UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y MEDIO AMBIENTE

Convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Universitat Politècnica de València para la mejora de modelos hidrológicos

Informe final

Valencia, septiembre de 2019

Dirigido por:

Laura Tanco Ballesteros

Aranzazu Fidalgo Pelarda

Teodoro Estrela Monreal

Informe elaborado por:

Miguel Ángel Pérez Martín

Eduardo Cassiraga

Javier Paredes Arquiola

Abel Solera Solera

ÍNDICE

1 Introducción 1

2 Actividad 1, 2 y 3. 3

3 Actividades 4 y 5. Modelo único Aquatool y efectos modernización Acequia Real del Júcar 33

4 Actividades 6 y 7. Mejora y actualización del modelo Patrical. 63

6 Modelos de aguas subterráneas de Utiel-Requena y Cabrillas -Malacara y Plana de Valencia..... 99

7 Referencias..... 187

ÍNDICE EXPANDIDO

1 Introducción 1

2 Actividad 1, 2 y 3. 3

2.1 Definición de nuevas entradas al modelo del Parque de L'Albufera (Aquatool). 4

2.2 Propuesta de modificación del modelo del parque de la Albufera..... 7

2.3 Estructura Definitiva del modelo del parque 8

2.4 Estimación de las entradas al Lago 10

2.5 Análisis de entradas al lago. 15

2.6 Ajuste de patrones de calidad del modelo cualitativo Albufera. 17

2.7 Nuevos datos de Acequias: 17

2.8 Propuestas de cambio en el reparto de acequias. 20

2.9 Reflexión sobre la validez de "los ceros" en los datos de caudal en las acequias 21

2.10 Propuestas de cambio en las concentraciones de las fuentes 24

2.11 Propuestas cálculo del porcentaje de entrada al lago..... 26

2.12 Calibración del modelo de calidad de aguas de la Albufera..... 27

2.13 Modelado del escenario actual y evaluación de la eficacia de las medidas 28

2.14 Transferencia de resultados 31

3 Actividades 4 y 5. Modelo único Aquatool y efectos modernización Acequia Real del Júcar 33

3.1 Balance de aforos entre Tous y Huerto Mulet. 33

3.2 Análisis del balance aguas abajo de Huerto Mulet. 43

3.3 Análisis del suministro histórico en la Ribera Alta. 48

3.4 Previsión de la evolución de retornos en la Ribera Alta con la modernización de regadíos pendiente. 50

4 Actividades 6 y 7. Mejora y actualización del modelo Patrical. 63

4.1 Evapotranspiración potencial 66

4.2 Funcionamiento acuífero Utiel-Requena 68

4.3 Incorporación de manantiales y ríos temporales 69

4.4 Incorporación masas de agua subterránea 2018 y puntos de drenaje . 71

4.5 Actualización de series y completado 75

4.6 Simulación de series desde octubre de 1900 81
4.7 Serie de la Demarcación del Júcar desde el año 1900 87
4.8 Mejora de la simulación de la concentración de nitrato superficial 89
4.9 Mejora de la estimación de los aportes de agua a la Albufera de Valencia 95
4.10 Calibración del modelo Patrical considerando la cantidad y la calidad del agua 97
6 Modelos de aguas subterráneas de Utiel-Requena y Cabrillas -Malacara y Plana de Valencia 99
6.1 Introducción 99
6.2 Modelo de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara 99
6.3 Modelo de la Plana Norte y Sur de Valencia 143
7 Referencias 187

Índice detallado

1 Introducción 1

2 Actividad 1, 2 y 3. 3

2.1 Definición de nuevas entradas al modelo del Parque de L'Albufera (Aquatool). 4

2.2 Propuesta de modificación del modelo del parque de la Albufera..... 7

2.3 Estructura Definitiva del modelo del parque 8

2.4 Estimación de las entradas al Lago 10

2.5 Análisis de entradas al lago. 15

2.6 Ajuste de patrones de calidad del modelo cualitativo Albufera. 17

2.7 Nuevos datos de Acequias: 17

2.8 Propuestas de cambio en el reparto de acequias. 20

2.9 Reflexión sobre la validez de "los ceros" en los datos de caudal en las acequias 21

2.10 Propuestas de cambio en las concentraciones de las fuentes 24

2.11 Propuestas cálculo del porcentaje de entrada al lago..... 26

2.12 Calibración del modelo de calidad de aguas de la Albufera..... 27

2.13 Modelado del escenario actual y evaluación de la eficacia de las medidas 28

2.14 Transferencia de resultados 31

3 Actividades 4 y 5. Modelo único Aquatool y efectos modernización Acequia Real del Júcar 33

3.1 Balance de aforos entre Tous y Huerto Mulet. 33

3.1.1 Revisión de la serie de datos de aforo en Huerto Mulet. 34

3.1.2 Cálculo de la ganancia del río mediante balance. 35

3.1.3 Contraste con datos de suministros. 38

3.1.4 Análisis de episodios de lluvia en el hidrograma de ganancia en el río. Y detección de anomalías en los datos. 40

3.1.5 Estimación de retornos en el tramo Tous a Huerto Mulet. 41

3.2 Análisis del balance aguas abajo de Huerto Mulet. 43

3.2.1 Tramo Huerto Mulet a Sueca 44

3.2.2 Tramo del azud de Sueca al de Cullera 45

3.2.3 Tramo del azud de Cullera al de La Marquesa 46

3.2.4 Valoración final de los datos y el balance de ganancias en el tramo. 47
3.3 Análisis del suministro histórico en la Ribera Alta. 48
3.4 Previsión de la evolución de retornos en la Ribera Alta con la modernización de regadíos pendiente. 50
3.4.1 Asignaciones, demandas y eficiencias. 50
3.4.2 Destino de los retornos 52
3.4.2.1 Distribución de la red de acequias en la ribera alta. 53
3.4.2.2 Balance de datos de aforo en el río. 54
3.4.2.3 Análisis de los retornos de riego en atención a su procedencia. 55
3.4.3 Ahorro potencial con la futura modernización. 59
4 Actividades 6 y 7. Mejora y actualización del modelo Patrical. 63
4.1 Evapotranspiración potencial 66
4.2 Funcionamiento acuífero Utiel-Requena 68
4.3 Incorporación de manantiales y ríos temporales 69
4.4 Incorporación masas de agua subterránea 2018 y puntos de drenaje . 71
4.5 Actualización de series y completado 75
4.6 Simulación de series desde octubre de 1900 81
4.7 Serie de la Demarcación del Júcar desde el año 1900 87
4.8 Mejora de la simulación de la concentración de nitrato superficial 89
4.9 Mejora de la estimación de los aportes de agua a la Albufera de Valencia 95
4.10 Calibración del modelo Patrical considerando la cantidad y la calidad del agua 97
6 Modelos de aguas subterráneas de Utiel-Requena y Cabrillas -Malacara y Plana de Valencia 99
6.1 Introducción 99
6.2 Modelo de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara 99
6.2.1 Motivación 99
6.2.2 Objetivos 99
6.2.3 Antecedentes 100
6.2.4 Marco hidrológico 104
6.2.4.1 Localización del área de estudio 104
6.2.4.2 Clima, temperatura y precipitación 104

6.2.4.3 Modelo digital del terreno 106
6.2.4.4 Red fluvial, embalses y manantiales 106
6.2.4.5 Límites 107
6.2.4.6 Unidades hidrogeológicas 108
6.2.4.7 Dominios hidrogeológicos 109
6.2.5 Información disponible 111
6.2.5.1 Piezometría 111
6.2.5.2 Flujos 114
6.2.5.3 Recarga 115
6.2.5.4 Bombeos 117
6.2.6 Diseño y construcción del modelo 119
6.2.6.1 Creación del modelo 120
6.2.6.2 Implementación de la discretización horizontal 121
6.2.6.3 Implementación de la discretización vertical 121
6.2.6.4 Introducción de la discretización temporal 122
6.2.6.5 Introducción de la condición inicial 123
6.2.6.6 Asignación preliminar de parámetros 124
6.2.6.7 Implementación de las condiciones de contorno 125
6.2.6.8 Introducción de las acciones exteriores 133
6.2.6.9 Selección del solver 135
6.2.6.10 Zonas para el balance 135
6.2.7 Calibración 136
6.2.7.1 Los parámetros 136
6.2.7.2 Las conductancias del lecho de los ríos 137
6.2.7.3 El solver 137
6.2.8 Balance en régimen influenciado 137
6.2.8.1 Evolución de la recarga 137
6.2.8.2 Evolución de los bombeos 138
6.2.8.3 Evolución de las transferencias laterales 138
6.2.8.4 Evolución de la relación río-acuífero 139
6.2.8.5 Evolución del almacenamiento del acuífero 139
6.2.8.6 Balance hidrológico 140
6.2.8.7 Piezometría 140
6.2.8.8 Comentarios 141

6.3 Modelo de la Plana Norte y Sur de Valencia 143
6.3.1 Motivación 143
6.3.2 Objetivos 143
6.3.3 Antecedentes 143
6.3.4 Marco hidrológico 144
6.3.4.1 Localización del área de estudio 144
6.3.4.2 Clima, temperatura y precipitación 145
6.3.4.3 Modelo digital del terreno 145
6.3.4.4 Red fluvial 146
6.3.4.5 Manantiales, marjales y lagos 147
6.3.4.6 Canales o acequias 149
6.3.4.7 Límites 150
6.3.4.8 Unidades hidrogeológicas 151
6.3.4.9 Dominios hidrogeológicos 152
6.3.5 Información disponible 153
6.3.5.1 Piezometría 153
6.3.5.2 Flujos 154
6.3.5.3 Recarga 155
6.3.5.4 Bombeos 157
6.3.6 Diseño y construcción del modelo 159
6.3.6.1 Creación del modelo 159
6.3.6.2 Implementación de la discretización horizontal 160
6.3.6.3 Implementación de la discretización vertical 161
6.3.6.4 Introducción de la discretización temporal 162
6.3.6.5 Introducción de la condición inicial 163
6.3.6.6 Asignación preliminar de parámetros 164
6.3.6.7 Implementación de las condiciones de contorno 166
6.3.6.8 Introducción de las acciones exteriores 172
6.3.6.9 Selección del solver 172
6.3.6.10 Zonas para el balance 173
6.3.7 Calibración 174
6.3.7.1 Los parámetros de los acuíferos 174
6.3.7.2 Los parámetros de los ríos 178
6.3.7.3 Los parámetros de la Albufera 178

6.3.8 Balance en régimen influenciado 178
6.3.8.1 Evolución de la recarga 179
6.3.8.2 Evolución de los bombeos 179
6.3.8.3 Evolución de las transferencias laterales 179
6.3.8.4 Evolución de la relación río-acuífero 180
6.3.8.5 Evolución del almacenamiento del acuífero 180
6.3.8.6 Balance hidrológico 181
6.3.8.7 Piezometría 182
6.3.8.8 Comentarios 185

7 Referencias 187

Índice de figuras

Figura 1. Puntos de medida en el tramo entre Tous, Bellús, Forata hasta el aforo de Huerto Mulet. 34

Figura 2. Histograma de datos para los aforos estudiados desde 1980. 35

Figura 3. Ganancia calculada para el tramo de río entre Tous y Huerto Mulet para el año hidrológico 2011/12. 36

Figura 4. Separación de la aportación en régimen natural y el retorno de riegos en el tramo entre Tous y Huerto Mulet para el año hidrológico 2011/12..... 36

Figura 5. Serie mensual de aportaciones intermedias y retornos estimados mediante el procedimiento de separación del hidrograma..... 37

Figura 6. Separación del hidrograma para un mismo año en dos momentos diferentes..... 37

Figura 7. Balance de aforos y suministros a los canales durante el año 2010/11. 38

Figura 8. Grafíco con datos diarios de un año de: lluvias (en mm eje vertical derecho), balance de aforos hasta Huerto Mulet y suministros totales a la Ribera Alta..... 40

Figura 9. Resultados de porcentajes de retorno calculados por años separando entre la campaña de riego intensivo (verano) y el resto del año. 42

Figura 10. Histograma de datos disponibles en el río Júcar aguas abajo de Huerto Mulet. 43

Figura 11. Puntos de aforo considerados aguas abajo de Huerto Mulet. 43

Figura 12. Datos y balance mensual en el tramo de Huerto Mulet al azud de Sueca. 44

Figura 13. Balance diario en el tramo de Huerto Mulet al azud de Sueca. 44

Figura 14. Datos y balance mensual en el tramo del azud de Sueca al azud de Cullera. 45

Figura 15. Balance diario en el tramo del azud de Sueca al azud de Cullera. 45

Figura 16. Datos y balance mensual en el tramo del azud de Cullera al de La Marquesa..... 46

Figura 17. Balance diario en el tramo del azud de Cullera al de La Marquesa. . 46

Figura 18. Suministro anual a la ARJ. 48

Figura 19. Suministro diario a la ARJ durante algunos años seleccionados. 49

Figura 20: Serie anual de suministros superficiales a la Acequia Real del Júcar 52

Figura 21: Esquema de acequias principales en el primer tramo de la Ribera Alta (antes del Magro). (Fuente: Cartografía de regadíos Históricos CHJ) 53

Figura 22: Red de acequias secundaria en la ARJ después de pasar el río Magro.). (Fuente: Cartografía de regadíos Históricos CHJ) 54

Figura 23: Esquema de relación entre el nivel en arrozales y el lago. 59

Figura 24. Evolución de la evapotranspiración potencial en la Demarcación del Júcar. 66

Figura 25. Red de estaciones SIAR. 67

Figura 26. Resultados de la evapotranspiración potencial del modelo del Plan Hidrológico 2015-2021 (ETo2015) del aversión actual del modelo (ETo2016) y de la red SIAR para la provincia de Cuenca. 67

Figura 27. Actualización de las masas de agua subterráneas en la Demarcación del Júcar 71

Figura 28. Puntos de control y puntos de drenaje superficial al mar. 72

Figura 29. Zonas hidroclimáticas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. ... 75

Figura 30. Estaciones de precipitación entre 1900 y 1910. 76

Figura 31. Estaciones de precipitación entre 1910 y 1914 (izquierda), conjunto de estaciones desde 1900 a 1914 (derecha). 76

Figura 32. Estaciones de precipitación entre 1915 y 1919 (izquierda), conjunto de estaciones desde 1900 a 1919 (derecha). 77

Figura 33. Estaciones de precipitación en las décadas de 1920-1929 y 1930-1939 (izquierda), conjunto de estaciones desde 1900 a 1939 (derecha). 77

Figura 34. Estaciones de precipitación históricas. 78

Figura 35. Estaciones de precipitación de los grupos de completado de datos. 79

Figura 36. Aportaciones anuales históricas en el Cenia y Mijares. Río Cénia en el Molí de Chirlets, Río Servol en el aforo, río Montán en el aforo y río Mijares en la presa de Vila-Real. 81

Figura 37. Aportaciones históricas en el Barranco del Carraixet y en el río Alfambra. 82

Figura 38. Aportaciones históricas en el río Turia: en Teruel, en Bugarra, en Villamarchante y en Manises (la Presa) 82

Figura 39. Aportaciones históricas en el río Júcar: en Cuenca, río Marimota en Belmontejo, Alarcón y el Carrasco. 83

Figura 40. Aportaciones históricas en el río Cabriel y confluencia con el Júcar: en el río Ojos en Camporobles, río Contreras, Júcar en Alcalá del Júcar y Júcar en Tous. 83

Figura 41. Aportaciones históricas en el tramo final del Júcar: en Alzira, en Huerto Goig, en Huerto Mulet, y en el azud de Sueca. 84

Figura 42. Aportaciones históricas en el tramo final del Júcar: en Alzira, en Huerto Goig, en Huerto Mulet, y en el azud de Sueca. 84

Figura 43. Aportaciones históricas en el río Guadalest. 85

Figura 44. Aportaciones históricas en Amadorio y su afluente el Sella. 85

Figura 45. Aportaciones históricas en el Monegre y en el río Vinalopó. 86

Figura 46. Precipitación en la Demarcación del Júcar desde el año 1900/01 hasta la actualidad. 87

Figura 47. Aportación anual en la Demarcación del Júcar (hm^3/año). 88

Figura 48. Concentración observada (izquierda) y simulada (derecha). 89

Figura 49. Nivel piezométrico y concentración de nitrato observado y simulado en la Plana de Valencia sur en la zona del azud de Antella. 90

Figura 50. Nivel piezométrico observado y simulado y concentraciones de nitrato en la Plana de Valencia Sur en el entorno del río Júcar en Alzira y en Sueca. 91

Figura 51. Tramo final del río Júcar, manantiales, limites permeables e impermeables entre las masas de agua. 91

Figura 52. Concentración de nitrato en la masa de agua subterránea de Requena Utiel, en Caudete de las Fuentes y en Requena. 92

Figura 53. Cabecera del río Magro y desconexión del río respecto el acuífero de Requena-Utiel. 92

Figura 54. Concentración de nitrato en la masa de agua subterránea de la Hoya de Alfambra, en la Rambla de la Hoz y en Villalba. 93

Figura 55. Niveles piezométricos en la masa de agua subterránea de la Hoya de Alfambra, en la Rambla de la Hoz y en Villalba. 93

Figura 56. Tramo desconectado del río Alfambra de la masa de agua subterránea de la Hoya de Alfambra. 94

Figura 57. Detalle del modelo de simulación del entorno de l`Albufera de Valencia. 95

Figura 58. Aportes al entorno de l`Albufera de Valencia según su origen. Superficial directo, superficial procedente del drenaje de acuíferos y subterráneo directo. 96

Figura 59. Localización del área de estudio. 104

Figura 60. Evolución anual de la temperatura. 105

Figura 61. Evolución diaria de la temperatura en la estación meteorológica de Requena. 105

Figura 62. Evolución anual de la precipitación. 105

Figura 63. Precipitación media mensual entre 2001 y 2016. 106

Figura 64. Modelo digital del terreno. 106

Figura 65. Red fluvial. 107

Figura 66. Límites de la zona de estudio. 108

Figura 67. Límites verticales del modelo. 109

Figura 68. Permeabilidades según IGME. 110
Figura 69. Dominios hidrogeológicos. 110
Figura 70. Localización de los piezómetros en el área de estudio. 111
Figura 71. Duración de las series piezométricas en los pozos dentro del área de estudio. 111
Figura 72. Duración de las series piezométricas en los pozos fuera del área de estudio. 112
Figura 73. Series de altura piezométrica en los piezómetros del área modelada. 113
Figura 74. Series de altura piezométrica en los piezómetros del área modelada. 114
Figura 75. Caudales aforados en la estación de Requena. 114
Figura 76. Volúmenes mensuales de entradas y salidas al embalse de forata. 114
Figura 77. Entradas mensuales al embalse de Buseo. 115
Figura 78. Zonificación de la recarga por infiltración del agua de precipitación. 116
Figura 79. Evolución anual de la recarga por infiltración del agua de precipitación. 116
Figura 80. Unidades de damanda agrícola. 117
Figura 81. Evolución temporal de los retornos de riego. 117
Figura 82. Localización de los pozos de demanda agrícola. 118
Figura 83. Localización de los pozos de demanda urbana. 118
Figura 84. Localización de los pozos de demanda industrial. 119
Figura 85. Evolución anual de los bombeos en el área de estudio. 119
Figura 86. Información inicial para la creación del modelo de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 120
Figura 87. Discretización inicial de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 120
Figura 88. Discretización horizontal de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 121
Figura 89. Discretización vertical de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 122
Figura 90. Discretización temporal para la simulación en régimen transitorio de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 123
Figura 91. Alturas iniciales para la simulación en régimen transitorio de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 124
Figura 92. Zonificación para la configuración de los parámetros del modelo. 125

Figura 93. Límites laterales de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara. 126

Figura 94. Localización de los contornos con Buñol Cheste y Mira. 127

Figura 95. Localización de los piezómetros en las cercanías de los bordes abiertos de Buñol Cheste y Mira. 127

Figura 96. Series piezométricas en el contorno de Buñol Cheste. 128

Figura 97. Series piezométricas en el contorno de Mira. 128

Figura 98. Topografía del contorno de Mira y altura piezométrica impuesta.. 129

Figura 99. Red fluvial del modelo. 130

Figura 100. Perfil de la Rambla de la Torre. 131

Figura 101. Perfil del río Madre. 131

Figura 102. Perfil del río Magro. 132

Figura 103. Perfil del río Buñol. 132

Figura 104. Localización de los pozos agrícolas asignados a cada capa. 135

Figura 105. Solver seleccionado y sus parámetros. 135

Figura 106. Algoritmo y parámetros para la resolución de los sistemas de ecuaciones. 137

Figura 107. Evolución de la recarga. 138

Figura 108. Evolución de los bombeos. 138

Figura 109. Evolución de las transferencias laterales con otras masas de aguas subterráneas. 139

Figura 110. Evolución de las transferencias entre la red fluvial y el acuífero... 139

Figura 111. Evolución del almacenamiento del acuífero. 139

Figura 112. Balance global en el acuífero. 140

Figura 113. Ajustes de las alturas piezométricas en los pozos de control. 141

Figura 114. Localización del acuífero de la Plana de Valencia. 145

Figura 115. Evolución anual de la temperatura y la precipitación en el ámbito de la modelación. 145

Figura 116. Modelo digital del terreno. 146

Figura 117. Red fluvial. 146

Figura 118. Manantiales, marjales y lagos. 147

Figura 119. Evolución mensual de los niveles medios en el lago. Fuente: Modificado de CHJ. (2007). 148

Figura 120. Distribución anual piezométrica del pozo 08.26.103 cerca de Sollana. Fuente: Elaboración propia con datos de la CHJ. 149

Figura 121. Localización de los canales o acequias en el entorno del parque de la Albufera. 150

Figura 122. Límites horizontales del modelo..... 151

Figura 123. Límites verticales del modelo..... 152

Figura 124. Dominios hidrogeológicos según el mapa de permeabilidades del IGME..... 153

Figura 125. Red de piezómetros en la Plana de Valencia. 153

Figura 126. Series de alturas piezométricas en los piezómetros operativos de la Plana Norte de Valencia. 154

Figura 127. Series de alturas piezométricas en los piezómetros operativos de la Plana Sur de Valencia..... 154

Figura 128. Evolución anual del nivel de agua en el lago de la Albufera. 154

Figura 129. Esquema y valores de las transferencias subterráneos en la Plana de Valencia. 155

Figura 130. Zonificación de la recarga por infiltración del agua de precipitación. 156

Figura 131. Evolución anual de la recarga por infiltración del agua de precipitación. 156

Figura 132. Unidades de demanda agrícola. 157

Figura 133. Evolución anual de los retornos de riego en la Plana de Valencia. 157

Figura 134. Localización de los pozos de bombeo en la Plana de Valencia. Agrícolas (verde), urbanos (azul) y de sequía (rojo). 158

Figura 135. Evolución anual de los bombeos en la Plana de Valencia. 158

Figura 136. Información inicial para la creación del modelo de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 159

Figura 137. Discretización inicial de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 160

Figura 138. Discretización horizontal de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia..... 160

Figura 139. Discretización vertical de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia..... 161

Figura 140. Discretización temporal para la simulación en régimen transitorio de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 163

Figura 141. Alturas iniciales para la simulación en régimen transitorio de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 164

Figura 142. Dominios hidrogeológicos para la simulación del flujo de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia..... 164

Figura 143. Límites laterales y su condición hidrogeológica en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 167

Figura 144. Flujos laterales calibrados con PATRICAL en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 168

Figura 145. Zonificación utilizada para introducir la recarga por infiltración del agua de precipitación en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 170

Figura 146. Unidades de demanda agrícola en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia. 171

Figura 147. Algoritmo y parámetros para la resolución de los sistemas de ecuaciones. 173

Figura 148. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 1 del modelo de la Plana de Valencia. 175

Figura 149. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 2 del modelo de la Plana de Valencia 176

Figura 150. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 3 del modelo de la Plana de Valencia 176

Figura 151. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 4 del modelo de la Plana de Valencia 177

Figura 152. Evolución de la recarga en el modelo de la Plana de Valencia. 179

Figura 153. Evolución de los bombeos en el modelo de la Plana de Valencia.. 179

Figura 154. Evolución de las transferencias laterales con otras masas de agua subterránea en el modelo de la Plana de Valencia. 180

Figura 155. Evolución de las transferencias entre la red fluvial y el acuífero en el modelo de la Plana de Valencia. 180

Figura 156. Evolución del almacenamiento del acuífero en el modelo de la Plana de Valencia. 181

Figura 157. Balance global en el modelo de la Plana de Valencia. 181

Figura 158. Ajuste de la piezometría en los pozos de control para la Plana de Valencia. 183

Figura 159. Ajuste de la piezometría en los pozos de control para la Plana de Valencia. 184

Índice de tablas

Tabla 1: Cálculos de eficiencias en los riegos tradicionales del Júcar. 51

Tabla 2: Volúmenes de retorno teóricos en el tramo antes del magro. 56

Tabla 3: Volúmenes de retorno teóricos en la zona de huerta después del Magro. 57

Tabla 4: Distribución estimada de los retornos en la zona de huerta después del Magro. 57

Tabla 5: Volúmenes de retorno teóricos en la zona de arroz en la ARJ. 58

Tabla 6: Reparto de retornos teóricos en la ribera alta según zonas de riego y destino del retorno..... 60

Tabla 7: Eficiencias teóricas por fases en la ARJ tras la modernización. 60

Tabla 8: Necesidades de agua en la ARJ por etapas. 61

Tabla 9: Retorno según destino en el escenario con modernización completa de la ARJ. 61

Tabla 10: Distribución por destinos del ahorro esperable en la modernización de la ARJ..... 61

Tabla 11. Valores medios de evapotranspiración potencial en la Demarcación del Júcar..... 66

Tabla 12. Series de ríos temporales incorporados en el contraste de resultado del modelo. 69

Tabla 13. Series de manantiales incorporados al contraste de resultados. 70

Tabla 14. Aportaciones anuales hm3/año por masas de agua superficial 1980/81-2016/17. 73

Tabla 15. Aportaciones anuales hm3/año por masas de agua superficial 1980/81-2016/17. 74

Tabla 16. Estaciones en cada grupo de completado y región hidroclimática asociada. 78

Tabla 17. Aportes superficiales al entorno del lago de l`Albufera de Valencia.. 96

Tabla 18. Valores de los parámetros asignados de forma preliminar a cada zona del acuífero. 125

Tabla 19. Parámetros calibrados en el modelo de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara. 136

Tabla 20. Balance global medio durante el periodo de simulación. 140

Tabla 21. Balance zonal medio durante el periodo de simulación. 140

Tabla 22. Rangos de valores según dominios hidrogeológicos de la conductividad hidráulica, el almacenamiento específico y el rendimiento específico. 165

Tabla 23. Parámetros calibrados para los tramos de los ríos del modelo de la Plana de Valencia (estado y fondo del río y conductancia del lecho). 178

Tabla 24. Balance global medio durante el periodo de simulación para la Plana de Valencia 181

Tabla 25. Balance zonal medio durante el periodo de simulación para la Plana de Valencia 182

1 Introducción

La CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR (CHJ) y la UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA (UPV) firmaron el 22 de diciembre de 2017, un convenio de investigación titulado: CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL JUCAR Y LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA PARA LA MEJORA DE MODELOS HIDROLÓGICOS.

El objetivo de este convenio es iniciar una serie de trabajos con una estrecha colaboración entre la CHJ y la UPV que permita avanzar en la mejora del conocimiento dando respuesta a aspectos muy específicos planteados en el Plan hidrológico de cuenca, utilizando las últimas metodologías y herramientas en materia de investigación hidráulica e hidrogeológica. Durante el desarrollo de estos trabajos, la CHJ aportará datos reales de usos, caudales y modelos conceptuales y la UPV realizará análisis concretos de la problemática existente desarrollando metodologías específicas y modelos para su resolución.

Concretamente este documento hace referencia a todos los trabajos realizados este convenio.

2 Actividad 1, 2 y 3.

Este apartado se corresponde con la la actividad 1 del proyecto: "Mejora del modelo Aquatool Albufera".

Esta actividad se refiere a la mejora del modelo de balance del parque natural de L'Albufera y en esta actividad se encontraban las siguientes tareas:

- Análisis entradas al modelo: revisión y mejora de los datos de entrada: naturales y retornos, vertidos,… (act.5 y act.7)
- Ajuste del origen de las entradas al lago: revisión de coeficientes.
- Actualización de demandas al PHJ vigente.
- Ajuste del funcionamiento de los arrozales (embalses) para corregir los desajustes mensuales en el modelo.
- Re calibración con las nuevas series de salidas al mar.

Hasta la fecha se ha trabajado en las dos primeras tareas. Como resumen se puede decir que en estos momentos se está bastante cerca de rediseñar el sistema de entradas al modelo de balance del parque.

En primer lugar, se realizó un análisis de la forma en que se calculaban las entradas al modelo de balance del parque en la actualidad. Debido a que el modelo del parque fue una consecución de modelos, cálculos y estudios que se realizaron durante varios años, y por técnicos externos a la Confederación Hidrográfica del Júcar, existe una alta complejidad de la forma en que se obtienen las series temporales de entrada al modelo de balance del parque. Esta complejidad lleva a que la actualización de las series sea una tarea compleja, y no ajena a posibles errores.

Este problema es mayor a la hora de estimar las series de concentraciones y de caudales para el modelo de simulación de la calidad del agua. Ello se debe a que las entradas al parque se acumulan en algunas pocas series para el modelo del parque, una vez realizado el modelo del parque los resultados se desagregan mediante coeficientes de reparto fijos para estimar el origen de esos resultados.

Analizado el problema y tras realizar un análisis de la complejidad del sistema de cálculo de entradas, de ambos modelos (el de balance y el de calidad) se propone ampliar y modificar el modelo de balance del parque con dos objetivos principales.

El primero, que las entradas al modelo del parque estén más claras y ciertos cálculos de entradas, que antes se hacían en las hojas de cálculo, se realicen en el modelo de balance. El segundo objetivo es incluir las concentraciones de las entradas (de todos los contaminantes que se están modelando) para que la simulación del modelo de balance nos permita estimar las concentraciones de entrada al lago (o la mayor parte de ellas).

Con este propósito en mente, en primer lugar, se ha realizado una tarea consistente en mejorar las hojas de cálculo de entradas al modelo de balance. En el apartado 4.1. se recoge una breve descripción de las nuevas hojas de cálculo y el origen de cada uno de los datos.

En segundo lugar, se establecen unos criterios en los que consistirá la ampliación y modificación del modelo del parque (apartado 4.2.).

2.1 Definición de nuevas entradas al modelo del Parque de L'Albufera (Aquatool).

La nueva forma de definición de entradas, planeada en este estudio, para el cálculo de las entradas al modelo del parque está basada en los siguientes archivos:

- 1_Entradas_RegNatural.xlsx
- 2_Entradas_Turia.xlsx
- 3_Entradas_Jucar.xlsx
- 4_Edars_Arus.xlsx
- 5_Recopilación.xlsx

Notas aclaratorias: Las series comienzan en octubre de 1963 aunque para el modelo de balance del parque la fecha inicial es octubre de 1980. En la mayor parte de las hojas de cálculo existen modificaciones en las fórmulas a partir de octubre de 2010 que es la fecha en que los técnicos de la CHJ comienzan a hacerse cargo de los cálculos de entrada.

