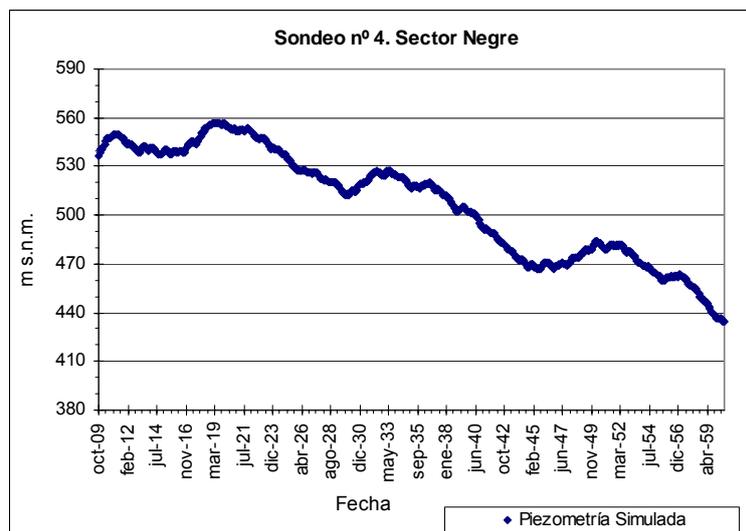


Figura 7.62. Evolución piezométrica en Sondeo nº 4 según hipótesis simulación Escenario 3.

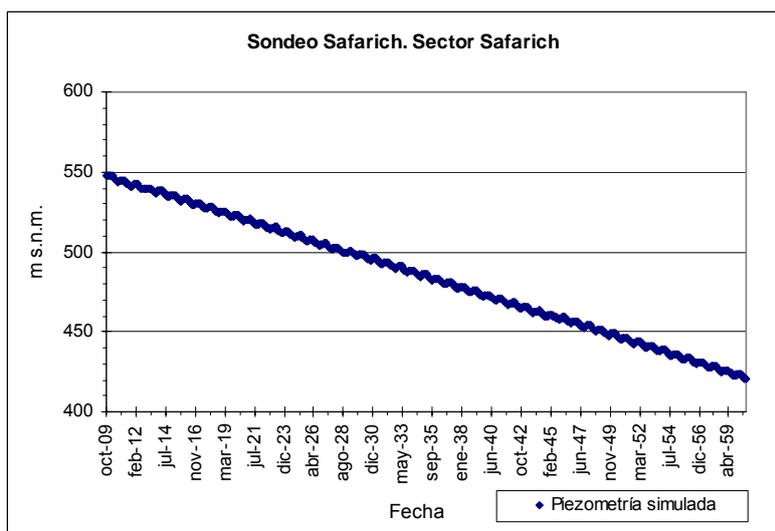


Figura 7.63. Evolución piezométrica en Safarich según hipótesis simulación Escenario 3.

El balance hídrico obtenido refleja un vaciado del acuífero Barrancones de 57 hm³ para este periodo.

Cuadro 7.10. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 3)

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombes anuales (hm ³)	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
1	5,61	6,92	-1,31	-1,31
2	5,44	6,96	-1,51	-2,82
3	3,92	6,99	-3,07	-5,89
4	7,17	7,02	0,15	-5,74
5	5,7	7,06	-1,36	-7,1
6	6,59	7,09	-0,5	-7,6
7	7,27	7,13	0,15	-7,45
8	9,77	7,16	2,61	-4,84
9	13,17	7,57	5,6	0,76
10	6,63	7,23	-0,6	0,16
11	5,63	7,26	-1,63	-1,47
12	7,4	7,3	0,1	-1,37
13	5,69	7,33	-1,64	-3,01
14	3,82	7,36	-3,55	-6,56
15	4,73	7,4	-2,67	-9,23
16	3,2	7,43	-4,23	-13,46
17	7,18	7,47	-0,29	-13,75

Cuadro 7.10. Balance hídrico en el acuífero Barrancones (escenario 3)

Año	Recarga anual (hm ³)	Bombesos anuales (hm ³)	Balance (hm ³)	Balance acumulado (hm ³)
18	6,02	7,5	-1,48	-15,23
19	5,79	7,53	-1,74	-16,97
20	3,1	7,57	-4,46	-21,43
21	10,31	7,6	2,71	-18,72
22	10,74	7,64	3,1	-15,62
23	8,58	7,67	0,91	-14,71
24	7,33	7,7	-0,38	-15,09
25	6,07	7,74	-1,67	-16,76
26	6,15	7,77	-1,62	-18,38
27	9,4	7,81	1,6	-16,78
28	3,58	7,84	-4,26	-21,04
29	3,8	7,87	-4,08	-25,12
30	7,25	7,91	-0,66	-25,78
31	4,42	7,94	-3,52	-29,3
32	4,45	7,98	-3,52	-32,82
33	5,4	8,01	-2,61	-35,43
34	3,96	8,04	-4,08	-39,51
35	4,87	8,08	-3,21	-42,72
36	9,26	8,11	1,15	-41,57
37	7,63	8,14	-0,52	-42,09
38	9,54	8,18	1,36	-40,73
39	11,11	8,21	2,89	-37,84
40	9,21	8,25	0,96	-36,88
41	9,03	8,28	0,75	-36,13
42	8,17	8,31	-0,15	-36,28
43	6,05	8,35	-2,3	-38,58
44	5,66	8,38	-2,72	-41,3
45	6,73	8,42	-1,69	-42,99
46	5,08	8,45	-3,37	-46,36
47	10,77	8,48	2,29	-44,07
48	5,17	8,52	-3,35	-47,42
49	4,31	8,55	-4,25	-51,67
50	3,57	8,59	-5,02	-56,69
Total	339	396	-56,7	
Media	6,8	7,9		

7.2. ACUÍFERO VOLTES

7.2.1. Modelo conceptual

El acuífero Voltes responde al esquema de un acuífero libre. El sustrato impermeable está formado por las margas del Langhiense y, lateralmente hacia el este, por las arcillas y yesos del Keuper (Plano 15).

Los límites hidrogeológicos del acuífero se define por la estructura en sinclinal que configuran límites cerrados por el afloramiento del impermeable de base Langhiense, salvo en el límite oriental que se asocia a la presencia de arcillas, margas y yesos en facies Keuper, a favor del accidente del Castalla–Río Verde. Este límite se define como abierto y, en régimen natural, estaría conectado hidráulicamente con formaciones detríticas del Plio–Cuaternario, constituido por materiales de pie de mote y aluviones del Río Verde, donde se produciría la descarga natural del acuífero. En las bases de datos de IGME y DPA no se conoce ningún manantial histórico dentro del acuífero.

En régimen natural, el sistema se recarga únicamente por infiltración del agua de lluvia a través de los afloramientos permeables del Serravalliense y se descarga por transferencia lateral hacia los materiales detríticos del Plio–Cuaternario en dirección al cauce del Río Verde. En régimen influenciado, las descargas se producen exclusivamente a través de las explotaciones del pozo 2833–30066.

Considerando la definición de límites hidrogeológico del acuífero y la falta de manantiales que actúen como descarga natural, en régimen estacionario el flujo subterráneo tenía una componente principal de dirección NE–SO en dirección hacia el Río Verde. La superficie piezométrica estaría comprendida entre cotas del orden de 700 m s.n.m. en la zona central suroccidental del acuífero, paraje del Rincón del Barranco de Junosa, y de 640 m s.n.m. en el cauce del Río Verde, en las proximidades de la población de Castalla, siendo el gradiente piezométrico del inferior al 1 % en la formación carbonatada saturada y superior al 2 % en las formaciones detríticas del Pliocuatnario que drenan hacia el cauce del Río Verde.

En los sondeos de captación existentes el tramo permeable del Serravaliense presenta profundidades que oscilan entre 130 y 172 m, y un caudal de explotación actual de 35 l/s.

La información referente a los parámetros hidrodinámica del acuífero apunta a valores de transmisividad entre 200 y 300 m²/día de transmisividad (DPA, 2001) y una porosidad comprendida entre el 2 y 6 % (Villanueva, M., Iglesias, A.). De este modo se podría asignar a las calcarenitas del Serravaliense una permeabilidad superior a 1 m/día.

7.2.1.1. Piezometría y funcionamiento hidrodinámico

La evolución piezométrica en el acuífero Voltes se determina a partir de los puntos de control 2833–60001 y 2833–30066 (Figura 7.64). La comparativa piezométrica entre ambos sondeos muestra un periodo inicial en equilibrio, que se ve interrumpido al final de la estación estival del 2004, en el que se aprecia como la cota de agua absoluta comienza a descender, debido al incremento de las extracciones en el acuífero tras la puesta en funcionamiento del pozo Voltes II (2833–30066).

El sondeo 2833–60001, denominado Voltes I, ha sido el principal pozo de abastecimiento a Castalla hasta fechas recientes. El registro piezométrico se inicia en marzo de 1974, con una cota de agua absoluta a 674 m s.n.m. Desde esta primera toma hasta junio de 2004, la evolución piezométrica es indicativa de un acuífero en equilibrio, con fluctuaciones del nivel en función de la estacionalidad y cuantía de las precipitaciones anuales. Hacia el final del periodo estival de 2004, se empieza a apreciar una tendencia descendente en la evolución de la cota de agua, coincidente con el inicio de las extracciones del pozo Voltes II. Este último, realizado por la DPA para satisfacer el aumento de la demanda hídrica del municipio de Castalla, es el actual pozo de abastecimiento a Castalla, con unas extracciones medias próximas a 0,8 hm³/año, supera en 0,3 hm³/año los bombeos en el pozo Voltes I. Su evolución piezométrica está marcada por una tendencia descendente como consecuencia de la sobreexplotación. Entre febrero de 2002 y julio de 2006, la cota de agua desciende de 663,04 m s.n.m. a 648,98 m s.n.m., lo que equivale a un ritmo medio de descenso de 3,5 m/años. Esta tendencia se atenúa a partir del verano de 2006, la cota de agua comienza a descender de manera más suave a un ritmo medio de descenso inferior a 1 m/año, que sitúa la cota de agua a 646,47 m s.n.m. en septiembre de 2009. Desde esta fecha hasta la actualidad el acuífero se encuentra en equilibrio.

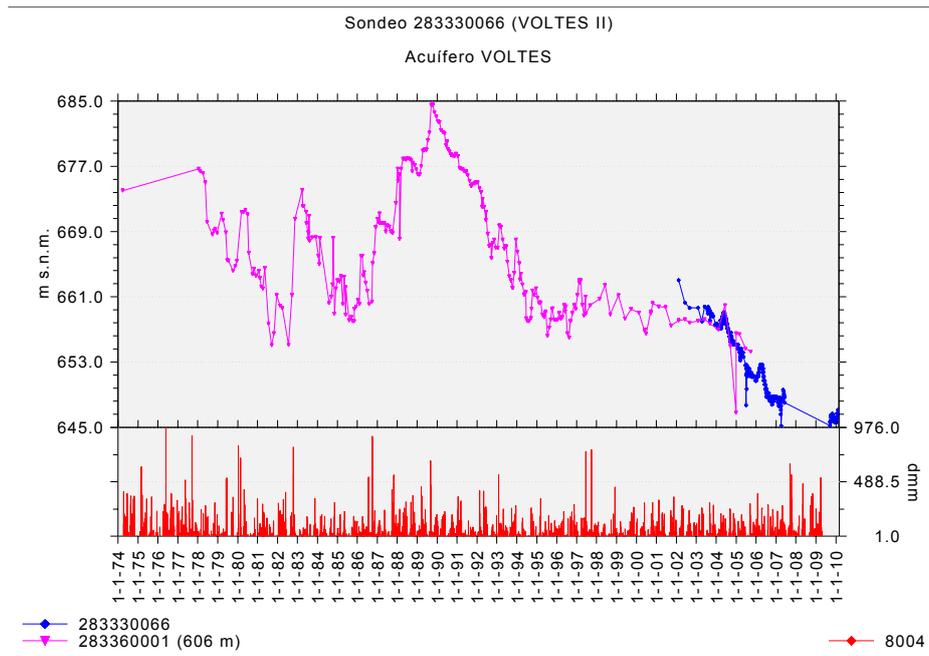


Figura 7.64. Evolución en el piezómetro 2833–30066. Acuífero Voltes

El flujo subterráneo principal se produce hacia el pozo de abastecimiento a Castalla 2833–30066 desde de su puesta en funcionamiento (Figura 7.65).

El gradiente piezométrico se estima en un 0,5 %, deducida de las cotas de aguas absolutas 654,28 y 651,26 m s.n.m., observadas en los sondeos 2833–30066 y 2833–60001, respectivamente, en septiembre de 2005.

Figura 7.65. Mapa de isopiezas del acuífero Voltes. Septiembre 2009.

7.2.1.2. Balance hídrico

La recarga ha sido estimada por la DPA (2007) en 0,5 hm³/año, por infiltración de agua de lluvia sobre los afloramientos permeables del Mioceno medio en el paraje Pinar de La Umbría.

Se desconoce la existencia de un manantial histórico que pueda ser representativo de la descarga del acuífero Voltes. En función de la caracterización geométrica del acuífero se deduce que el flujo subterráneo en régimen natural se produciría hacia el noreste en dirección hacia el cauce del río Verde, aprovechando los materiales del Cuaternario que aflora en el borde oriental.

Las salidas se producen, actualmente, exclusivamente por bombes en el pozo Voltes II (2833–30066), con un volumen de 0,58 hm³/año para el periodo 2005–2008. En el Cuadro 7.11 se incluye la evolución histórica de las extracciones en el sistema.

Cuadro 7.11. Extracciones por bombeo en el acuífero Voltes

Código	Año	Extracciones (m ³ /año)	Valor medio (m ³ /año)
283360001	1985	649.940	598.181
283360001	1986	534.550	
283360001	1987	590.774	
283360001	1988	551.430	
283360001	1989	574.804	
283360001	1990	626.602	
283360001	1991	631.330	
283360001	1992	731.330	
283360001	1994	621.675	
283360001	1995	541.597	
283360001	1996	525.957	
283360001	1998	504.350	
283330066	2005	586.645		580.415
283330066	2006	565.289	
283330066	2007	589.310	

De este modo a partir de estos datos se deduce un balance hídrico del acuífero deficitario en 0,1 hm³/año. El análisis de la evolución piezométrica en el punto de control 2833–30066 coincide con este supuesto, ya que se aprecia un progresivo y casi ininterrumpido descenso desde su puesta en funcionamiento en el año 2001.

7.2.1.3. Calidad del agua

Las determinaciones fisicoquímicas realizadas en la muestra tomada el día 03/02/2009 en el punto de control de calidad de las aguas subterráneas de la DPA, 2833–30066, refleja las características de un agua tibia (18,7 °C), de salinidad media (640 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH ligeramente básico (7,54).

El análisis realizado por el IGME, junto con la información hidroquímica, de los puntos de control de calidad 2833–60001 y 2833–30066 (Figura 7.66), procedentes de la Base de Datos de la DPA (BDA), indican una facies del agua de tipo bicarbonatada cálcica, en consonancia con los materiales calizos del Serravaliense para el caso del sondeo que capta únicamente el tramo mioceno (2833–60001), mientras que la entrada de aguas procedentes de los materiales de naturaleza dolomítica del Oligoceno-Eoceno se adecua más a facies de tipo bicarbonatada cálcica–magnésica. Presenta una mineralización media con una conductividad inferior a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Por otro lado, no se aprecia una variación significativa de la calidad del agua a pesar de la profundización del nivel piezométrico en el acuífero, observada en el periodo 2004-2008.

A la vista de los resultados analíticos el agua es apta para el consumo humano, según el R.D. 140/2003, de 7 febrero. Respecto a los nitratos presentan concentraciones por debajo de los 5 mg/l.

En cuanto a la calidad del agua para uso agrícola, por lo general son de tipo C_2S_1 . Se trata de agua de salinidad media y baja en sodio (Figura 7.67). Por lo que puede usarse en suelos con un grado moderado de lavado y por su bajo contenido en sodio, presenta escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable.

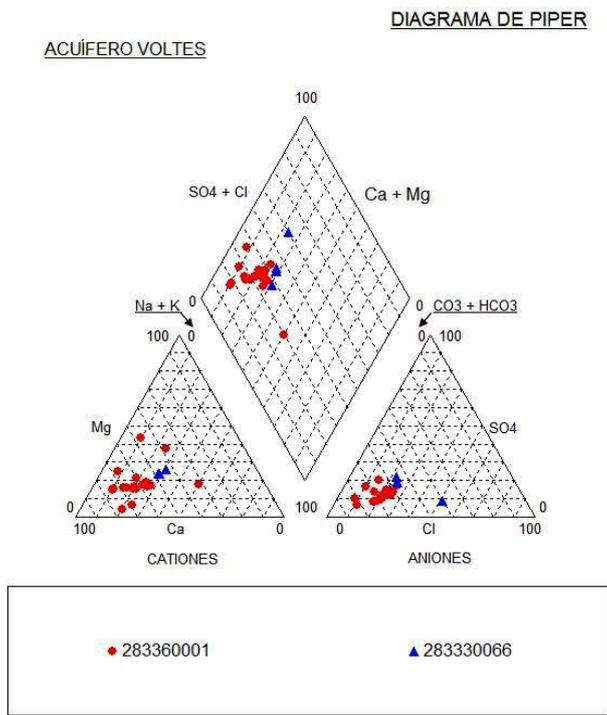


Figura 7.66. Diagrama Piper representativo del acuífero Voltes

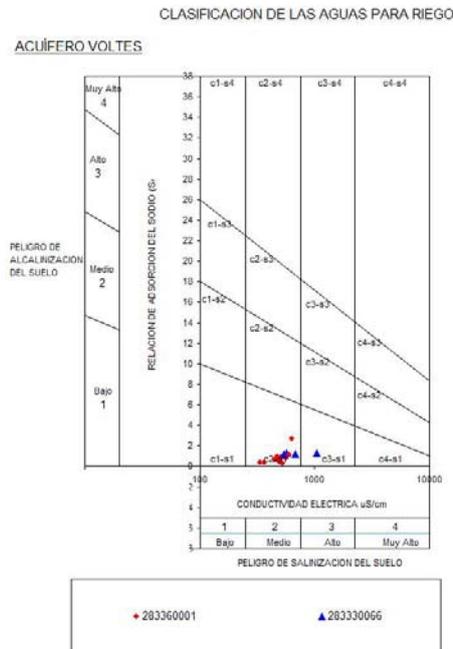


Figura 7.67. Clasificación Riverside para las

7.2.2. Modelo matemático

7.2.2.1. Introducción

Para la construcción del modelo de flujo de agua subterránea del acuífero de Voltes se ha llevado a cabo, en primer lugar, una exhaustiva recopilación de información geológica que permite definir la geometría del sistema y elaborar un modelo conceptual de funcionamiento del acuífero en régimen natural, suponiendo una dinámica en el flujo de agua coherente con la información disponible. A continuación, tomando como referencia un periodo representativo en la evolución del acuífero, se lleva a cabo la calibración del sistema, es decir, el ajuste de los parámetros hidráulicos que intervienen, de forma que, la evolución del sistema simulado reproduzca la situación observada. El tratamiento que se da al acuífero en el estudio para la calibración es el de un sistema en modo libre con transmisividad variable en función del espesor saturado.

La metodología aplicada para la calibración manual del modelo de flujo hídrico subterráneo en el acuífero de Voltes verifica el principio de parsimonia, según el cual se debe desarrollar un modelo tan simple como sea posible mientras cuente con los procesos del sistema y las características evidentes en las observaciones y mientras respete la información del conjunto. En base a este criterio, se elabora el modelo que es completado y corregido con la introducción de los pozos. Posteriormente se traslada el modelo conceptual que permite la definición de las propiedades hidráulicas básicas de funcionamiento. Se incorporan las medidas correspondientes a los piezómetros de observación y a partir de este momento se simulan diferentes hipótesis y se contrastan los resultados empíricos y simulados hasta conseguir una similitud satisfactoria.

Se realizan modificaciones en todos los parámetros que intervienen de modo que se alcance una solución convergente que: reproduzca un balance hídrico coherente con el que se da en el sistema real, unas alturas piezométricas simuladas semejantes a las observadas y unos valores para los parámetros hidráulicos dentro de los límites establecidos. Esto supondría que el modelo supuesto refleja la realidad del sistema.

7.2.2.2. Software empleado

En la resolución de la ecuación fundamental de flujo subterráneo se ha utilizado el código MODFLOW (US Geological Survey, 2009) que simula el flujo subterráneo resolviendo la ecuación por el método de diferencias finitas.

Como interfaz visual se ha utilizado la aplicación Argus One (<http://www.argusint.com/GroundWater.html>). Argus One es una interfaz genérica de bajo coste muy flexible, orientada a un usuario técnico, que soporta varios tipos de modelos y mallados. El USGS ofrece una utilidad gratuita que permite la integración de MODFLOW en la interfaz.

7.2.2.3. Discretización espacial

El modelo geométrico considerado para el acuífero es un sistema de una sola capa con un contorno definido por la siguiente rejilla (Figura 7.68).

El acuífero se ha discretizado según una malla rectangular de 25 filas y 25 columnas. El tamaño de las celdas es de 250 x 250 m. El contorno considerado como límite del sistema abarca una superficie de malla de 9,655 km².

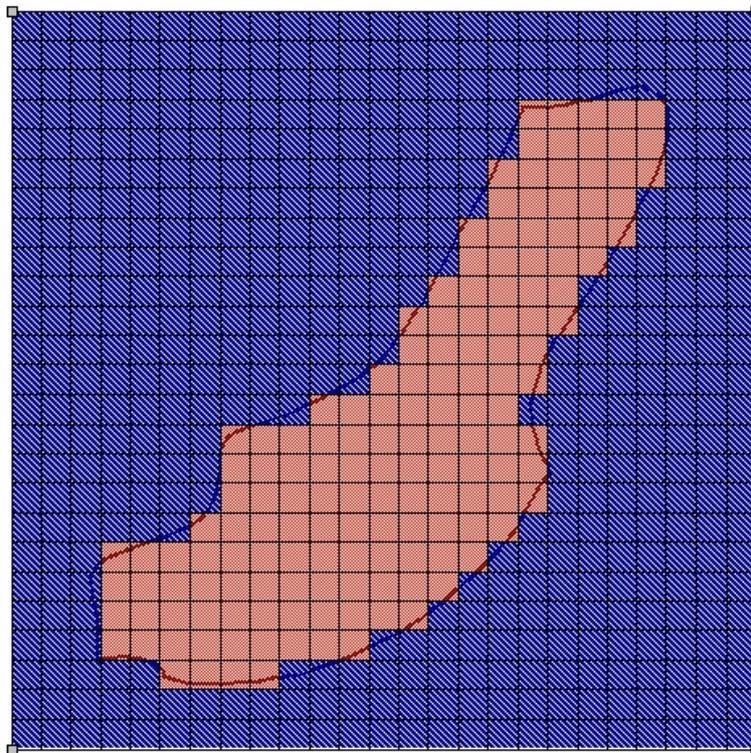


Figura 7.68. Rejilla definida en el acuífero Voltes.

7.2.2.3.A. Muro de la formación permeable

El límite inferior de la capa se ha trazado a partir de las cotas definidas en el mapa de isohipsas del muro del Serravalliense (Figura 7.69).

El mapa de isohipsas de muro de la formación permeable del acuífero se ha construido a partir de los cortes hidrogeológicos seriados del sistema (Plano 14). Para lo cual se ha tenido en cuenta la cartografía hidrogeológica realizada y las columnas litológicas de pozos disponibles en la BDA (2833–60001 y 2833–30066).

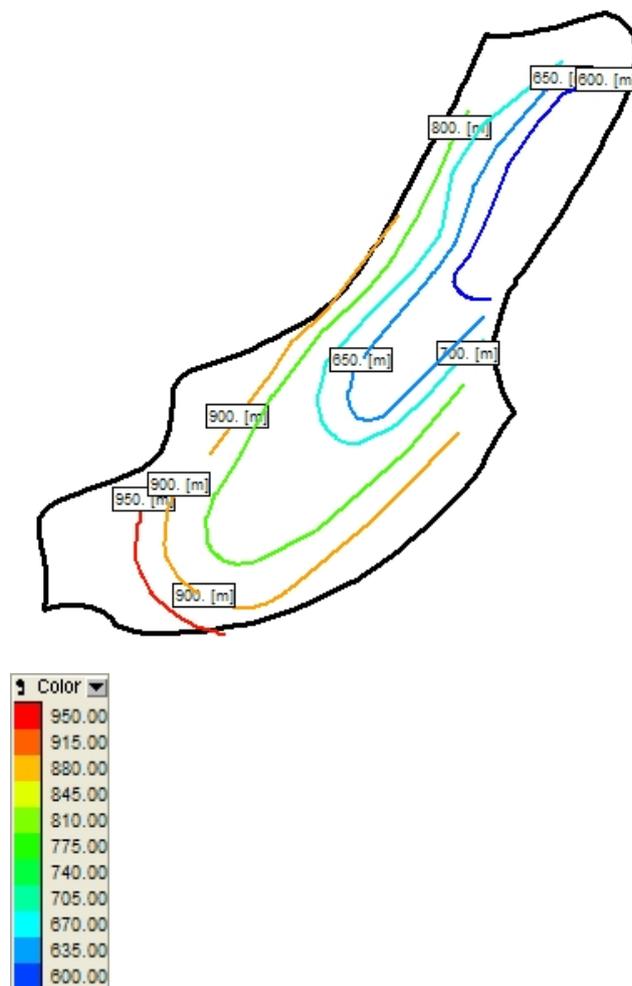


Figura 7.69. Isohypsas del muro del acuífero Voltes.

7.2.2.3.B. Techo de la formación permeable

El techo de la formación permeable aflora en la totalidad de la superficie que ocupa el sistema.

Para la definición del mapa de isohipsas del techo del acuífero se ha tomado como referencia las curvas de nivel del terreno obtenida de la cartografía 1:25.000 (Figura 7.70).

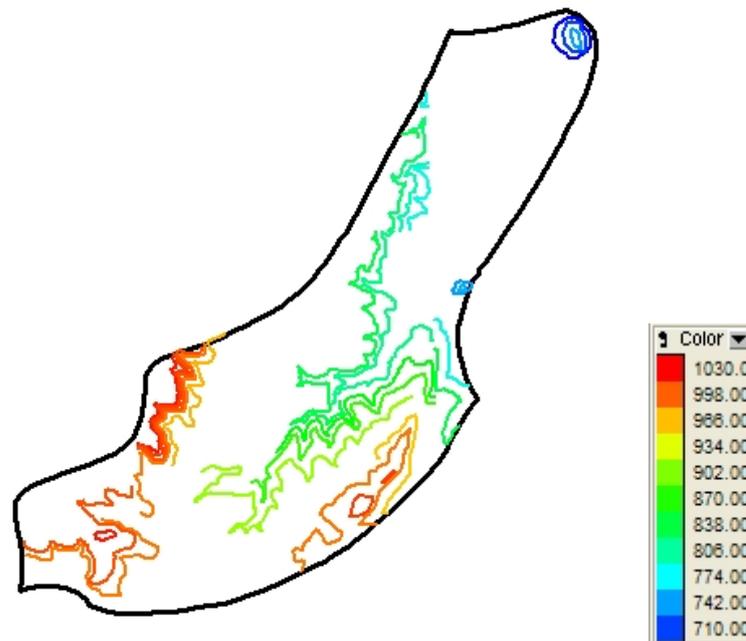


Figura 7.70. Isohipsas del techo del acuífero Voltés.

7.2.2.3.C. Potencia de la formación permeable

Una vez definidas las isohipsas del muro y techo del acuífero, se obtienen por interpolación de éstas, los valores del muro y techo en cada una de las celdas de la malla. La potencia de la formación permeable es el resultado de la diferencia entre los valores techo y muro (Plano 15).

En la Figura 7.71 se representa el espesor, donde aparecen en blanco las celdas con potencia nula. Se observa en el acuífero una potencia despreciable en los contornos, y un aumento progresivo del espesor hacia el núcleo y noreste del sinclinal, debido al hundimiento que experimenta el eje del pliegue hacia Castalla. Los mayores espesores (> 220 m) se observan en este sector nororiental (celdas en rojo).

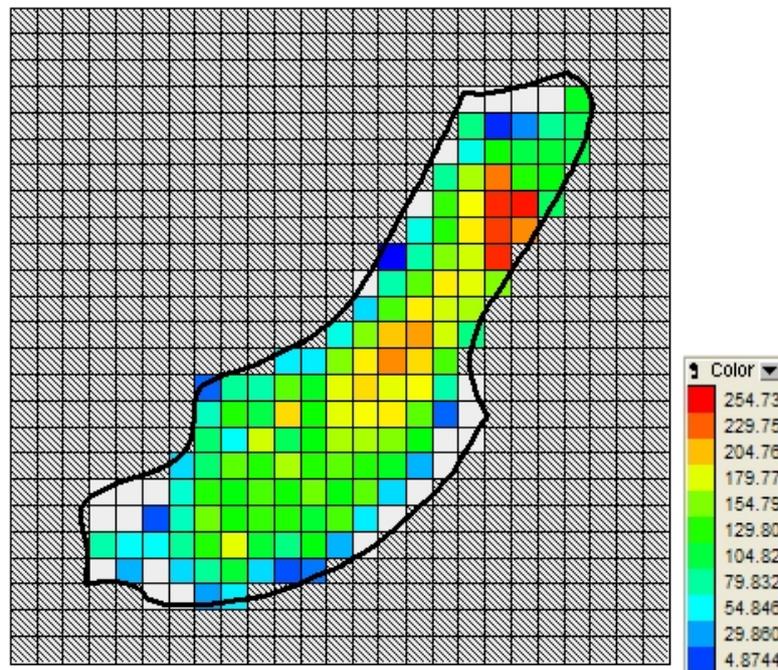


Figura 7.71. Potencia en las celdas del acuífero Voltes.

7.2.2.4. Propiedades hidráulicas

7.2.2.4.A. Transmisividad

Se realiza una estimación inicial de los parámetros hidráulicos que caracterizan el acuífero, en función de la información disponible de los sondeos (Villanueva e Iglesias, 1987). En base a las explotaciones, se establece un rango de valores posibles para la transmisividad en un entorno de los pozos según los criterios expuestos en el Cuadro 7.1:

El pozo Voltes I (2833–60001), actualmente sin explotación, presenta caudales de bombeo de 19 l/s, mientras que el pozo Voltes II (2833–30066) alcanza caudales de explotación de 25 l/s. Estos valores, según la tabla mencionada, proporcionan un valor para la transmisividad característica del acuífero en un rango entre 100 y 500 m²/día.

7.2.2.4.B. Coefficiente de almacenamiento

El sistema responde a un esquema de acuífero libre constituido por calizas y calcarenitas del Serravaliense, según la bibliografía disponible (Villanueva, M., Iglesias, A.), se puede atribuir a esta formación carbonatada un coeficiente de almacenamiento comprendido entre 0,02 y 0,06.

7.2.2.5. Discretización temporal

La falta de información del estado inicial del acuífero en régimen natural dificulta la elaboración de un modelo matemático del sistema Voltes en régimen permanente. Sin embargo, se conoce la evolución del acuífero con más exactitud que la descripción del sistema en un momento dado, es por esto, que se ha seleccionado para la calibración, el régimen transitorio.

La captación de los recursos subterráneos en el acuífero Voltes comenzó hacia mediados de los sesenta con la puesta en funcionamiento del pozo Voltes I (2833–60001) (IGME, 1976), coincidiendo con el inicio del control piezométrico del acuífero. El registro histórico de la evolución piezométrica del acuífero es muy completa, con niveles piezométricos en los dos puntos con explotación.

Para la calibración de un modelo en régimen transitorio se ha intentado abarcar el periodo más amplio posible, de forma que se manifieste el comportamiento del sistema ante situaciones diferentes de explotación y recarga. La duración del periodo seleccionado es función, únicamente, de la información disponible de explotación y piezometría. En base a este

criterio, el periodo seleccionado para la calibración cubre desde agosto de 1984 a diciembre de 2008 y se ha dividido en 293 intervalos de un mes de duración cada uno.

7.2.2.5.A. Piezometría

La información disponible para trazar el mapa de alturas piezométricas al inicio de la calibración es escasa, sólo se conoce la cota piezométrica del acuífero en el pozo Voltes I (2833–60001). Esta escasez de información se traduce en que las condiciones iniciales se calcularán por interpolación de muy pocos datos. Esto no supone un problema añadido, debido a que, el periodo es suficientemente largo como para que sea significativa la repercusión de las condiciones iniciales en la calibración.

Entre el inicio de la calibración (agosto de 1984) y febrero de 2002, sólo existe un punto representativo del acuífero con piezometría. Desde febrero de 2002 hasta septiembre de 2005, la ejecución del pozo Voltes II (2833–30066) por parte de la DPA, permite la medida simultánea del nivel piezométrico tanto en éste como en el Voltes I. Como resultado se puede ajustar durante este periodo la recta de evolución de la cota de agua, en el que se observa una diferencia piezométrica de 2 m por debajo en el pozo Voltes II. Este salto piezométrico se ha utilizado para conocer la hipotética cota de agua en el pozo Voltes II en el comienzo de la calibración.

Partiendo del valor de cota correspondiente al piezómetro 2833-60001, 662 m s.n.m., en agosto de 1984 y de un valor supuesto en el pozo 2833–30066, 660 m s.n.m. (2 metros por debajo), se ha obtenido, por interpolación, el mapa de isopiezas inicial para el área de estudio. Las cotas piezométricas iniciales se muestran en la Figura 7.72.

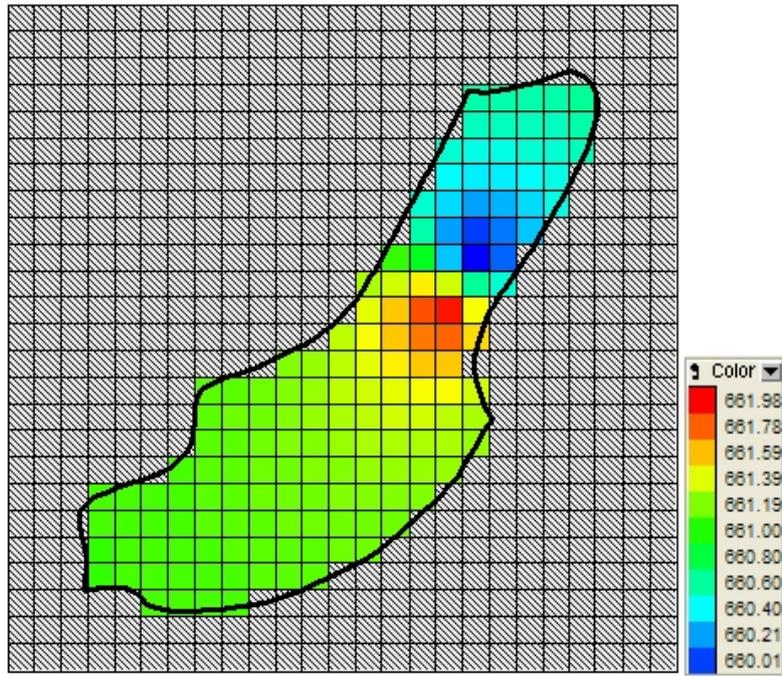


Figura 7.72. Alturas piezométricas al comienzo de la simulación en el acuífero Voltes.

El espesor saturado al comienzo de la simulación en cada una de las celdas, se calcula a partir de la piezometría inicial (Figura 7.72) y el muro (Figura 7.69). La disposición estructural del acuífero determina que ya en agosto de 1984, la práctica totalidad del acuífero se encuentre seco (Figura 7.73).