En las hojas de cálculo se ha mantenido un código común de colores. El azul es un dato de entrada, el morado es un resultado final (que generalmente se lleva a otra hoja de cálculo o como entrada al modelo)

1_Entradas_RegNatural.xlsx

En esta hoja de cálculo se hacen las estimaciones de la parte relacionada con las entradas naturales: precipitación directa, escorrentías superficiales y subterráneas. También se incluyen las Descargas de Sistemas Unitarios (DSU) porque se detraen de las escorrentías superficiales.

Pestaña P: Contiene los cálculos de las precipitaciones directas sobre el lago y arrozales.

Datos de entrada. Hasta sept de 2001 los pluviómetros de las cuencas 127, 128 y 129.

A partir de esa fecha se utilizan los pluviómetros del Poyo, Chiva, Picasent y Sueca.

Otros datos de entrada son, para el Lago y las diferentes zonas de arrozal las superficies inundables y unos coeficientes de inundación.

El resultado es la entrada de agua por precipitación directa (en Hm^3/mes) en las diferentes zonas de arrozal (Turia, Sueca, Cullera Margen Izquierda y Acequia Real del Júcar ARJ) y en el Lago.

Pestaña Esup: Contiene las escorrentías superficiales de las cuencas aportantes al parque.

Los datos de entrada son las salidas del modelo Patrical.

Para el cálculo se le resta la cantidad de agua estimada de DSU (pestaña DSU).

Solo se incluye la escorrentía de la parte del Turia y la de la cuenca de la ARJ (Acequia Real del Júcar).

Pestaña Esubt: Estima las escorrentías subterráneas de las diferentes zonas de arrozal y del Lago.

Datos de entrada: hay tres fuentes de datos las escorrentías subterráneas: Simpa, Patrical 1 y Patrical 2 (simulación posterior).

Por otro lado, como datos adicionales se definen coeficientes de reparto de la escorrentía subterránea entre los diferentes arrozales. El año 20016 se cambian estos coeficientes.

Pestaña DSU: En esta pestaña se recoge el volumen de agua correspondiente a las Descargas de Sistemas Unitarios (se estima 1 Hm^3/año). Este dato se incluye en la hoja de aportes naturales porque se le descuenta a la escorrentía natural.

El resto de pestañas se corresponden con resúmenes anuales (Res_anual) y del año medio (Res_Medio) y una recopilación final para exportar los cálculos (Res_Exporta).

2_Entradas_Turia.xlsx

En esta hoja de cálculo se calculan las entradas (fuera del ciclo natural) al arrozal de la zona norte del Lago, la zona del Turia. Se tiene en cuenta tanto lo derivado desde el río Turia como el agua reutilizada por las depuradoras de Quart-Benager y Pinedo.

Pestaña Balance_Repartiment: En esta pestaña se realiza el balance del tramo bajo del Turia para estimar cuanta agua va a la Margen Derecha y a la Margen Izquierda.

Los datos de entrada son diferentes estaciones de aforo ROea (La Presa, Moncada, Tormos, Mestalla, Quart y Mislata).

Pestaña QB_AcequiasSuperiores: Se estima el agua que se reutiliza de la EDAR de Quart Benager.

Pestaña QB_Favara: Información sobre el agua que se reutiliza de la EDAR Quart-Benager en la acequia de Favara.

Pestaña Pinedo_Favara: Cantidad de agua que desde Pinedo se vierte a la acequia de Favara.

Pestaña Pinedo_Oro: Agua de la EDAR de Pinedo que se reutiliza en la acequia de Oro.

Pestaña Apo Turia: Pestaña resumen en donde se recoge la información para exportar. Hasta 2010 la pestaña contiene datos. A partir de esa fecha las celdas son referencias a otras pestañas.

3_Entradas_Júcar.xlsx

En esta hoja de cálculo se calculan las entradas (fuera del ciclo natural) al arrozal de la zona oeste (ARJ) y sur (Sueca y Cullera) del Lago.

Pestaña Diario_a_Mens: Esta pestaña es auxiliar y solo sirve para pasar datos de escala diaria a mensual.

Pestaña Mensuales: En esta pestaña se definen las derivaciones del río Júcar al arrozal de Sueca, Cullera y Acequia Real del Júcar.

Datos: Se introducen varios datos de de derivaciones tanto del Saih, Saihwin y Roea.

De esta pestaña cogen datos el resto de pestañas.

Pestaña MOD_ARJ: Aquí se hacen los cálculos sobre cuánta agua llega al arrozal ARJ.

Datos: La cantidad de agua derivada a la ARJ se coge de la pestaña anterior, hay tres campos de bombeo y unas demandas.

Se calcula cuánta agua retorna del río (o la que no). Hay que tener cierto cuidado porque el coeficiente de retorno desde 1999 se invierte.

Finalmente se calcula cuánta agua se dedica al arroz, a huerta-cítricos y rebombeo.

Nota importante: esta pestaña se deja temporalmente así por coherencia con la situación actual, pero se pretende incorporar todo este cálculo al modelo de AQUATOOL, por lo que todo este balance desaparecería.

Pestaña MOD_SUE: muy parecido a los cálculos de la pestaña anterior, pero en el arrozal de Sueca.

Datos: lo derivado por Sueca (pestaña mensuales), rebombeo y demandas de arroz y de Huerta-cítricos.

Cálculo: el suministro a la zona de Sueca diferenciando entre huerta-cítricos y arroz. Además del Rebombeo.

Pestaña MOD_CULL: Idem que los dos anteriores, pero en el arrozal de Cullera, margen izquierda.

Se calcula finalmente Suministro a Cullera Margen Izquierda diferenciando entre huerta-cítricos y arrozales

Pestaña Final: Resumen de lo realizado para exportar.

4_Edars_Arus.xlsx

En esta hoja de cálculo se recoge información sobre las Aguas Residuales Urbanas sin tratar (ARU) y Estaciones depuradoras (EDARS) que vierten en el entorno del parque natural.

Petaña ARU: recoge información sobre las aguas residuales urbanas.

Dato de entrada: hay 15 entradas de ARUs. En la hoja se acumulan en las zonas de arrozal: Turia, ARJ, Sueca y Cullera. Turia recoge las Arus de la 10 a la 13; ARJ de la 1 a la 9; Sueca la 14 y Cullera la 15.

Pestaña EDAR: se estiman las entradas a las diferentes zonas provenientes de vertidos de EDARs no considerados en las hojas de entradas Jucar o Turia.

Datos: EDAR_SAL (Saler); EDR_A-A_01; EDR_ASUR_02 (Albufera Sur); EDR_FORD_87 (Ford); EDAR_SUE (Sueca); EDAR_PAL (Palmar); EDAR_PLLT (Perellonet); EDAR_PLLO (Pollo); EDAR_MNY (Mareny).

Reparto. Turia recoge la del Saler; ARJ las de EDR_A-A_01; EDR_ASUR_02; EDR_FORD_87;

Sueca: EDAR_SUE; EDAR_PAL y Cullera está en cero.

2.2 Propuesta de modificación del modelo del parque de la Albufera.

Se propone realizar las siguientes modificaciones en el parque. La mayor parte de ellas en desagregar las aportaciones en un mayor número de aportaciones según su fuente de origen. Desagregación de los aportes naturales. Se propone desagregar las aportaciones representativas del ciclo natural en los siguientes elementos:

- precipitaciones
- escorrentía superficial
- escorrentía subterránea
- Descargas de Sistemas Unitarios (DSU)

- Aguas Residuales Urbanas (ARU),
- EDAR y Bombeos de Oro y Favara.

Esta desagregación de plantea para la parte del Turia (aportación Apo_Nat_Res_Tur)la del Júcar de la Acequia Real (Apo_Nat_Res_ARJ) y de la zona de Cullera Margen Izquierda (Apo_Nat_Res_Cull_MI).

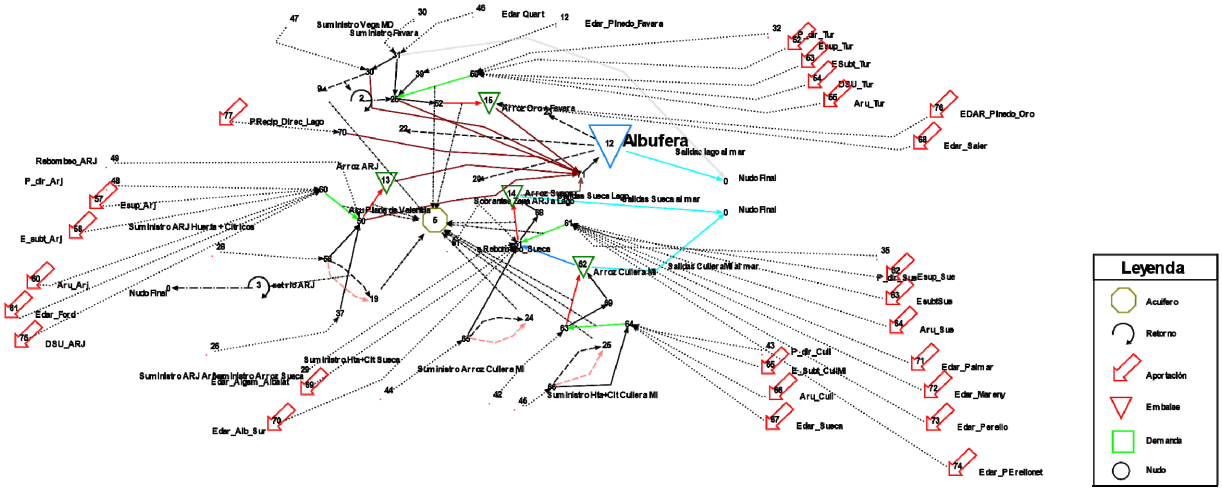
Alguna de las EDARs ya están introducidas de forma independiente. Se plantea desagregar en aportaciones individualizadas aquellas EDARs de entidad significativa.

Por otro lado, se plantea pasar el balance de la zona de la Acequia Real del Júcar (ARJ), que actualmente se realiza en las hojas de cálculo, al modelo de AQUATOOL. Para ello se incluirán las demandas de ARJ de Huerta y cítricos Aguas arriba del Magro, la misma en la zona de aguas abajo del Magro y la parte de Arroz. Además, se calculará en AQUATOOL el retorno al río.

2.3 Estructura Definitiva del modelo del parque

Teniendo en cuenta las propuestas de modificaciones del parque, finalmente se ha realizado el modelo del parque y se han incluido los datos previos a espera de actualizar los datos con nueva información (nuevas series de escorrentía, actualización de demandas, etc).

El principal cambio de modelo de balance del parque ha sido la desagregación de las aportaciones. En la figura siguiente se puede ver el esquema del modelo.



Las aportaciones consideradas son las siguientes:

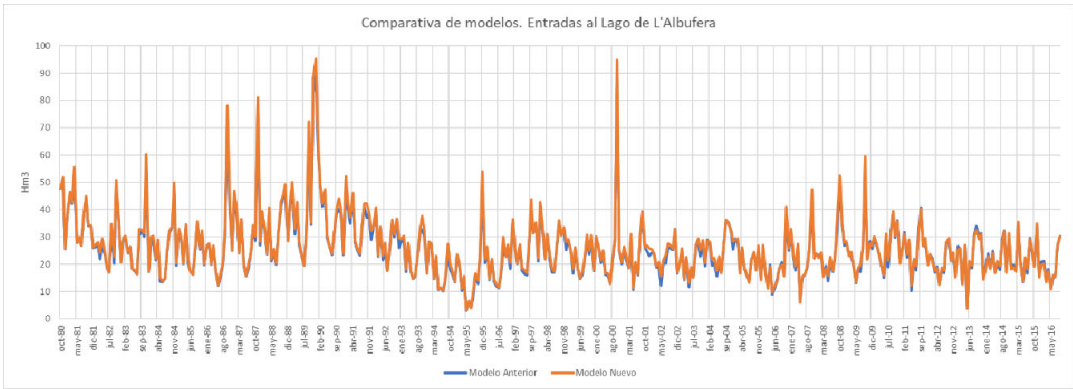
Nombre aportación	Explicación
a.Rebombeo_Sueca	Rebombeo de Sueca
Aru_Arj	Aguas Residuales Urbanas de la zona de la acequia Real

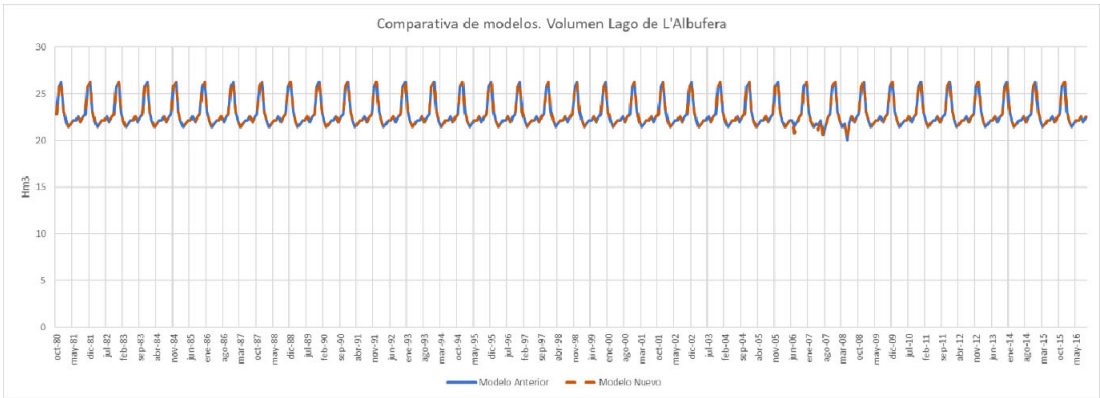
	del Júcar
Aru_Cull	Aguas Residuales Urbanas de la zona de Cullera
Aru_Sue	Aguas Residuales Urbanas de la zona de Sueca
Aru_Tur	Aguas Residuales Urbanas de la zona del Turia
DSU_Tur	Descarga de Sistemas Unitarios de la zona del Turia
E_subt_Arj	Escorrentía Subterránea de la zona de la acequia Real del Júcar
E_Subt_CullMI	Escorrentía subterránea de la zona de Cullera
Edar Pinedo	Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) de Pinedo
Edar Quart	EDAR de Quart
Edar_Alb_Sur	EDAR de Albufera Sur
Edar_Algem_Albalat	EDAR de Algemesí y Albalat
Edar_Ford	EDAR de Ford
Edar_Mareny	EDAR del Mareny
Edar_Palmar	EDAR del Palmar
Edar_Perello	EDAR de del Perelló
Edar_PErellonet	EDAR del Perellonet
Edar_Saler	EDAR del Saler
Edar_Sueca	EDAR de la población de sueca
ESubt_Tur	Escorrentía subterránea de la zona del Turia
EsubtSue	Escorrentía subterránea de la zona de Sueca
Esup_Arj	Escorrentía superficial de la zona de la acequia Real del Júcar
Esup_Sue	Escorrentía superficial de la zona de Sueca
Esup_Tur	Escorrentía superficial de la zona del Turia
P_dir_Arj	Precipitación directa de la zona de la acequia Real del Júcar
P_dir_Cull	Precipitación directa de la zona de Cullera
P_dir_Sue	Precipitación directa de la zona de Sueca
P_dir_Tur	Precipitación directa de la zona del Turia
Precipitación Lago	Precipitación directa sobre el lago
Rebombeo_ARJ	Rebombeo de la zona de la acequia Real del Júcar
Suministro ARJ Arroz	Suministro para arroz de la zona de la acequia Real del Júcar
Suministro ARJ Huerta + Cítricos	Suministro para huerta y cítricos de la zona de la acequia Real del Júcar
Suministro Arroz Cullera MI	Suministro para arroz de la zona de Cullera
Suministro Arroz Sueca	Suministro para arroz de la zona de Sueca
Suministro Favara	Suministro para la zona de riego de Favara
Suministro Hta+Cit Cullera MI	Suministro para huerta y cítricos de la zona de Cullera
Suministro Hta+Cit Sueca	Suministro para huerta y cítricos de la zona de Sueca
Suministro Vega MD	Suministro para la zona de riego de la Vega
DSU_ARJ	Descarga de Sistemas Unitarios de la zona de acequia Real del Júcar

EDAR_Pinedo_Oro	Suministro de la Edar de Pinedo a la acequia del Oro

Una vez modificado el modelo y los valores de las aportaciones se ha simulado el modelo para comprobar que el funcionamiento es el mismo que el antiguo ya que los datos apenas han variado (se ha corregido algún error en las entradas).

Las gráficas siguientes comparan los resultados de ambos modelos en cuanto a las entradas al Lago y el volumen almacenado por el mismo.





Como se puede apreciar, en algunos meses, hay pequeñas diferencias en las entradas al Lago. Como se ha comentado se debe a pequeños errores encontrados en las hojas de cálculo del modelo previo.

Por otro lado, el volumen embalsado se mantiene similar en ambos modelos.

2.4 Estimación de las entradas al Lago

Una vez que se tiene la nueva configuración del modelo del parque para poder calibrarlo es necesario conocer las entradas al Lago de la Albufera. La CHJ mantiene un balance a partir de los datos de salida por las Golas que gestionan el parque y del nivel del lago medido. Se solicitaron los citados datos para realizar de nuevo el balance y definir las series de entradas al lago.

Los datos disponibles para realizar el balance son los siguientes:

- Datos de salida de las cinco golas. Hay dos períodos de datos: de 2006 a 2014 y de 2016 hasta la actualidad

- Altura de la lámina de agua del lago (profundidad)
- La curva batimétrica (de la que se sacan funciones cota->volumen y cota->superficie)
- La tasa de evaporación.

A partir de estos datos, para estimar las entradas al lago se realizan dos posibles hipótesis H1 y H2.

- En H1 se considera que de la Gola de Pujol están saliendo un 49% de las salidas totales del Lago y del Perellonet un 28%.
- En la H2 se asume que las salidas del lago con todo lo que pasa por la gola de Pujol+ 86% de la del Perellonet + 52% de la del Perelló.

Para obtener la serie final se ha decidido escoger la H2 si es posible y en caso contrario se utilizará el cálculo de la H1.

En la siguiente tabla se recogen algunas variables del balance.

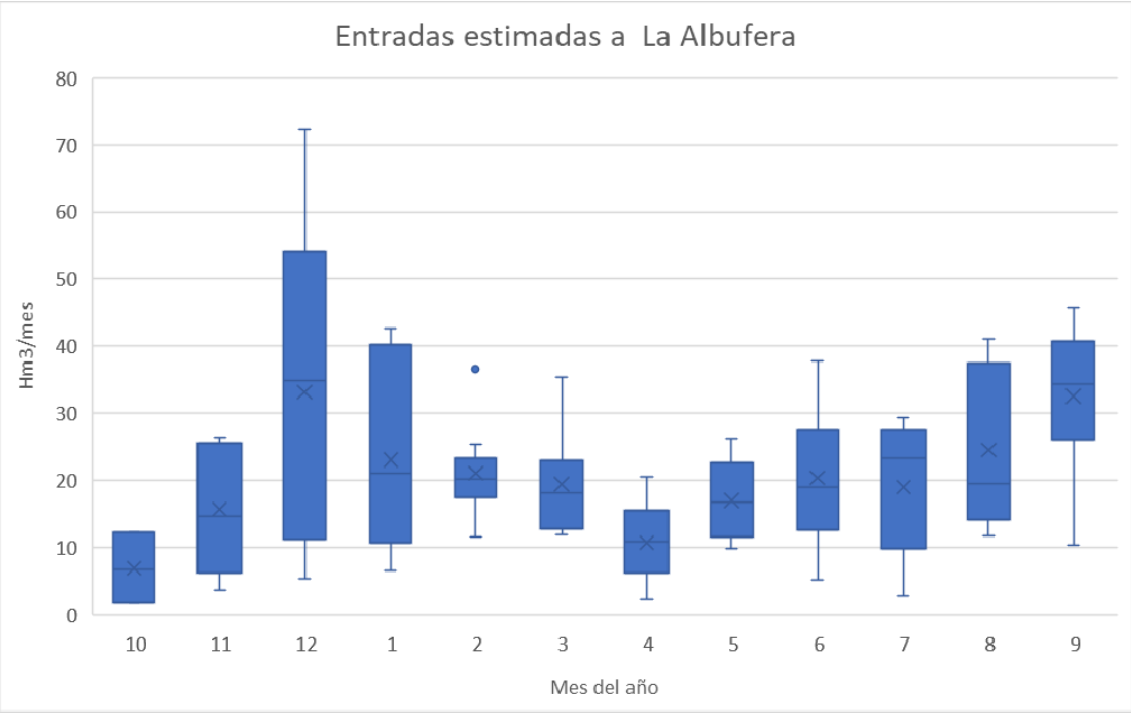
	Cálculos en Hm3/mes					
Fecha	Salidas Lago (H1)	Salidas Lago (H2)	Salidas Totales Del Parque	Entradas H1	Entradas H2	Entradas Finales
ene.-06	29.48		14.45			
feb.-06	21.05		10.32	21.04		21.04
mar.-06	11.87		5.82	11.88		11.88
abr.-06	2.76		1.35	5.78		5.78
may.-06	10.76		5.27	12.15		12.15
jun.-06	8.74		4.28	10.55		10.55
jul.-06	0.79		0.39	2.69		2.69
ago.-06	6.82		3.34	11.72		11.72
sep.-06	7.39	7.04	7.87	10.77	10.422	10.42
oct.-06	0.05	0.21188	0.37	1.58	1.745	1.74
nov.-06			8.93			
dic.-06			14.22			
ene.-07	24.38	26.5	43.32	23.26	25.413	25.41
feb.-07	25.14	25.6	34.45	24.92	25.380	25.38
mar.-07	9.87	11.2	16.16	10.57	11.919	11.92
abr.-07	6.38	9.6	14.28	7.62	10.874	10.87
may.-07	4.56	8.20	12.42	6.17	9.800	9.80
jun.-07	3.02		7.05	5.19		5.19
jul.-07	2.27	3.45	9.49	5.32	6.509	6.51
ago.-07			13.14			
sep.-07	39.89	37.11	49.85	43.46	40.675	40.68
oct.-07			21.00			
nov.-07	15.74	21.12	42.17	19.50	24.880	24.88
dic.-07			33.56			
ene.-08			37.02			

feb.-08	21.20	21.92	28.45	20.36	21.078	21.08
mar.-08	13.14	12.69	18.59	14.05	13.594	13.59
abr.-08	6.59	5.62	9.60	8.66	7.693	7.69
may.-08	25.55	24.00	35.65	27.76	26.209	26.21
jun.-08	22.16	18.26	27.07	22.85	18.958	18.96
jul.-08	6.12	10.07	18.95	10.49	14.438	14.44
ago.-08	17.22	16.41	27.02	20.25	19.435	19.43
sep.-08	33.25	23.35	40.53	35.89	25.991	25.99
oct.-08			15.67			
nov.-08			40.54			
dic.-08	22.88	33.78	62.09	25.03	35.931	35.93
ene.-09	34.56	42.33	69.24	32.40	40.173	40.17
feb.-09	18.50	20.33	26.81	18.35	20.174	20.17
mar.-09	13.39	16.52	25.44	13.73	16.861	16.86
abr.-09	17.05	18.31	24.58	18.46	19.710	19.71
may.-09	13.80	13.31	22.66	16.02	15.531	15.53
jun.-09	13.60	12.28	24.45	15.98	14.659	14.66
jul.-09	24.88	20.04	34.62	28.18	23.339	23.34
ago.-09	30.89	23.25	30.32			
sep.-09	45.40	40.39	54.15			
oct.-09	36.26	34.81	44.61			
nov.-09	6.23	10.56	22.39	10.38	14.71	14.71
dic.-09	24.44	31.48	58.87	27.88	34.91	34.91
ene.-10	7.67		44.72	6.58		6.58
feb.-10	8.27	19.82	28.24	7.41	18.97	18.97
mar.-10	1.03	21.56	30.99	0.61	21.15	21.15
abr.-10	2.10		7.72	2.20		2.20
may.-10			15.09			
jun.-10	36.12		31.16	37.76		37.76
jul.-10	22.54		22.87	26.38		26.38
ago.-10	37.62		21.26	41.13		41.13
sep.-10	42.61		21.85	45.80		45.80
oct.-10			8.30			
nov.-10			9.73			
dic.-10						
ene.-11	15.69		11.94	14.56		14.56
feb.-11	35.60		19.06	36.63		36.63
mar.-11	34.33		20.25	35.33		35.33
abr.-11	19.94		9.77	20.52		20.52
may.-11	20.73		10.16	23.59		23.59
jun.-11	24.49		34.91	25.66		25.66
jul.-11	24.09		26.34	28.45		28.45
ago.-11	30.92		21.81	33.72		33.72
sep.-11	31.12		16.18	34.31		34.31
oct.-11	4.14	4.55	9.13	6.31	6.72	6.72
nov.-11	19.99		28.53	26.36		26.36

dic.-11	15.12		20.58	17.22		17.22
ene.-12	23.09		39.44	21.02		21.02
feb.-12	16.84		18.67	16.92		16.92
mar.-12	23.38		24.59	24.15		24.15
abr.-12	9.87		12.45	11.39		11.39
may.-12	16.83		13.15	19.44		19.44
jun.-12	14.04		15.73	15.93		15.93
jul.-12	25.80		22.17	29.42		29.42
ago.-12			11.68			
sep.-12	30.67		15.03	34.11		34.11
oct.-16	6.51	9.01	14.15	9.72	12.22	12.22
nov.-16	6.69	9.29	17.22	6.16	8.75	8.75
dic.-16	68.48	62.26	86.85	78.51	72.30	72.30
ene.-17	41.73	43.01	65.81	41.29	42.57	42.57
feb.-17	24.90	21.20	27.87	21.79	18.09	18.09
mar.-17	16.77	17.28	23.64	17.66	18.17	18.17
abr.-17	12.58	10.45	14.98	13.21	11.08	11.08
may.-17	13.99	15.44	24.57	16.44	17.88	17.88
jun.-17	15.03	24.34	37.65	17.04	26.35	26.35
jul.-17	17.72	23.39	37.37	20.92	26.58	26.58
ago.-17	30.18	33.07	50.03			
sep.-17	24.73	24.17	35.15			
oct.-17	4.46	6.39	10.93			
nov.-17	2.44	3.78	6.87	2.27	3.60	3.60
dic.-17	0.04	0.81	4.23	4.58	5.35	5.35
ene.-18	2.51	7.91	16.04	5.32	10.72	10.72
feb.-18	16.90	12.53	15.74	15.92	11.55	11.55
mar.-18	20.87		15.59	21.73		21.73
abr.-18	3.67	6.94	13.25	3.42	6.69	6.69
may.-18	8.92	8.77	20.26	11.42	11.27	11.27
jun.-18	26.65		26.89	28.42		28.42
jul.-18	9.70		14.69	13.04		13.04
ago.-18	13.01		17.12	16.55		16.55
sep.-18	32.40		24.12	36.66		36.66

De esta tabla se puede desprender la dificultad de intentar estimar una serie de entradas al Lago a escala mensual y/o anual.

En la siguiente gráfica se presenta un diagrama de cajas y bigotes por mes del año de las entradas finales estimadas.



Aunque con tan pocos datos el diagrama de caja-bigotes no tiene sentido estadístico la figura permite ver si se puede estimar un "año tipo" de entradas al lago o si, por el contrario, la dispersión es excesivamente alta como para establecer un comportamiento anual.

De la figura se desprende que hay algunos meses en donde la dispersión de valores es muy alta.

La siguiente tabla recoge, para cada uno de los meses del año, el número de valores de entradas que se ha podido calcular, y el promedio de las mismas.

Mes	Número de medidas	Promedio Entradas al Lago (Hm3/mes)
oct	3	6.90
nov	5	15.66
dic	5	33.14
ene	7	23.01
feb	9	21.09
mar	9	19.42
abr	9	10.66
may	8	16.98
jun	9	20.39
jul	9	18.98
ago	5	24.51
sep	7	32.57

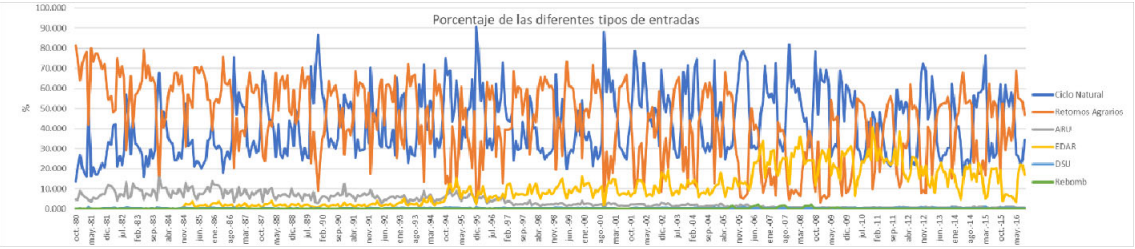
Como se puede ver, para los meses primavera-verano es cuando mejor se tienen caracterizadas las entradas.

2.5 *Análisis de entradas al lago.*

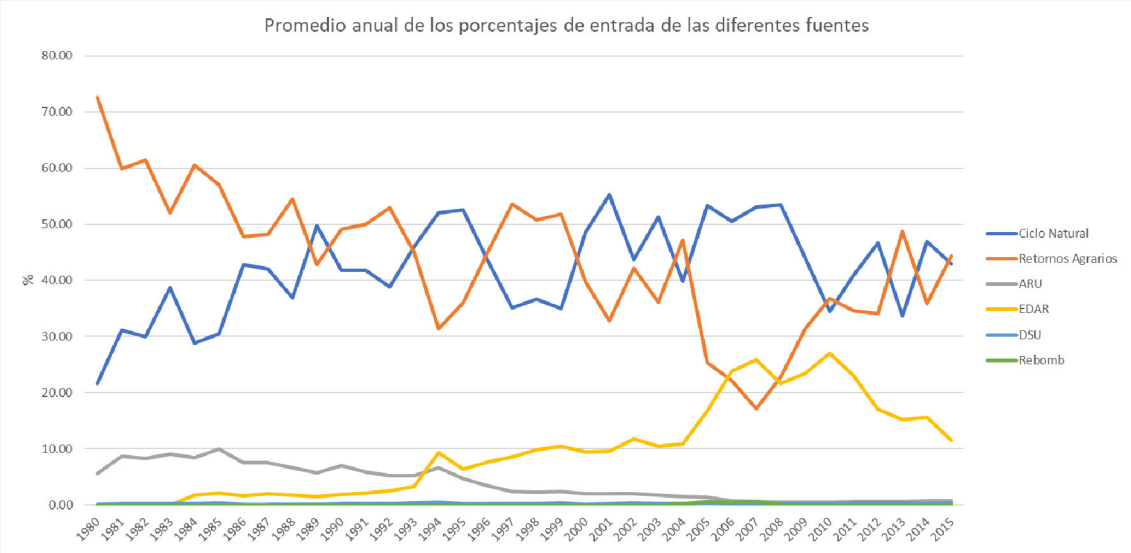
Una vez realizada la aplicación informática para realizar los cálculos del porcentaje de entradas de cada fuente de entradas al parque, se realiza un análisis de este y una comparativa con los porcentajes que se venían utilizando hasta ahora.

A partir de la herramienta desarrollada se puede estimar, mes a mes, desde octubre de 1980 hasta la actualidad cuál ha sido la participación de cada una de las fuentes (aportaciones en el modelo) en el total de entradas al Lago.