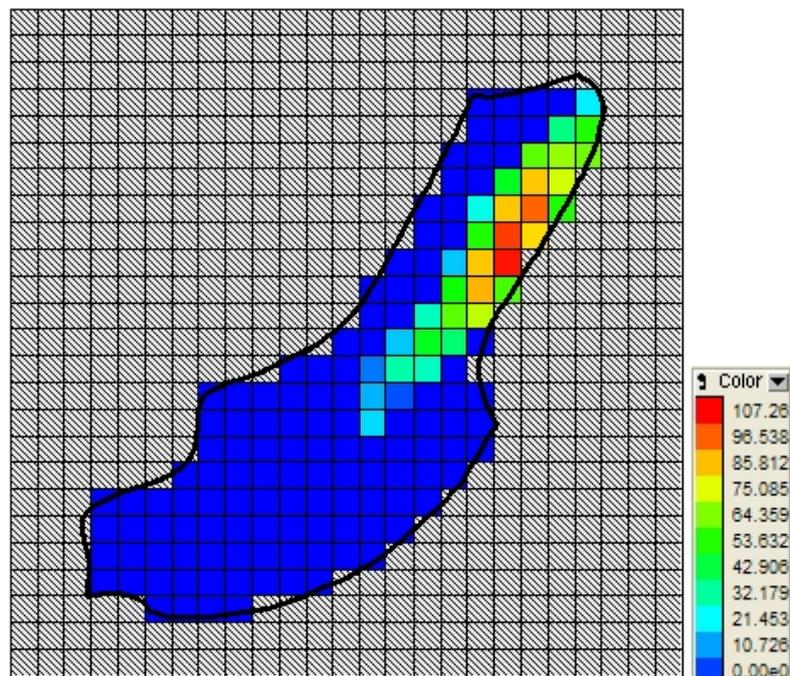


Figura 7.73. Espesor saturado al comienzo de la calibración en el acuífero Voltes.

7.2.2.5.B. Acciones exteriores

7.2.2.5.B.I. Recarga

Dentro de los límites del acuífero se encuentra la estación meteorológica 8027A (Castalla) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La serie de datos de precipitación disponibles en la estación de Castalla abarca un periodo de registro muy corto, entre junio de 2005 y mayo de 2008. Para una completa representación de los datos de precipitación mensuales durante el periodo de calibración, se ha procedido a la utilización de un programa de completado de series (Cormul.exe), que se basa en las correlaciones existentes entre valores de pluviometría procedentes de estaciones próximas y en la metodología descrita por el CEDEX. Las estaciones climáticas utilizadas para el completado de la serie de datos de la estación de Castalla son: 8002 (Banyeres de Mariola), 8003A (Beneixama), 8004 (Biar), 8011A (Elda 'Ayuntamiento') y 8028E (Tibi Taleca). La localización de estas estaciones aparece representada en la Figura 7.74.

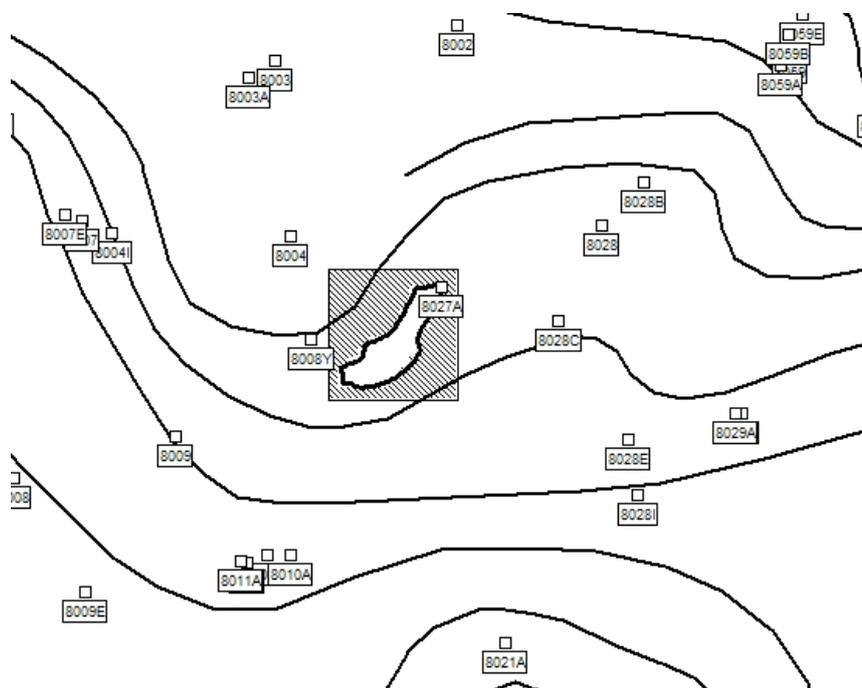


Figura 7.74. Inventario de estaciones meteorológicas de la AEMET próximas al acuífero Voltés.

La serie de datos mensuales de precipitación completados en la estación pluviométrica 8027A (Castalla), abarca el periodo entre enero de 1978 a diciembre de 2008. En la Figura

7.75 se representa la serie de datos en la que se distinguen los datos originales (azul) de los valores interpolados (rosa).

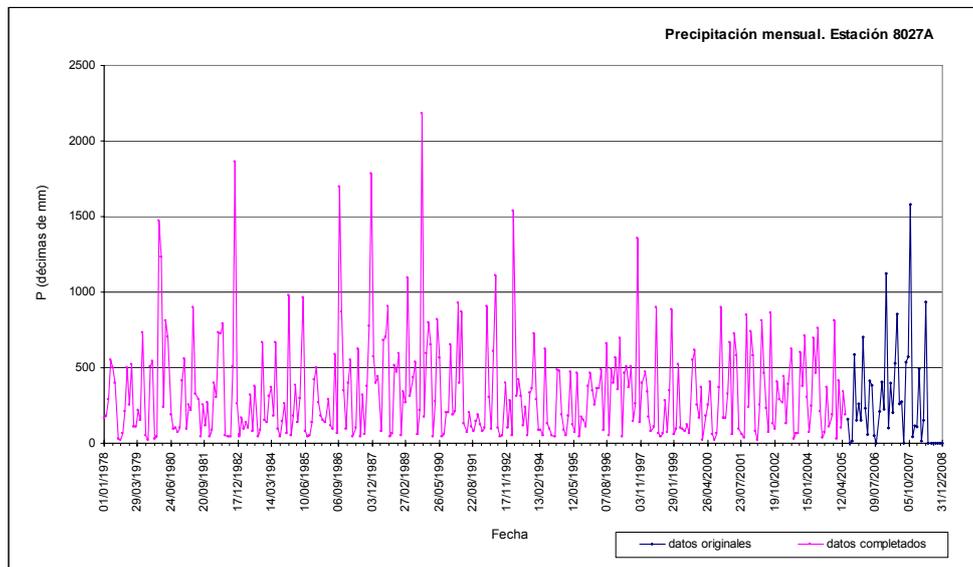


Figura 7.75. Serie completada de precipitación en la estación de Castalla.

A partir de la serie completa de precipitación, la infiltración de lluvia útil se ha calculado con ayuda de un modelo hidrológico de balance (2001a). Esta herramienta calcula la recarga a partir de los datos de precipitación de la estación climática de Castalla y las características hidrogeológicas del acuífero, ajustando los parámetros que intervienen en el cálculo, de forma que, el valor medio obtenido para la infiltración de agua de lluvia sea de $0,5 \text{ hm}^3$ por año medio como refleja el Mapa del Agua (2007).

Como se indicó con anterioridad, para el cálculo de la recarga se han ajustado los parámetros, de forma que, se obtienen $0,5 \text{ hm}^3$ como valor medio del agua disponible para infiltración en el periodo 1978-2008. Sin embargo, en el periodo de calibración (1984-2008) este valor medio anual es de $0,6 \text{ hm}^3$.

Los volúmenes obtenidos de agua disponible para infiltración en el periodo de calibración se muestran en la Figura 7.76.

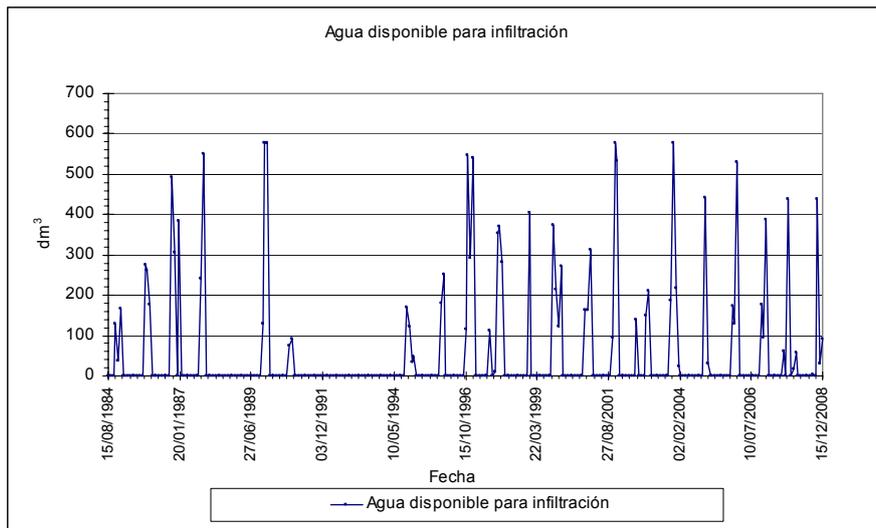


Figura 7.76. Agua disponible para infiltración. Datos mensuales, acuífero Voltes.

7.2.2.5.B.II. Bombeo

La información referente a las extracciones de los recursos subterráneos en el acuífero Voltes procede fundamentalmente de la Base de Datos de Aguas de la Diputación de Alicante.

En la Figura 7.77 se representan los datos de explotación mensual en los dos pozos presentes en el acuífero durante el periodo de calibración.

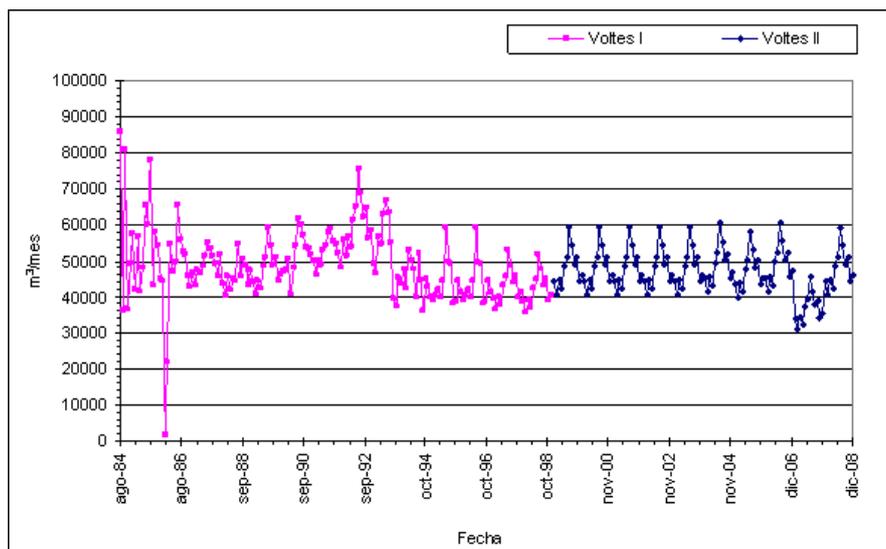


Figura 7.77. Explotación mensual en el acuífero Voltes.

7.2.2.6. Calibración

El propósito del Estudio es disponer de un modelo de flujo que permita simular distintas alternativas de explotación del acuífero ante situaciones de recarga variables en el tiempo. Para lograr este propósito, se analiza el comportamiento de puntos del acuífero de los que se dispone de información y se persigue un modelo capaz de reproducir las alturas piezométricas observadas en dichos puntos de observación.

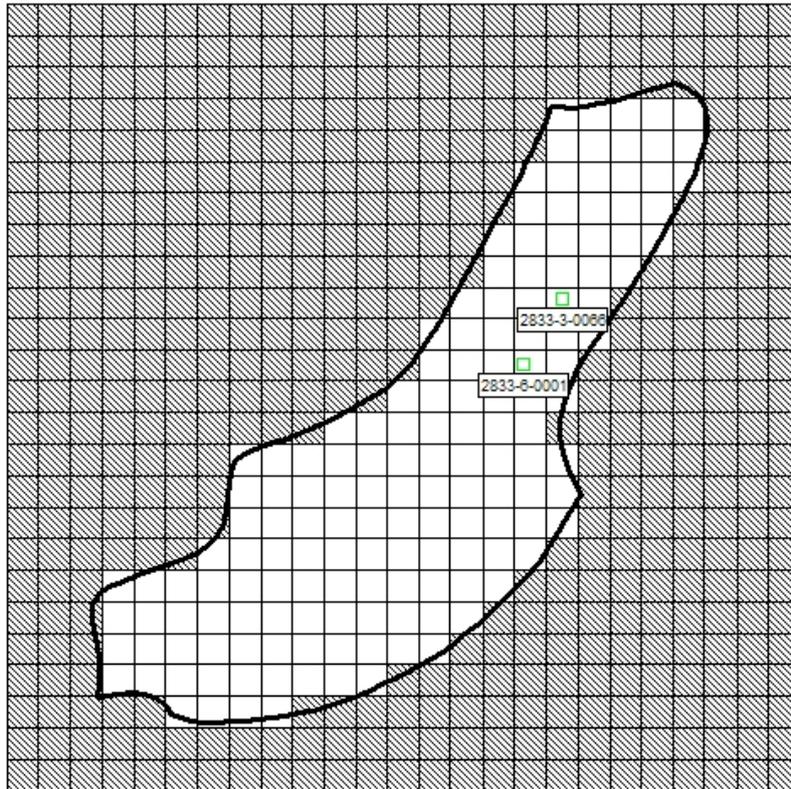


Figura 7.78. Piezómetros en el acuífero Voltes.

Los puntos de observación considerados en el estudio son:

Cuadro 7.12. Piezómetros en el acuífero Voltes.

Piezómetro	Nombre	X UTM (m)	Y UTM (m)
2833-6-0001	Voltes I	701.460	4.272.906
2833-3-0066	Voltes II	701.760	4.273.432

Las alturas piezométricas en los puntos de observación a lo largo del periodo de calibración se muestran en la Figura 7.79.

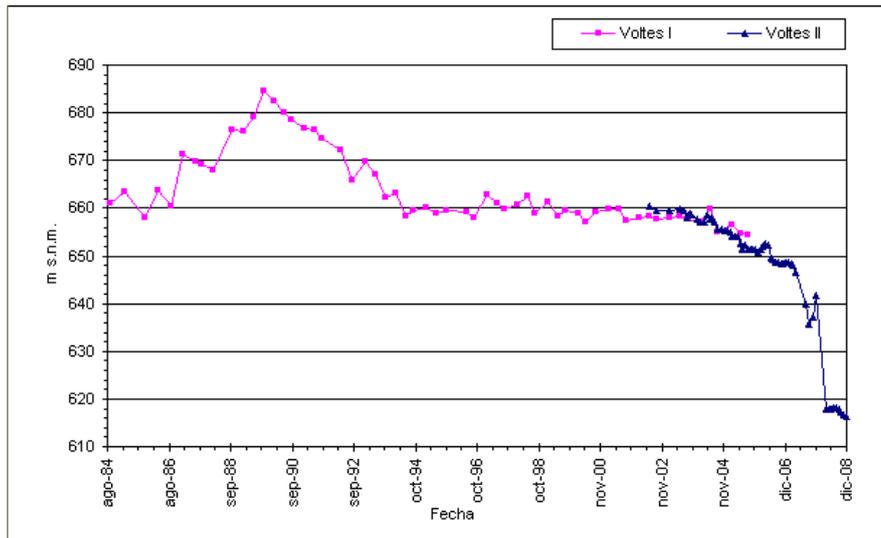


Figura 7.79. Evolución piezométrica en los puntos de observación del acuífero Voltes.

En el proceso de calibración no se consideran las medidas posteriores a mayo de 2006 del pozo Voltes II, debido al comportamiento anómalo que presenta la evolución piezométrica que se atribuye a un fallo en la sonda de telemetrida.

A la complejidad propia de toda modelización de un sistema, se añade en este caso la desaturación del acuífero. El hecho de que gran parte del acuífero esté seco, dificulta la posibilidad de probar distintas hipótesis de simulación, debido a que el secado de las celdas adyacentes a los pozos (celdas de observación) aborta el proceso de cálculo.

Como alternativa de trabajo se considera, de modo provisional, el muro del acuífero situado en el tramo confinado de areniscas del Langhiense (Mioceno medio-inferior) entre margas; 200 metros por debajo del muro considerado inicialmente (Serravalliense). Esta nueva geometría, proporciona un almacenamiento mayor en el acuífero que permite comprobar la sensibilidad del sistema frente a los distintos parámetros que intervienen. Con este muro provisional se prueban distintas hipótesis para la calibración y la más satisfactoria se traslada al modelo real (muro Serravalliense).

En las figuras siguientes se muestra el muro del acuífero y el espesor saturado al comienzo del periodo de calibración (agosto 1984), obtenido por la diferencia en cada celda entre el muro (Figura 7.80) y el valor de la altura piezométrica inicial (Figura 7.72). La zona saturada es superior, quedando únicamente una franja al sur en que las celdas continúan secas.

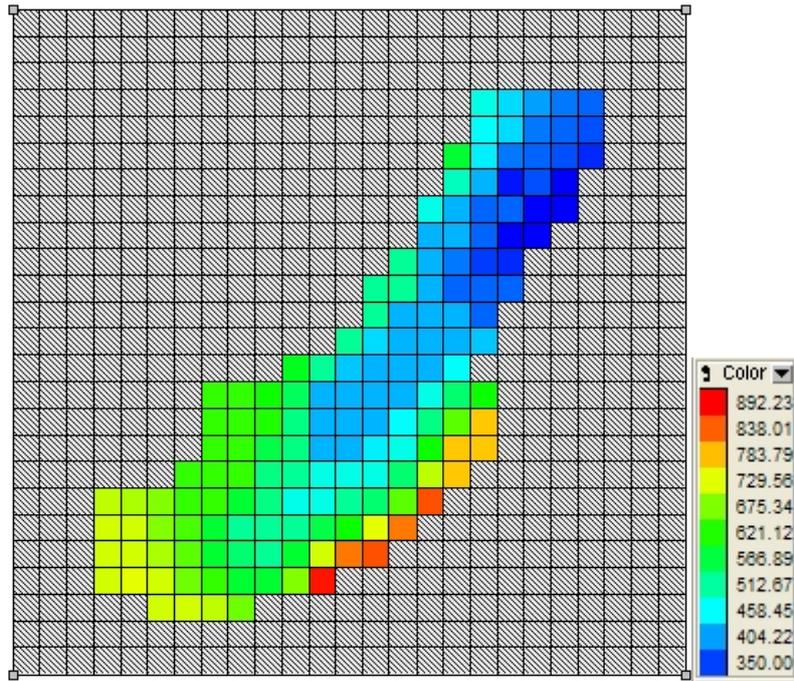


Figura 7.80. Muro del acuífero Voltes considerando el tramo de areniscas del Langhiense.

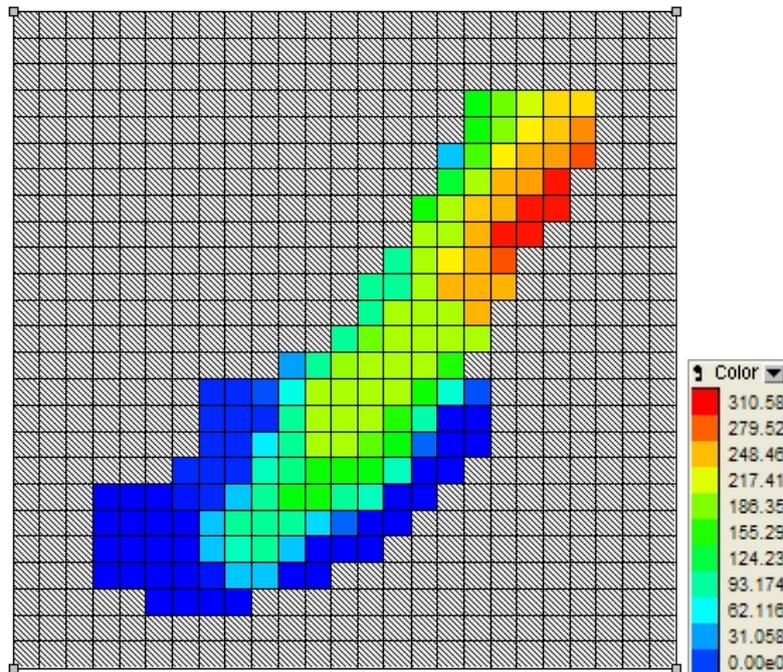


Figura 7.81. Espesor saturado en el acuífero Voltes considerando el muro en el tramo de areniscas del Langhiense.

La serie de bombeos sigue una distribución similar a lo largo de todo el periodo de estudio. De la comparación de las figuras Figura 7.77 y Figura 7.79 se extrae que la evolución

en los puntos de observación no está estrechamente relacionada con la explotación en el acuífero.

Las variaciones en la altura piezométrica en los sondeos, van a estar influenciadas fundamentalmente por la recarga. De la comparación de las figuras Figura 7.76 y Figura 7.79 se extrae que los periodos secos coinciden con periodos de descenso en la evolución piezométrica observada. Se considera la recarga como factor determinante del comportamiento del acuífero. En los siguientes epígrafes se plantean distintas opciones de recarga en el sistema y se muestran los resultados obtenidos en cada una de ellas.

7.2.2.6.A. Hipótesis de recarga

La disposición geométrica del acuífero en sinclinal determina la existencia de celdas secas por elevación del muro del acuífero (Figura 7.81). Esta situación provoca que el agua recogida sobre el sistema no sea toda la que cae sobre él.

El déficit de agua se suple mediante la suposición de la existencia de entradas laterales al sistema, a través de las celdas en contacto con la zona saturada, siguiendo una distribución exponencial, de forma que, en los cuatro meses posteriores a la lluvia se recoge la totalidad de la precipitación.

En la Figura 7.82 se muestran las diferentes zonas de recarga, en la que se distingue:

- Zona verde, zona saturada en la que la recarga viene dada por la precipitación.
- Zona azul, son celdas secas.
- Zona roja, celdas en que la infiltración viene dada por recarga de agua de lluvia y entradas laterales.

Para cuantificar la cantidad de agua que entra lateralmente, se considera en primer lugar que la recarga tiene lugar a lo largo de toda la superficie del acuífero. Esto permite evaluar el agua recogida en el acuífero. Las entradas laterales vienen dadas por la diferencia entre lo que cae y lo recogido en el acuífero. Este déficit, se considera que entra lateralmente a lo largo de la zona en rojo.

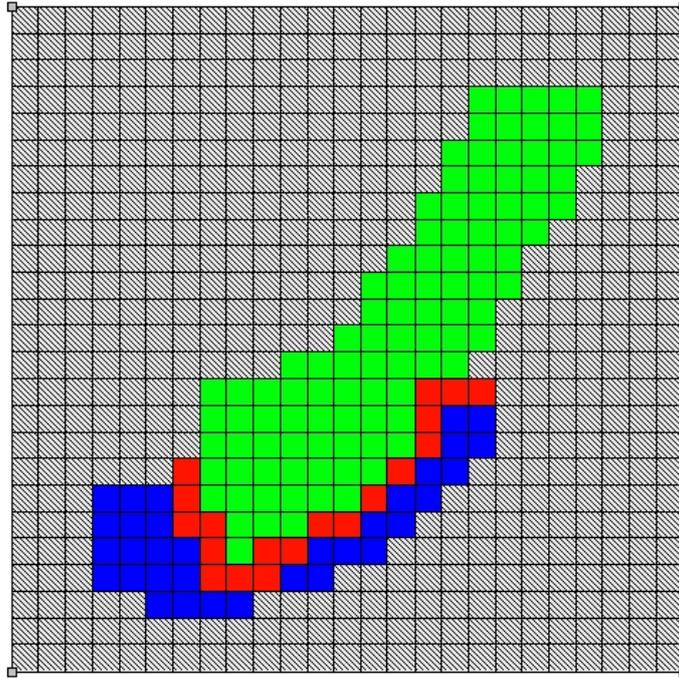


Figura 7.82. Zonas de recarga en el acuífero Voltas.

Una vez cuantificadas las entradas laterales, con el fin de conseguir una función que simule la evolución temporal de la infiltración en el sistema, la entrada lateral de agua es asimilada a una exponencial decreciente:

$$f(x) = K_1 * e^{-x} - K_2 \quad (1)$$

Las condiciones impuestas a la función de recarga lateral son:

1. El área comprendida entre la función y al eje de abscisas es el total infiltrado en un mes.

$$\int_0^4 (K_1 * e^{-x} - K_2) dx = V_{\text{total infiltrado}} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{total infiltrado}} = K_1 * (1 - e^{-4}) - 4 * K_2 \quad (2)$$

2. La recarga tiene lugar en los 4 meses posteriores a la precipitación:

$$f(4) = 0 \quad \Rightarrow \quad K_2 = K_1 * e^{-4} \quad (3)$$

Sustituyendo los resultados (3) en (2), se obtiene:

$$V_{\text{total infiltrado}} = K_1 (1 - 10 * e^{-4}) \quad (4)$$

3. El área de cada uno de los 4 intervalos, será la aportación de las precipitaciones en un mes a cada uno de los 4 meses siguientes. Y es, en forma general, para el mes n:

$$\int_{n-1}^n (K_1 * e^{-x} - K_2) dx = V_{\text{infiltrado en el mes } n} \Rightarrow V_{\text{infiltrado en el mes } n} = K_1 e^{-(n-1)} * (1 - e^{-1}) - K_2$$

Se ha desarrollado un programa en Fortran 90, que permite la determinación de las constantes K_1 y K_2 para cada uno de los periodos de estrés a partir de las precipitaciones mensuales, así como el total infiltrado en un mes debido a las contribuciones de los 3 meses anteriores.

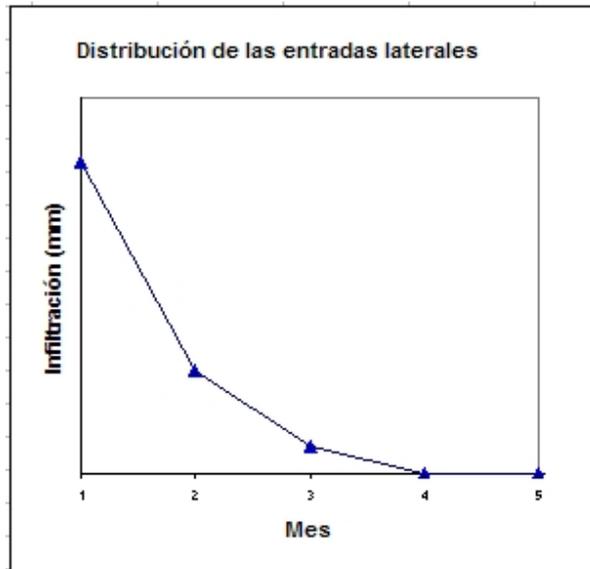


Figura 7.83. Reparto mensual de un pulso de recarga por entradas laterales en el acuífero Voltes.

A continuación se consideran distintas funciones para la infiltración de agua de lluvia. La infiltración debida a entradas laterales sigue siempre una distribución exponencial, evaluada a partir de la primera.

7.2.2.6.A.I. La recarga sigue la distribución del programa BALANCE

La hipótesis primera de calibración consiste en considerar que la recarga por precipitación sigue la distribución del agua disponible para infiltración calculada mediante el programa BALANCE (DPA 2001a) y representada en la Figura 7.76. La recarga lateral se evalúa a partir de la recarga por precipitación y se incorpora al acuífero gradualmente (de forma exponencial).

La evolución piezométrica en los pozos de estudio suponiendo esta distribución para la recarga es:

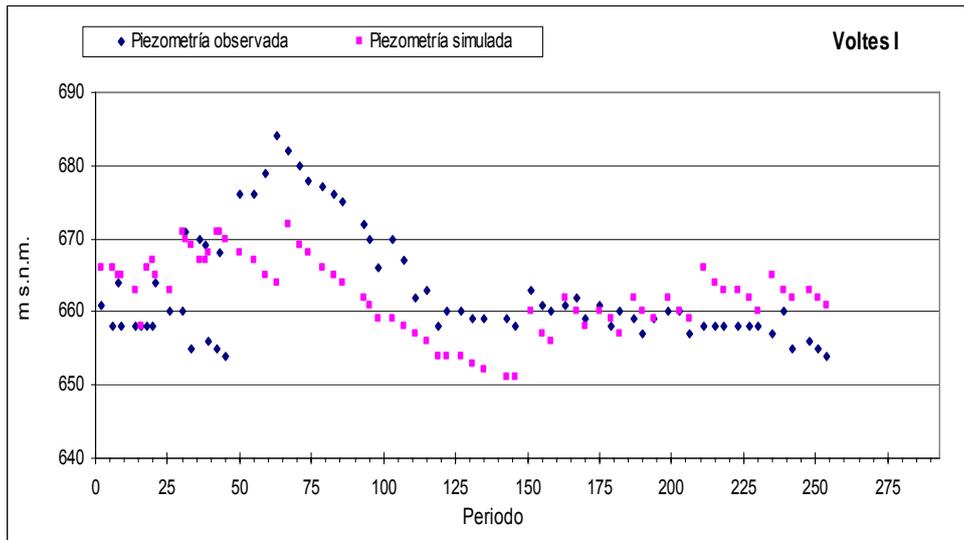


Figura 7.84. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.I

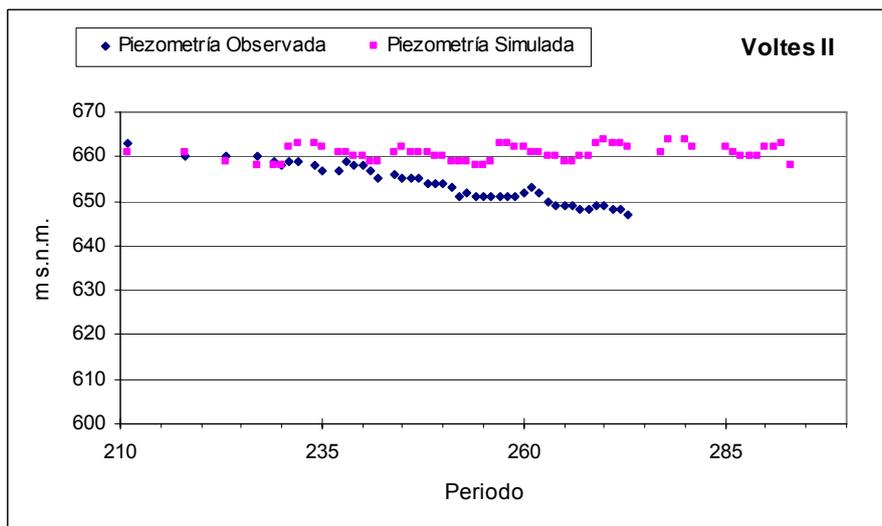


Figura 7.85. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.I

7.2.2.6.A.II. La recarga sigue la distribución de la precipitación

A continuación se supone para la recarga una distribución similar a la precipitación. La hipótesis está basada en la existencia de una relación lineal con la serie de precipitación. La serie completada de la Figura 7.75 se multiplica por un factor tal, que proporcione un valor medio anual de $0,6 \text{ hm}^3$ en el periodo de calibración. Como en el caso anterior, la recarga lateral se cuantifica a partir del agua que cae a lo largo de las celdas secas, se asimila a una exponencial decreciente de factor 4 y penetra en el acuífero a través del límite sur.

La serie de recarga empleada es:

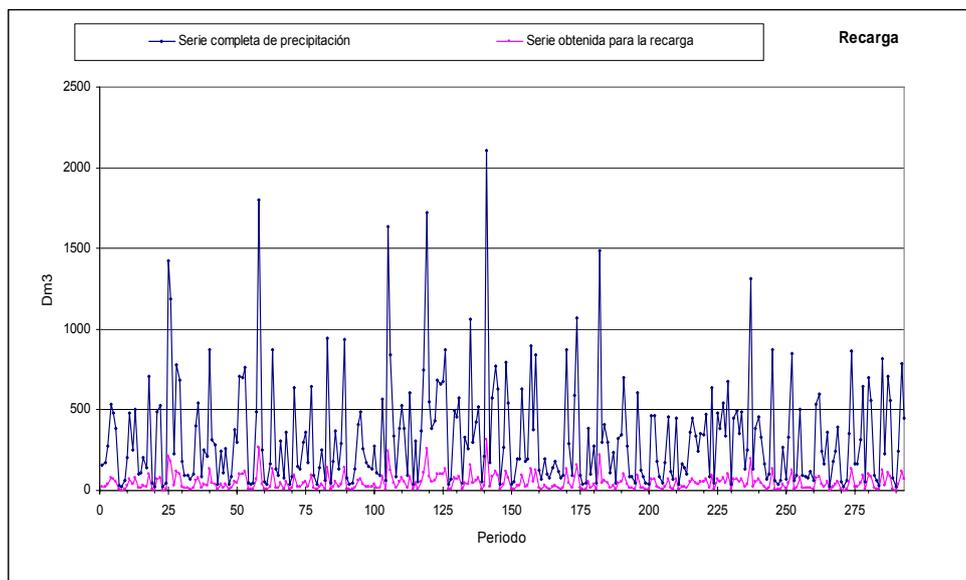


Figura 7.86. Serie de recarga en el acuífero Voltes basada en la existencia de una relación lineal con la serie de precipitación.

La evolución piezométrica en los pozos de estudio suponiendo esta distribución para la recarga es:

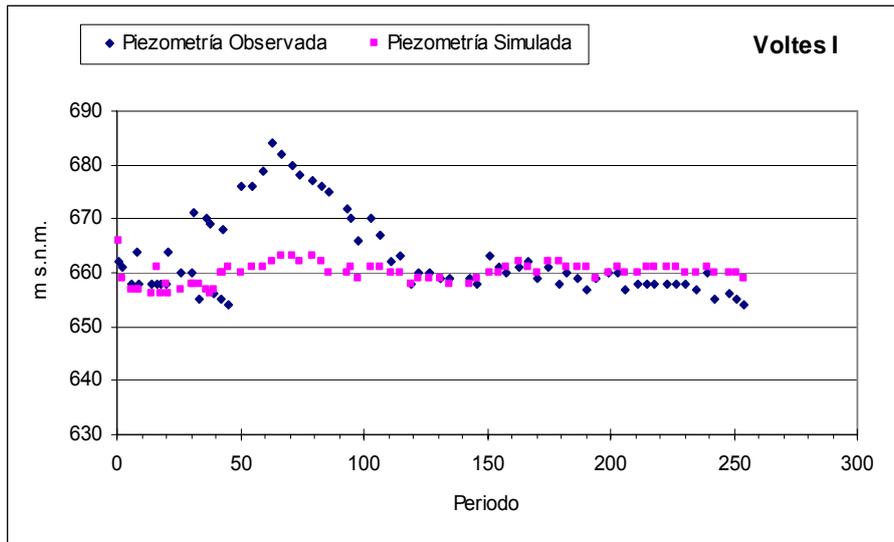


Figura 7.87. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.II

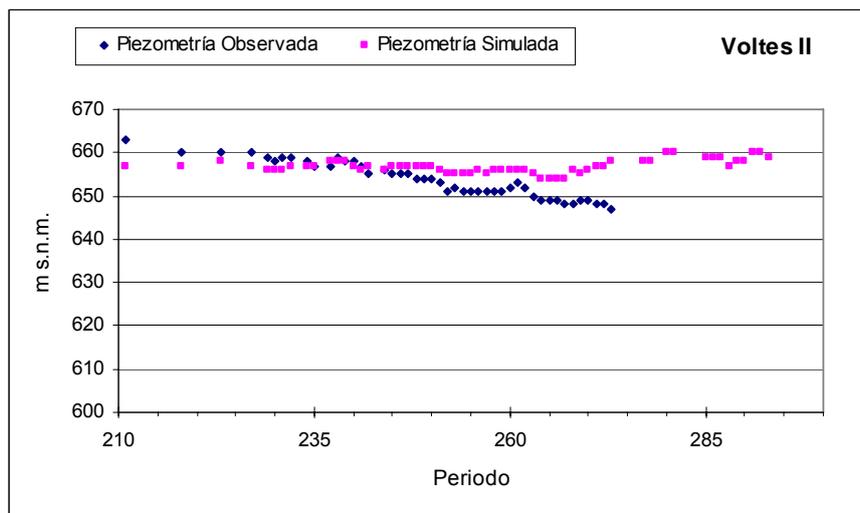


Figura 7.88. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.II

7.2.2.6.A.III. La recarga sigue la distribución de la precipitación con un valor de retención constante

Una vez descartada la hipótesis anterior, la siguiente hipótesis está basada en truncar la serie de precipitación, de forma que de la serie de precipitación completada para el acuífero Figura 7.75, sólo los valores superiores a 600 dm^3 penetran en el acuífero. En la zona de

recarga hay un denso recubrimiento de arbolado, fundamentalmente pinos, que justifican la retención.