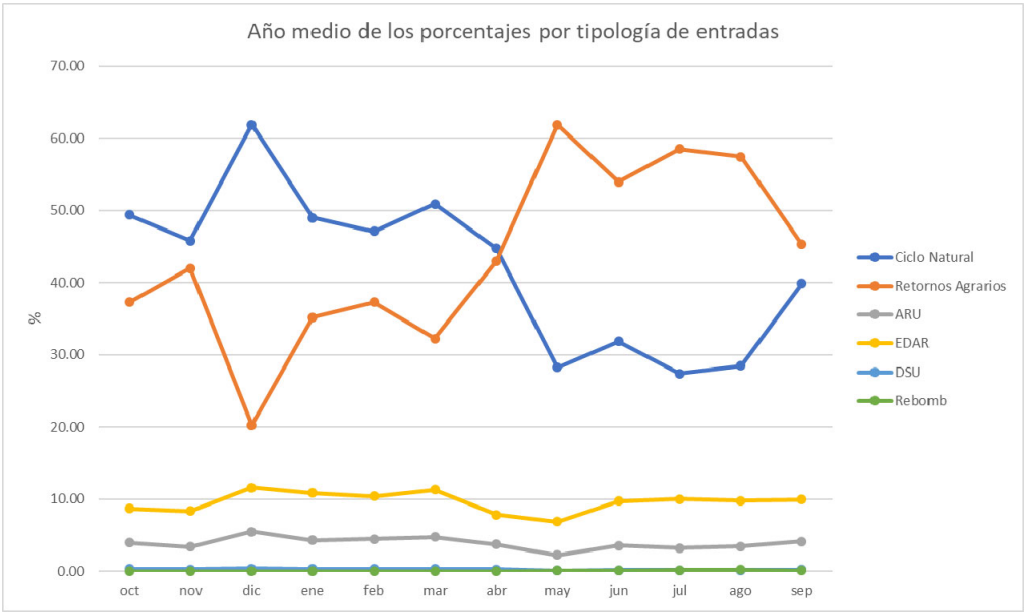
Para la documentación, en este informe, se han acumulado las variables por su tipología. En la siguiente gráfica se puede ver la evolución mensual, para el período citado, de los diferentes tipos de entrada.



En las siguientes figuras se muestran los mismos valores, pero a escala anual y para un año medio

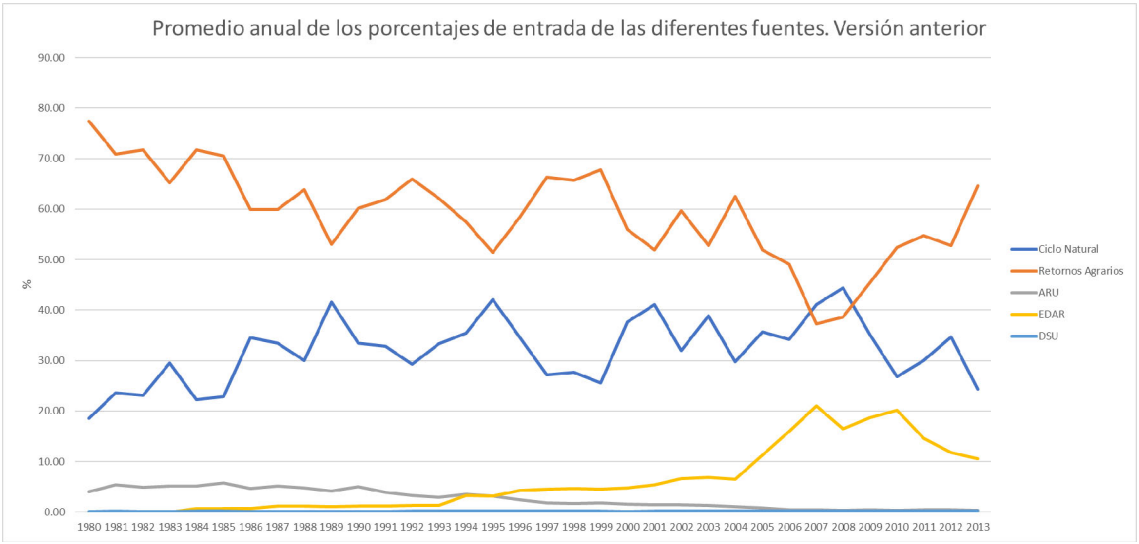


Como se puede ver con el tiempo los retornos agrarios, partiendo de ser la fuente principal de recurso del lago, han ido perdiendo importancia a expensas de la componente natural y las EDArs. Aunque estas últimas tuvieran una alta importancia entre 2006 y 2010 reduciéndose en los últimos años.



Por otro lado, la distribución dentro del año medio, como es lógico la componente natural es superior en inviernos y los retornos agrarios en primavera-verano.

Si se grafican los porcentajes que se estaban utilizando hasta hora.



Se puede comprobar que, aunque el patrón de evolución es parecido, la componente natural no presentaba tanta importancia y que los retornos agrarios, aunque la evolución es también decreciente, se mantienen en la mayore parte de los años por encima del 50% mientras que en los cálculos actuales ese valor está en torno al 40%.

2.6 *Ajuste de patrones de calidad del modelo cualitativo Albufera.*

En esta actividad tiene como objetivo actualizar y mejorar los patrones de calidad que se han ido asumiendo históricamente en el modelo de calidad de aguas del lago y que, con el tiempo, se han quedado desfasados.

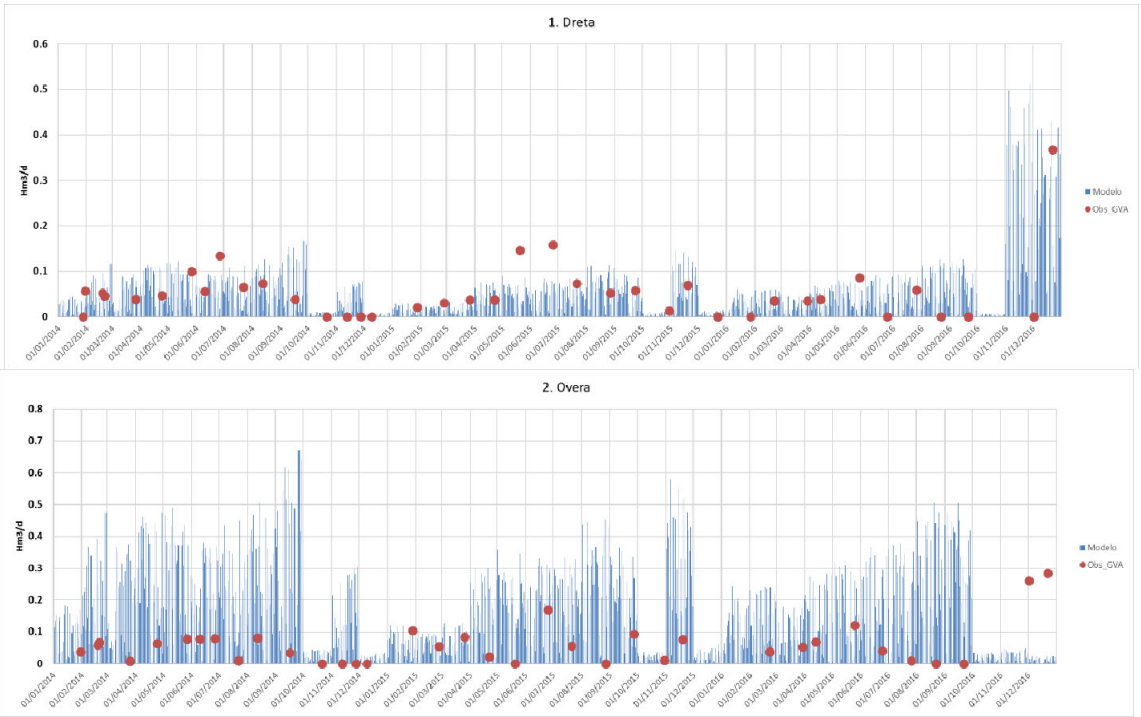
Para ello, como una tarea inicial, se esté recogiendo información de los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Júcar y de técnicos de otras administraciones pertenecientes al Grupo de Trabajo del Plan Especial de L'Albufera.

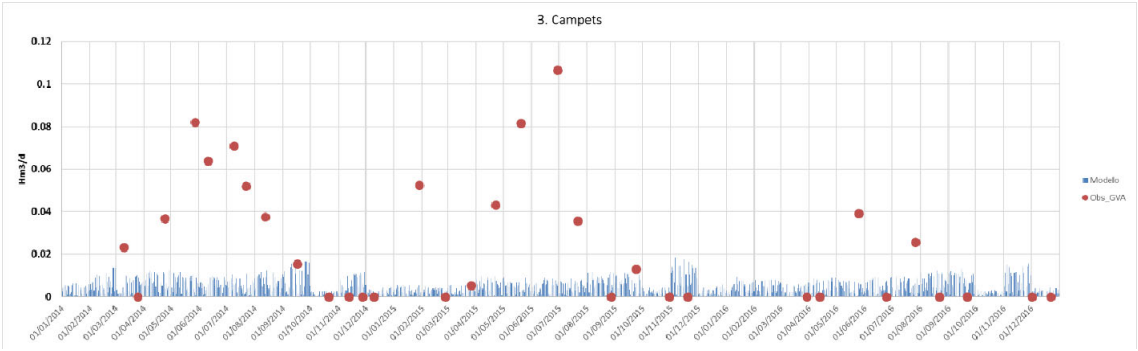
Por otro lado, esta actividad debe estar relacionada con la actividad nterior ya que se pretende obtener las concentraciones de entrada en función de las salidas del parque.

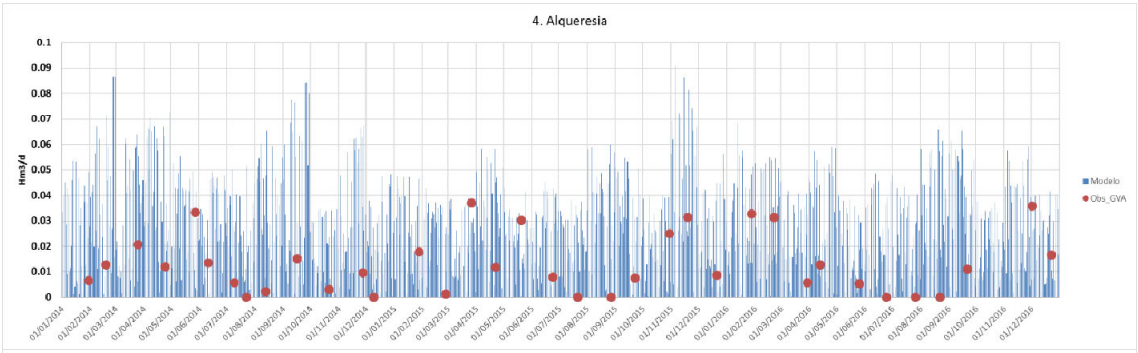
2.7 *Nuevos datos de Acequias:*

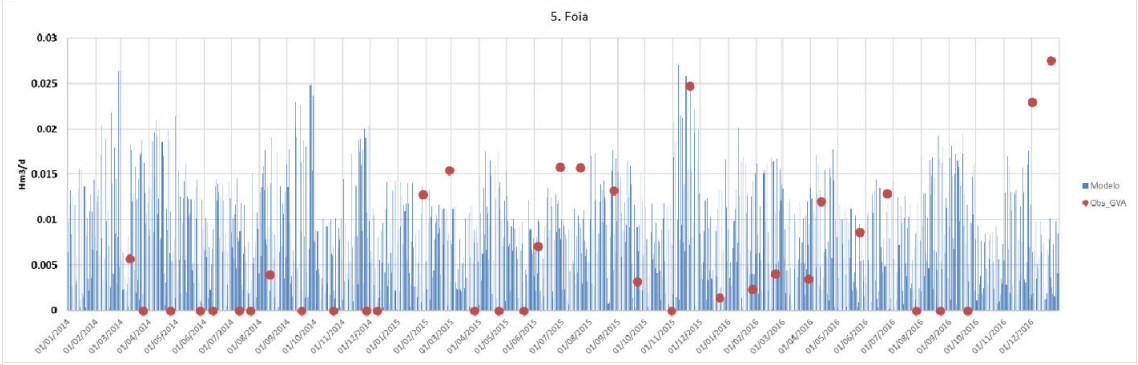
De enero de 2014 a julio de 2017 se tienen datos de caudales de entrada por acequia y de calidad.

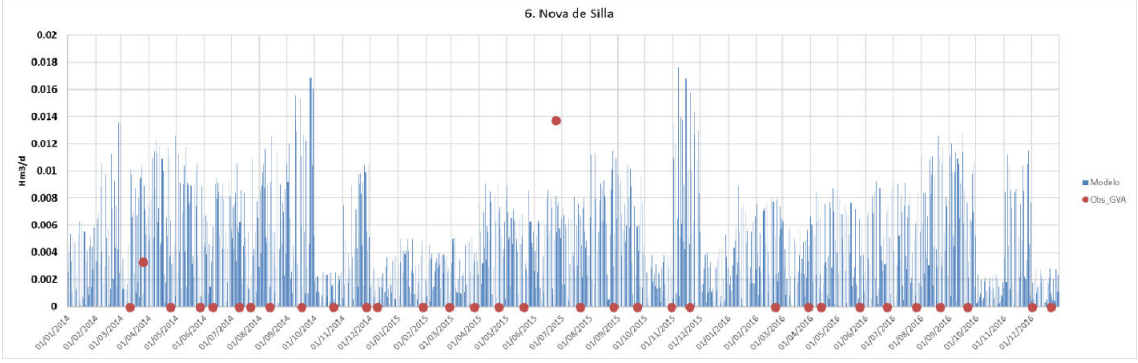
A continuación, se recoge una comparativa gráfica de datos de entrada por acequias con los supuestos con el modelo.

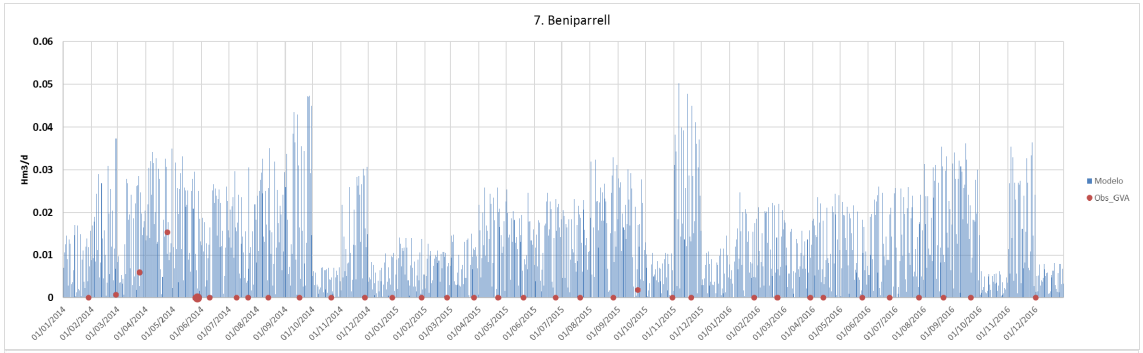


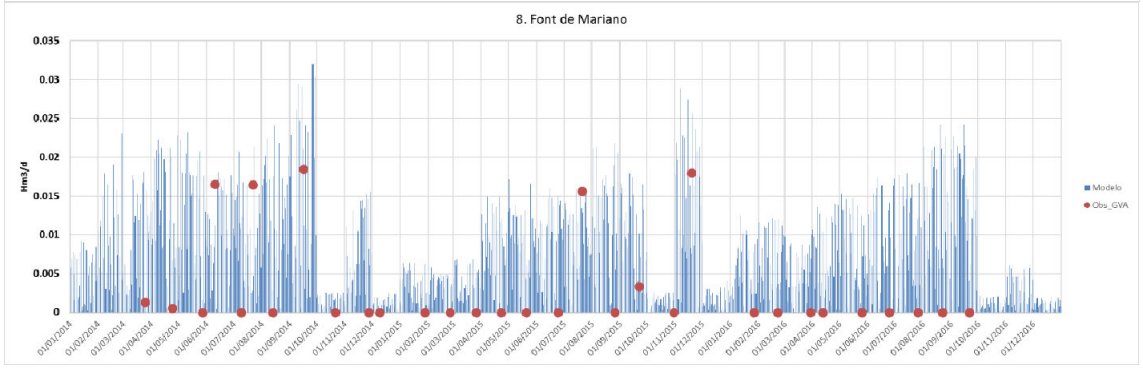

3. Campets
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA

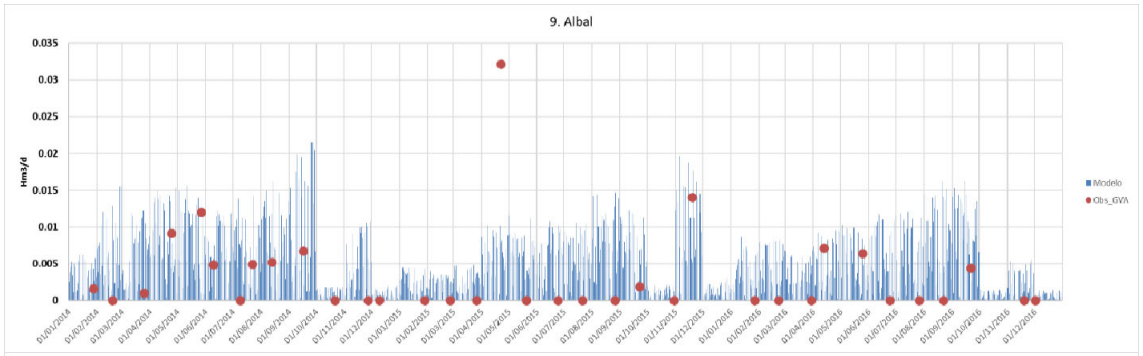

4. Alqueresia
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA

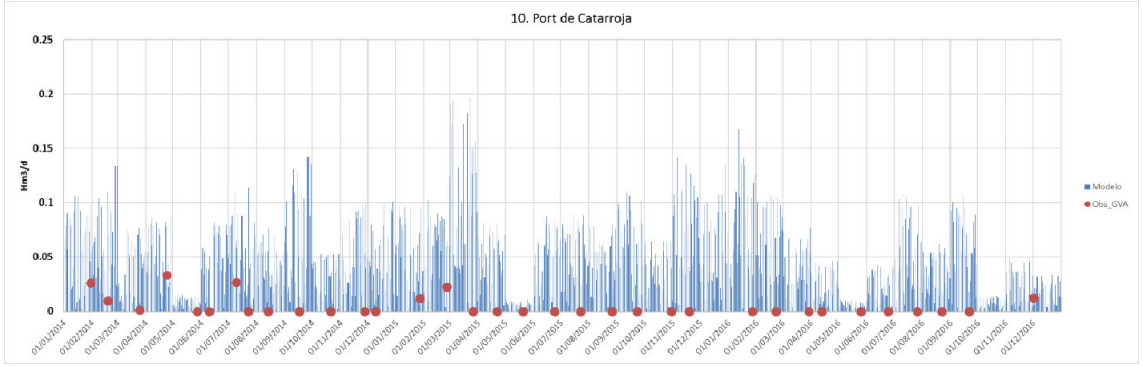

5. Foia
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA

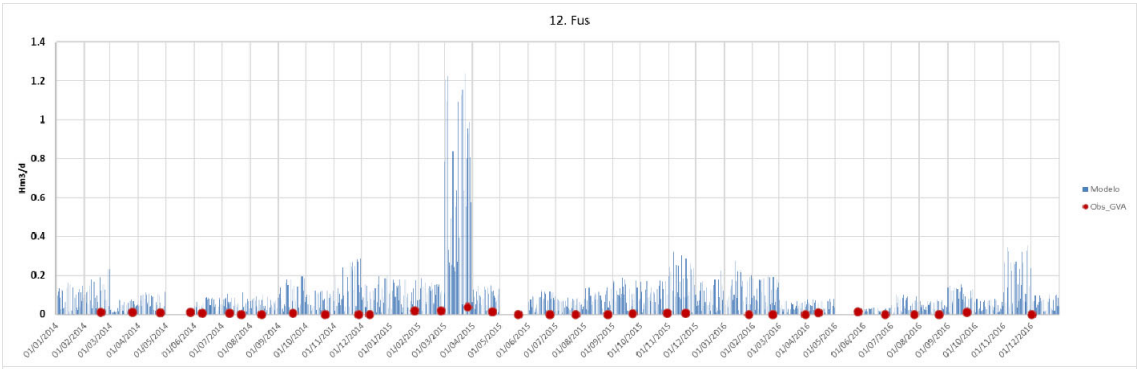

6. Nova de Silla
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA

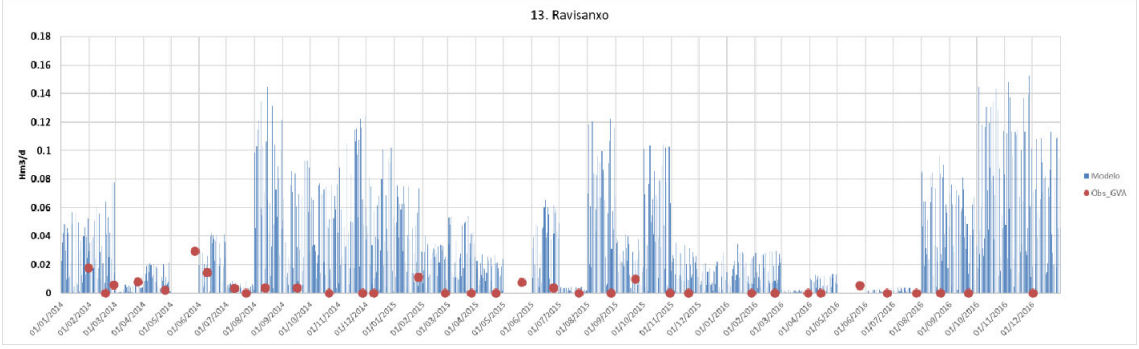

7. Beniparrell
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA

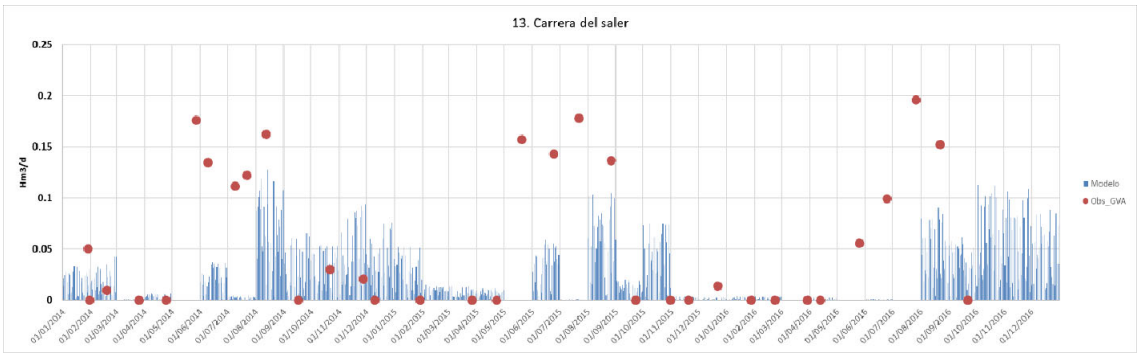

8. Font de Mariano
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA


9. Albal
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA


10. Port de Catarroja
Hm3/d
Modelo
Obs_GVA







2.8 *Propuestas de cambio en el reparto de acequias.*

1. Retorno superficial ARJ a Overa de 64% -> 45,4%; Retorno superficial ARJ a Camperts de 1,4% ->20%

ACEQUIA	P_LA	ESUP_127	ESUP_128	ESUP_129	DSU_127	DSU_128	DSU_129	ESUB_127_128	ESUB_129	TUR_RETSUP	TUR_RETSUB	ARJ_RETSUP	ARJ_RETSUB
1-Dreta	0.077	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	0.000	0.160	0.160
2-Overa	0.077	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.138	0.000	0.000	0.000	0.640	0.640
3-Campets	0.077	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.103	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
4-Alqueresia	0.077	0.140	0.000	0.000	0.333	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.048	0.048

ACEQUIA	ARU1	ARU2	ARU3	ARU4	ARU5	ARU6	ARU7	ARU8	ARU9	ARU10	ARU11	ARU12	ARU13	EDAR_SAL	EDAR_PIN	EDAR_QB	EDAR_A_S	EDAR_FORD	EDAR_A_A	EDAR_SUE_PAL
1-Dreta	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2-Overa	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
3-Campets	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4-Alqueresia	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

NOTA: depende del resultado, se podría también pasar del 64% al 45,4% en el retorno subterráneo de Overa y Campets.

NOTA 2: La EDAR Algemesí-Albalat vierte al río Júcar. Eliminar esta EDAR a efectos del modelo cuantitativo y de calidad. Desde luego, no entra por Overa, ya que Overa es ámbito de la ARJ.

ACEQUIA	P_LA	ESUP_127	ESUP_128	ESUP_129	DSU_127	DSU_128	DSU_129	ESUB_127_128	ESUB_129	TUR_RETSUP	TUR_RETSUB	ARJ_RETSUP	ARJ_RETSUB
1-Dreta	0.077	0.158	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	0.000	0.160	0.160
2-Overa	0.077	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.138	0.000	0.000	0.000	0.640	0.640
3-Campets	0.077	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.103	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
4-Alqueresia	0.077	0.140	0.000	0.000	0.333	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.048	0.048
5-Foia	0.077	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
6-Nova de silla	0.077	0.072	0.000	0.000	0.333	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	0.000	0.014	0.014
7-Beniparrell	0.077	0.259	0.000	0.000	0.333	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	0.000	0.040	0.040

2. Coeficientes de reparto de EDAR_PIN de Ravisanxo (30%) y Carrera del Sarler (70%)

ACEQUIA	ARU1	ARU2	ARU3	ARU4	ARU5	ARU6	ARU7	ARU8	ARU9	ARU10	ARU11	ARU12	ARU13	EDAR_SAL	EDAR_PIN
1-Dreta	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2-Overa	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3-Campets	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4-Alqueresia	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5-Foia	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6-Nova de silla	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7-Beniparrell	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8-Font de Mariano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9-Albal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-Port de Catarroja	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11-Poyo_Fus	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12-Ravisanxo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.500
13-Carrera del Saler	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.500

3. La EDAR de Quart Benager repartida entre Port de Catarroja y Poyo/Fus

ACEQUIA	ARU1	ARU2	ARU3	ARU4	ARU5	ARU6	ARU7	ARU8	ARU9	ARU10	ARU11	ARU12	ARU13	EDAR_SAL	EDAR_PIN	EDAR_QB
1-Dreta	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2-Overa	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3-Campets	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4-Alqueresia	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5-Foia	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6-Nova de silla	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7-Beniparrell	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8-Font de Mariano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9-Albal	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-Port de Catarroja	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11-Poyo_Fus	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500
12-Ravisanxo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.500	0.500
13-Carrera del Saler	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.500	0.000

2.9 Reflexión sobre la validez de "los ceros" en los datos de caudal en las acequias

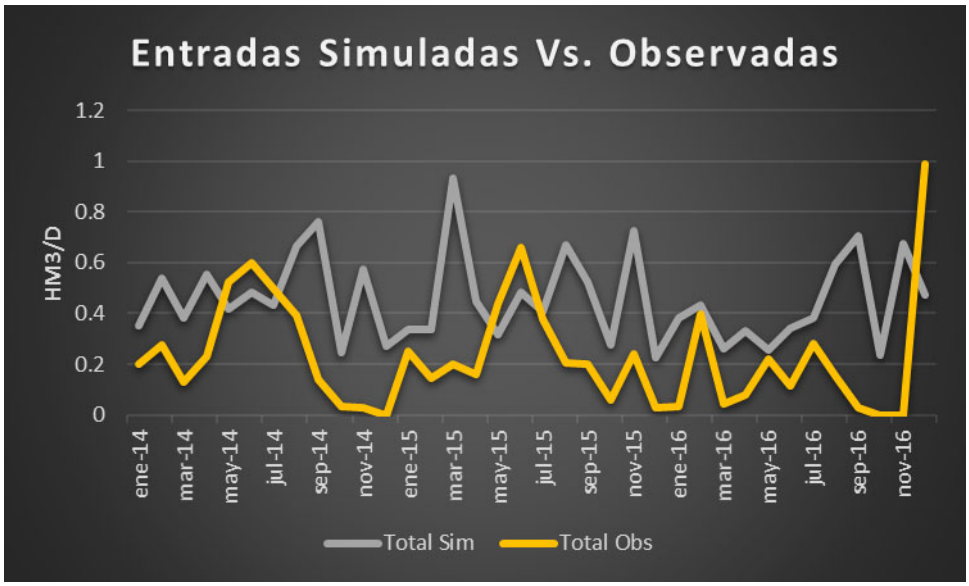
Medias de caudales entradas totales (Hm3/d)

Modelo -> 0.46

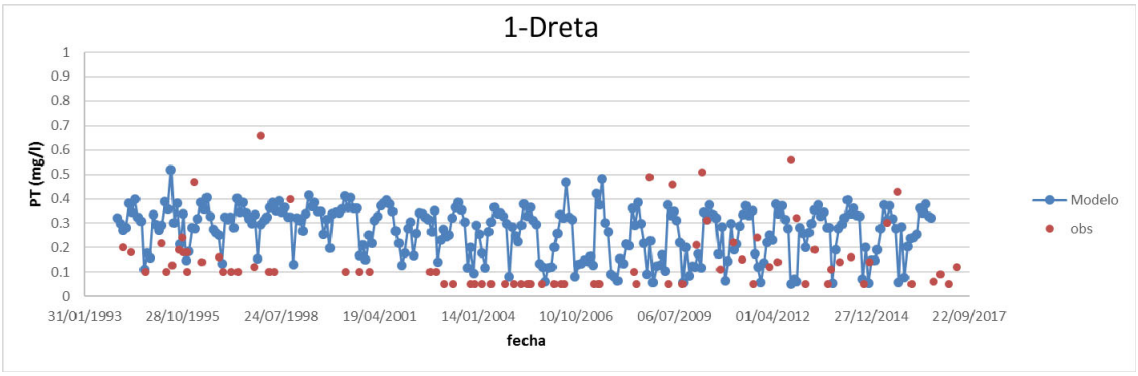
Datos GVA acequias:

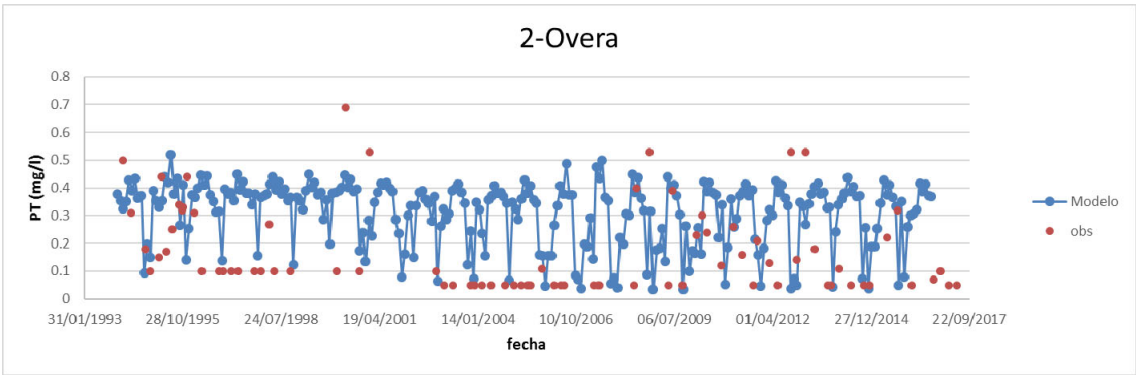
Todos los datos-> 0.25

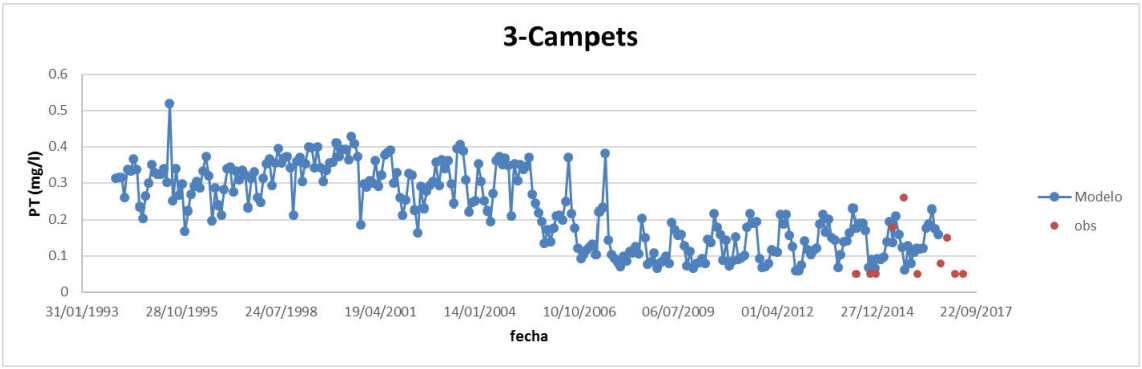
Sin ceros-> 0.42

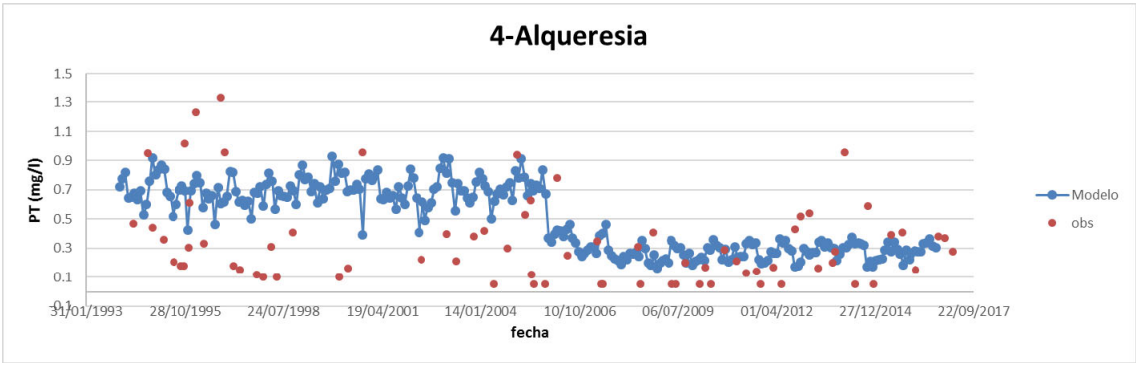


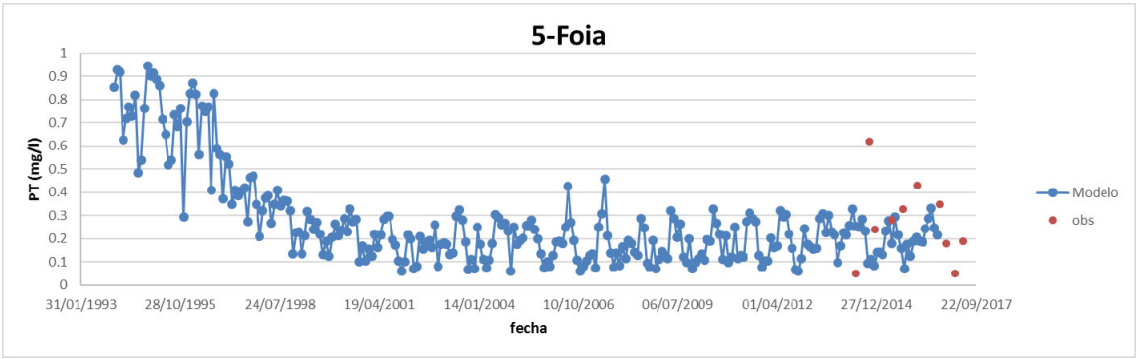
Comparativa datos de calidad en acequias con concentraciones de entrada en el modelo

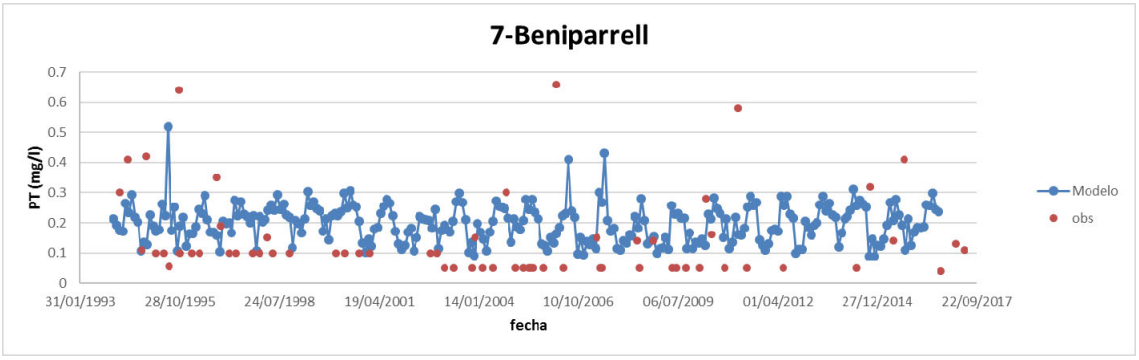


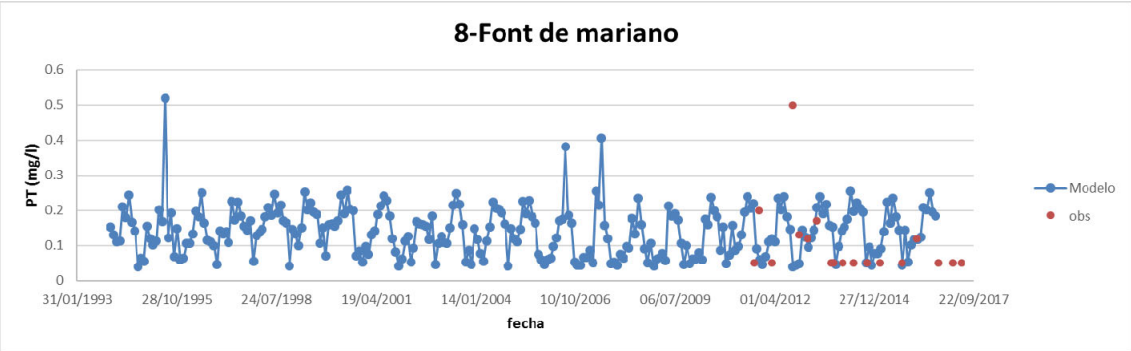


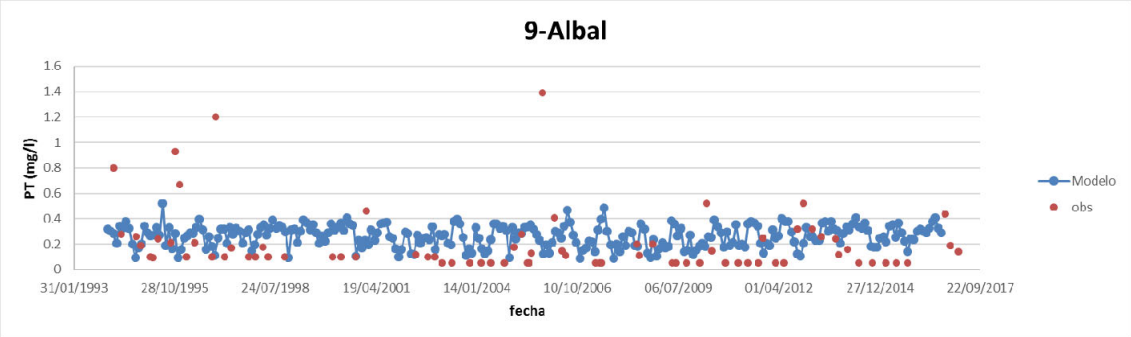

3-Campets
PT (mg/l)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
31/01/1993
28/10/1995
24/07/1998
19/04/2001
14/01/2004
10/10/2006
06/07/2009
01/04/2012
27/12/2014
22/09/2017
fecha
Modelo
obs

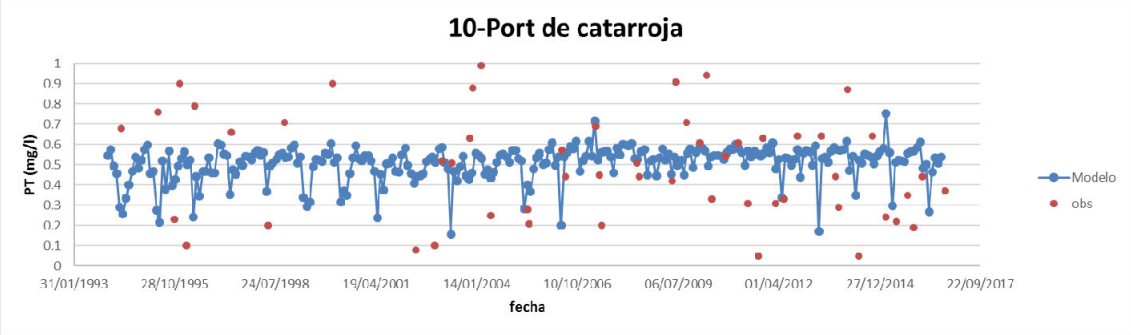

4-Alqueresia
PT (mg/l)
1.5
1.3
1.1
0.9
0.7
0.5
0.3
0.1
31/01/1993
28/10/1995
24/07/1998
19/04/2001
14/01/2004
10/10/2006
06/07/2009
01/04/2012
27/12/2014
22/09/2017
fecha
Modelo
obs

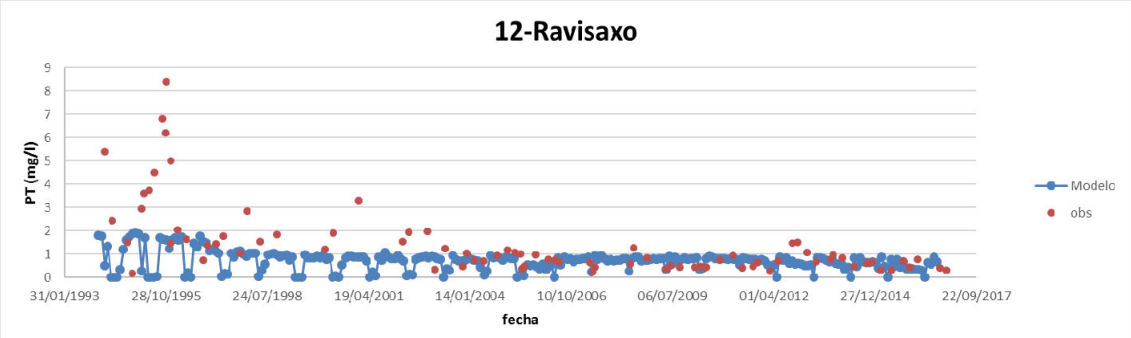

5-Foia
PT (mg/l)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
31/01/1993
28/10/1995
24/07/1998
19/04/2001
14/01/2004
10/10/2006
06/07/2009
01/04/2012
27/12/2014
22/09/2017
fecha
Modelo
obs


7-Beniparrell
PT (mg/l)
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
31/01/1993
28/10/1995
24/07/1998
19/04/2001
14/01/2004
10/10/2006
06/07/2009
01/04/2012
27/12/2014
22/09/2017
fecha
Modelo
obs









2.10 *Propuestas de cambio en las concentraciones de las fuentes*

1. El informe del seguimiento de calidad de las **aguas subterráneas** de la CHJ, muestra una media de Nitratos durante el periodo 2009-2016 en Plana de

Valencia Norte de 68,8 mg/l y en Plana de Valencia Sur de 87,4 mg/l . Esto modificaría el patrón de calidad del aporte subterráneo.

ACEQUIA	mg N/l (1)
1-Dreta	11
2-Overa	11
3-Campets	11
4-Alqueresia	2
5-Foia	11
6-Nova de silla	25
7-Beniparrell	25
8-Font de Mariano	25
9-Albal	25
10-Port de Catarroja	11
11-Poyo_Fus	11
12-Ravisanxo	11
13-Carrera del Saler	11

2. Retorno superficial del ARJ y Sueca: bajar de 0,52 mg PT/l y 0,15 respectivamente a 0,1 mg PT/l en ambos casos

		ESUP	DSU	ESC_SUB	TUR_RETSUP	ARJ_RETSUP	SUE_RETSUP (<oct 2007)	SUE_RETSUP (>oct 2007)
DBO	mg 02/l	13	300	0	15	15	15	15
NO3	mg N/l	6	1	(1)	2	2	3	3
NH4	mg N/l	1	0	0.022	3	0.4	0.4	0.4
P_TOTAL	mg P/l	0.25	6	0.045	0.57	0.52	0.15	0.4
OX. DIS.	mg 02/l	7	0	6	6	7	8.5	8.5

3. Retorno superficial de Turia: bajarlo de 0,57 mg PT/l a 0,2 mg PT/l

		ESUP	DSU	ESC_SUB	TUR_RETSUP	ARJ_RETSUP	SUE_RETSUP (<oct 2007)	SUE_RETSUP (>oct 2007)	RETSUB
DBO	mg 02/l	13	300	0	15	15	15	15	0
NO3	mg N/l	6	1	(1)	2	2	3	3	(1)
NH4	mg N/l	1	0	0.022	3	0.4	0.4	0.4	0.022
P_TOTAL	mg P/l	0.25	6	0.045	0.57	0.52	0.15	0.4	0.00825
OX. DIS.	mg 02/l	7	0	6	6	7	8.5	8.5	6

4. Retorno subterráneo: subirlo de 0,00825 mg PT/l a 0,155 mg PT/l

		ESUP	DSU	ESC_SUB	TUR_RETSUP	ARJ_RETSUP	SUE_RETSUP (<oct 2007)	SUE_RETSUP (>oct 2007)	RETSUB	ARU	EDA -Sal
DBO	mg 02/l	13	300	0	15	15	15	15	0	300	25
NO3	mg N/l	6	1	(1)	2	2	3	3	(1)	2	0
NH4	mg N/l	1	0	0.022	3	0.4	0.4	0.4	0.022	(3)	0.5
P_TOTAL	mg P/l	0.25	6	0.045	0.57	0.52	0.15	0.4	0.00825	(5)	0.2
OX. DIS.	mg 02/l	7	0	6	6	7	8.5	8.5	6	0	4

5. El PT de la EDAR de Pinedo, según la normativa del Plan no debe superar los 0,6 mg PT/l. Viendo las analíticas, se observa un promedio de 0,3 mg PT/l, así que, mejor bajar el PT de Pinedo de 0,99 mg PT/l a 0,3 mg PT/l

		ESUP	DSU	ESC_SUB	TUR_RETSUP	ARJ_RETSUP	SUE_RETSUP (<oct 2007)	SUE_RETSUP (>oct 2007)	RETSUB	ARU	EDAR -Saler	EDAR PINEDO (<Jul 2005)	(>Jul 2005 y < 2007)	(> 2007)
DBO	mg 02/l	13	300	0	15	15	15	15	0	300	25	25	25	25
NO3	mg N/l	6	1	(1)	2	2	3	3	(1)	2	0	2	2	2
NH4	mg N/l	1	0	0.022	3	0.4	0.4	0.4	0.022	(3)	0.5	5	5	5
P_TOTAL	mg P/l	0.25	6	0.045	0.57	0.52	0.15	0.4	0.00825	(5)	0.2	2	1.1	0.99
OX. DIS.	mg 02/l	7	0	6	6	7	8.5	8.5	6	0	4	4	4	4

2.11 Propuestas cálculo del porcentaje de entrada al lago.

Uno de los problemas que se ha detectado en el análisis del proceso de paso de información del modelo del parque al modelo de calidad de aguas es que las entradas al lago se reparten en función de unos porcentajes previamente calculados y que no son actualizables. Para comprobar estos porcentajes y ser capaces de reproducir, así como de calcular nuevos porcentajes mientras se van actualizando las series se propone la metodología que se explica a continuación y que se desarrollará en los próximos meses.

Se plantea desarrollar un "trazador" que nos indique de las entradas al lago el porcentaje de agua que proviene de cada aportación que llega al parque. Para ello se realizará una simulación múltiple del modelo Gescal de Aquatool.

Por un lado, se desarrollará un modelo de calidad de aguas consistente en lo siguiente:

- Un solo contaminante arbitrario.
- Todas las concentraciones de las aportaciones de fijarán en cero (el programa iterativo irá cambiando este dato).
- Las constantes de degradación y de sedimentación se harán nulas en todos los elementos del modelo.
- Las concentraciones iniciales de los embalses se consideran nulas.
- La concentración del acuífero se pondrá a cero.

El segundo paso es desarrollar una aplicación que realice una simulación para cada aportación:

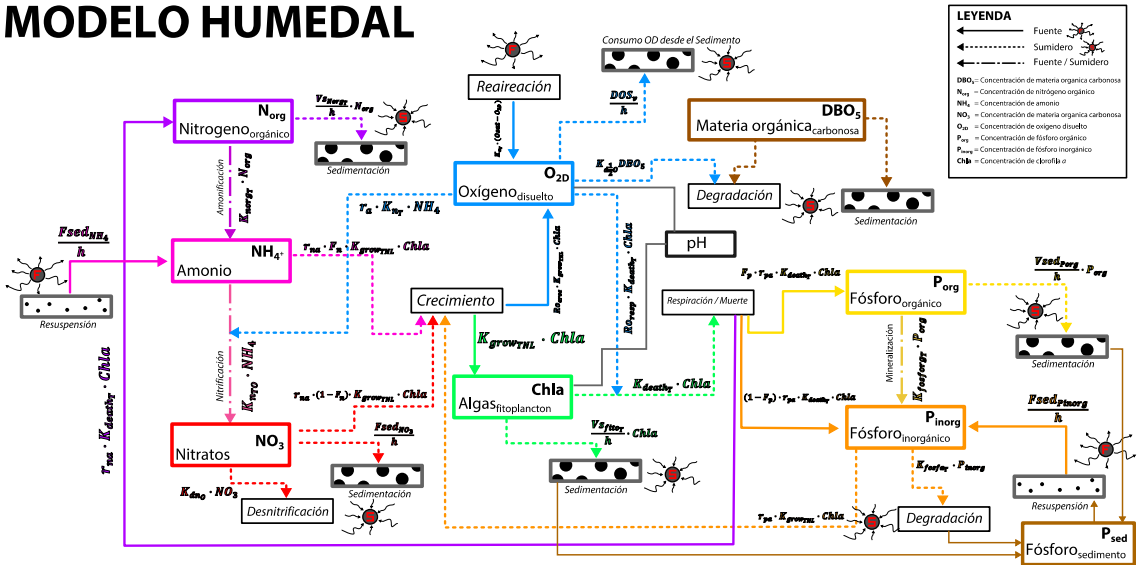
- Cambiar la serie temporal de las concentraciones de la aportación en cuestión al valor de 100 todos los meses
- Simular el modelo GESCAL
- Almacenar la información de la serie temporal de concentraciones de la conducción de entrada al Lago.

Una vez que se realice la simulación de todas las aportaciones del modelo, analizando las concentraciones de entrada obtenidas se podrá saber, en cada mes y de forma directa, el porcentaje que corresponde a cada aportación.

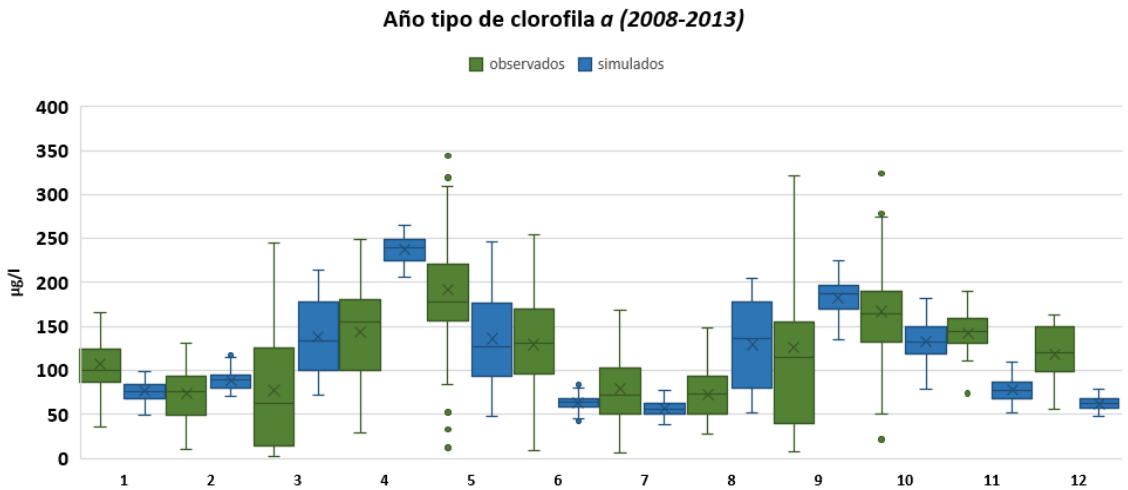
2.12 Calibración del modelo de calidad de aguas de la Albufera

Una vez se ha ajustado el modelo del parque y se han ajustado las entradas del modelo de calidad se ha realizado la calibración de los parámetros de los diferentes procesos que se producen en el lago en cuanto a los contaminantes: materia orgánica, ciclo del nitrógeno, ciclo del fósforo y clorofila-a.

En la siguiente figura se puede ver los constituyentes considerados en el modelo de eutrofización planteado y los diferentes procesos que afectan a los mismos.

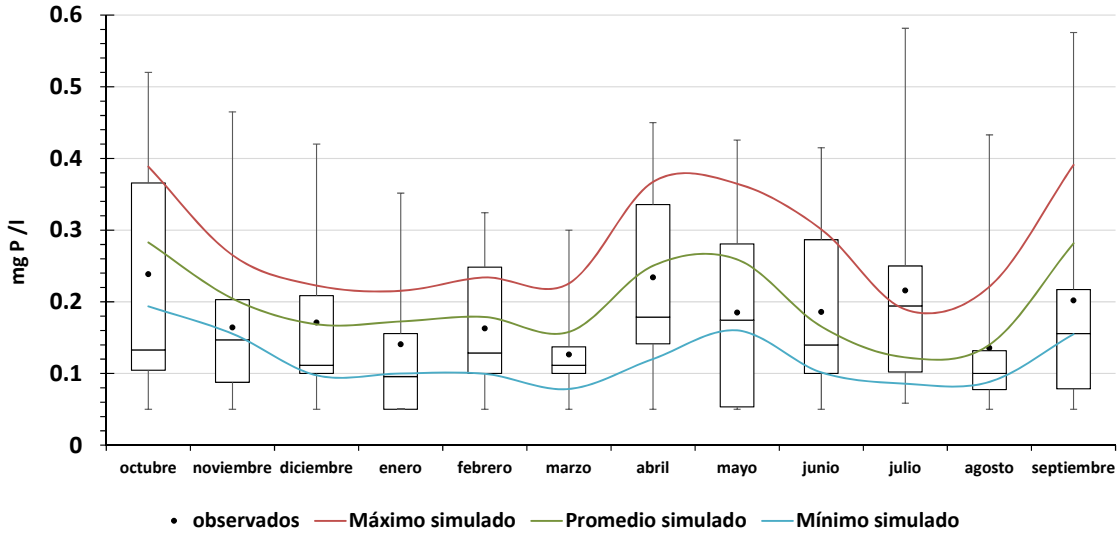


Cada una de las líneas representa un proceso que está controlado por una velocidad del proceso. Como se puede ver existen muchos parámetros (velocidades del proceso) que influyen en los resultados del modelo. Una vez ajustados los parámetros por medios semiautomáticos se ha obtenido el siguiente ajuste.



En la figura se puede ver la diferencia entre la Clorofila-a observada y la simulada para un año medio entre los años 2008 y 2013. Al igual que venía sucediendo en modelos y calibraciones previas, y como es normal en este tipo de modelos, los datos observados tienen un mayor rango de variabilidad que los simulados debido a que la muestra oscila mucho en función de la hora del día que se toma y otro tipo de factores meteorológicos y ambientales que no son difícilmente incluibles en el modelo. Sin embargo, el modelo es capaz de representar la evolución de la clorofila dentro del año.

En la siguiente figura se puede ver el ajuste del modelo respecto al fósforo. Se incluye como referente este constituyente ya que es el nutriente limitante en el Lago de la Albuera.



En la figura se puede apreciar un comportamiento similar del nutriente con la clorofila-a aunque en este caso las diferencias en los rangos son menores.

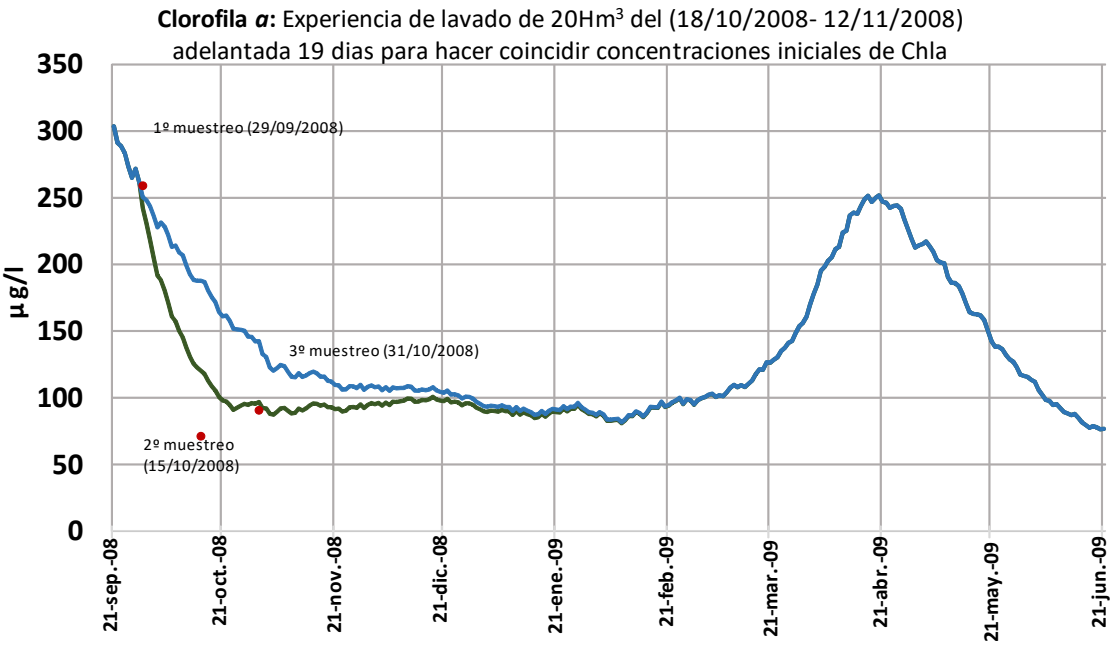
A partir de este punto y con el modelo calibrado se procederá a las simulaciones de escenarios.

2.13 *Modelado del escenario actual y evaluación de la eficacia de las medidas*

Partiendo del modelo calibrado en esta tarea se realizan diferentes simulaciones para analizar la respuesta del lago frente a posibles escenarios a los que se puede ver sometida.

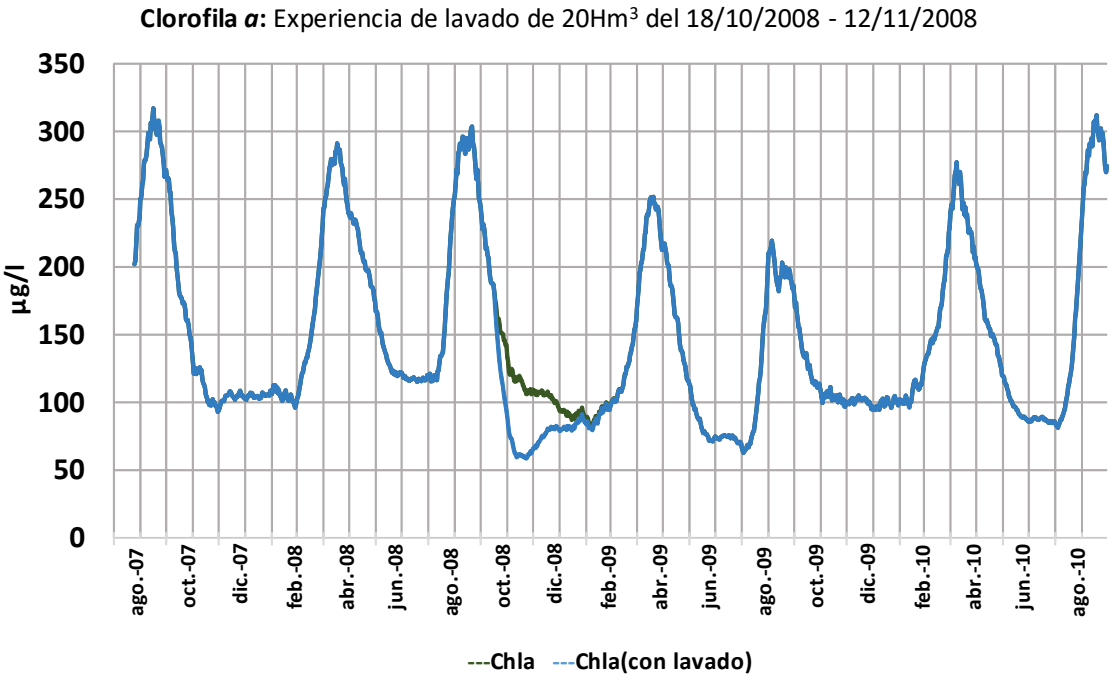
En primer lugar, se ha querido simular el lavado que se produjo en septiembre-octubre de 2008 para ver si el modelo era caza de reproducir el efecto del mismo.

En la siguiente figura se puede ver las mediciones que se realizaron antes y después del lavado (puntos rojos) y la simulación sin considerar el lavado y considerándolo.



Como se puede ver, aunque el valor mínimo de Chl-a fue menor de lo previsto por el modelo el impacto del lavado está muy bien reproducido en la simulación. Gracias a ella se puede estimar la duración de los efectos del lavado en función de cuanta agua se utilice y de la época del año en que se realice.