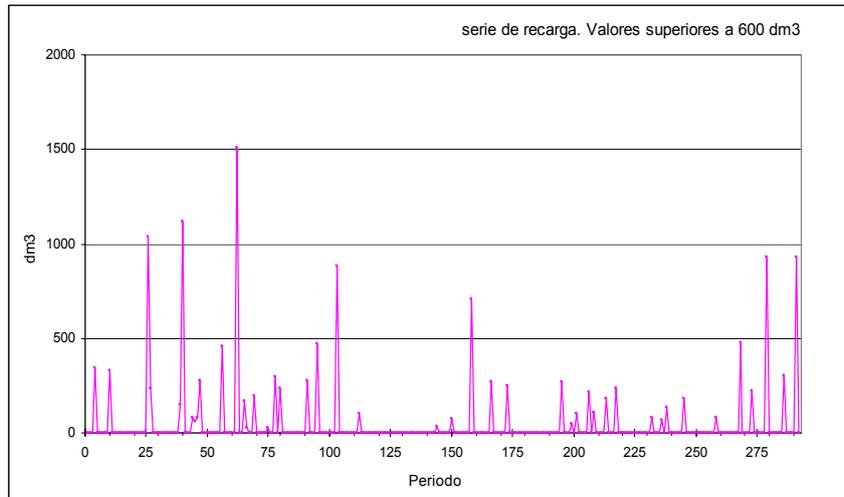


Figura 7.89. Serie recarga en el acuífero Voltes obtenida a partir de la serie de precipitación con una retención constante de 600 dm³.

La evolución piezométrica en los pozos de estudio suponiendo esta distribución para la recarga es:

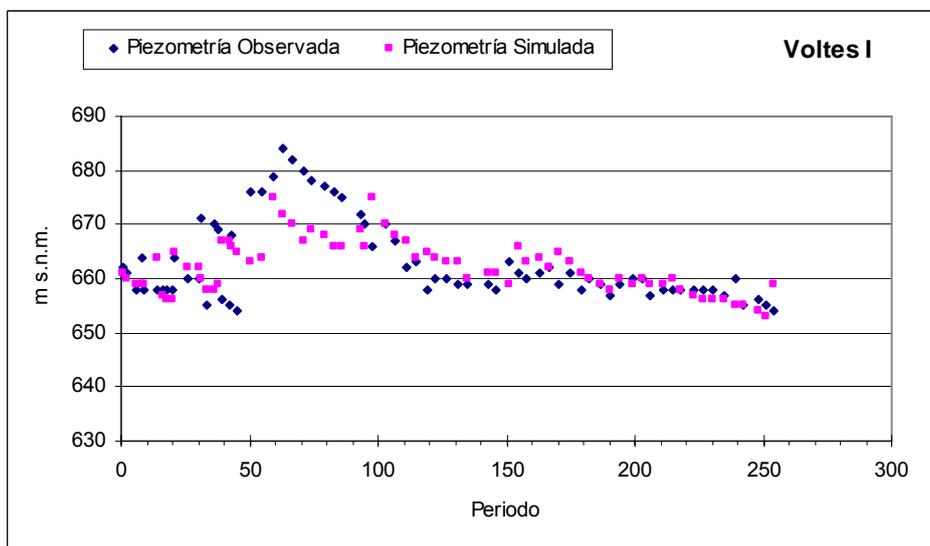


Figura 7.90. Evolución piezométrica en Voltes I según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.III

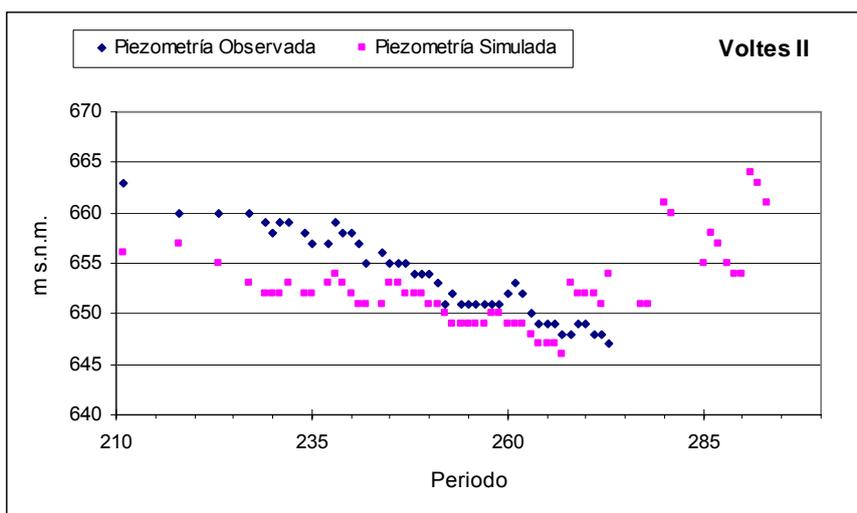


Figura 7.91. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis de recarga 7.2.2.6.A.III

7.2.2.6.B. Calibración final básica

Se considera válida la distribución en la recarga expuesta en el epígrafe 7.2.2.6.A.III y se traslada esta hipótesis al modelo inicial de menor potencia (muro en el Serravallense). La discretización espacial del acuífero, ha tenido que ser modificada, extremando el refinamiento de la rejilla entorno a los sondeos de estudio, con el fin de impedir que las celdas colindantes al punto de observación queden secas en el periodo de calibración.

Los parámetros hidráulicos que han proporcionado al mejor contraste de los valores observados y simulados, son:

- El coeficiente de almacenamiento de 0,06,
- La transmisividad toma, en un entorno de pozo Voltes I, el valor 250 m²/d y entorno al Voltes II el valor de 400 m²/d.
- La conductividad se calcula en cada celda como el cociente entre la transmisividad y el espesor saturado.

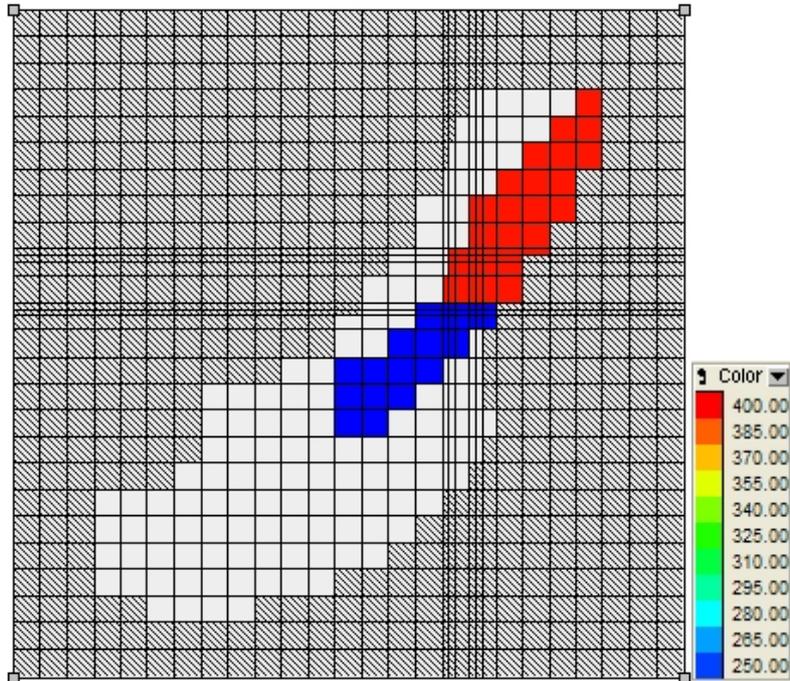


Figura 7.92. Distribución espacial de la transmisividad en el acuífero Voltes (m²/d).

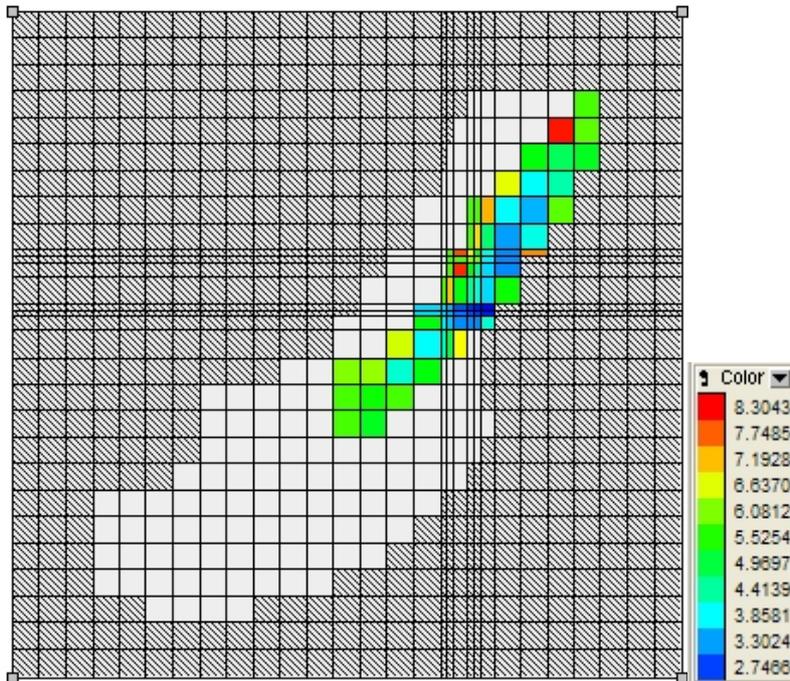


Figura 7.93. Distribución espacial de la conductividad en el acuífero Voltes (m/d)

7.2.2.6.C. Resultados

Con estos valores de las propiedades hidráulicas se obtiene una dirección del flujo coherente con la hipótesis inicial y una evolución piezométrica simulada en los puntos de observación semejante a la real.

Se consigue un sistema estable, es decir, pequeñas oscilaciones en los valores considerados para los parámetros hidráulicos no provocan cambios significativos en la respuesta del sistema.

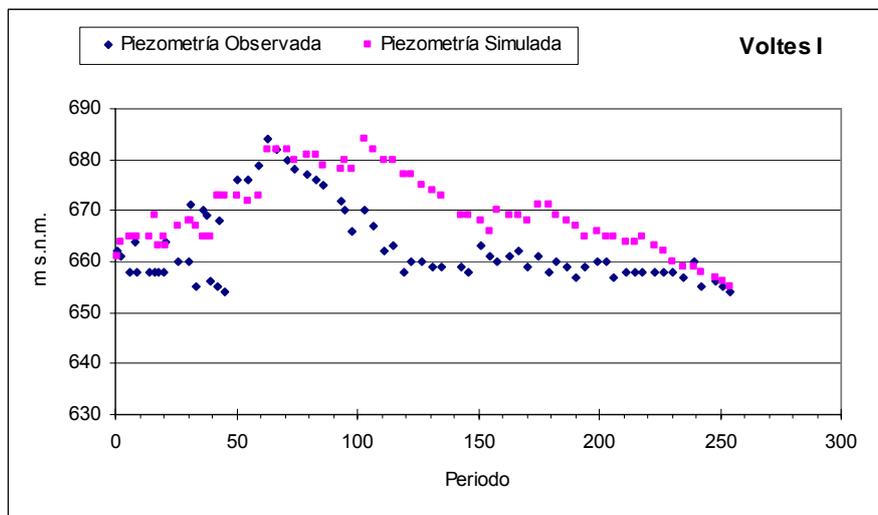


Figura 7.94. Evolución piezométrica en Voltes I según calibración final básica.

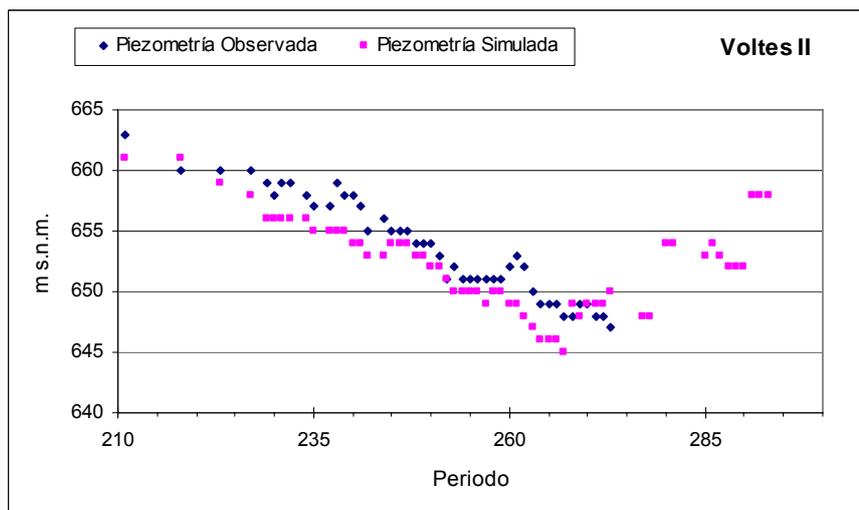


Figura 7.95 Evolución piezométrica en Voltes II según calibración final básica.

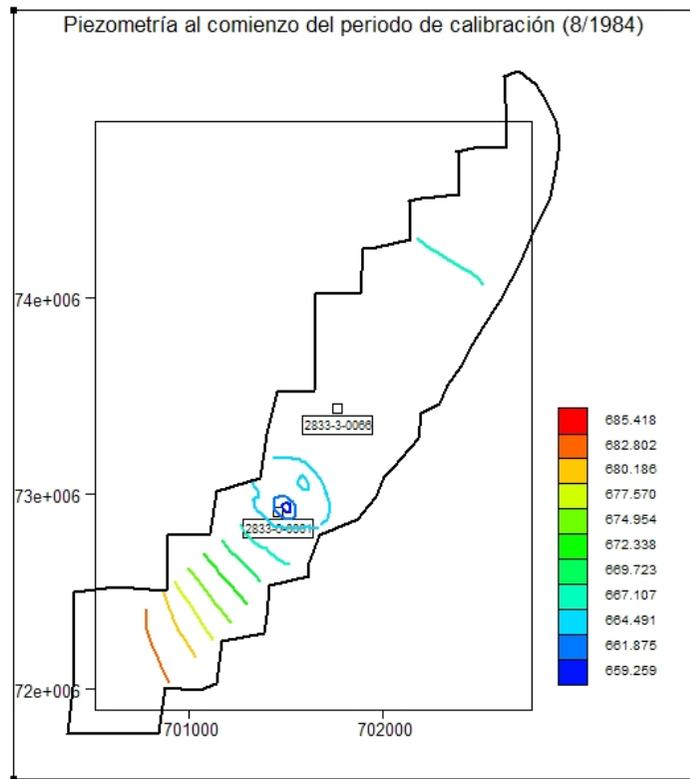


Figura 7.96. Mapa de isopiezas al comienzo de la calibración del acuífero Voltes.

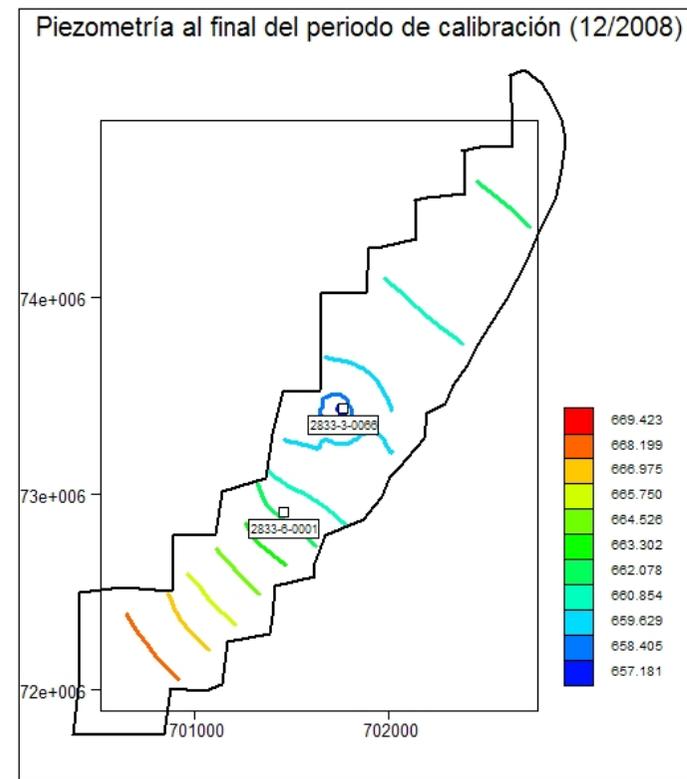


Figura 7.97. Mapa de isopiezas al final de la calibración del acuífero Voltes.

7.2.2.7. Comportamiento simulado del acuífero en escenarios tipo

Una vez calibrado el sistema, se ha procedido a simular acciones exteriores determinadas para conocer la respuesta del acuífero frente a diferentes hipótesis de recarga. Las acciones exteriores van a consistir en la modificación del régimen de bombeo analizando las diferentes respuestas del nivel piezométrico durante un periodo de simulación de 30 años.

Dada la escasa saturación del acuífero, no es posible simular periodos largos en que se alternen intervalos de sequía y precipitación. En la simulación del modelo se considera el muro del acuífero en la base de las areniscas del Langhiense (Mioceno medio–inferior). A partir de esta definición geométrica, se analizan las distintas hipótesis de explotación y se comprueba cuándo el nivel piezométrico alcanza el límite máximo de descensos en el pozo Voltes II, que corresponde con la base del tramo permeable Serravalliense a cota 570 m s.n.m.

Tomando como referencia las diferentes hipótesis de recarga y de explotación se proponen 4 escenarios tipo.

7.2.2.7.A. Escenario 1

El primer escenario de simulación considera la recarga que se obtiene a través del programa de balance (*epígrafe 7.2.2.6.A.1*). La distribución del agua disponible para infiltración se obtiene de la serie de recarga disponible para el periodo de 30 años que abarca desde 1978 a 2008.

Las explotaciones en el acuífero se asimilan para todo el periodo de simulación a las extracciones que se producen en el año 2004–2005 en el pozo Voltes II y se analizan las consecuencias.

La representación gráfica de la evolución de las cotas piezométricas obtenidas bajo la hipótesis de simulación Escenario 1 (Figura 7.98), refleja el estado característico de un acuífero en equilibrio. Las condiciones actuales de explotación ocasionan un vaciado del acuífero durante periodos secos que recuperan su estado inicial durante los ciclos húmedos. En estas condiciones de explotación el sistema no sufre descensos del nivel piezométrico por debajo de la cota mínima piezométrica (570 m s.n.m.). El intervalo se divide en 372 periodos de 1 mes de duración

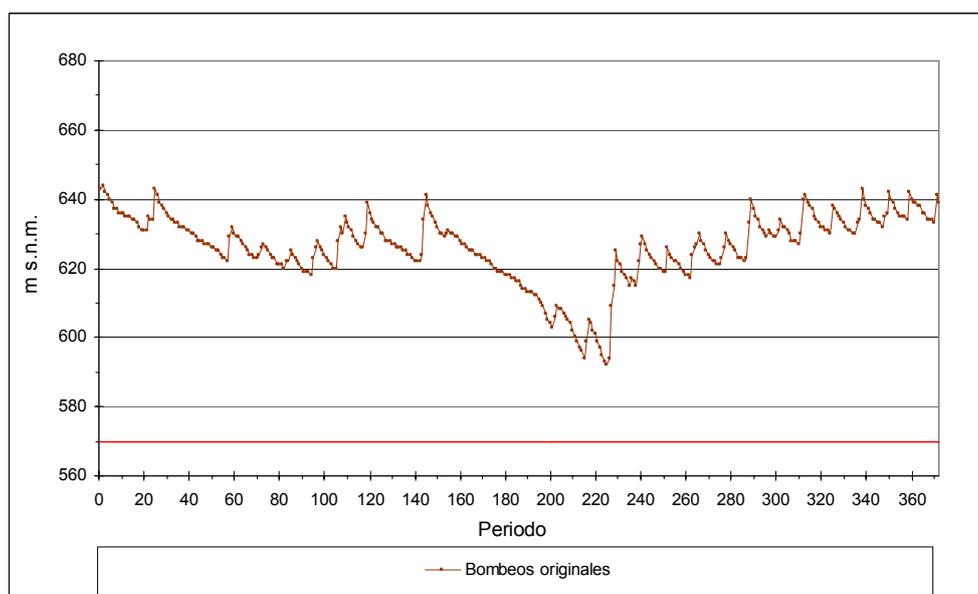


Figura 7.98. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 1.

El balance hídrico del acuífero Voltes obtenido refleja un vaciado del acuífero de $0,3 \text{ hm}^3$ para este periodo.

Cuadro 7.13. Balance hídrico en el acuífero Voltes (escenario 1)

Año	Recarga anual (Dm ³)	Bombeos anuales (Dm ³)	Balance (Dm ³)	Balance acumulado (Dm ³)
0	0,0	586,6	-586,6	-586,6
1	322,2	565,3	-243,1	-829,7
2	550,1	586,6	-36,5	-866,3
3	0,0	565,3	-565,3	-1431,6
4	612,3	586,6	25,7	-1405,9
5	216,9	565,3	-348,4	-1754,3
6	296,7	586,6	-289,9	-2044,2
7	703,9	565,3	138,6	-1905,6
8	973,5	586,6	386,9	-1518,8
9	1173,7	565,3	608,4	-910,4
10	0,0	586,6	-586,6	-1497,0
11	707,9	565,3	142,6	-1354,4
12	746,3	586,6	159,7	-1194,7
13	0,0	565,3	-565,3	-1760,0
14	0,0	586,6	-586,6	-2346,7
15	0,0	565,3	-565,3	-2912,0
16	327,9	586,6	-258,7	-3170,7
17	226,3	565,3	-339,0	-3509,7
18	1203,4	586,6	616,8	-2893,0
19	1387,5	565,3	822,2	-2070,7

Cuadro 7.13. Balance hídrico en el acuífero Voltes (escenario 1)

Año	Recarga anual (Dm ³)	Bombeos anuales (Dm ³)	Balance (Dm ³)	Balance acumulado (Dm ³)
20	686,9	586,6	100,3	-1970,5
21	711,1	565,3	145,8	-1824,7
22	596,0	586,6	9,4	-1815,3
23	1517,9	565,3	952,6	-862,7
24	290,2	586,6	-296,4	-1159,2
25	1194,5	565,3	629,2	-529,9
26	466,1	586,6	-120,5	-650,5
27	332,6	565,3	-232,7	-883,2
28	802,4	586,6	215,8	-667,4
29	901,0	565,3	335,7	-331,7
30	619,2	586,6	32,6	-299,2
Total	17.566,5	17.865,7	-299,2	
Mediana	596	586,6		
Media	566,7	576,3		

Aumento de los bombeos

Un aumento en las extracciones del 10 % respecto a la serie de explotación original, supone el descenso del nivel piezométrico por debajo de la cota límite (Figura 7.99).

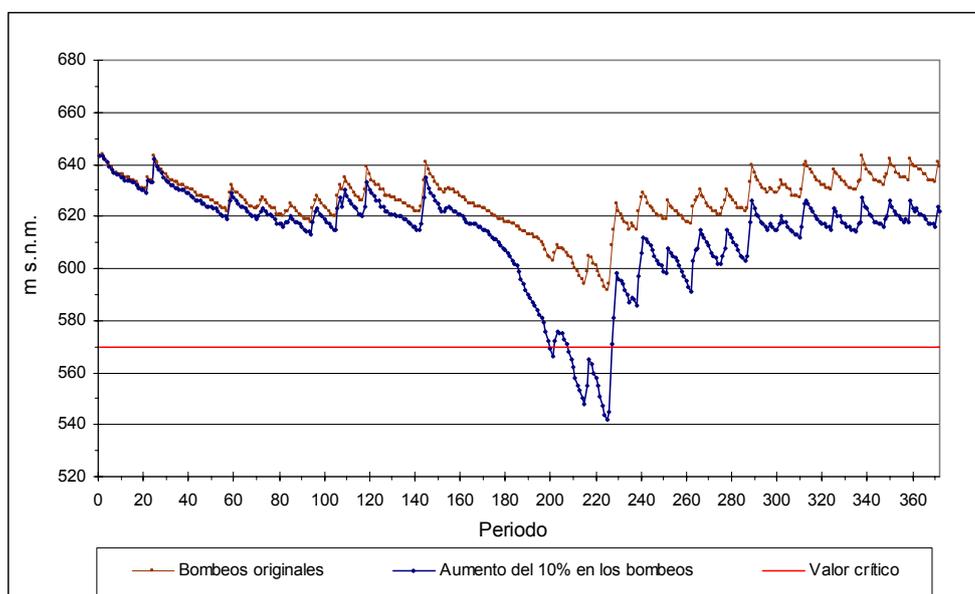


Figura 7.99. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 1 con un aumento en los bombeos.

7.2.2.7.B. Escenario 2

La hipótesis de simulación es similar a la expuesta en el Escenario 1, pero se desplaza el inicio del periodo de simulación al primer año en el que se produce un evento de sequía en la serie de recarga. La recarga se supone que sigue la distribución obtenida con el programa Balance (hipótesis de calibración expuesta en el epígrafe 7.2.2.6.A.1) para el periodo 1978 a 2008, que abarca 30 años.

Se mantiene la explotación que se produce en el acuífero en el año hidrológico 2004–2005 en el pozo Voltes II durante los 30 años y se analizan las consecuencias.

Los valores de cotas piezométrica obtenidos en la simulación (Figura 7.100), comenzando en un año seco, refleja una evolución piezométrica similar a la observada en el Escenario 1, sin que se alcance la cota piezométrica límite en el periodo modelizado. El intervalo se divide en 372 periodos de 1 mes de duración.

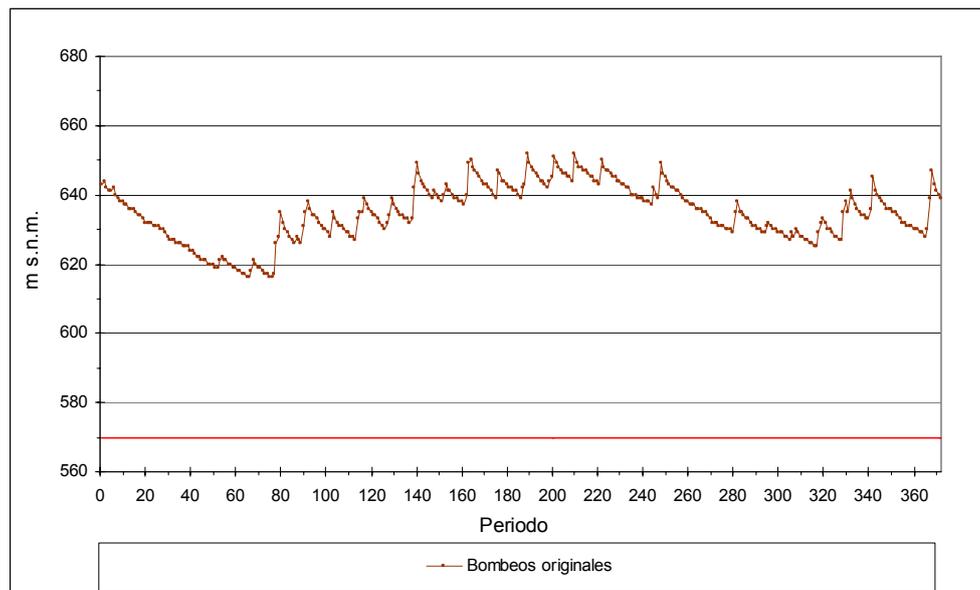


Figura 7.100. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 2.

El balance hídrico del acuífero Voltes obtenido es idéntico al caso anterior, con un vaciado del acuífero de $0,3 \text{ hm}^3$ para el periodo simulado.

Aumento de los bombeos

Tomando como base la simulación del Escenario 2 aumentamos progresivamente los bombeos hasta alcanzar el nivel crítico piezométrico.

Con un aumento del 10% en la explotación (línea azul en la Figura 7.101) se obtiene una evolución piezométrica similar a la observada para los bombeos originales, pero con una pequeña disminución de la cota de agua como consecuencia del aumento de las extracciones. En la simulación correspondiente a un aumento del 20% en la explotación (línea verde en la Figura 7.101) se observa que los valores piezométricos obtenidos comienzan a descender bruscamente a partir del periodo 250, alcanzándose el valor mínimo varias veces durante el intervalo simulado que comprende los periodos 250 a 372.

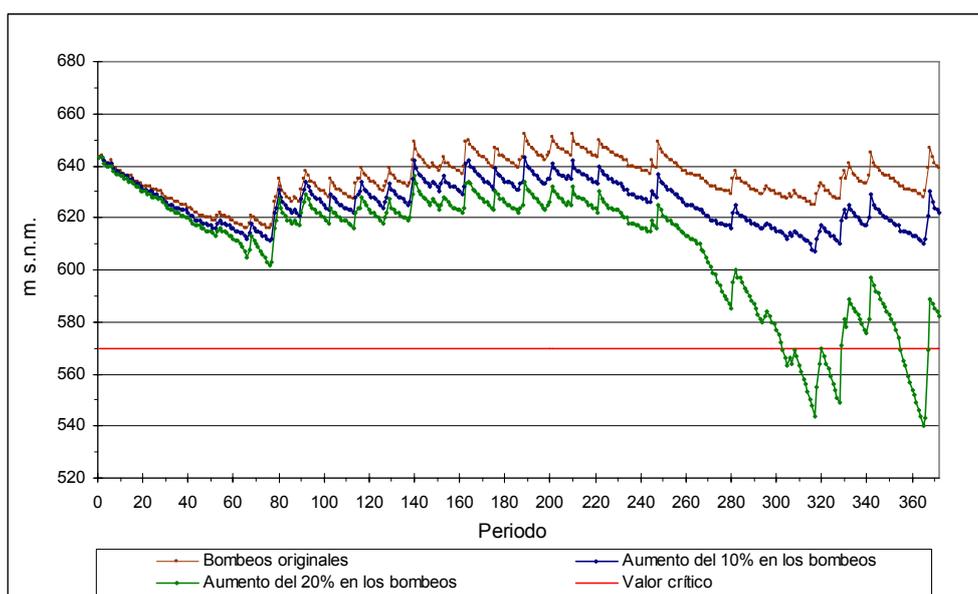


Figura 7.101. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 2 con un aumento en los bombeos.

7.2.2.7.C. Escenario 3

El tercer escenario de simulación considera la recarga que se obtiene tras considerar un valor de retención constante durante el periodo de calibración 1978 a 2008, sólo los valores de precipitación superiores a 600 dm^3 producen recarga en el acuífero (*epígrafe 7.2.2.6.A.III*). Los volúmenes superiores a 600 dm^3 se multiplican por un factor que proporciona un valor medio de $0,6 \text{ hm}^3/\text{año}$.

La distribución de recarga obtenida mediante este método se considera válida tras la calibración.

Se mantiene la explotación que se produce en el acuífero en el año hidrológico 2004–2005 en el pozo Voltes II durante los 30 años y se analizan las consecuencias.

Los valores de cotas piezométricas obtenidas en la simulación (Figura 7.102), muestran una evolución piezométrica representativa de un acuífero en equilibrio a largo plazo con descensos y ascensos cíclicos de la cota de agua, sin que alcance el nivel piezométrico su valor mínimo en el intervalo considerado de 372 periodos de 1 mes de duración.

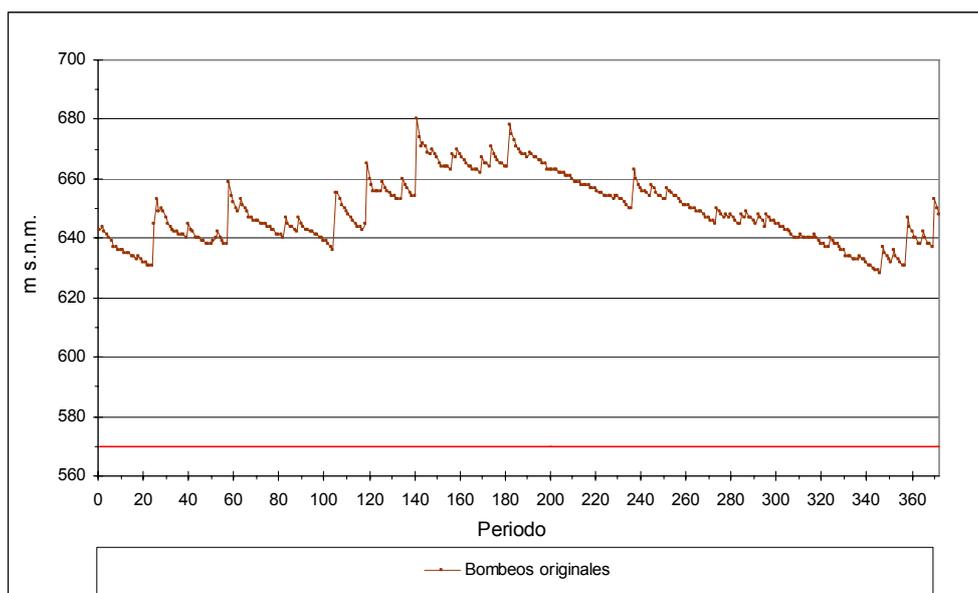


Figura 7.102. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 3.

El balance hídrico del acuífero Voltes obtenido mediante esta simulación refleja una situación de equilibrio en el acuífero con un superávit de $0,3 \text{ hm}^3$ al final del periodo de simulación.

Cuadro 7.14. Balance hídrico en el acuífero Voltes (escenario 3)

Año	Recarga anual (Dm ³)	Bombeos anuales (Dm ³)	Balance (Dm ³)	Balance acumulado (Dm ³)
0	0	587	-587	-587
1	104	565	-461	-1048
2	1.670	587	1.083	35
3	269	565	-296	-261
4	1.563	587	976	715
5	312	565	-253	462
6	387	587	-200	262
7	332	565	-233	29
8	1.273	587	686	715
9	1.266	565	701	1416

Cuadro 7.14. Balance hídrico en el acuífero Voltes (escenario 3)

Año	Recarga anual (Dm ³)	Bombes anuales (Dm ³)	Balance (Dm ³)	Balance acumulado (Dm ³)
10	498	587	-89	1327
11	2.134	565	1.569	2896
12	251	587	-336	2560
13	537	565	-28	2532
14	742	587	155	2687
15	981	565	416	3103
16	3	587	-584	2519
17	0	565	-565	1954
18	34	587	-553	1401
19	783	565	218	1619
20	521	587	-66	1553
21	0	565	-565	988
22	267	587	-320	668
23	476	565	-89	579
24	417	587	-170	409
25	85	565	-480	-71
26	388	587	-199	-270
27	0	565	-565	-835
28	563	587	-24	-859
29	1.151	565	586	-273
30	1.227	587	640	367
Total	18.234	17.867	367	
Mediana	417	586		
Media	588	576		

Aumento de los bombeos

Tomando como referencia la simulación del Escenario 3 aumentamos progresivamente los bombeos con el objetivo de alcanzar el nivel crítico piezométrico (Figura 7.103). La evolución piezométrica, correspondiente a un aumento del 10% en la explotación, refleja una tendencia similar a la observada para los bombeos originales, con un pequeño salto piezométrico como consecuencia del aumento de las extracciones. Al no alcanzarse la cota mínima en el muro del acuífero Serravalliense, se aumentan los bombeos hasta alcanzar el 20%. Como resultado, la evolución piezométrica comienza a reflejar un descenso de la cota de agua en el último tramo del intervalo simulado, alcanzándose los valores críticos entre los periodos 335 y 355.