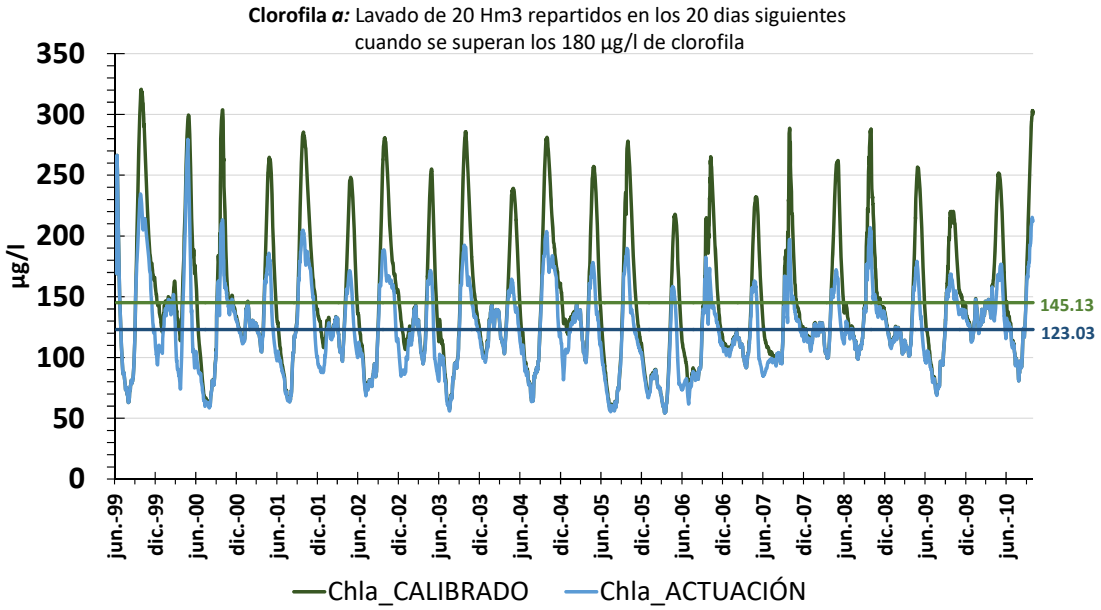
En la siguiente figura la simulación de lavado pero enmarcado en un período de simulación mayor.



Con ello se puede ver la magnitud del efecto del lavado en las concentraciones.

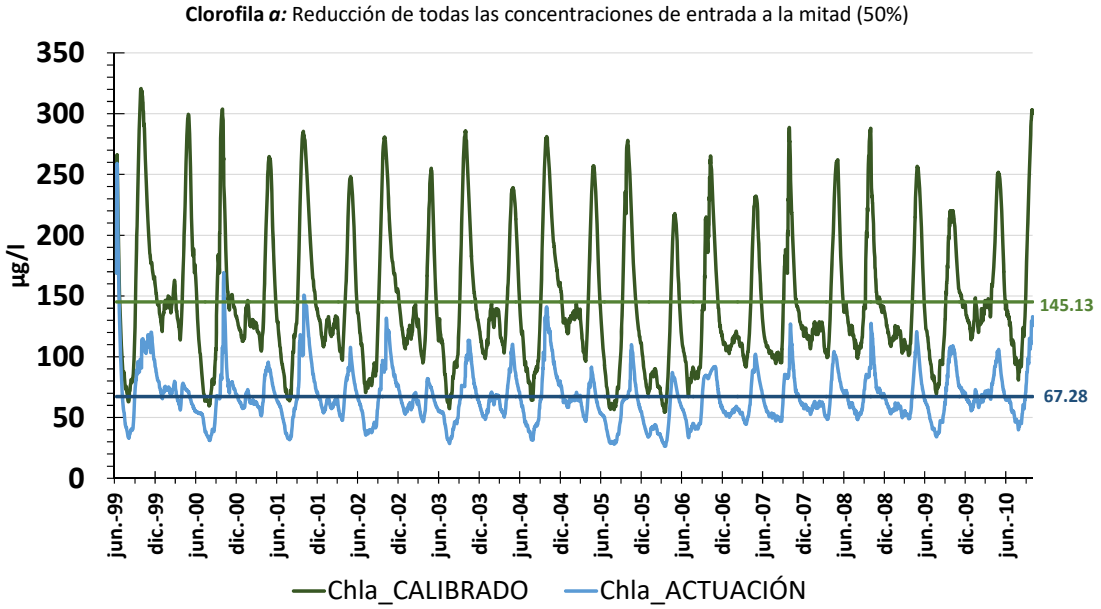
La siguiente simulación consistió en realizar una serie de lavados de 20 Hm3 cada uno de ellos de 20 días de duración siempre que las concentraciones de

clorofila superaran los 180 mg/m³. Los resultados pueden verse en l siguiente figura.



Obviamente esta situación utopía en donde se asume que se dispone de agua sin límite tanto en cantidad como en cualquier momento no es un escenario factible pero sirve para estimar cual es el efecto de los lavados como herramienta para reducir las concentraciones máximas de Chl-a.

Finalmente se realiza una última simulación en que se quiere analizar el escenario en que las cargas de nutrientes de la Albufera se reducen drásticamente un 50%. En la siguiente figura se puede ver los resultados de la situación actual y con reducción de carga.



Como se puede ver la reducción de la concentración de la Chl-a sería del orden del 50% mientras que las máximas presentarían reducciones un poco superiores al 50%.

2.14 Transferencia de resultados

En este apartado se englobaban las tareas de "Transferencia de modelos a los técnicos de la OPH" y "Jornadas Técnicas".

Estas tareas se han desarrollado en la parte final del proyecto. Conforme se fueron cerrando los modelos de Aquatool de balance del parque y el modelo de Calidad de Aguas se fueron enviando a D. Laura Tanco receptora de los modelos por parte de la CHJ. Junto con los modelos se enviaron breves explicaciones de los mismos y se mantuvieron llamadas telefónicas explicando los mismos. Se debe tener en cuenta que el personal de la OPH-CHJ tenía cierta experiencia de uso sobre el modelo de balance por lo que la transferencia fue más sencilla.

En cuanto a las Jornadas técnicas, en el mes de junio de 2019, se mantuvieron dos reuniones finales de transferencia de modelos en donde, además de la explicación de los mismos se hicieron simulaciones de posibles escenarios para asegurarse que la transferencia fuera completa.

3 Actividades 4 y 5. Modelo único Aquatool y efectos modernización Acequia Real del Júcar

En relación a la actividad 4 "Desarrollo y calibración del modelo único Aquatool para toda la DHJ", se ha desarrollado un modelo para la simulación de la gestión incluyendo todas las masas de agua superficiales y subterráneas y todas las unidades de demanda definidas en la DHJ para el siguiente ciclo de planificación. Este modelo junto con su documentación técnica y todas las herramientas adicionales para el procesado de datos y resultados para la obtención de balances ha sido incluído en el repositorio de información de CHJ relativa al proyecto https://nuvola.chj.es/

En relación a la actividad 5 "Estudio de la afección de la modernización de la ARJ en los retornos" se ha realizado diversos análisis de datos, así como múltiples reuniones con los técnicos de la POH de la CHJ para su discusión y toma de decisiones, cuyas principales conclusiones se resumen en los siguientes apartados.

3.1 Balance de aforos entre Tous y Huerto Mulet.

En este capítulo se ha avanzado en el análisis del balance de aforos en el tramo situado entre el embalse de Tous y la estación de aforos de Huerto Mulet. El principal objetivo es el de comprender y cuantificar los retornos que recibe el río procedentes de los regadíos en la zona y mejorar la restitución de los aportes en régimen natural de esta subcuenca.

En la figura siguiente se representa el tramo de río considerado desde la suelta de Tous a río (08024), hasta la estación de aforos de Huerto Mulet. En este tramo se encuentra los azudes de Escalona y Antella desde los que se deriva a las acequias: Escalona, Antella, Carcaixent y Real del Júcar; y se incorporan los ríos Sellent, Albaida, Verde y Magro.

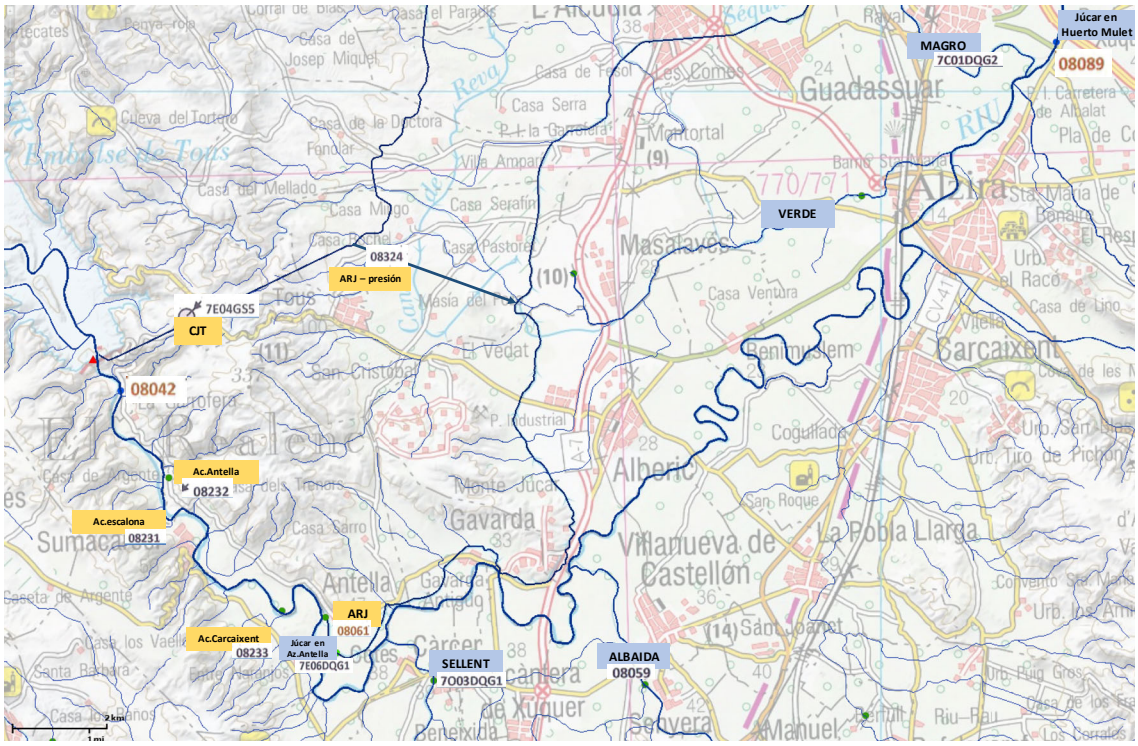


Figura 1. Puntos de medida en el tramo entre Tous, Bellús, Forata hasta el aforo de Huerto Mulet.

3.1.1 Revisión de la serie de datos de aforo en Huerto Mulet.

Se dispone de 3 series de datos en el aforo de Huerto Mulet que fundamentalmente son iguales, pero que ocasionalmente contienen algunas diferencias. Estos son los siguientes

- Dato SAIH caudal aforado con código: 7A02DQG1DBMR
- Dato SAIH descrito como "Huerto Mulet corregido"
- Dato ROEA

En los trabajos de análisis de los balances aguas abajo de Tous se ha detectado resultados erróneos que podrían ser corregidos mediante una mejora en la calibración del aforo. Es por esto que se ha redactado el documento Anexo 4.3 para ser analizado junto con personal del SAIH.

En este anexo se incluye la comparación anual de los datos junto con los resultados de balance y otros datos de interés para la mejor comprensión del régimen de caudales en la zona. También se incluye anotaciones referidas a las fechas en que se ha detectado resultados inconsistentes.

3.1.2 Cálculo de la ganancia del río mediante balance.

Para obtener la ganancia del río se ha descontado del aforo en Huerto Mulet la suelta de los embalses Tous, Bellús y Forata y se a sumado lo derivado en las 4 acequias indicadas:

$$\text{Ganancia río} = HM - (T+B+F) + (E+A+C+ARJ)$$

Siendo: HM el aforo en Huerto Mulet; T+B+F las sueltas a río desde los embalses de Tous, Bellús y Forata respectivamente; y E+A+C+ARJ las derivaciones a las acequias de Escalona, Antella, Carcaixent y Real del Júcar respectivamente.

También se ha calculado la ganancia de los afluentes indicados (Sellent, Albaida, Verde y Magro) descontando las sueltas de las presas situadas aguas arriba.

$$\text{Ganancia afluentes} = S + (A-B) + V + (M-F)$$

Siendo: S, A, V y M los aforos finales más aguas abajo en los cauces Sellent, Albaida, Verde y Magro; y B y F las sueltas de las presas Bellús y Forata.

La disponibilidad temporal y los códigos de estación utilizados para los aforos indicados se resume en la Figura 2 (a falta de huecos en algunas series).

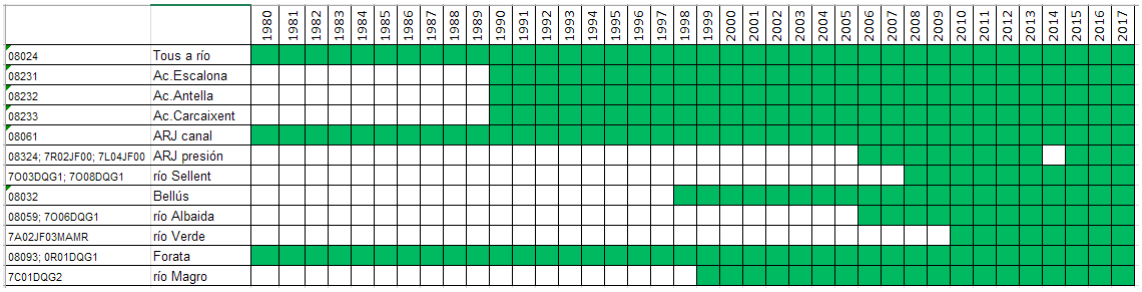


Figura 2. Histograma de datos para los aforos estudiados desde 1980.

Los balances indicados no proporcionan la ganancia del río en régimen natural, ya que no se incluye en estas ecuaciones dado que se desconoce. Pero del examen del resultado de estos balances se puede obtener información cualitativa sobre el régimen del río e información aproximada sobre la cuantía de los retornos. Los resultados de estos cálculos en escala diaria se analizan con detalle en el Anexo 4.2. A modo de ejemplo, en la Figura 3 se representa estos balances para el año 2011/12. En esta figura se aprecia como los aportes intermedios aumentan durante el verano. Este aumento solo puede estar causado por el retorno de los regadíos aguas arriba de Huerto Mulet. Este aumento no se aprecia en los aforos de los afluentes.

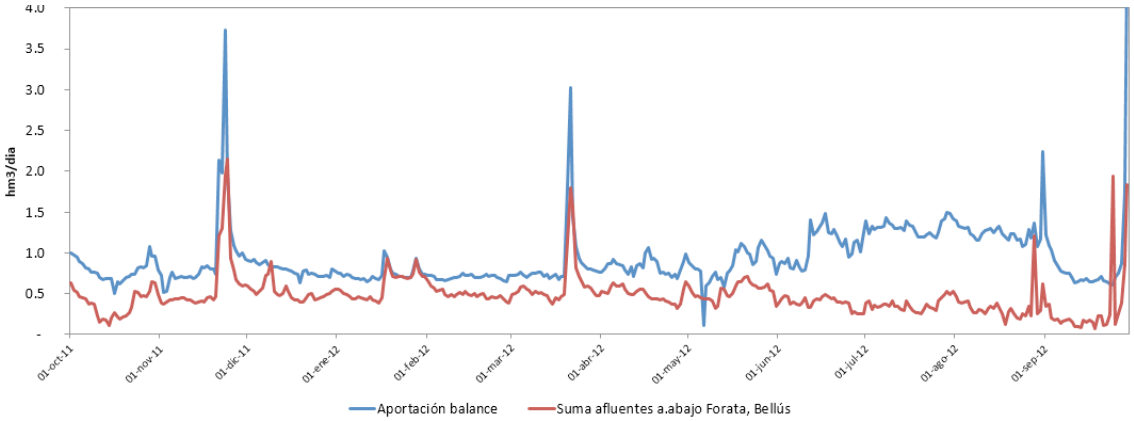


Figura 3. Ganancia calculada para el tramo de río entre Tous y Huerto Mulet para el año hidrológico 2011/12.

En base a estos resultados se propone analizar este aumento de caudal en el río para comprender y cuantificar el retorno de riegos al río.

Una primera aproximación para estimar el retorno del regadío consistiría en identificar los periodos en que se genera este incremento de caudal no causado por episodios de lluvia y separar el hidrograma en una aproximación del aporte subterráneo natural y considerar el volumen restante como retorno. En la Figura 4 se presenta esta separación entre aportación natural y retorno para el mismo año indicado. Para determinar la aportación subterránea se ha ajustado un coeficiente de agotamiento del acuífero de 0.002 días^{-1}. La Figura 5 representa la serie mensual de aportaciones y retornos obtenida por el mismo procedimiento.

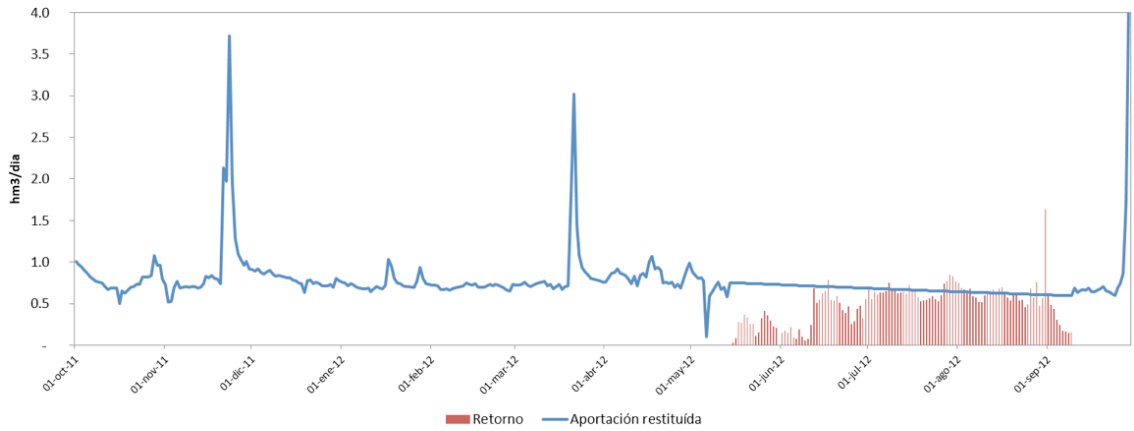


Figura 4. Separación de la aportación en régimen natural y el retorno de riegos en el tramo entre Tous y Huerto Mulet para el año hidrológico 2011/12.

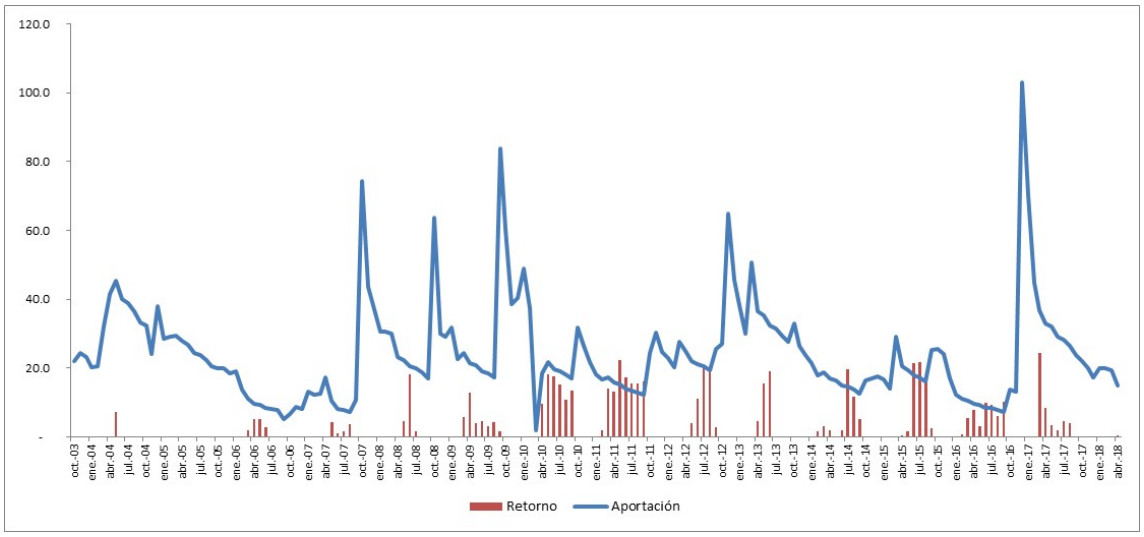


Figura 5. Serie mensual de aportaciones intermedias y retornos estimados mediante el procedimiento de separación del hidrograma.

El resultado obtenido por este procedimiento adolece de varios problemas como son:

- la necesidad de un "juicio experto" para escoger cuando comienza a registrarse retornos en el balance (por ejemplo la Figura 6 presenta dos opciones posibles en la elección del momento inicial en que se genera retorno para el verano de 2011, la diferencia en el volumen total de retorno es muy alta);
- o la presencia de episodios de lluvia en el periodo en que se estiman retornos (por ejemplo en la misma Figura 6 se aprecia en marzo y abril dos aumentos de caudal que probablemente se deban a episodios de lluvia intensa);
- o la existencia de retornos de menor entidad en otras épocas del año que no son apreciables en el hidrograma;
- también ha de tenerse en cuenta que se está trabajando con una serie que es resultado de la suma de otras 8 series, por lo que contiene los posibles errores e incertidumbre en todas ellas.

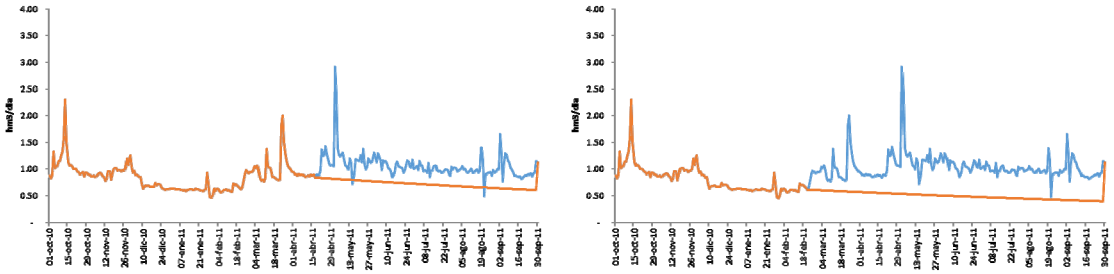


Figura 6. Separación del hidrograma para un mismo año en dos momentos diferentes.

En conclusión, si bien este análisis es útil para comprender cualitativamente la situación en el río, no es suficiente para cuantificar con suficiente exactitud las aportaciones y retornos en este tramo de río.

Para mejorar el proceso se propone las siguientes mejoras y ampliaciones:

- En primer lugar comparar el retorno obtenido con los suministros para regadío en las zonas susceptibles de generar retorno.
- Y contrastar también con datos pluviométricos para descontar del retorno las aportaciones generadas por episodios de lluvia.
- Además se espera también del análisis identificar periodos de de datos anómalos que deberían ser reportados a la oficina de aforos para su revisión.

3.1.3 Contraste con datos de suministros.

A continuación se describe la comparativa de los resultado obtenidos del apartado anterior para la evaluación de los retornos al río y aportaciones en régimen natural con los suministros a las zonas de riego en la Ribera Alta.

La Figura 7 representa los análisis del balance descritos en el apartado anterior y la comparación del retorno obtenido con las series de suministros acumulados a las acequias de la Ribera Alta del Júcar.

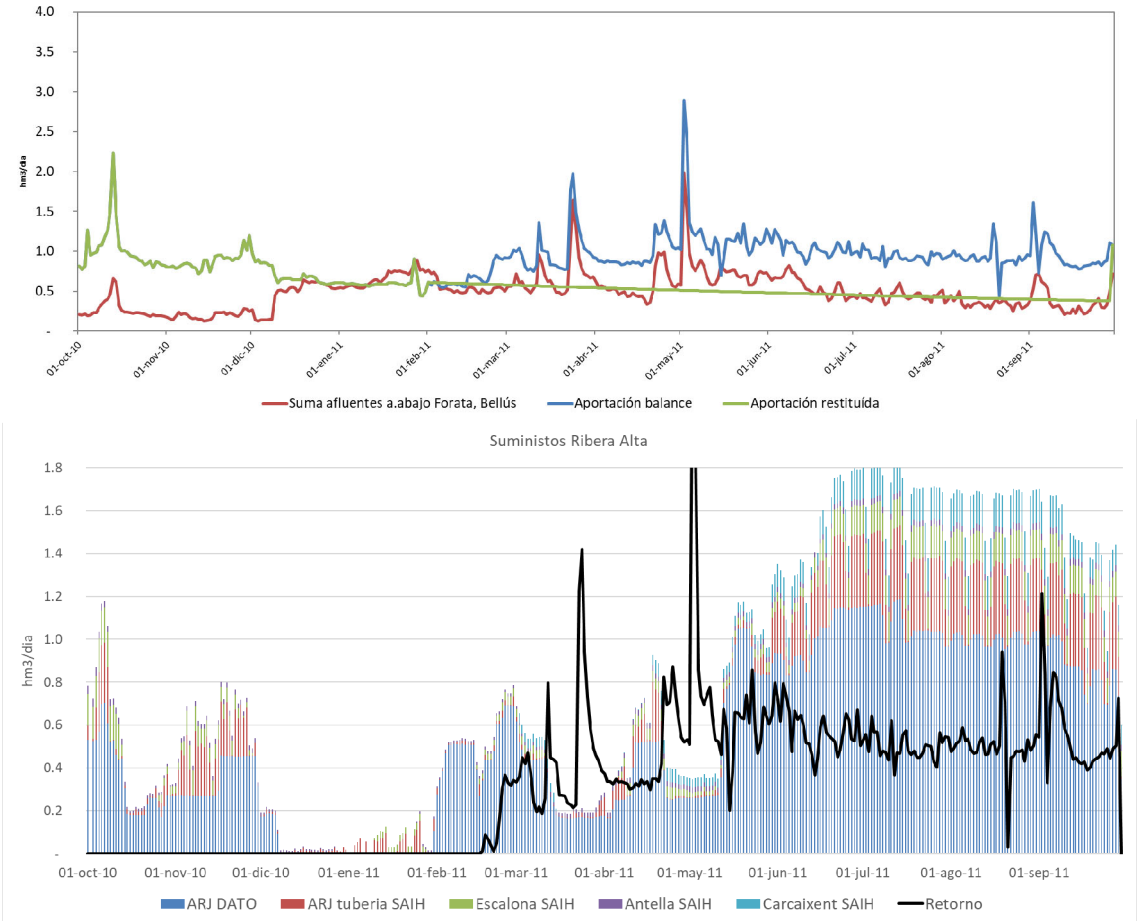


Figura 7. Balance de aforos y suministros a los canales durante el año 2010/11.

En esta figura y las equivalentes para otros años (que pueden verse en el Anexo 4.1) puede apreciarse varias circunstancias diferentes:

- Tal como se había previsto, en la serie de retornos se aprecia aumentos de caudal coincidentes con reducciones de suministro, lo que inequívocamente se explica como un episodio de lluvias que motiva una reducción de los regadíos. Por tanto en estos casos debiera reducirse el retorno.
- También se había indicado ya y se observa aquí, que durante los riegos invernales no se está calculando un retorno que sí debería darse.
- Y lo más importante, es que para periodos de riego normales (en la figura los meses de junio, julio y agosto) el retorno calculado es mucho mayor de lo previsible. (en este caso más de un 30%, pero para otros años es superior). Téngase en cuenta que aunque se representa la totalidad del suminstro a las acequias en la ribera alta, para el caso de suministro por el canal de la ARJ, la mayor parte de este va destinado a los arrozales, que quedan muy lejos del tramo de río considerado y por tanto sería esperable que el retorno llegase principalmente al Lago y al mar. En conclusión, el cálculo del retorno es incorrecto, y las causas podrían ser los siguientes:
    - Errores en los datos o en el cálculo del balance. Aunque esta posibilidad será revisada de nuevo, no se espera obtener nuevos resultados.
    - Errores significativos en la separación del hidrograma. Esta opción se desarrollará proponiendo un método de separación que tenga en cuenta otros factores como la recarga por episodios de lluvia durante la campaña de riego.
    - Que los retornos procedan de un área de riego mayor de la prevista. Se estudiará la posible génesis de retornos en otras zonas próximas como parte de los riegos del Canal Júcar-Turia o la acequia de l'Enova. También se estudiará las series piezométricas del acuífero de La Plana para definir un área con pendientes piezométricas hacia el río que aportaría retorno a este tramo.
- Otra observación apreciada en los gráficos de otros años es la presencia de periodos más o menos largos con datos anómalos para los que no se encuentra una explicación. Estos periodos serán seleccionados y propuestos para su revisión por la oficina de aforos.

3.1.4 Análisis de episodios de lluvia en el hidrograma de ganancia en el río. Y detección de anomalías en los datos.

Los datos de evolución diaria de la ganancia del río y de suminstros para riego reflejan variaciones significativas de caudal durante cortos periodos de tiempo que necesariamente son causados por episodios de lluvia.

A continuación de resume el análisis realizado para evaluar estos episodios y otros comportamientos del balance de aforos.

Se dispone de los datos del pluviómetro virtual N7A02B3ID2 correspondiente a la zona de la Ribera Alta. Se ha comparado estos datos con el resultado del balance en el río y con los datos de suministros para riego en la zona. En esta comparativa se ha identificado coincidencia entre episodios de lluvia significativa e incrementos significativos de caudal. La figura siguiente muestra esta comparativa para un año cualquiera. En el anexo 4.2 se presenta el análisis para todos los años desde 2001. También se ha comparado estos resultados con los datos originales con los que se calcula (aforos en ríos).

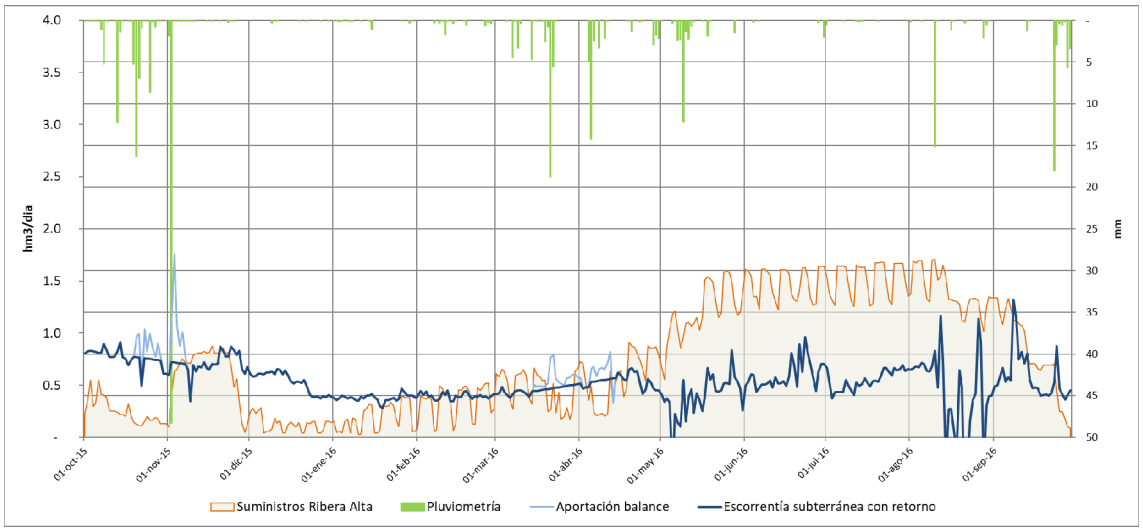


Figura 8. Grafíco con datos diarios de un año de: lluvias (en mm eje vertical derecho), balance de aforos hasta Huerto Mulet y suministros totales a la Ribera Alta.