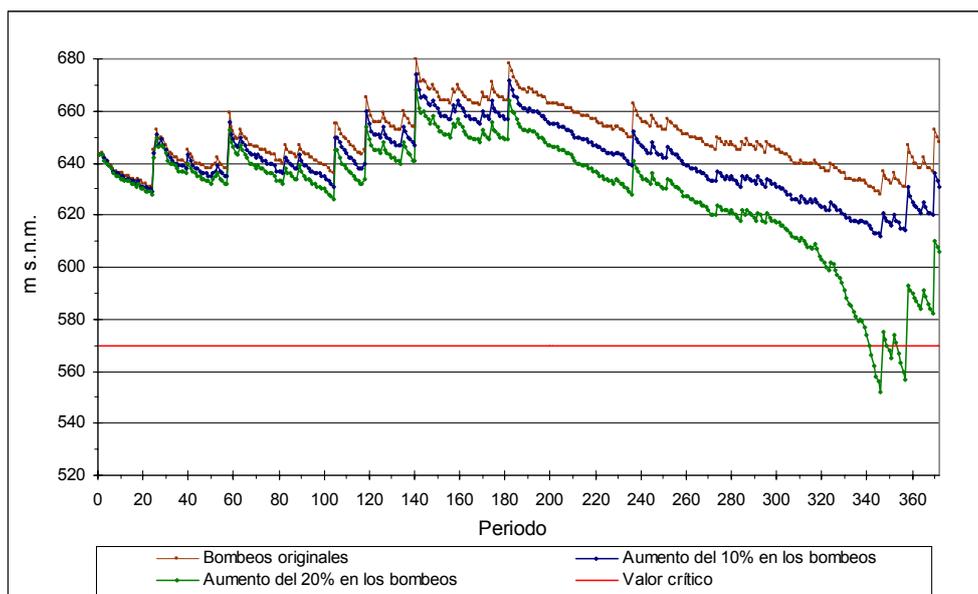


Figura 7.103. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 3 con un aumento en los bombeos.

7.2.2.7.D. Escenario 4

La hipótesis de simulación es similar a la expuesta en el Escenario 3, pero se desplaza el inicio del periodo de simulación al primer año en el que se produce un evento de sequía en la serie de recarga (Figura 7.104).

Se mantiene la explotación que se produce en el acuífero en el año hidrológico 2004–2005 en el pozo Voltes II durante los 30 años y se analizan las consecuencias.

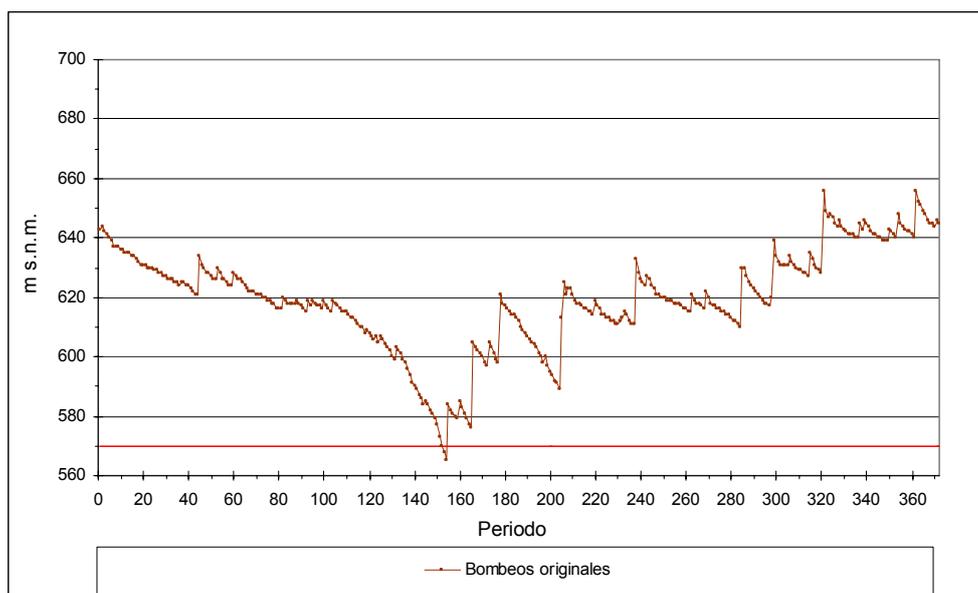


Figura 7.104. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 4.

El resultado es una evolución piezométrica donde la cota de agua se mantiene como media por debajo de la observada en la simulación del Escenario 3. La influencia de los bombeos en el acuífero dibuja una evolución en dientes de sierra con mínimos que pueden alcanzar y superar el muro del acuífero Serravalliense en periodos secos.

Aumento de los bombeos

Un aumento en las extracciones del 10% respecto a la serie de explotación original, supone una evolución piezométrica en dientes de sierra con picos mínimos muy acusados en eventos de sequía. Las hipótesis de simulación de este escenario ocasionan que la cota del nivel piezométrico se sitúe por debajo de la cota crítica en varios periodos del intervalo considerado (Figura 7.105).

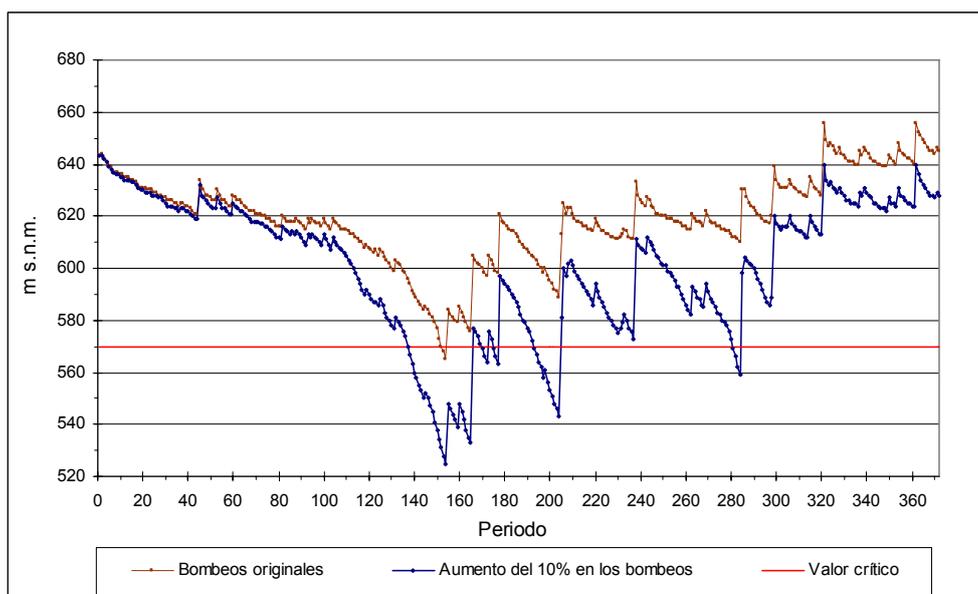


Figura 7.105. Evolución piezométrica en Voltes II según hipótesis simulación Escenario 4 con un aumento en los bombeos.

8. EVALUACIÓN DE LAS RESERVAS Y DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL. ANÁLISIS DE LAS POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN

8.1. ACUÍFERO BARRANCONES

Las reservas efectivas totales máximas del acuífero Barrancones ascienden a 98,67 hm³. Considerando el comportamiento del acuífero en el Escenario 1 de la simulación, las reservas medias son de 89,46 hm³, muy similar a la mediana (89,86 hm³), con una desviación estándar de 4,78 hm³. El valor mínimo de 77,45 hm³ se alcanza en un periodo de sequía (Figura 8.1).

Las reservas comprendidas entre las cotas piezométricas máxima y mínima de la superficie piezométrica es un instante, o reservas gravitativas, presentan un valor medio de 48,65 hm³ (Figura 8.2).

La curva de explotación sintética es muy estrecha (Figura 8.3). La mayor variabilidad se observa lógicamente en la parte superior del acuífero, de modo que por encima de la cota piezométrica máxima de 450 m s.n.m. la variabilidad se sitúa entre 1 y 8 hm³.

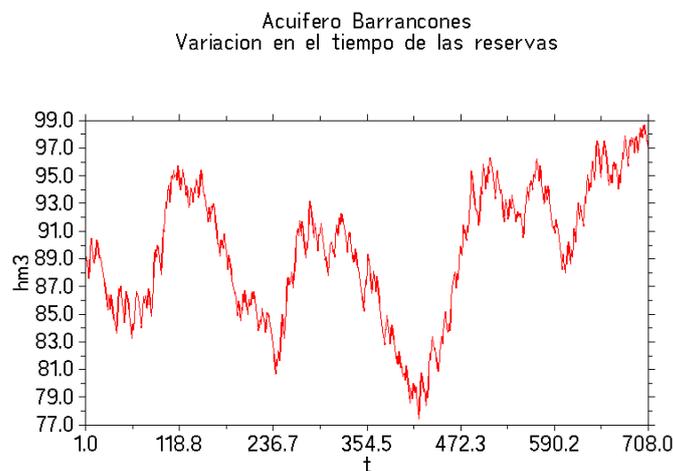


Figura 8.1. Variación de reservas del acuífero Barrancones. Escenario de simulación 1.

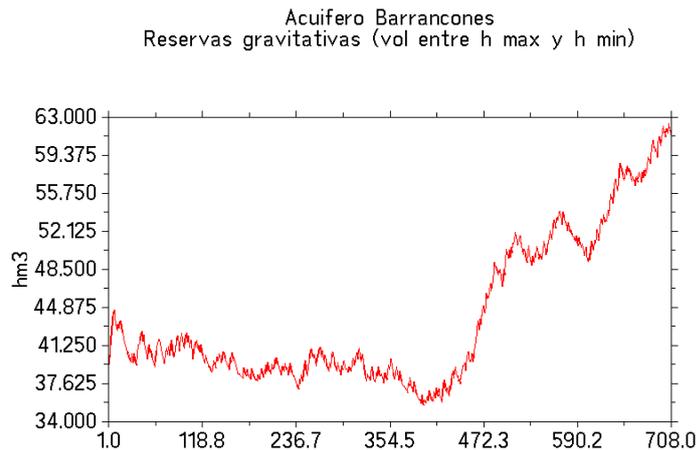


Figura 8.2. Evolución temporal de las reservas gravitativas en el acuífero Barrancones.

Entre la cota máxima y mínima de la superficie piezométrica se sitúa el volumen de reservas gravitativas en una situación dada. Su valor medio hasta el mes 460 de la simulación es de $42,86 \text{ hm}^3$, pero en la etapa final experimenta un aumento progresivo que le lleva hasta su valor máximo, en torno a 70 hm^3 . Los volúmenes en esta etapa final deben manejarse con precaución. Parece deberse a un drenaje lento de alguna zonas con afloramientos permeables a consecuencia del incremento de la recarga en en el último periodo de la simulación. Por lo tanto, se considera más aconsejable adoptar como valor característico de las reservas gravitatorias el que suministra la mediana, que es $43,87 \text{ hnm}^3$

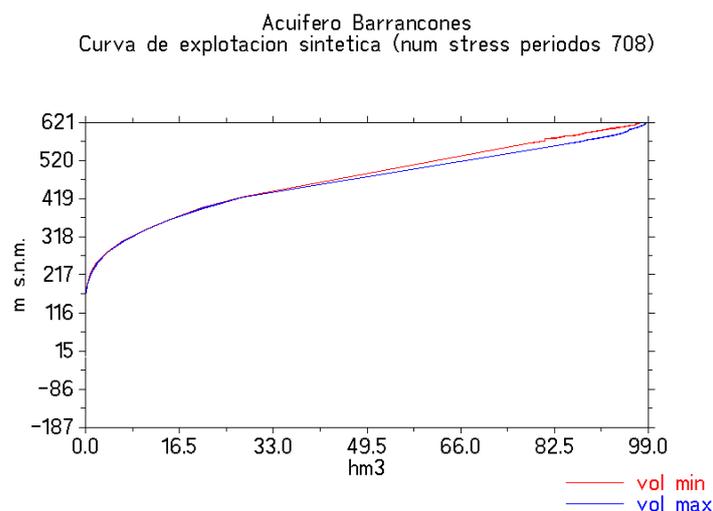


Figura 8.3. Curva de explotación sintética del acuífero Barrancones. Escenario de simulación 1.

Al tratarse de un acuífero de tamaño medio, con un régimen de bombeo relativamente regular, las variaciones en la geometría de la superficie piezométrica son relativamente pequeñas y

ocasionan un rango de reservas totales acumuladas bastante estrecho.

Cuadro 8.1. Valores de reservas considerados en la curva de explotación sintética del acuífero Barrancones. Escenario de simulación 1.

Cota (m s.n.m.)	Vol. total mínimo (m ³)	Vol. total máximo (m ³)	Cota (m s.n.m.)	Vol. total mínimo (m ³)	Vol. total máximo (m ³)
621	98.441.656	98.441.656	198	401.860	505.642
583	83.726.976	91.643.360	160	71.013	94.542
544	71.414.080	75.930.336	121	12.464	23.510
506	54.936.036	57.986.584	83	6.829	12.273
467	40.410.924	42.210.764	45	0	842
429	29.063.774	29.560.014	6	0	0
390	19.752.590	20.092.336	-32	120	664
352	12.874.080	13.027.970	-71	0	27
314	7.422.636	7.608.388	-109	0	0
275	3.600.748	3.780.657	-148	8	39
237	1.466.902	1.581.767	-186	0	0

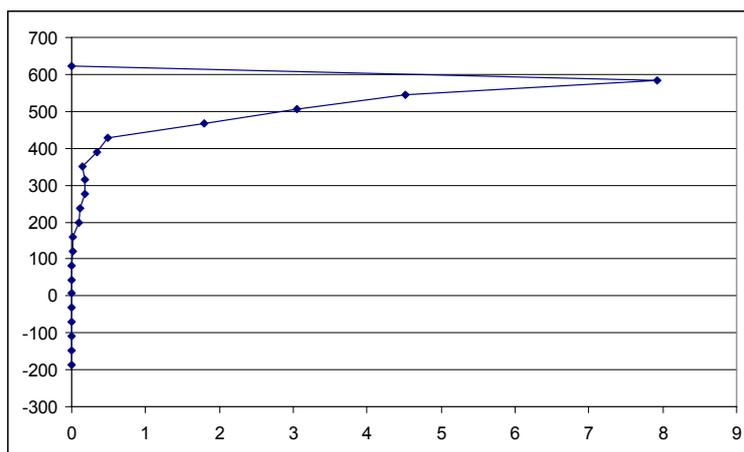


Figura 8.4. Rangos de reservas entre cotas en la curva de explotación sintética. Acuífero Barrancones, escenario de simulación 1.

Acuífero Barrancones
 Relación entre la cota piezométrica máxima y el vol de reservas

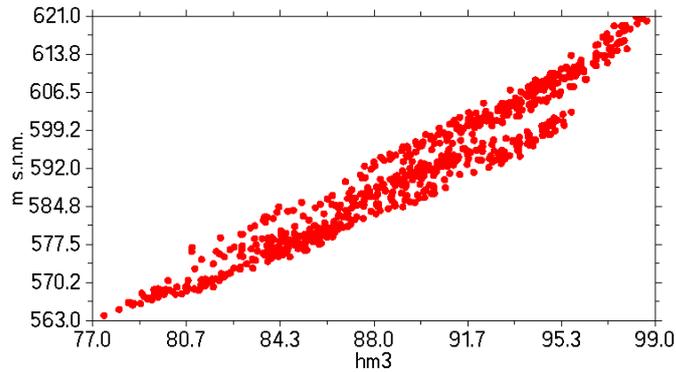


Figura 8.5. Relación entre la cota máxima de la superficie piezométrica y el volumen de reservas total del acuífero Barrancones.

Es una curva empírica, en que cada punto representa el volumen total de agua almacenada en el acuífero en un instante dado (eje de ordenadas) frente a la cota máxima de la superficie piezométrica en ese mismo instante (eje de abcisas).

Curva de explotación acuífero Barrancones
 stress period 703

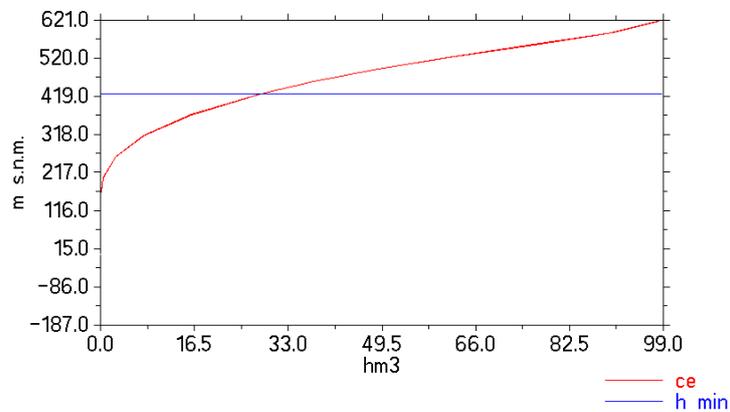


Figura 8.6. Curva de explotación (ce) en la situación de máximo llenado del acuífero Barrancones.

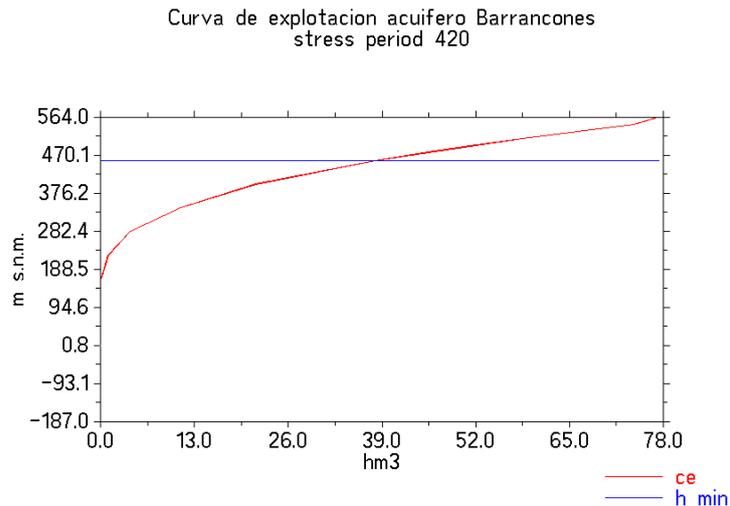


Figura 8.7. Curva de explotación (ce) en la situación de volumen mínimo de reservas en el acuífero Barrancones.

8.2. ACUÍFERO VOLTES

Las reservas totales del acuífero Voltes ascienden a 305.000 m³. Dadas las pequeñas dimensiones del acuífero y la intensidad de los bombeos, sensiblemente similares a la recarga media, el nivel de utilización de las reservas es extremo, pues se observa que en un periodo de máxima sequía el acuífero se queda con tan solo 71.000 m³ de agua (Figura 8.8). El volumen de reservas medio es de 187.361 m³, muy similar a la mediana (187.572 m³), con una desviación estándar de 42.164 m³.

Las reservas comprendidas entre las cotas piezométricas máxima y mínima de la superficie piezométrica es un instante, o reservas gravitativas, presentan un valor medio de 13.878 m³ (Figura 8.9) y un sesgo hacia la izquierda, pues la mediana es 7.482 m³.

Al tratarse de un acuífero pequeño con fuertes oscilaciones de la superficie piezométrica en un periodo de simulación largo, se pone muy claramente de manifiesto como la geometría de la superficie piezométrica origina que el volumen total acumulado en el acuífero pueda ser variable con respecto al valor máximo de la cota piezométrica (Figura 8.10 y Figura 8.11). La curva de explotación sintética es una expresión de esta variabilidad, y no es más que la constatación que la superficie piezométrica no se mantiene la misma geometría durante todo el periodo, y que esta variación resulta significativa en relación con el volumen de agua en el acuífero.

Se considera que el actual nivel de bombeos es demasiado elevado en relación a los recursos renovables y su volumen de reservas. Esta situación podría ocasionar un fallo en el

abastecimiento ante una situación de sequía extraordinaria o una posible disminución de la recarga futura, tal como parecen apuntar algunas predicciones del IPCC.

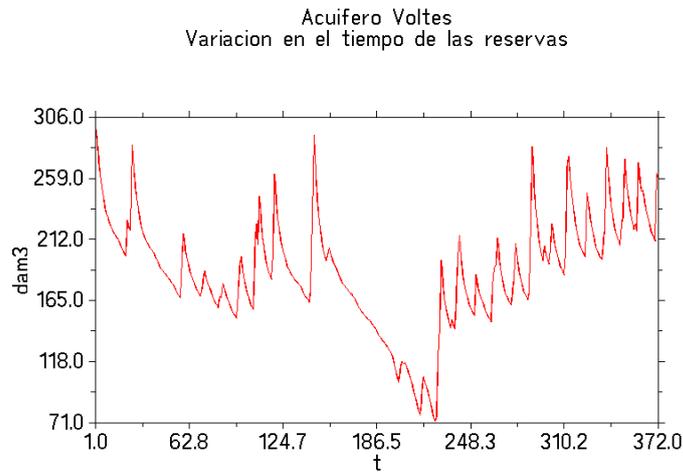


Figura 8.8. Variación de reservas del acuífero Voltes. Escenario de simulación 1.

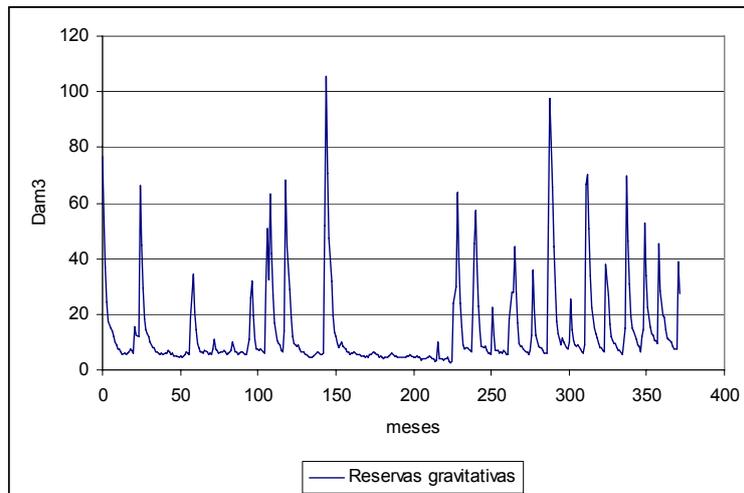


Figura 8.9. Evolución temporal de las reservas gravitativas en el acuífero Voltes.

Entre la cota máxima y mínima de la superficie piezométrica se sitúa el volumen de reservas gravitativas en una situación dada. Su valor máximo es de 105.383 m³ y se sitúa en el mes 145 del periodo de simulación. Los picos están ocasionadas por los principales eventos de recarga, que se disipan de un modo rápido a los pocos meses. En el último periodo de la simulación (a partir del mes 230 aproximadamente), se observa un incremento gradual de los valores mínimos a consecuencia de tratarse de un periodo húmedo.

Acuífero Voltes
Curva de explotación sintética (num stress periodos 372)

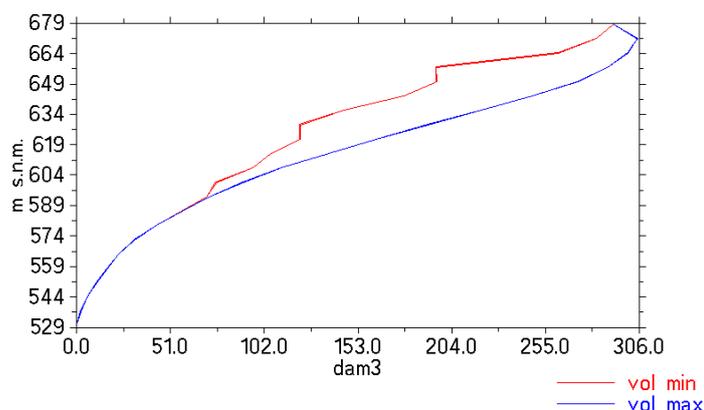


Figura 8.10. Curva de explotación sintética del acuífero Voltes.
Escenario de simulación 1.

A partir de la cota 590 m aproximadamente, para un valor de cota máxima de la superficie piezométrica se han observado distintos valores de reservas totales en el acuífero. Este efecto se manifiesta mejor en los acuíferos pequeños que experimentan fuertes variaciones de la superficie piezométrica, como es el caso de Voltes.

Cuadro 8.2. Valores de reservas considerados en la curva de explotación sintética del acuífero Voltes. Escenario de simulación 1.

Cota (m s.n.m.)	Vol. total mínimo (m³)	Vol. total máximo (m³)	Cota (m s.n.m.)	Vol. total mínimo (m³)	Vol. total máximo (m³)
678,4	292.124,0	305.184,1	600,5	76.007,8	90.690,7
671,3	283.024,7	305.184,1	593,4	70.918,4	72.206,5
664,2	261.980,5	299.966,9	586,3	57.323,1	57.905,3
657,2	195.682,6	288.672,6	579,3	43.507,9	43.714,6
650,1	195.881,8	272.427,2	572,2	31.664,7	31.711,8
643,0	177.859,5	248.039,6	565,1	23.012,1	23.013,4
635,9	145.404,9	220.277,8	558,0	16.801,4	16.806,8
628,8	121.537,6	190.994,9	550,9	10.911,8	10.914,9
621,8	121.579,1	163.056,4	543,9	5.976,5	5.977,6
614,7	105.807,9	137.156,5	536,8	2.205,3	2.205,5
607,6	95.930,5	111.697,3	529,7	0,0	0,0

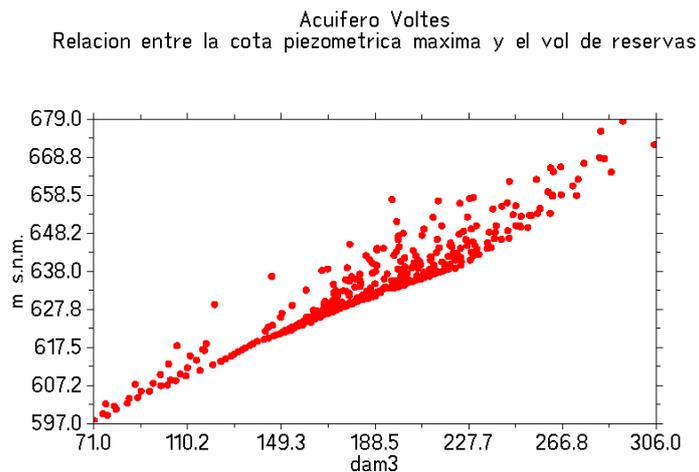


Figura 8.11. Relación entre la cota máxima de la superficie piezométrica y el volumen de reservas total del acuífero Voltes.

Ya se ha indicado al tratar el acuífero Voltes el carácter empírico del gráfico. Cada punto corresponde al volumen total de agua almacenada en el acuífero frente a la cota máxima de la superficie piezométrica en un instante dado.

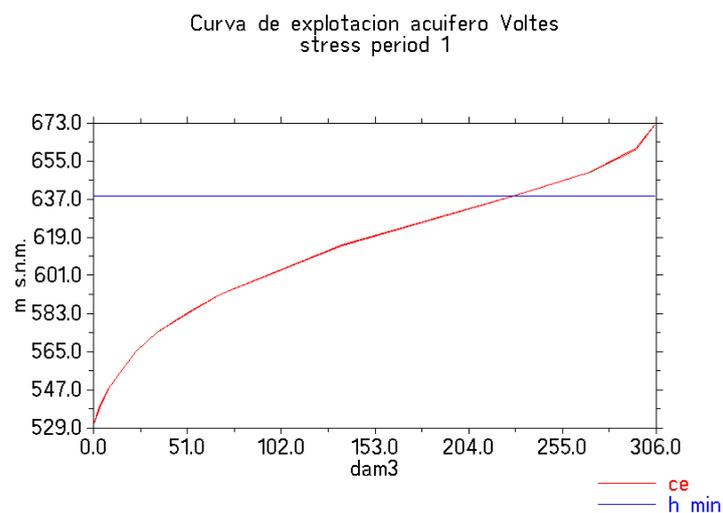


Figura 8.12. Curva de explotación (ce) en la situación de máximo llenado del acuífero Voltes.

H min es cota mínima de la superficie piezométrica. Entre esta cota y la máxima del acuífero se sitúan 76.697 m³ de reservas gravitativas.

Curva de explotacion acuífero Voltes
stress period 225

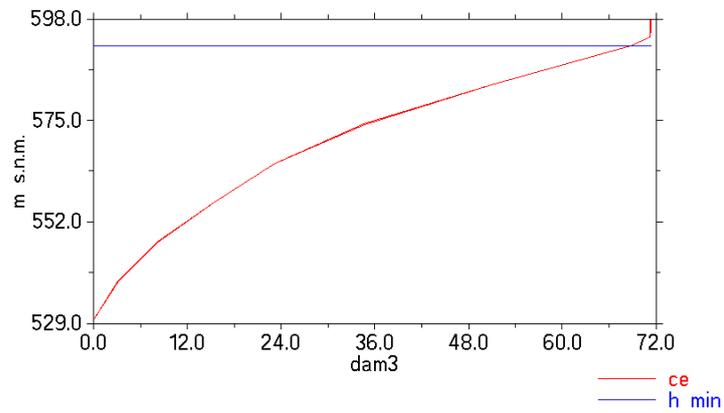


Figura 8.13. Curva de explotación (ce) en la situación de volumen mínimo de reservas en el acuífero Voltes.

En este caso el valor mínimo se produce en el mes 225 desde el inicio la simulación. El volumen de reservas gravitativas es de $2\,566\text{ m}^3$

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHJ (1997). Normas de explotación de unidades hidrogeológicas de la cuenca del Vinalopó y zonas adyacentes de Alicante. 5 tomos. Inédito.
- CHJ (1997). Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar.
- DGOH–MOPU (1990). Mapa de unidades hidrogeológicas de la España Peninsular e Islas Baleares.
- DPA (1989). Estado del abastecimiento público de agua a municipios de Alicante. Inédito.
- DPA (1989-2008). Red de calidad química de las aguas continentales subterráneas y superficiales de la provincia de Alicante. Inédito.
- DPA (1991-2008). Campaña piezométrica en la provincia de Alicante. Inédito.
- DPA (1992). Control de explotaciones para abastecimiento público a varios núcleos de la provincia de Alicante. Inédito.
- DPA (1992). Mapa del Agua, provincia de Alicante.
- DPA (1999). Determinación de caudales hiperanuales en manantiales provinciales de la red hidrométrica. Generación de series sintéticas. Inédito.
- DPA (2000). Aumento de recursos hídricos mediante incremento de recarga por infiltración de lluvia en los embalses subterráneos provinciales. Inédito.
- DPA (2001a). Implantación de modelos de simulación y gestión de recursos hídricos en el sistema de información. Inédito.
- DPA (2001). Actualización del balance hídrico en el acuífero Barrancones. Simulación de su evolución ante distintas hipótesis de explotación. Inédito.
- DPA (2002). Mapa Hidrológico Provincial de Alicante. DPA.
- DPA (2002). Determinación de los límites hidrogeológicos en diversos acuíferos provinciales. Definición geométrica. 2 tomos, 128 pp. Inédito.
- DPA (2005). Prospección geofísica mediante sondeos electromagnéticos en el término municipal de Ibi (provincia de Alicante). Inédito.
- DPA (2007). Establecimiento e implementación de una metodología para controlar las reservas útiles de los embalses subterráneos principales de la provincia d Alicante. Inédito.
- DPA (2009). Actualización de los modelos de simulación numérica en los acuíferos de Barrancones y Mediodía. Implantación en el Sistema de Información Hidrológica. Inédito.
- DPA–CHJ (1994). Redacción de los planes de explotación de los acuíferos Jurásico de Sierra Mariola y Cuaternario de Muro de Alcoy. Inédito.
- DPA–IGME (1982). Las Aguas Subterráneas de la Provincia de Alicante. 2 tomos, 754 pp. Inédito.
- DPA-IGME. Ciclo Integral del Agua del Municipio de Jijona. Inédito.
- DPA-IGME (1992). Metodología de trabajo y aplicaciones informáticas empleadas en la modelización estocástica de los acuíferos de Jijona–Carrasqueta, Negre, Ventós–Castelar y Solana. Inédito.

- DPA-IGME (1992). Ciclo Integral del Agua del Municipio de Jijona.
- DPA-IGME (1994). Determinación de los parámetros hidrogeológicos de la formación acuífera Jijona con vistas a la realización de una recarga artificial. Inédito.
- DPA-IGME (2001). Desarrollo metodológico para gestión de cuencas mediante el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas. Modelo de gestión del sistema Vinalopó–Alacantí. Inédito.
- DPA-IGME (2001). Determinación de las reservas hídricas subterráneas en el acuífero de Jijona (provincia de Alicante). Inédito.
- DPA-IGME (2003). Determinación de Reservas útiles en acuíferos de abastecimiento público en Alicante: Acuífero Solana, Maigmó, Sella, Beniardá–Polop y Solana de la Llosa. 5 tomos, 401 pp. Inédito.
- DPA-IGME (2003). Determinación de Reservas útiles en acuíferos de abastecimiento público en Alicante: Ventós–Castellar, Cabranta, Rentonar, Canaleta y Masets–Alcoyes. Inédito.
- DPA-IGME (2004). Realización de estudios de definición geométrica de acuíferos en la unidad de Barrancones–Carrasqueta (Alicante). Inédito.
- DPA-IGME (2005). Realización de trabajos de inventario de puntos de agua y cartografía digital en la zona central de Alicante. Inédito.
- DPA-IGME (2006). Estudios de determinación del funcionamiento hidrogeológico y balance, caracterización hidroquímica y evaluación de recursos de los acuíferos de la unidad de Barrancones-Carrasqueta (Alicante). Inédito.
- Estrela Monreal, Teodoro (1990). Técnicas estocásticas de completado de series mensuales de precipitaciones y aportaciones. *En curso sobre evaluación de recursos hídricos*, CEDEX.
- IGME (1975). Memoria y Hoja Geológica núm. 821 (Alcoy) Mapa Geológico de España E: 1/50.000. Servicio de Publicaciones.
- IGME (1977). Propuesta de perímetro de protección de un sondeo utilizado para el abastecimiento de Castalla. Inédito
- IGME (1978). Memoria y Hoja Geológica núm. 846 (Castalla) Mapa Geológico de España E: 1/50.000. Servicio de Publicaciones.
- IGME (1978). Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Investigación hidrogeológica de la Cuenca Baja del Segura. Informe técnico nº 3 Cuenca alta del Vinalopó. Inédito
- IGME (1979). Estudio hidrogeológico para abastecimiento del municipio de Alcoy; en «Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos». Inédito
- IGME (1988). Estudio hidrogeológico de las Sierras de Madroñal, Carrasqueta y Plans para mejorar el abastecimiento público a Jijona. Inédito.
- IGME (1989). Hidrogeología y regulación de recursos hídricos subterráneos para el abastecimiento a la ciudad de Alcoy (Alicante). Inédito.
- IGME (1989). Estudio del comportamiento hidrogeológico de los sistemas acuíferos de El Molinar, Barxell y Salt-San Cristóbal. Inédito.

- IGME. (1989). Actualización de explotaciones en acuíferos de la cuenca del Segura y Vinalopó. Inédito.
- IGME (1989). Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Servicio de Publicaciones del IGME, Colección Informe, 298 pp.
- IGME (2008). Evaluación de reservas hidrogeológicas. Conceptos y metodologías. Inédito.
- IGME–GHUMA (2003). Estudio metodológicos para la estimación de la recarga en diferentes tipos de acuíferos carbonáticos: aplicación a la Cordillera Bética. 3 tomos.
- Rodríguez Estrella, T. (1977a). Síntesis geológica del Prebético de la provincia de Alicante. I Estratigrafía. Boletín Geológico y Minero de España. T LXXXVIII-III, pp. 183-214.
- Rodríguez Estrella, T. (1977b). Síntesis geológica del Prebético de la provincia de Alicante. II Tectónica. Boletín Geológico y Minero de España. T LXXXVIII-IV, pp. 273-299.
- Rodríguez Hernández, Hernández Bravo, et al. (2003) Los manantiales provinciales. Primera parte. DPA.
- Rodríguez Hernández, Hernández Bravo y Fernández Mejuto (2007). Los Manantiales provinciales. Segunda parte. DPA.
- Rodríguez Hernández et al. (2007). Mapa del Agua. Provincia de Alicante. Segunda edición. DPA.
- Solís G-Barbón, L., Rodríguez Estrella, T., Cabezas Calvo-Rubio, F. y Senent Alonso, M., 1983. Cálculo de la curva de explotación en el sistema acuífero de la Sierra de Crevillente (Alicante). III Simp. Nac. de Hidrog. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, tomo IX, pp. 345-358 Madrid.
- Villanueva Martínez, Manuel; Iglesias López, Alfredo (1984). Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. IGME