Las observaciones generales obtenidas en relación a los datos son las siguientes:

- El efecto de las lluvias no es homogéneo. Posibles causas son la distribución espacial de las lluvias y la situación previa del suelo.
- Hay un problema de desfase entre datos de Tous y de Huerto Mulet que no se da siempre. Esto supone en muchas ocasiones que el resultado obtenido de ganancia del río presente grandes oscilaciones de un día al siguiente.
- Los datos del Albaida cuando el caudal es elevado sobrevaloran mucho el caudal con respecto a los datos de balance en el Jücar(ver año 99-10)

- Las ganancias del río en verano que se observa para algunos años pueden deberse a importantes lluvias ocurridas durante la primavera y no a retornos de riego.
- A diferencia del supuesto formulado en el apartado anterior, la conclusión en relación al retorno al río procedente del suministro a Riegos Tradicionales es muy reducido.

3.1.5 Estimación de retornos en el tramo Tous a Huerto Mulet.

En el informe correspondiente al trimestre anterior se presenta un análisis del balance en este tramo mediante el cual se enuncian las siguientes conclusiones:

- La acumulación de las lluvias justifica la mayor parte de la ganancia registrada en el río.
- El efecto de los retornos de riego en la ribera sobre la ganancia del río es menor a lo supuesto inicialmente.
- Ocasionalmente se detectan anomalías en el balance que no se explican por el normal ciclo hidrológico y han de ser debidas a errores en datos.

En continuación de las dos primeras conclusiones se optó por buscar en el histórico de aforos episodios concretos en que se parecía una ganancia de caudal en el río asociada a un aumento en el suministro a regadíos sin que esté acompañado de episodios de lluvia. Los resultados de este análisis pueden justificar un coeficiente de retorno común durante los últimos años.

Para establecer con mayor precisión el retorno de riego se ha considerado únicamente como demandas que retornan las acequias de Escalona, Carcaixent y Antella, y solo la parte de la ARJ previa al cruce con el río Magro. Dado que la topografía de la red secundaria de distribución así lo sugiere.

Los resultados resumidos se reflejan en la figura siguiente. De acuerdo con estos resultados se propone adoptar un coeficiente de retorno de 17% en verano y del 25% en invierno, con respecto a las demandas indicadas. Para el tramo de la ARJ posterior al cruce con el río Magro se considera que el retorno se dirige al lago de la Albufera y recarga subterránea que drenará principalmente al mar.

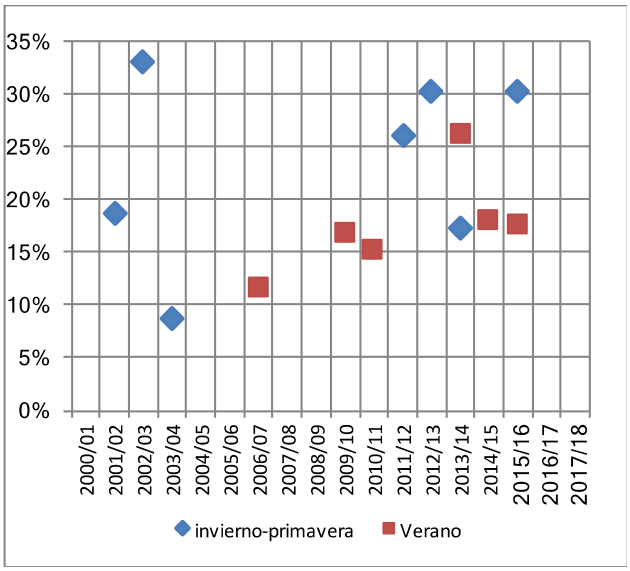


Figura 9. Resultados de porcentajes de retorno calculados por años separando entre la campaña de riego intensivo (verano) y el resto del año.

3.2 *Análisis del balance aguas abajo de Huerto Mulet.*

Tradicionalmente se ha considerado que el río Júcar aguas abajo de Huerto Mulet no recibe aportes significativos ni de del ciclo natural y de retornos de riego. Aunque se carecía de series de datos medidos para confirmarlo.

Actualmente se dispone ya de un historial suficiente de datos en el SAIH para analizar estos balances. La figura siguiente resume el historial de datos disponibles.

Lugar	Descriptor	Código	Fecha inicio	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HUERTO MULET	CAUDAL MEDIO DIA (COMPU)	**7A02DQG1DBMR**	de el 30/03/1999																			
SUECA	CAUDAL RIO MEDIO DIARIO	**7E07DQG1DAMR**	de el 12/06/2000																			
SUECA	CAUDAL 4 PUEBLOS M DIARIO	**7E07JF01DAMR**	de el 12/06/2002																			
SUECA	CAUDAL M. SUECA M DIARIO	**7E07JF02DAMR**	de el 12/06/2004																			
SUECA	CAUDAL CAMPANAR M. DIARIO	**7E07JF03DAMR**	de el 12/06/2006																			
CULLERA	CAUDAL RIO MEDIO DIARIO	**7E08DQG1DAMR**	de el 01/01/1989																			
CULLERA	CAUDAL ACEQUIA M.IZDA DIA	**7E08DQG2DAMR**	de el 13/03/1998																			
CULLERA	CAUDAL M. DCHA M. DIARIO	**7E08JF01DAMR**	de el 23/02/1999																			
CULLERA	CAUDAL M. IZQUIER M.DIARIO	**7E08JF02DAMR**	de el 18/07/2006																			
AZUD DE LA MARQUESA	CAUDAL TOTAL AZUD DIA	**0R04DQG0DAMR**	de el 18/12/2012																			
AZUD DE LA MARQUESA	CAUDAL E.A 153 AZUD DIA	**0R04DQG1DAMR**	de el 18/12/2012																			
AZUD DE LA MARQUESA	CAUDAL E.A 154 CANAL DIA	**0R04DQG2DAMR**	de el 18/12/2012																			
TOTAL SUECA	Caudal A Mayor Sueca+A Campanar+Cullera MI-A Rafol		datos desde 1/10/15																			
TOTAL 4 PUEBLOS		**7E07JF01MAMR**	atos desde 1/10/15																			
TOTAL CULLERA	A Cullera MD + A Rafol		datos desde 1/10/15																			
EXCEL HUERTO MULET CORRECTO		**M3/S**	s desde 1/05/2000																			

Figura 10. Histograma de datos disponibles en el río Júcar aguas abajo de Huerto Mulet.

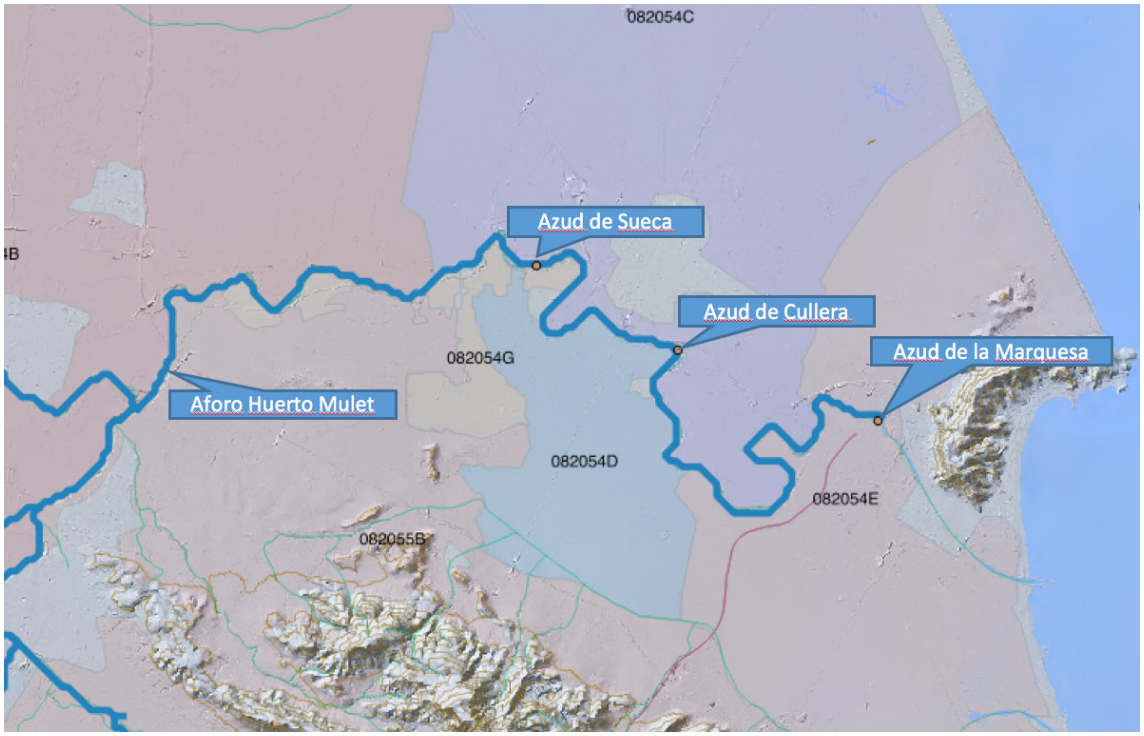
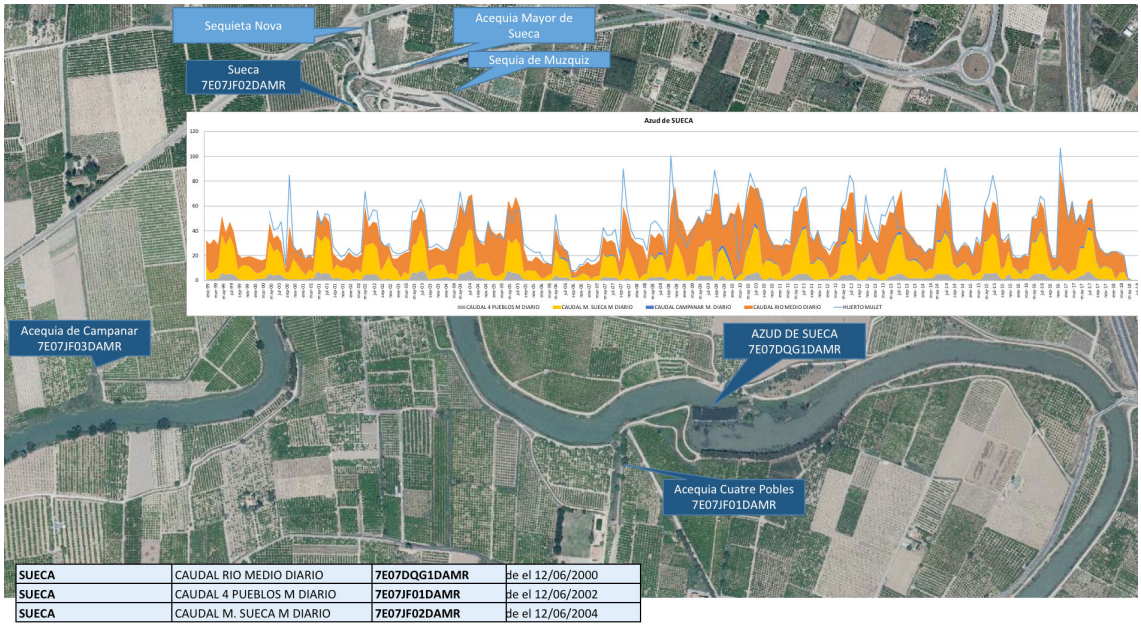


Figura 11. Puntos de aforo considerados aguas abajo de Huerto Mulet.

A continuación se resume una comparación preliminar de los datos en cada tramo.

3.2.1 Tramo Huerto Mulet a Sueca

Desde el azud de Sueca se suministra a las acequias de Cuatre Pobles y Sueca, ambas aforadas. También se suministra mediante tomas directas del río una demanda de unos 3 hm^3/año.



SUECA	CAUDAL RIO MEDIO DIARIO	**7E07DQG1DAMR**	de el 12/06/2000
SUECA	CAUDAL 4 PUEBLOS M DIARIO	**7E07JF01DAMR**	de el 12/06/2002
SUECA	CAUDAL M. SUECA M DIARIO	**7E07JF02DAMR**	de el 12/06/2004

Figura 12. Datos y balance mensual en el tramo de Huerto Mulet al azud de Sueca.

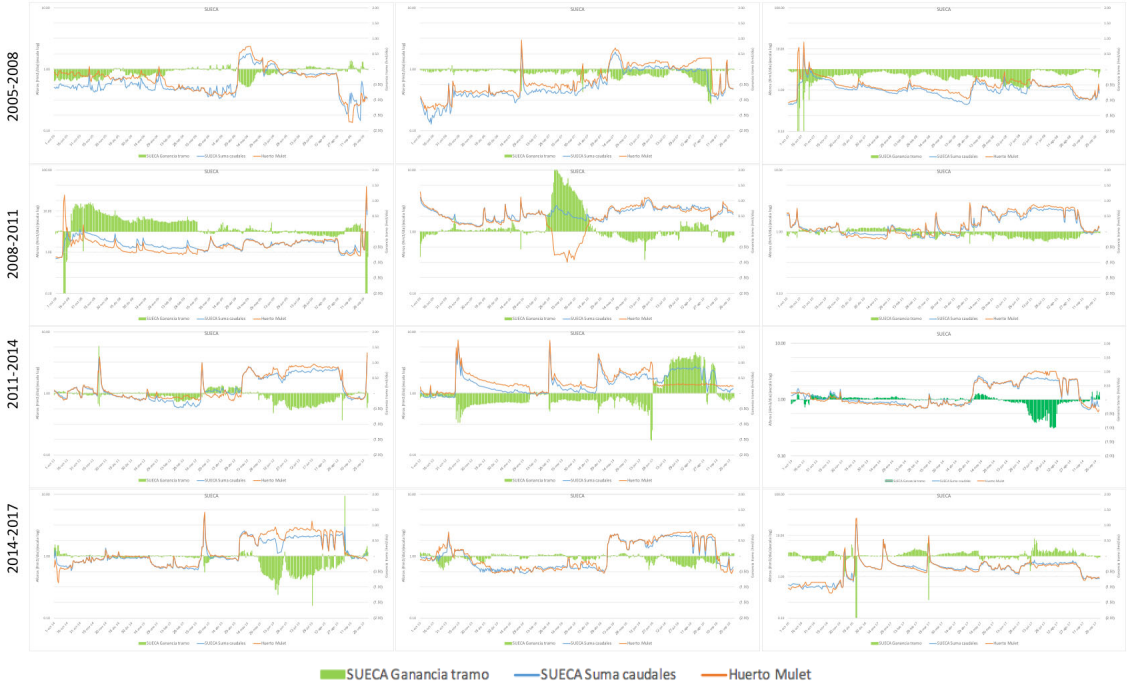


Figura 13. Balance diario en el tramo de Huerto Mulet al azud de Sueca.

3.2.2 Tramo del azud de Sueca al de Cullera

Desde el azud de Cullera se suministra a las acequias de Cullera margen derecha e izquierda que son aforadas. Adicionalmente se estima que el azud tiene unas filtraciones no aforadas del orden de 1 m^3/seg.

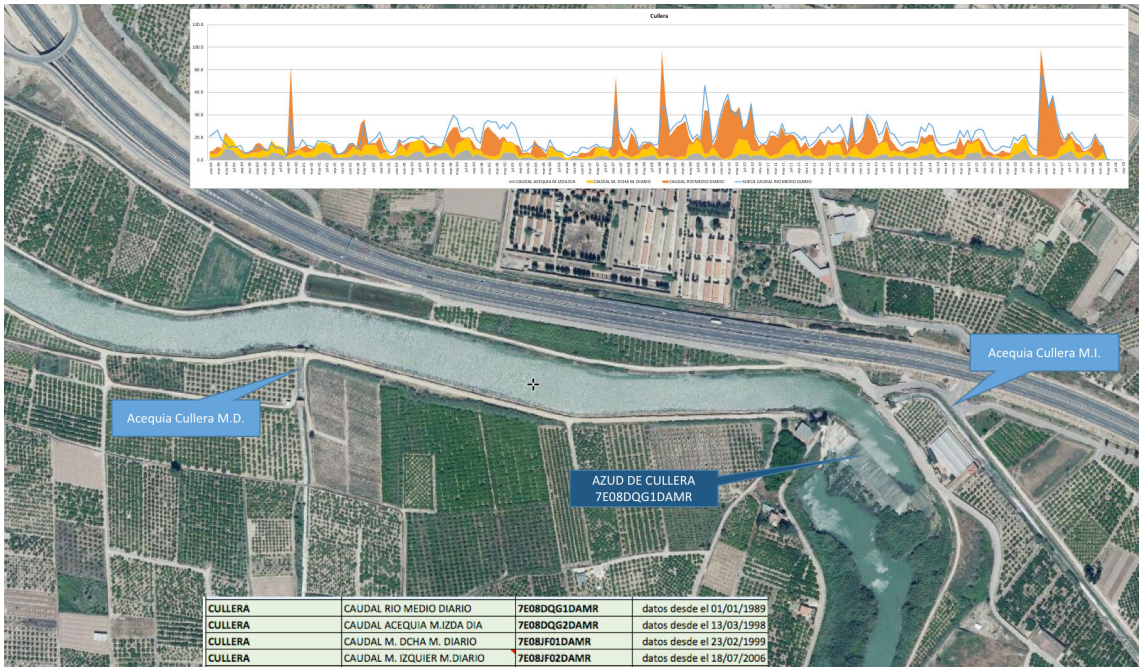


Figura 14. Datos y balance mensual en el tramo del azud de Sueca al azud de Cullera.

Figura 15. Balance diario en el tramo del azud de Sueca al azud de Cullera.

3.2.3 Tramo del azud de Cullera al de La Marquesa

El azud de La Marquesa es aforado en 2 puntos "EA153" y "EA154" en la presa y en el canal lateral respectivamente. Adicionalmente el SAIH proporciona un dato "Caudal total Azud". Aguas arriba del azud de La Marquesa se encuentra la toma para la impulsión a Vinalopó, sin embargo todavía no se dispone de este dato.

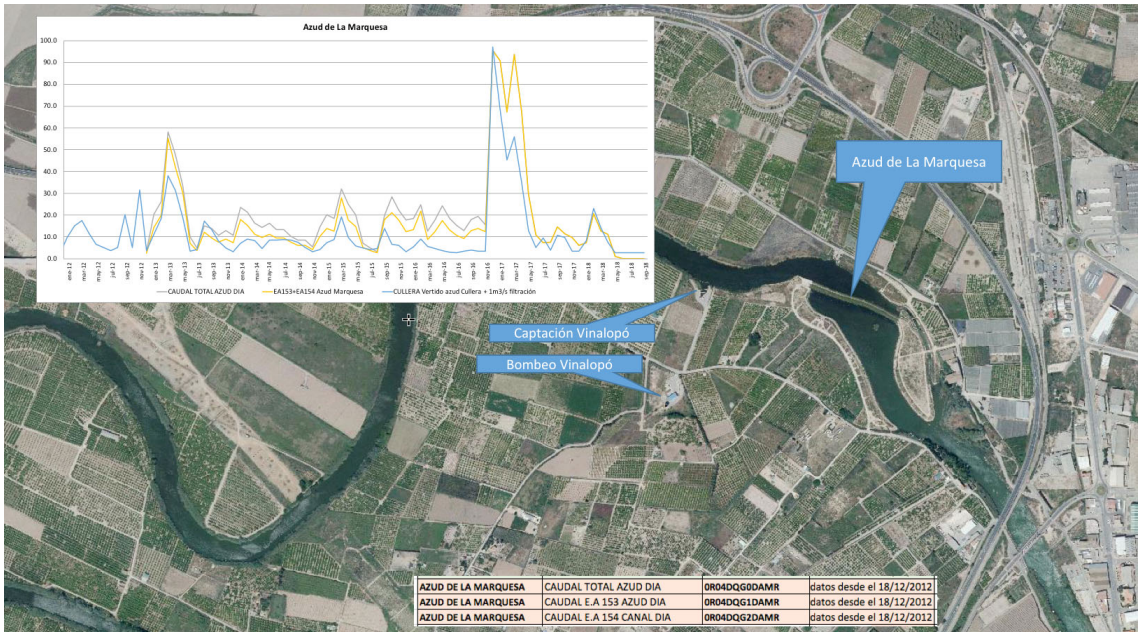


Figura 16. Datos y balance mensual en el tramo del azud de Cullera al de La Marquesa.

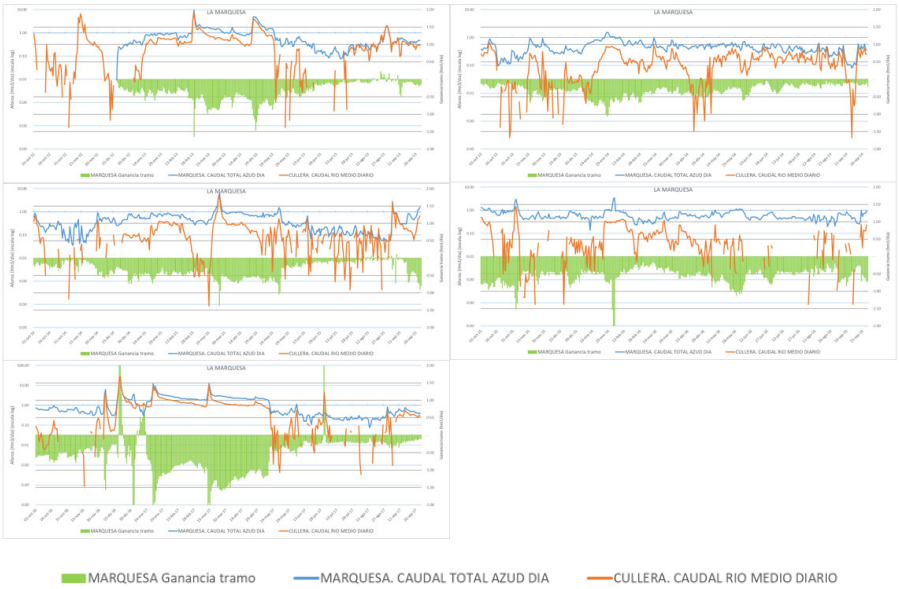


Figura 17. Balance diario en el tramo del azud de Cullera al de La Marquesa.

3.2.4 Valoración final de los datos y el balance de ganancias en el tramo.

En general los datos indican que el río es ligeramente perdedor en todos los tramos. Aunque existen algunas incertidumbres por falta de algunos datos no registrados.

También se detecta algunos comportamientos anómalos en la serie de datos que deben ser analizados con más atención.

Después de mantener algunas reuniones con OPH se obtuvo información adicional para la restitución que fue implementada en el modelo de simulación del balance diario. Las principales conclusiones obtenidas es que el tramo no recibe recursos adicionales, al menos hasta el azud de Cullera. En el último tramo, entre el azud de Cullera y el de La Marquesa, el río sí sufre una ganancia significativa de caudal. Aunque en los balances se ha detectado importantes anomalías que obligan a revisarlo con más detalle antes de formular conclusiones.

3.3 *Análisis del suministro histórico en la Ribera Alta.*

En los apartados anteriores queda patente la gran variablidad interanual en el funcionamiento tanto de la hidrología natural del río como de los usos del agua para el regadío.

Es importante atender a la variación en el volumen de agua utilizada para el regadío sobretodo entre antes y después de la puesta en funcionamiento de la red de presión para riego de la ARJ. En proyecto se estimaba que el ahorro inicial esperado solo por la puesta en marcha de la conducción principal sin todavía desarrollar los sistemas de riego había de ser de 60 hm^3/año. La figura siguiente refleja el volumen anual de agua suministrado a la ARJ. Puede apreciarse que en promedio sí se justifica el ahorro previsto, aunque anualmente es muy variable.

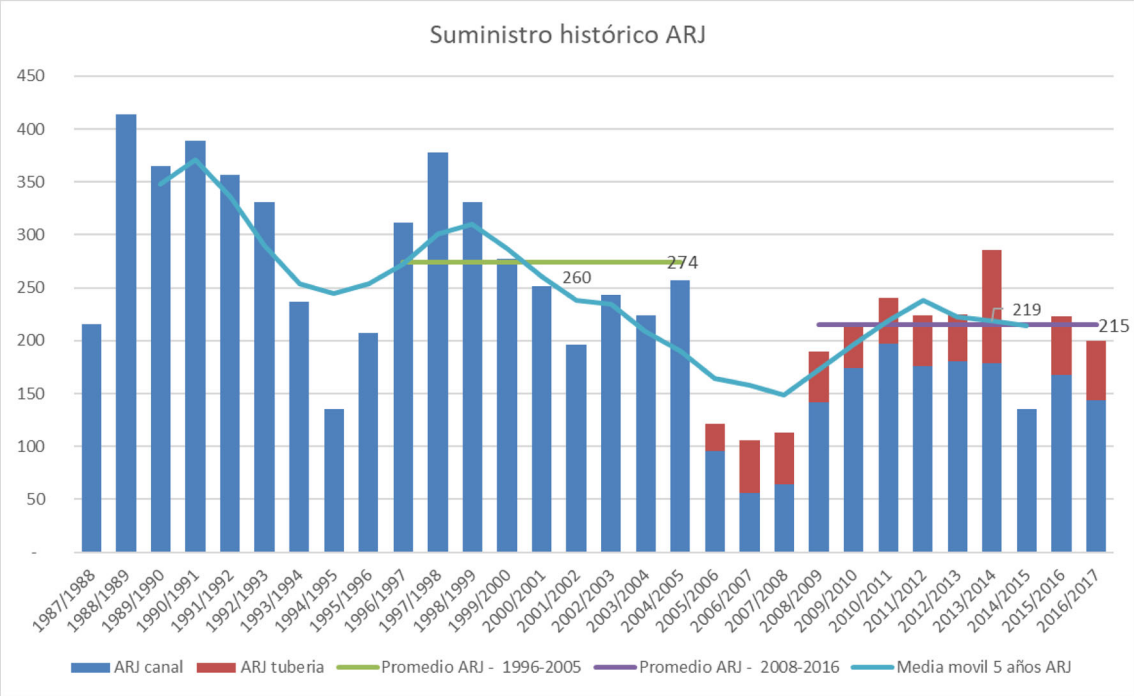


Figura 18. Suministro anual a la ARJ.

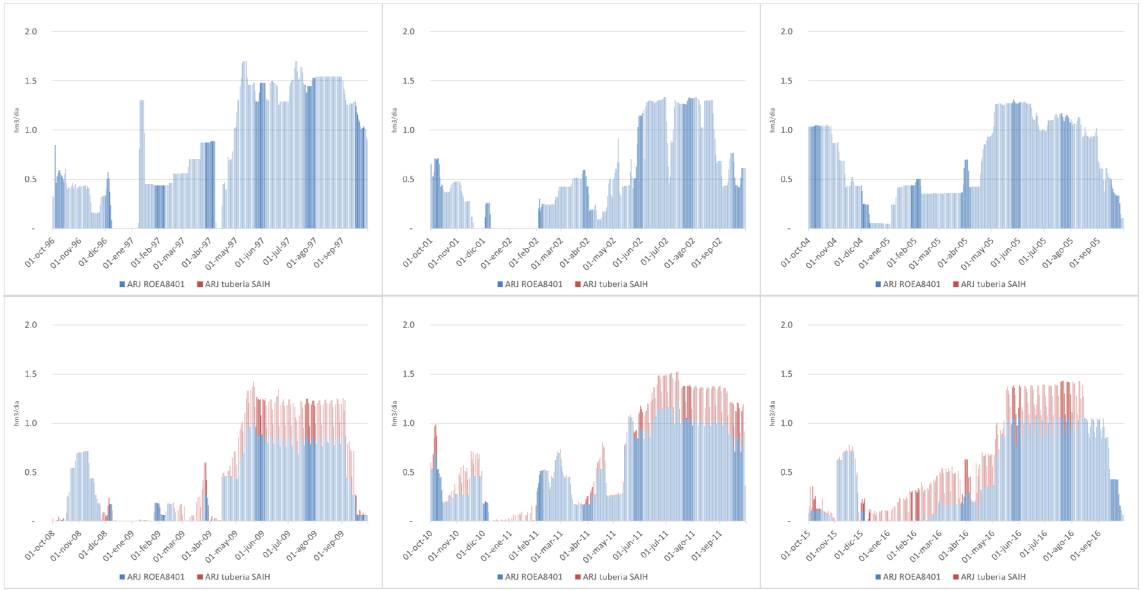


Figura 19. Suministro diario a la ARJ durante algunos años seleccionados.

Se observa que se dan años con comportamientos muy dispares. Observando algunos años en detalle diario se puede deducir que los años de mayor consumo se deben a riegos durante el otoño motivados por situaciones climáticas de falta de lluvia y temperaturas altas. Mientras que los años de menor consumo se deben principalmente a lluvias que se han prolongado en primavera retrasando el inicio de la campaña de riego de verano. Comparando años anteriores y posteriores a 2005 se comprueba que la existencia de la conducción principal de la ARJ ha reducido significativamente el consumo de agua en invierno, y en menor medida el de verano.

3.4 Previsión de la evolución de retornos en la Ribera Alta con la modernización de regadíos pendiente.

La modernización de regadíos de la Ribera Alta del Júcar es una actuación de gran importancia para la mejora en la garantía general del sistema de explotación del río Júcar. Esta cuestión figura en todas las versiones de los Planes Hidrológicos desde el primero de 1999 y queda plenamente justificado en aquellos. También existen numerosos trabajos previos que estiman la cuantía del ahorro, incluso desglosado por sectores. Tales trabajos se basan fundamentalmente en métodos agronómicos y datos bibliográficos.

El propósito de este capítulo es precisar los resultados anteriores en la medida de lo posible haciendo uso de la información detallada de aforos en el sistema de regadío.

3.4.1 Asignaciones, demandas y eficiencias.

Las necesidades de agua para riego en una comunidad de regantes varían según las condiciones climáticas, la superficie cultivada, los cultivos, el estado de las infraestructuras y otros factores. Para simplificar esta variabilidad se establece una asignación de agua, que debe ser suficiente para cubrir las necesidades en cualquier circunstancia previsible.

Puesto los procesos de transporte y aplicación del agua no pueden ser 100% eficientes, las asignaciones de agua deben ser superiores a las necesidades de los cultivos. El método de calculo teórico de las necesidades de agua consiste en calcular las necesidades de agua para evapotranspiración mediante métodos agronómicos "demanda neta", e incrementar esta con unas eficiencias teóricas en aplicación, distribución y conducción para obtener una "demanda bruta" que coincidiría con el agua entregada desde el río. Hecha esta introducción, a continuación se presenta una tabla con datos de asignaciones y demandas en situación actual.

	Asignación	Demanda neta	Eficiencia calculada	Eficiencias teóricas			
				Conducción	Distribución	Aplicación	Global
R.A.Escalona	20.90	9.44	45%	98%	80%	76%	59%
R.A.Carcagente	13.00	6.82	52%	98%	80%	76%	59%
A.R. Júcar	214.20	90.57	42%	98%	65%	63%	40%
C.R.Cuatro Pueblos	19.00	9.87	52%	85%	80%	63%	43%
C.R. Sueca	142.00	85.23	60%	85%	80%	63%	43%
C.R. Cullera	63.00	39.09	62%	85%	80%	63%	43%

Datos asignación según asignación PHJ2015

Datos demanda neta de base de datos en OPH sobre demandas de junio-2018

Datos eficiencias teóricas según informe OPH2005 "A*horros producidos por la modernización de regadíos en la ribera del Júcar*"

Para la asignación las demandas de la ribera baja se ha descontado las asignación a la acequia con destino al parque natural (7 a Cuatro pueblos, 29 a Sueca y 16 a Cullera).

Tabla 1: Cálculos de eficiencias en los riegos tradicionales del Júcar.

Aunque los valores de eficiencia global teóricos difieren de la eficiencia calculada de acuerdo a las asignaciones, la diferencia no es significativa dada la variabilidad real de las necesidades de riego. Léase que la eficiencia oscila en torno al 50%. Y también el margen de variabilidad normal de este parámetro que puede ser de ±10%.

Este escenario de eficiencias ha de considerarse como transitorio, ya que estos regadíos (principalmente la Acequia Real del Júcar) se encuentran en un proceso de mejora en la gestión y modernización del que restan algunas fases. La figura siguiente muestra los datos históricos de aforo en el canal de la ARJ. En esta puede apreciarse claramente como en el pasado el canal llevaba más de 700 hm^3/año. Después de 1980, con la reducción de caudales disponibles en el río se reduce la media a 390 hm^3/año. Con el primer Plan Hidrológico del Júcar se consigue una nueva mejora en la eficiencia (271 hm^3/año de suministro medio). Y finalmente, con la puesta en marcha del canal de transporte en alta (2006) se alcanza un nuevo ahorro en el consumo de agua quedando el suministro total en un promedio de 215 hm^3/año.

En la gráfica se observa también la variabilidad interanual de suministros debido principalmente a la variabilidad climática; y los déficits causados por las sequías de 1993/96 y 2005/08.

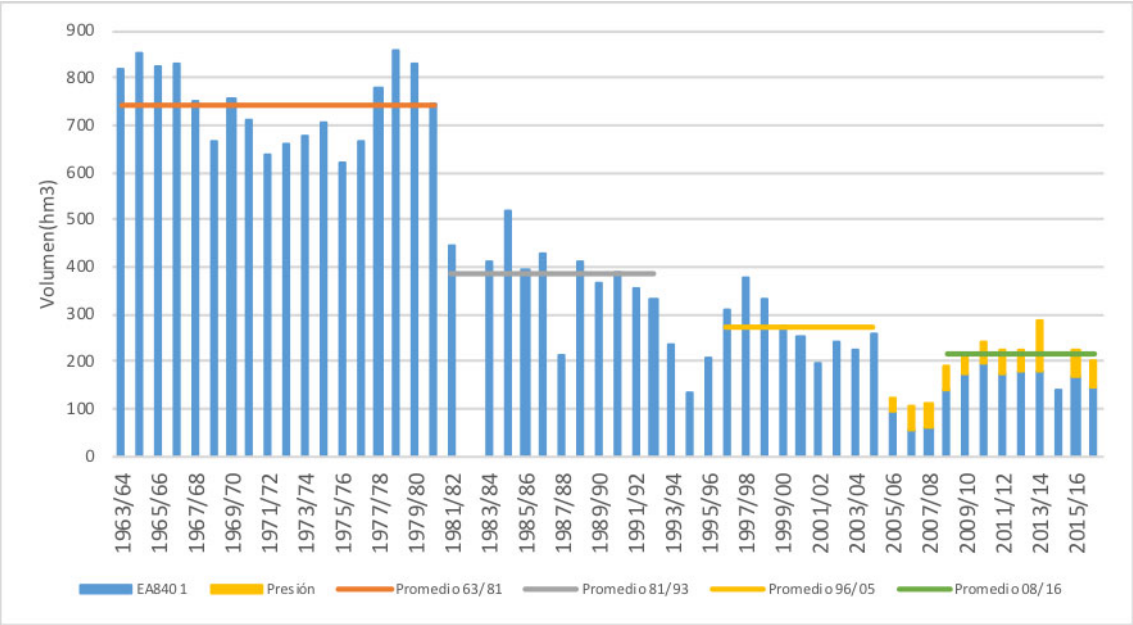


Figura 20: Serie anual de suministros superficiales a la Acequia Real del Júcar

Durante los próximos años los suministros para riego debieran continuar descendiendo conforme se complete la modernización de los sectores restantes, aunque el caudal aforado en el canal no debe reducirse ya que está previsto el suministro de parte del volumen ahorrado directamente al lago de la Albufera como caudal ecológico. La previsión es de conseguir todavía un ahorro de 52 hm^3/año de los cuales 30 hm^3/año deber ser destinados al lago de La Albufera.

3.4.2 Destino de los retornos

El exceso de suministro sobre la demanda neta debe retornar al ciclo hidrológico aunque este puede dirigirse al río Júcar, al acuífero, al lago o al mar. En este capítulo se resume las principales resultados obtenidos de la investigación realizada en análisis de datos, topografía y geología.

Existen diversos trabajos previos que estiman el reparto de los retornos de la ribera alta entre río, lago y acuífero. Sin embargo estos estudios están basados principalmente en datos previos a la puesta en marcha de la tubería para la conducción en presión del suministro a la Acequia Real del Júcar. En la actualidad los resultados de aquellos estudios dejan de ser válidos, ya que los ahorros el en suministro del agua no se trasladan en igual proporción al destino de esta.

A continuación se resume la información tenida en cuenta para deducir un nuevo reparto de los retornos.

3.4.2.1 Distribución de la red de acequias en la ribera alta.

La Acequia Real del Júcar (ARJ) discurre en un primer tramo en paralelo al río para finalmente desviarse hacia el norte dejando al río discurrir hacia el este. El final del primer tramo corta además el río Magro que separa completamente las zonas de riego situadas antes y después de este cruce con el Magro. Esta divisoria natural del área de riego obliga a que cualquier retorno que se genere en el primer tramo necesariamente retorne al río Júcar, bien directamente o a través del río Magro. La figura siguiente (Figura 21) representa las acequias principales de Escalona, Carcagente y ARJ hasta su cruce con el río Magro. En base a este condicionante se asume que solo esta zona produce retorno al río aguas arriba del aforo de Huerto Mulet (situado aguas abajo de la confluencia del Júcar con el Magro).

Figura 21: Esquema de acequias principales en el primer tramo de la Ribera Alta (antes del Magro). (Fuente: Cartografía de regadíos Históricos CHJ)

Se comprueba también en el mapa de acequias secundarias de la ARJ que todas las acequias que se encuentran después del río Magro drenan al este o al norte, sin generar prácticamente ningún vertido al río Júcar (Figura 22).

Figura 22: Red de acequias secundaria en la ARJ después de pasar el río Magro.). (Fuente: Cartografía de regadíos Históricos CHJ)

También se comprueba en los datos de aforo que el río no tiene ganancia de caudal desde Huerto Mulet al azud de Cullera. Por esta causa se deduce también que la ARJ no genera retorno significativo ni superficial ni subterráneo aguas abajo de Huerto Mulet. Por tanto, todo el retorno que aquí se genera tendrá como destino el lago de La Albufera, las acequias de Sueca o el mar (subterráneo).

3.4.2.2 Balance de datos de aforo en el río.

Se considera en primer lugar el tramo de río desde Tous al aforo en Huerto Mulet, que comprende las derivaciones a las acequias que riegan la Ribera Alta y también la ganancia de caudal en el río por escorrentía subterránea en la zona y la incorporación de los ríos Albaida, Sellent y Magro.

Una parte de la ganancia de caudal de este tramo procede también de retornos tanto superficiales como subterráneos del regadío en la Ribera Alta. El retorno era claramente perceptible hace 2 décadas, pero se ha ido reduciendo significativamente conforme ha mejorado la gestión de los regadíos y con la puesta en marcha de la red principal de transporte en presión. En la actualidad, y desde 2006 en que se inició el uso de la tubería de transporte en presión los retornos de riego al río son mucho menores y difícilmente perceptibles en el balance de aforos.

En el estudio del balance de aforos realizado se ha buscado identificar este retorno en las variaciones de caudal de ganancia en el río. Para ello se ha estudiado el balance del tramo en escala diaria, se ha contrastado con los suministros a las acequias y con los episodios de lluvia para descartar el efecto de la escorrentía natural y la subida natural de niveles subterráneos; y por último, descartados los factores anteriores, se ha relacionado los restantes incrementos de caudal en el aforo con los suministros a las zonas indicadas (Acequias Escalona, Carcaixent y ARJ previo al cruce de la acequia con el río Magro).

Como conclusiones de dicho estudio se comprueba que el retorno a río es reducido y variable, aunque en algunos periodos se aprecia un retorno de hasta un 14% en verano y un 25% en otras épocas, con respecto a la demanda de las zonas que pueden retornar a este tramo del río indicadas arriba.

Al analizar el balance en el tramo desde el aforo en Huerto Mulet al azúd de Cullera se comprueba que no existe ninguna ganancia de caudal en este tramo de río (salvo algunas excepciones puntuales durante episodios de lluvia intensa).

Sí se detecta ganancia de caudal en el tramo aguas abajo del azud de Cullera. Pero esta constituye un aporte subterráneo del acuífero y no refleja ningún comportamiento relacionable con un posible retorno de riego. Esto apoya también la idea enunciada de que el retorno superficial de los regadíos en la margen izquierda del río aguas abajo de Huerto Mulet no llega a este, sino que vierte al mar o al lago de la Albufera. Sí es razonable que la ganancia de flujo subterráneo en este tramo contenga una fracción del retorno de riego.

3.4.2.3 Análisis de los retornos de riego en atención a su procedencia.

Se va a considerar la Ribera alta dividida en 3 zonas:

1. Antes del Magro: comprende las acequias de Escalona y Carcaixent, junto con la parte de la ARJ que se encuentra antes de su cruce con el río Magro y por tanto sus retornos drenarán al río antes del aforo de Huerto Mulet.
2. Huerta en ARJ después del Magro: comprende la parte de la ARJ que se riega después del cruce del canal con el río Magro pero no es arrozal.
3. Arrozales en la ARJ. Comprende los riegos de arrozal de la ARJ y que se encuentran dentro del parque de La Albufera.

A continuación se considera cada una de las zonas mencionadas.

3.4.2.3.1 Zona antes del magro

Comprende Los riegos de las acequias de Escalona y Carcaixent, junto con la parte de la ARJ que se encuentra antes de su cruce con el río Magro y por tanto sus retornos drenarán al río antes del aforo de Huerto Mulet.

En la tabla siguiente se refleja en unidades de hm3 los % de retorno por tramos indicados en la tabla 1.

	Asignación (hm3/año)	Volúmenes retorno teóricos (hm3/año)			
		Conducción	Distribución	Aplicación	Global
R.A.Escalona	20.90	0.40	3.10	2.94	6.43
R.A.Carcagente	13.00	0.29	2.24	2.12	4.65
ARJ antes Magro (*)	69.96	1.75	23.87	16.63	42.25
suma	103.86	2.43	29.21	21.69	53.33
(*) Para el tramo de la ARJ antes del magro se ha calculado la demanda neta en base a la superficie y los tipos de cultivo y la demanda bruta según los datos de eficiencias.					

Tabla 2: Volúmenes de retorno teóricos en el tramo antes del magro.

Considerando la naturaleza de cada una de las fases consideradas, las pérdidas en distribución retornarán principalmente por superficie, mientras que el resto es más probable que lo hagan como filtraciones subterráneas.

Esta zona se encuentra limitada aguas abajo por los ríos Júcar y Magro por lo que es previsible que sus retornos, tanto superficiales como subterráneos drenen finalmente al río Júcar aguas arriba del aforo de Huerto Mulet.

Como se indica atrás, en el estudio de aforos en la zona se apreciaron retornos en el balance de aforos del orden del 20% de la demanda bruta que supone unos 20 hm^3. Esta cifra queda próxima y por debajo del retorno teórico por eficiencia en la distribución, lo cual se considera compatible con los datos teóricos y la variabilidad que impone la realidad. El volumen de retorno total restante (unos 30 hm3/año) podría considerarse como retorno subterráneo.

3.4.2.3.2 Zona de huerta después del Magro.

comprende la parte de la ARJ que se riega después del cruce del canal con el río Magro pero no es arrozal. Al igual que en el caso anterior, se ha calculado los volúmenes de agua siguientes.

	Asignación (hm3/año)	Volúmenes retorno teóricos (hm3/año)			
		Conducción	Distribución	Aplicación	Global
ARJ huerta después Magro	120.81	3.0	41.2	28.7	72.96

Tabla 3: Volúmenes de retorno teóricos en la zona de huerta después del Magro.

Si se aplica aquí la conclusión obtenida del balance de aforos en el primer tramo se espera que esta zona genere un retorno subterráneo de 31.7 hm^3/año de retorno en aplicación y conducción más el 35% del retorno generado en la distribución (14 hm^3/año); lo que da un total de 46 hm^3/año. El retorno superficial sería de 27 hm^3/año.

Se ha de tener en cuenta también que una parte significativa de la huerta en esta zona dispone de una red de drenaje para mantener el suelo cultivable libre del ascenso del nivel freático. Este drenaje, durante el riego también capta el agua gravitacional que recargaría el acuífero para conducirla a la red de acequias inferior. Por tanto esta agua captada por los drenajes debe considerarse como retorno superficial. Aunque se desconoce realmente cual es el territorio drenado, se estima en torno a un 20% del total, que para los volúmenes de retorno indicados supone 5.7 hm^3/año.

El total del retorno superficial será conducido por las acequias principalmente al lago de la Albufera, aunque una pequeña parte podría pasar a las acequias inferiores de la C.R. de Sueca (puesto que estas acequias también verterían al lago, se admite que todo el retorno superficial llegará al lago). El retorno subterráneo restante puede ser conducido por el flujo en el acuífero hacia el lago, el mar e incluso al río Júcar en su tramo final; dependiendo de la evolución de niveles en el mismo.

La tabla siguiente resume el desglose de flujos de retorno descritos aquí.

	Asignación (hm3/año)	Volúmenes retorno teóricos (hm3/año)			
		Conducción	Distribución	Aplicación	Total
ARJ huerta después Magro	120.81	3.02	41.23	28.71	72.96
Retorno subterráneo		3.02	8.97	22.97	34.96
Retorno superficial (acequias)			32.25	5.74	38.00

Tabla 4: Distribución estimada de los retornos en la zona de huerta después del Magro.

3.4.2.3.3 Zona de arrozal en la ARJ.

Los arrozales y el lago, puesto que se encuentran en la cola de las acequias, reciben el agua restante que llega por estas, ya proceda del suministro desde el río Júcar o del retorno del agua aplicada en la huerta aguas arriba. De acuerdo con los datos anteriores recibiría el volumen restante de asignación de agua del canal (23.4 hm^3/año de asignación) y el retorno de la zona 2 (38 hm^3/año).

El consumo neto en la zona se estima en 15.01 hm^3/año. Descontado este del volumen disponible quedaría un sobrante de 46.4 hm^3/año. La mayor parte de este retorno llegaría al lago de forma superficial. La tabla siguiente refleja el cálculo del balance teórico, el recurso total disponible es el resultado de la asignación restante descontadas las asignaciones aguas arriba, sumado al retorno del tramo 2. El retorno resultante no coincide con el cálculo teórico porque se calcula en base a una demanda neta también teórica ya que esta varía según las condiciones del clima, y porque el enfoque teórico no puede reflejar la complejidad del sistema real.

	Total	Conducción	Distribución	Aplicación	Neta
Recurso	61.43				
Eficiencia teórica		80%	90%	60%	
Demanda teórica		49.14	44.23	26.54	15.01
Retorno	46.42	4.91	17.69	11.53	

Tabla 5: Volúmenes de retorno teóricos en la zona de arroz en la ARJ.

El retorno subterráneo, de producirse, dependerá de las condiciones hidrológicas en el acuífero. Las zonas de arrozal se encuentran a una cota muy baja sobre el nivel del mar, por lo que el nivel freático está muy próximo o por encima del nivel del suelo (en el caso de los "tancats" se encuentra claramente por encima, dado que el suelo está a cota negativa respecto al nivel del mar). En consecuencia, la recarga subterránea no viene regulada por las condiciones del riego y el suelo; esta se produciría en condiciones de flujo saturado a través del acuífero y sería necesario analizar este.

Por otro lado, en relación al retorno superficial, la forma en que este llega al lago merece también una atención especial. Al tratarse de una zona con muy poca pendiente, el flujo en las acequias está condicionado por el nivel en el lago, y también lo está el mantenimiento del nivel de agua en los arrozales. Por tanto, el retorno superficial está regulado por la gestión de las compuertas en las golas, que extienden el área inundada a lo largo de las acequias.

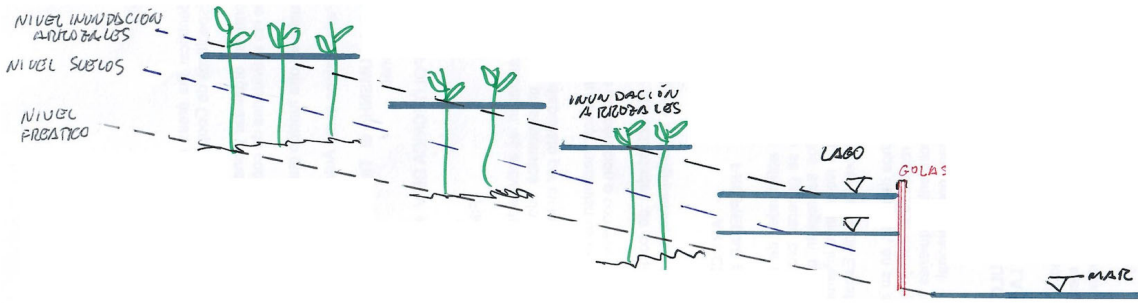


Figura 23: Esquema de relación entre el nivel en arrozales y el lago.

De esta manera el control de niveles en las golas es el principal mecanismo para regular el riego de los arrozales. Si estas se abren para desaguar al mar se está facilitando la renovación del agua en las acequias e incluso en los arrozales, por lo que teóricamente disminuiría la eficiencia. Sin embargo, si se retiene demasiado tiempo las golas, el agua permanece confinada en el parque reduciendo la renovación y aumentando la salinidad del agua por causa de la evaporación.

3.4.3 Ahorro potencial con la futura modernización.

Como se apreciaba en la Figura 20, durante las últimas décadas se viene reduciendo significativamente el suministro bruto a la ARJ: primero mediante mejoras en la gestión (que redujeron el volumen derivado por la acequia de más de 700 a solo 275 hm^3/año; y más recientemente, con la puesta en marcha de la tubería de transporte en presión, que reduce el suministro medio en la zona de la ARJ a 214.2 hm^3/año.

Este proceso de ahorro en el caudal derivado por la ARJ ha supuesto también un coste ambiental importante al reducirse el caudal circulante a través del lago de La Albufera (principal destino de vertido final de las acequias de la ARJ).

De acuerdo con los objetivos de eficiencia en el uso del agua y con la planificación anterior, todavía resta algunas actuaciones de modernización que pueden proporcionar un ahorro bruto de agua estimado en 52 hm^3/año. Para evitar el posible impacto negativo sobre el lago de La Albufera, de este ahorro se ha asignado 30 hm^3/año como caudal ecológico al lago.

En este punto se trata de aproximar donde puede repercutir la reducción de los retornos una vez sea completada la modernización de la ARJ.

La tabla siguiente resume el reparto de retornos según zonas de origen y destino. En esta tabla se ha asignado como retorno al lago desde el arrozal a todo el retorno superficial de la zona posterior al Magro así como la diferencia de asignación a la ARJ respecto a las necesidades brutas estimadas. Se entiende que el caudal no utilizado en las acequias continuaría hasta el final de estas en el lago.

Zona	Asignación	Demanda neta	Retorno río	Retorno lago	Retorno subterráneo	Retorno total
R.A.Escalona	20.90	9.44	3.10		3.34	6.43
R.A.Carcagente	13.00	6.82	2.24		2.41	4.65
ARJ antes Magro	69.96	27.71	17.52		24.73	42.25
ARJ huerta después Magro	120.81	47.85			34.96	34.96
ARJ Arroz	23.43	15.01		34.89	11.53	46.42
Suma ARJ	214.20	90.57	17.52	34.89	71.22	123.63
Suma	248.10	106.83	22.85	34.89	76.97	134.71

Tabla 6: Reparto de retornos teóricos en la ribera alta según zonas de riego y destino del retorno.

La tabla no especifica el destino posterior del retorno subterráneo, ya que este depende del estado del acuífero. Pero principalmente el retorno subterráneo de las zonas de Escalona, Carcaixent y ARJ antes del Magro drena al río, mientras que el resto drenaría principalmente al mar. Sin embargo la dinámica agrícola en la zona obliga a desecar los campos de arroz en algunas épocas. En los campos que se encuentran por debajo del nivel freático (tancats) esto se hace mediante bombeos que vierten a las acequias o al lago; lo cual constituye un aporte artificial de aguas subterráneas al lago, con lo que una parte significativa del retorno subterráneo termina también siendo un aporte de agua al lago.

Tras la modernización se ha propuesto los siguientes datos de eficiencias por zonas:

	Conducción	Distribución	Aplicación	Global
ARJ antes Magro	97.5%	90.0%	77.5%	68.0%
ARJ huerta después Magro	97.5%	90.0%	77.5%	68.0%
ARJ Arroz	80.0%	95.0%	70.0%	53.2%

Tabla 7: Eficiencias teóricas por fases en la ARJ tras la modernización.

Con estas eficiencias y una reducción en la asignación según lo previsto se obtiene la siguiente tabla de necesidades teóricas de agua bruta por zonas

	Conducción	Distribución	Aplicación	neta
ARJ antes Magro	40.75	39.73	35.76	27.71
ARJ huerta después Magro	70.36	68.60	61.74	47.85
ARJ Arroz	28.21	22.57	21.44	15.01
Total	139.32	130.90	118.94	90.57

Tabla 8: Necesidades de agua en la ARJ por etapas.

Aplicando la distribución de agua por destinos descrita para la situación actual se obtiene el siguiente reparto de retornos. En esta se considera una asignación total a la ARJ igual a la dotación actual descontando los 52 hm3/año previstos como ahorro por la modernización. El exceso de asignación sobre las necesidades brutas deducidas de las eficiencias teóricas se considera asignado a las acequias de distribución en las zonas de arroz y por tanto como retorno al lago.

	Asignación	Retorno a río	Retorno a Lago	Retorno a Acuifero	Suma
ARJ antes Magro		3.97		9.06	13.04
ARJ huerta después Magro				12.61	12.61
Arroz			19.64	26.35	45.99
Total	162.20	3.97	19.64	48.02	71.63

Tabla 9: Retorno según destino en el escenario con modernización completa de la ARJ.

Comparando la tabla anterior con la equivalente para el escenario actual se obtiene los siguientes resultados de reducción en el retorno por zonas.

	Actual	Modernización	Reducción
Río	17.52	3.97	13.55
Acuífero	71.22	48.02	23.20
Lago	34.89	19.64	15.25
Suma	123.63	71.63	52.00

Tabla 10: Distribución por destinos del ahorro esperable en la modernización de la ARJ.

Este resultado supone que la modernización reduciría el aporte al lago en 15 hm^3/año, mientras que el Plan Hidrológico asigna 30 hm^3/año de esta modernización a envíos directos de caudal al lago, lo que dará un aumento neto de entradas al lago de 15 hm^3/año.

4 Actividades 6 y 7. Mejora y actualización del modelo Patrical.

Las actividades 6 y 7 de este convenio consisten en la actualización y mejora del modelo Patrical. Las actividades de mejora y actualización del modelo Patrical realizadas han consistido en:

- Revisión del cálculo de evapotranspiración potencial y comparación de los resultados con la red SIAR.
- Análisis del funcionamiento hidrológico y de la conexión río acuífero del acuífero de Utiel-Requena.
- Incorporación de los principales manantiales y de la información de ríos temporales en el ajuste del modelo Patrical.
- Incorporación de las masas de agua subterránea de 2018 y de los puntos de drenaje. Este apartado se incorporan las series de caudales de manantiales y ríos temporales y se realiza el contraste con los resultados del modelo.
- Actualización de series de precipitación y temperatura y completado de series de precipitación.
- Simulación y obtención de series hidrológicas desde el año 1900 hasta la actualidad.
- Obtención de la serie total de aportaciones de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.
- Mejora de la estimación de los aportes de agua a la Albufera de Valencia.
- Calibración del modelo Patrical considerando la cantidad de agua y la calidad del agua.

El modelo Patrical (Perez-Martin et al., 2014) se utilizó para realizar el inventario de recursos hídricos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar durante la elaboración del Plan Hidrológico del Júcar 2015-2021 (CHJ, 2016). Posteriormente a la elaboración del Plan, se ha seguido trabajando para reproducir de forma más fiable los flujos de agua que se producen en la Demarcación, especialmente los flujos de agua subterránea. Para ello se ha ampliado la información disponible para contrastar los resultados del modelo y hacer más robustos y fiables los mismos.

Los principales cambios realizados respecto el modelo utilizado en el Plan 2015-2021 han consistido en: revisión del procedimiento de obtención de la evapotranspiración potencial en la Demarcación; sustitución del mapa de geología por el mapa de litoestratigráfico del IGME; incorporación de la información de IGME de bordes permeables, semipermeables e impermeables entre masas de agua subterránea; incorporación de la información disponible de salidas subterráneas al mar; reajuste de los resultados de caudales naturales del

modelo con los caudales observados utilizando como indicadores de ajuste los recomendados por Mosiasi et al. (2007), los índices: bias (desviación media) y Nash (Nash and Sutcliffe, 1970); incorporación de manantiales; y, finalmente, incorporación de la información de ríos temporales.

La determinación de la evapotranspiración potencial en la Demarcación se basa en el empleo de la formulación de Thornthwaite (1948), la cual utiliza exclusivamente de la información de temperatura mensual y latitud. La ventaja de aplicar este método está en la amplia disponibilidad de datos de temperatura tanto espacialmente como a lo largo de los años, desde 1940 hasta la actualidad. La formación de Thornthwaite (1948) subestima el valor de la evapotranspiración potencial calculada, siendo mucho más ajustado el empleo de otras formaciones más complejas, como la de Penman-Monteith (Allen et al. 1998), que emplea un mayor número de variables: temperatura, velocidad del viento, radiación, humedad relativa del aire. Sin embargo, no existe suficiente información de todas estas variables a lo largo de la historia, por lo que no es posible aplicar esta formación a toda la serie temporal, 1940 hasta la actualidad.

Con estos condicionantes, el procedimiento para obtener la evapotranspiración parte de la temperatura, consiste en la aplicación del método Thornthwaite (1948), que únicamente utiliza temperatura mensual, y la aplicación de unos coeficientes correctores diferentes en cada mes y en cada punto de la Demarcación, para obtener unos valores de evapotranspiración potencial más próximos a los que se obtendría con la formulación de Penman-Monteith (Allen et al. 1998).

Los coeficientes correctores entre el método de Thornthwaite (1948) y de Penman-Monteith (Allen et al. 1998), se obtienen en las estaciones meteorológicas con información suficiente, para la aplicación de ambos métodos. Estos coeficientes han sido actualizados utilizando las estaciones meteorológicas de: Valencia (observatorio), Alicante (Ciudad Jardín), Albacete (Los Llanos), Castellón (Almasora) y Teruel (Calamocha). Los resultados obtenidos con los coeficientes obtenidos con estas estaciones se ha contrastado con los datos de evapotranspiración potencial de la red de estaciones agrometeorológicas SiAR (Sistema de información agroclimática para el regadío). Este contraste ha hecho que se descarten los coeficientes obtenidos con la estación meteorológica de Valencia (Aeropuerto Manises).

El mapa de geología del IGME con escala 1:1.000.000, primera edición en 1991 y segunda edición en 1999, ha sido reemplazado por un mapa de mayor grado de detalle, el mapa litoestratigráfico también del IGME de escala 1:200.000 del año 2006. Este mapa se utiliza para la determinación del parámetro Imax (máxima infiltración mensual) en cada punto de la Demarcación e influye en el reparto entre el agua superficial y el agua subterránea.

El IGME (1990) elaboró fichas para cada una de las masas de agua subterránea donde se recogía la información de la interacción que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. A partir de estas fichas

se elaboró un mapa de bordes impermeables, semipermeables e impermeables entre masas de agua subterráneas. Con esta nueva información, basada en los trabajos del IGME, se realizó un reajuste del modelo eliminando todas las interconexiones que exigieran entre bordes impermeables, permitiendo únicamente la conexión si el borde es permeable o semipermeable. A partir, también, de estos trabajos y de toda la información disponible se identificaron las salidas subterráneas al mar, realizando el contraste entre estas salidas y las obtenidas con el modelo de simulación.

Se han incorporado los principales manantiales de la Demarcación y las series de ríos temporales en el contraste de aportaciones superficiales, de forma, que conjuntamente con: las entradas a embalses, aforos y series restituidas a régimen natural, constituyen un conjunto de contraste, de los resultados del modelo con los datos observados, que dota al modelo de mayor robustez y fiabilidad.

4.1 Evapotranspiración potencial

El proceso de cálculo de la evapotrasnpiración potencial realizado con el modelo Patrical (Pérez-Martín et al., 2014) consiste en los siguientes pasos:

1. Obtención de la evapotraspiración potencial del cultivo de referencia mediante el método de Thornthwaite (1948) a partir de los datos de temperatura media mensual, el valor medio de esta evapotranspiración desde el año 1980 para la Demarcación del Júcar es de 773 mm/año. Siendo superior en 22 mm/año al valor medio entre 1940 y 1980.
2. Estimación de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia asociada al método de Penman-Monteith (Allen et al. 1998) mediante la aplicación de unos coeficientes correctores mensuales. El valore medio de esta evapotranspiración potencial desde 1980 para la Demarcación del Júcar es de 1115 mm/año, siendo también 30 mm/año superior a la media del periodo 1940 a 1980.
3. Determinación de la evapotranspiración potencial considerando la vegetación real de la cuenca, mediante la aplicación del coeficiente de cultivo. La evapotraspiración potencial desde el año 1980 en la Demarcación del Júcar es de 1013 mm/año, siendo a su vez 27 mm/año superior a la media del periodo anterior.

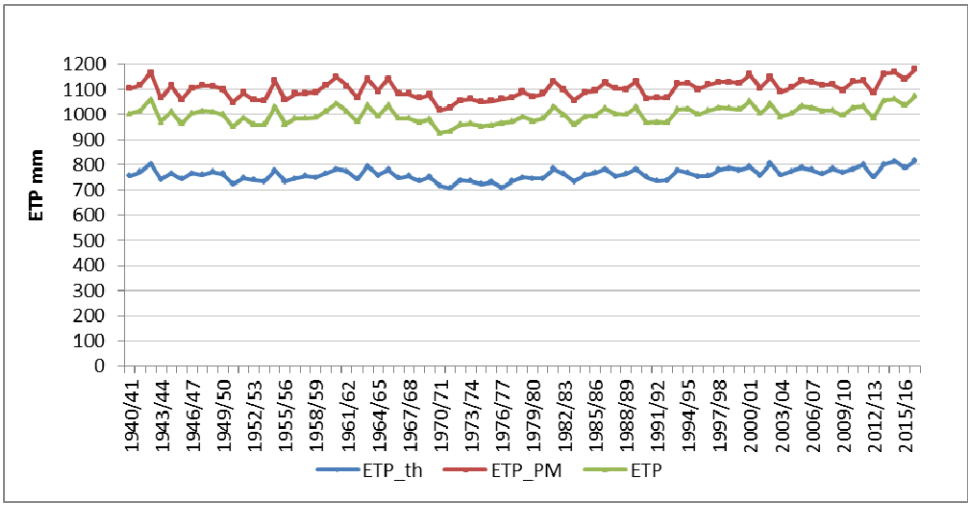


Figura 24. Evolución de la evapotranspiración potencial en la Demarcación del Júcar.

Año	ETP_th	ETP_PM	ETP
Media desde 1980 (mm/año)	**772.8**	**1115.1**	**1013.6**
Mediana desde 1980 (mm/año)	774.5	1119.3	1017.4
Desviación típica desde 1980	21.0	29.7	26.9
nº datos	37	37	37
Media antes 1980 (mm/año)	750.6	1085.5	986.8
diferencia	**22.2**	**29.5**	**26.7**

Tabla 11. Valores medios de evapotranspiración potencial en la Demarcación del Júcar.

Los valores de evapotranspiración potencial del método de Penman-Monteih se han comparado con los datos de la red SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadio) en las estaciones situadas dentro del ámbito de la Demarcación del Júcar.

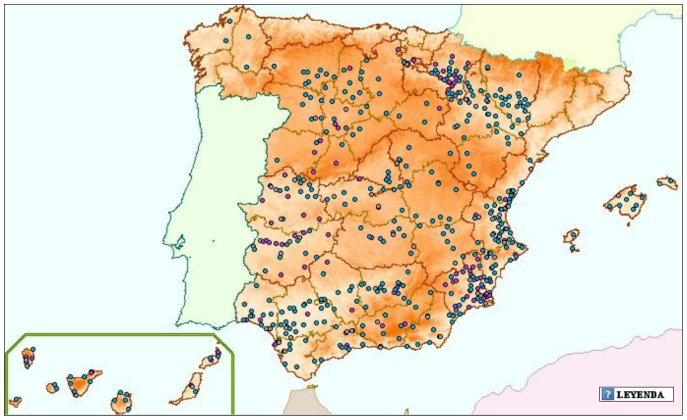


Figura 25. Red de estaciones SIAR.

Se ha realizado una comparación para cada provincia de los resultados obtenidos con el actual modelo de simulación y los obtenidos con la versión utilizada en el Plan Hidrológico 2015-2021 (CHJ, 2016).

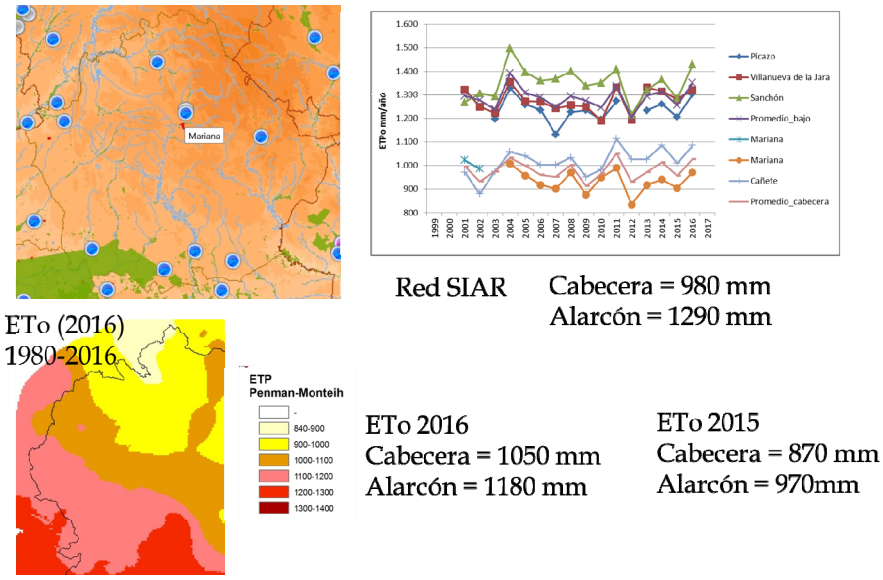


Figura 26. Resultados de la evapotranspiración potencial del modelo del Plan Hidrológico 2015-2021 (ETo2015) del aversión actual del modelo (ETo2016) y de la red SIAR para la provincia de Cuenca.

En vista de los resultados obtenidos se ha descartado la estación climática completa de Valencia-Aeropuerto, utilizándose la de Valencia-Observatorio para la determinación de los coeficientes de que relación Thornhwaite y Penman-Monteih.

Los resultados detallados se incluyen en el anexo 4.I de este documento.

4.2 Funcionamiento acuífero Utiel-Requena

A partir de la información piezométrica y de los inventarios de manantiales, se ha realizado un análisis del funcionamiento y de la conexión río-acuífero, del río Magro y la masa de agua subterránea de Utiel-Requena. El análisis de este comportamiento se caracteriza por los siguientes aspectos:

- El acuífero de Utiel-Requena se conecta con el río Madre en el entorno de Caudete de las Fuentes, dando lugar a los manantiales conocidos como Fuente Grande y Fuente Chica.
- El acuífero de Utiel-Requena se conecta con la Rambla de la Torre en las inmediaciones de la confluencia con el río Madre, siendo este lugar un punto de especial interés de la conexión río acuífero.
- Los bombeos situados en el entorno de la confluencia entre el río Madre y la Rambla de la Torre, zona de las Casas, los Corrales, las Cuevas y de Caudete las Fuentes, pueden haber producido un descenso de niveles en esta zona que haya causado la paulatina desconexión del acuífero y la reducción de aportes al río en esta zona. La confluencia del río Madre y la Rambla de la Torre es de especial interés para realizar el seguimiento de los niveles piezométricos.
- El río Magro se encuentra conectado con el acuífero de Utiel Requena entre Utiel y Requena, recibiendo los aportes de la margen izquierda del acuífero.
- El nivel piezométrico del acuífero Utiel Requena en la margen derecha es inferior a la cota del río.
- El acuífero de Utiel-Requena situado en la margen derecha del río Magro se encuentra muy por debajo del nivel del terreno, estando totalmente desconectado. El IGME define como borde impermeable la conexión con el Cabriel por lo que se establece la hipótesis de que toda esta parte del acuífero drena al río Magro aguas abajo de la estación de Requena, en las inmediaciones del embalse de Forata, donde existen diversos manantiales en el inventario de manantiales del a CHJ.

Los detalles pueden consultarse en el anexo 4.II de este documento

4.3 Incorporación de manantiales y ríos temporales

El modelo de simulación ha incorporado como información de contraste las series de caudales de manantiales y de ríos temporales, disponibles a partir de las estaciones de aforo existentes o mediante series obtenidas mediante simulación detallada.

La información de ríos temporales consiste en un total de 11 series de ríos temporales, 4 series de ríos temporales observados y 7 series de ríos temporales obtenidos mediante simulación detallada.

Nombre	Sup km2	Observado/simulado
Río Servol (Rios Temporales)	358	Ríos temporales simulado
Río Alcalá completo	191	Ríos temporales simulado
Barranco Carraixet en Betera (RT)	171	Ríos temporales simulado
Río Guadalest en el embalse de Guadalest (RT)	47	Ríos temporales simulado
Río Guadalest en el embalse de Guadalest (RTAfo)	64	Ríos temporales observado
Río Amadorio en Relleu (RT)	81	Ríos temporales simulado
Río Amadorio en Relleu (RTAfo)	87	Ríos temporales observado
Río Sella (RT)	69	Ríos temporales simulado
Río Sella (RTAfo)	76	Ríos temporales observado
Río Amadorio en el embalse de Amadorio (RT)	172	Ríos temporales simulado
Río Amadorio en el embalse de Amadorio (RTAfo)	175	Ríos temporales observado

Tabla 12. Series de ríos temporales incorporados en el contraste de resultado del modelo.

También se han incorporado 44 manantiales en el contraste de resultados,

Nombre	X	Y
Font dels Rossegadors	774500	4506500
Gola del Prado (Peñíscola)	788730	4473239
Fuente del Molino	756076	4434361
Nacimiento del Río Mijares	686587	4475208
Babor	690450	4448183
Mas Royo	689745	4447543
La Escaleruela	691156	4445849
Fuente los Baños de Montanejos	710284	4438892
Fuente Santa Ursula	706436	4426069
La Esperanza	713144	4416057
MANANTIAL DEL BERRO	712179	4415457
Barranco Hondo	619591	4474764
Escaldador	632302	4473561
MANANTIAL DE LAS BALSAS	624815	4470603
LAS POZAS (MANANTIAL) TERUEL	642055	4446538
Fuente ó Nacimiento La Morca	667984	4406217
Fuente Manantial de San Vicente	707953	4391875
Nacimiento del Rincón	588420	4453733
Fuente de los Baños	581335	4455865
Fuente de la Pila	557393	4426460
1ª Fuente del Charco Azul (Humedal Charco Azul)	611129	4335276
Bolinches	612061	4335074
ARROYO DE LA HOZ	611147	4445175
Los Ojos de Moya	637810	4424667
Manantial de Navarrés / Lago de Playamonte	699152	4328034
Albufera de Anna	702898	4320548
Játiva	717626	4314825
Nacimiento del Río de Los Santos	707217	4316625
Ullal- Nacimiento Río Verde	713286	4336114
Fuente Grande -Caudete	647531	4379768
Fuente La Orza	657876	4376845
Fuente la Peñuela	668570	4361598
Fuente Currucheres	676554	4361210
Manantial el Molinar	720500	4284272
Les Aigües	751890	4306879
El Salinar (Pego)	753004	4307383
Manantial La Bolata	754654	4299357
Font de la Cava	756141	4300872
Fuentes del Algar	753476	4284075
Font de la Coveta	706399	4288265
Font del Almaguer	716422	4351945
Fuente de Quart	732508	4403772
Font del Barret	725050	4352653
Ullal de Baldovi	731462	4347759

Tabla 13. Series de manantiales incorporados al contraste de resultados.

Los gráficos de detalle con los resultados obtenidos con el modelo de simulación se incluyen en el anexo 4III de este documento.

4.4 Incorporación masas de agua subterránea 2018 y puntos de drenaje

La Confederación Hidrográfica del Júcar junto con el Instituto Geológico y Minero (IGME) durante el año 2018 ha actualizado la delimitación de masas de agua subterráneas en las Demarcación del Júcar. La nueva delimitación se ha sectorizado y se ha incorporado al modelo de simulación Patrical, generando las series hidrológicas en cada uno de los recintos.

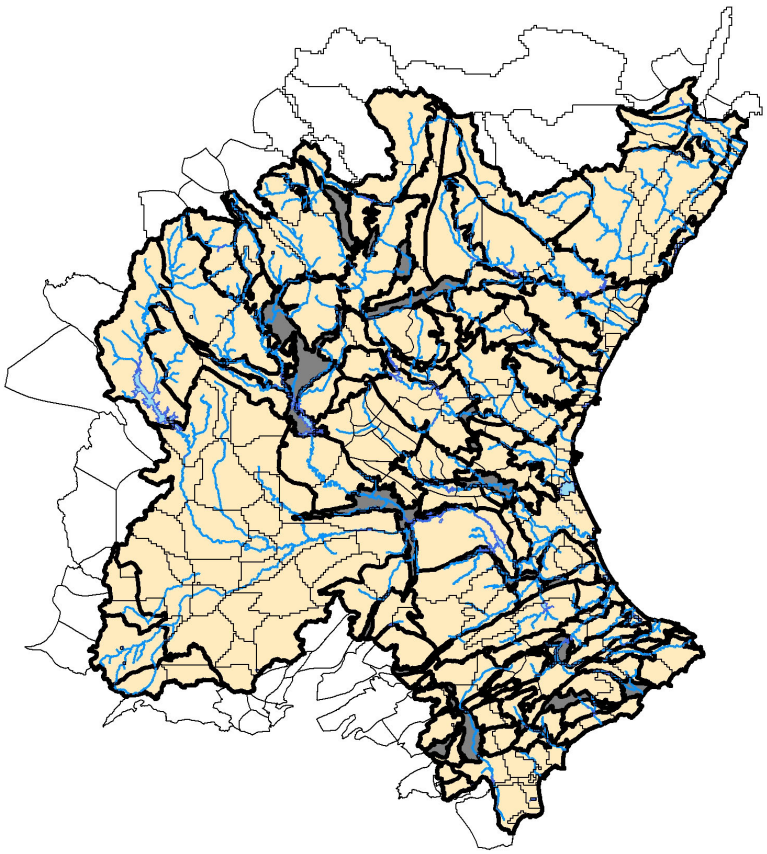


Figura 27. Actualización de las masas de agua subterráneas en la Demarcación del Júcar.

Por otra parte se ha definido una red de puntos de drenaje superficial, mediante el cual se identifican las salidas de agua superficial al mar del ámbito de la Demarcación del Júcar. Esta red está formada por 103 puntos de drenaje, de los que 32 corresponden con drenajes a través de masas de agua superficiales definidas y 71 se corresponden con puntos de drenaje no definidos como masa de agua superficial.

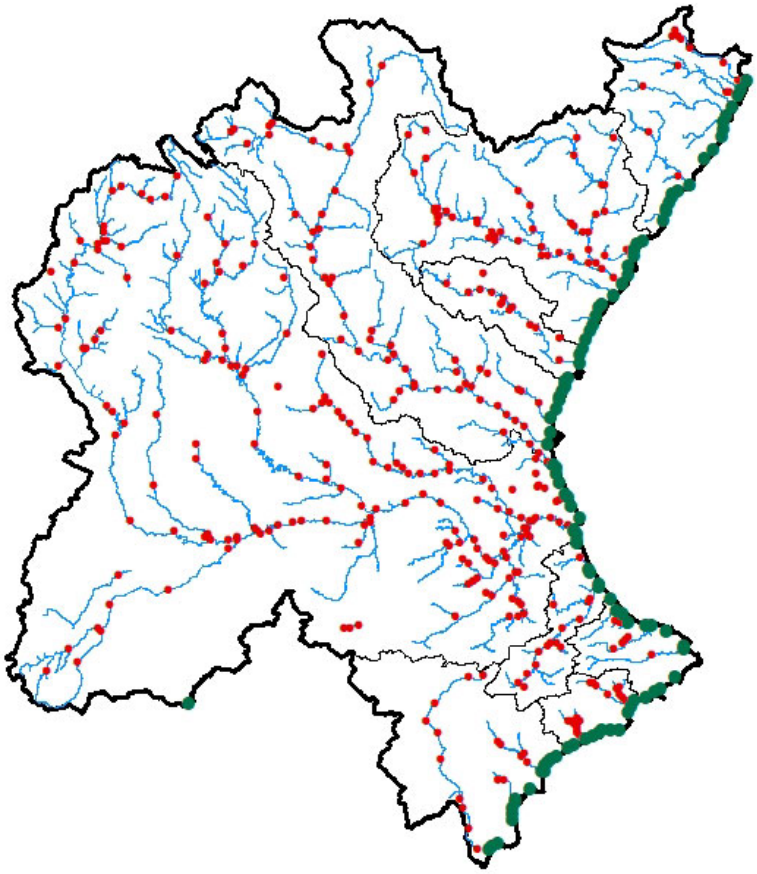


Figura 28. Puntos de control y puntos de drenaje superficial al mar.

Los 32 puntos de salida superficial al mar correspondientes a masas de agua superficiales totalizan una superficie de 40,880 km2 y una aportación anual media de 2,767 hm3/año para el periodo 1980/81 a 2016/17.

cod	Nombre	Sistema explotación	sist	Aportación 1980/81-2016/17 hm3/año	Superficie Km2
11020	Río Cenia completo	Cenia-Maestrazgo	1	39.69	260.00
11025	Rambla Valviquera completa	Cenia-Maestrazgo	1	0.14	37.00
11035	Río Servol completo	Cenia-Maestrazgo	1	13.52	370.00
11040	Barranco de Agua Oliva completo	Cenia-Maestrazgo	1	0.77	81.00
11050	Rambla Cervera completa	Cenia-Maestrazgo	1	17.52	351.00
11054	Río Alcalá completo	Cenia-Maestrazgo	1	4.89	191.00
11070	Río San Miguel completo	Cenia-Maestrazgo	1	19.23	520.00
11090	Barranco Chinchilla completo	Cenia-Maestrazgo	1	1.39	61.00
12010	Río Seco completo	Mijares-Plana de Castellón	2	27.59	122.00
12300	Río Mijares en desembocadura	Mijares-Plana de Castellón	2	290.52	4,071.00
12310	Río Veo completo	Mijares-Plana de Castellón	2	17.36	249.00
12400	Río Belcaire completo	Mijares-Plana de Castellón	2	4.02	75.00
13250	Río Palancia completo	Palancia-Los Valles	3	77.07	987.00
14028	Barranco del Carraixet completo	Turia	4	10.71	317.00
14500	Río Turia en la desembocadura	Turia	4	385.95	6,452.00
15046	Salida Albufera 1 (Pujol y Perellonet)	Júcar	5	60.58	584.00
15058	Salida Albufera 2 (algo de Perellonet)	Júcar	5	28.20	96.00
15900	Río Júcar en la desembocaura	Júcar	5	1,336.09	21,713.00
16024	Río Xaraco completo	Serpis	6	19.53	116.00
16200	Río Beniopa	Serpis	6	8.51	43.00
16260	Río Serpis en la desembocadura	Serpis	6	118.41	764.00
17000	Rambla Gallinera completa	Marina Alta	7	3.16	38.00
17005	Río Vedat completo	Marina Alta	7	28.07	114.00
17010	Río Revolta en desembocadura Marjal Pego Oliva	Marina Alta	7	30.38	27.00
17020	Río Girona completo	Marina Alta	7	68.08	223.00
17024	Bco_Alberca	Marina Alta	7	2.59	36.00
17034	Río Gorgos completo	Marina Alta	7	20.54	139.00
18225	Río Guadalest en la desembocadura	Marina Baja	8	53.65	216.00
18450	Río Amadorio en la desembocadura	Marina Baja	8	6.32	195.00
19225	Monnegre completo	Vinalopó-Alacantí	9	22.62	511.00
19318	Rambuchar (Barranco de las Ovejas)	Vinalopó-Alacantí	9	2.21	207.00
19500	Río Vinalopó en la desembocadura	Vinalopó-Alacantí	9	47.40	1,714.00
				2,766.68	**40,880.00**

Tabla 14. Aportaciones anuales hm3/año por masas de agua superficial 1980/81-2016/17.

Por su parte el resto de puntos de drenaje definidos, 71, cubren una superficie de 1,487 km2, con una aportación anual media de 153 hm3/año, para el periodo 1980/81-2016/17.

cod	Nombre	Sistema explotación	sist	Aportación 1980/81-2016/17 hm3/año	Superficie Km2
11055	Barranco_Peñiscola	Cenia-Maestrazgo	1	0.37	11.00
11056	Gola del Prado (Peñíscola)	Cenia-Maestrazgo	1	18.83	2.00
11057	Interfluvio Peñiscola San Miguel 01	Cenia-Maestrazgo	1	0.28	16.00
11058	Interfluvio Peñiscola San Miguel 02	Cenia-Maestrazgo	1	0.52	8.00
11071	Prat de Canabes (al norte)	Cenia-Maestrazgo	1	2.17	19.00
11072	Prat de Cabanes 02	Cenia-Maestrazgo	1	0.09	12.00
11073	Prat de Cabanes 03	Cenia-Maestrazgo	1	2.26	28.00
11074	Prat de Cabanes 04	Cenia-Maestrazgo	1	2.15	17.00
11076	Prat de Cabanes 05(al sur)	Cenia-Maestrazgo	1	0.17	13.00
11078	Prat de Cabanes 06 (al sur)	Cenia-Maestrazgo	1	0.04	7.00
12002	Barranco Oropesa	Mijares-Plana de Castellón	2	0.88	11.00
12003	Barranco Benicasim01	Mijares-Plana de Castellón	2	2.91	4.00
12004	Barranco Benicasim02	Mijares-Plana de Castellón	2	0.94	11.00

12012	Barranco Castellón Norte 01	Mijares-Plana de Castellón	2	0.52	8.00
12014	Barranco Castellón Norte 02	Mijares-Plana de Castellón	2	0.39	15.00
12322	Interfluvio Veo-Belcaire 1	Mijares-Plana de Castellón	2	0.08	15.00
12324	Interfluvio Veo-Belcaire 2	Mijares-Plana de Castellón	2	0.17	20.00
12326	Interfluvio Veo-Belcaire 3	Mijares-Plana de Castellón	2	1.48	45.00
12422	Interfluvio Belcaire-Palancia 1	Mijares-Plana de Castellón	2	0.13	12.00
12424	Interfluvio Belcaire-Palancia 2	Mijares-Plana de Castellón	2	17.44	30.00
13008	Interfluvio Belcaire-Palancia 2	Palancia-Los Valles	3	0.29	22.00
13012	Interfluvio Belcaire-Palancia 3	Palancia-Los Valles	3	2.44	55.00
13262	Interfluvio Palancia-Carraixet 1	Palancia-Los Valles	3	2.05	13.00
13264	Interfluvio Palancia-Carraixet 2	Palancia-Los Valles	3	2.06	15.00
14002	Interfluvio Palancia-Carraixet 3	Turia	4	0.01	6.00
14004	Interfluvio Palancia-Carraixet 4	Turia	4	0.16	17.00
14006	Interfluvio Palancia-Carraixet 5	Turia	4	0.53	25.00
14008	Interfluvio Palancia-Carraixet 6	Turia	4	0.22	17.00
14010	Interfluvio Palancia-Carraixet 7	Turia	4	5.30	28.00
14012	Interfluvio Palancia-Carraixet 8	Turia	4	0.21	12.00
14032	Salida Valencia Vera	Turia	4	0.29	6.00
15048	Salida Albufera 1b (Pujol y Perellonet)	Júcar	5	2.93	3.00
15062	Salida Albufera 3 (algo de Perellonet)	Júcar	5	0.38	11.00
15072	Salida Albufera 4 (Ullal Baldoví)	Júcar	5	6.53	21.00
15074	Salida Albufera 5 (Perelló)	Júcar	5	0.01	6.00
15076	Salida Albufera 6 (Rei)	Júcar	5	0.07	7.00
15078	Salida Albufera 7 (Mareny)	Júcar	5	12.68	2.00
15360	Pozohondo	Júcar	5	0.67	170.00
15902	interfluvio Júcar estany	Júcar	5	2.78	25.00
15904	Estany de Cullera Jucar 01	Júcar	5	7.61	4.00
15906	Estany de Cullera Jucar 02	Júcar	5	7.66	3.00
15908	Estany de Cullera Jucar 03	Júcar	5	0.51	7.00
16026	Río Xaraco 02 (no se une al Xaraco)	Serpis	6	11.44	6.00
16302	Interfluvio Serpis Rambla Gallinera	Serpis	6	0.95	14.00
17026	BcoDenia	Marina Alta	7	0.87	8.00
17036	Aflu Gorgos Xavia	Marina Alta	7	0.18	9.00
17302	MarianAlta1	Marina Alta	7	0.87	23.00
17304	MarianAlta2	Marina Alta	7	4.15	33.00
17306	MarianAlta3	Marina Alta	7	3.99	31.00
17312	MarianAlta4	Marina Alta	7	1.09	8.00
17314	MarianAlta5	Marina Alta	7	0.49	7.00
18322	Interfluvio Guadalest Amadorio 1	Marina Baja	8	3.43	33.00
18324	Interfluvio Guadalest Amadorio 2	Marina Baja	8	2.05	10.00
18328	Interfluvio Guadalest Amadorio 3	Marina Baja	8	1.02	14.00
18332	Interfluvio Guadalest Amadorio 4	Marina Baja	8	1.04	14.00
18336	Interfluvio Guadalest Amadorio 5	Marina Baja	8	0.68	14.00
18338	Interfluvio Guadalest Amadorio 6	Marina Baja	8	1.83	27.00
18512	Villajoyosa MB01	Marina Baja	8	0.37	22.00
18514	Villajoyosa MB02	Marina Baja	8	0.16	9.00
19012	Villajoyosa 2	Vinalopó-Alacantí	9	0.52	28.00
19014	Villajoyosa 3	Vinalopó-Alacantí	9	0.31	6.00
19016	Villajoyosa 4	Vinalopó-Alacantí	9	0.48	13.00
19018	Villajoyosa 5	Vinalopó-Alacantí	9	0.43	14.00
19022	Villajoyosa 6	Vinalopó-Alacantí	9	2.16	74.00
19312	Barranco Albufereta (San Juan)	Vinalopó-Alacantí	9	0.33	69.00
19320	Rambuchar 02	Vinalopó-Alacantí	9	1.16	61.00
19324	bcoVina1	Vinalopó-Alacantí	9	0.18	9.00
19326	bcoVina2	Vinalopó-Alacantí	9	0.02	13.00
19332	bcoVina3	Vinalopó-Alacantí	9	0.45	49.00
19334	bcoVina4	Vinalopó-Alacantí	9	2.71	55.00
19336	bcoVina5	Vinalopó-Alacantí	9	2.52	35.00
				153.05	**1,487.00**

Tabla 15. Aportaciones anuales hm3/año por masas de agua superficial 1980/81-2016/17.

4.5 Actualización de series y completado

A partir de las series de precipitación desde octubre de 1900 hasta septiembre de 2018, se ha realizado un análisis de la disponibilidad de información en este periodo y se han actualizado los grupos de completado de series de precipitación, los grupos están referidos de las zonas hidroclimáticas definidas en el ámbito de las Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ).

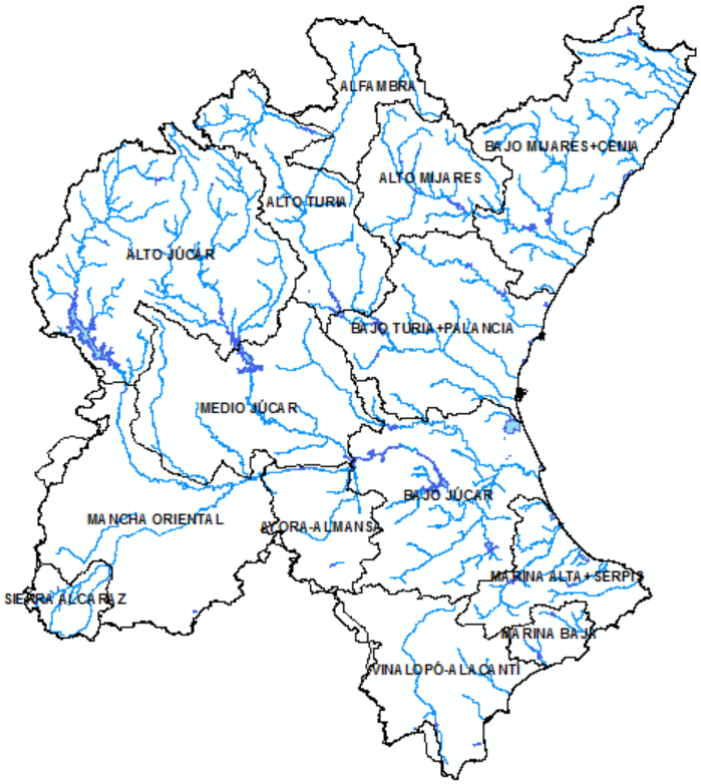


Figura 29. Zonas hidroclimáticas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Se dispone de información desde octubre del año 1900 en 6 estaciones en la DHJ situadas en: Tarragona, Teruel, Albacete, Valencia, Alicante y Murcia. La primera estación de la que se dispone de información en la provincia de Cuenca es del año 1907, siete año después que en el resto de provincias.

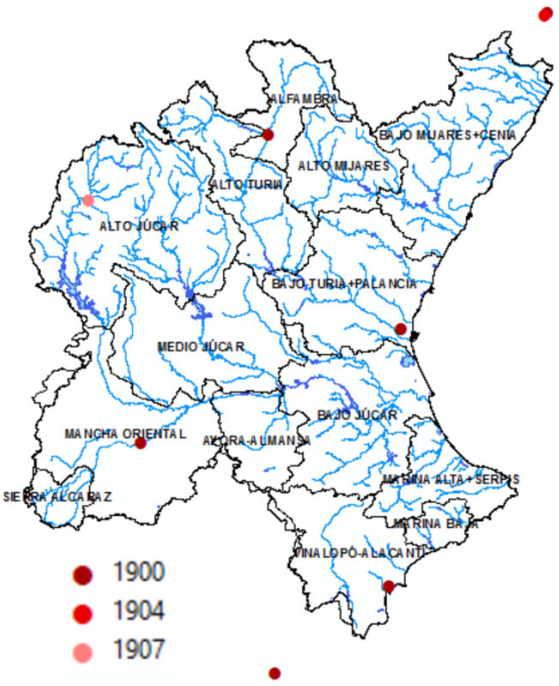


Figura 30. Estaciones de precipitación entre 1900 y 1910.

En la primera parte de la década de 1910-1920, entre 1910 y 1914, se produce un fuerte incremento de estaciones en la zona costera, Valencia y Alicante, y en menor medida en Castellón. Sigue existiendo hasta 2014 una densidad muy baja de estaciones en Cuenca, Albacete (Mancha Oriental y Medio Júcar), Teruel y parte de Castellón.

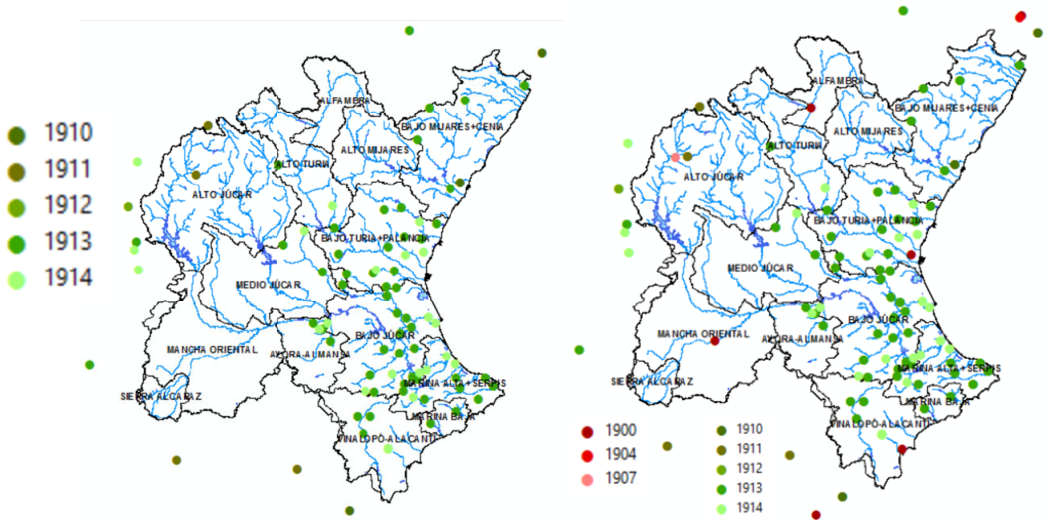


Figura 31. Estaciones de precipitación entre 1910 y 1914 (izquierda), conjunto de estaciones desde 1900 a 1914 (derecha).

En la segunda parte de esta década, se produce un incremento significativo de estaciones en Cuenca y Albacete. De forma que en 1919. Las únicas zonas con un densidad baja de estaciones son el Alto Mijares, el río Alfambra, el alto Turia, y el Medio Júcar.

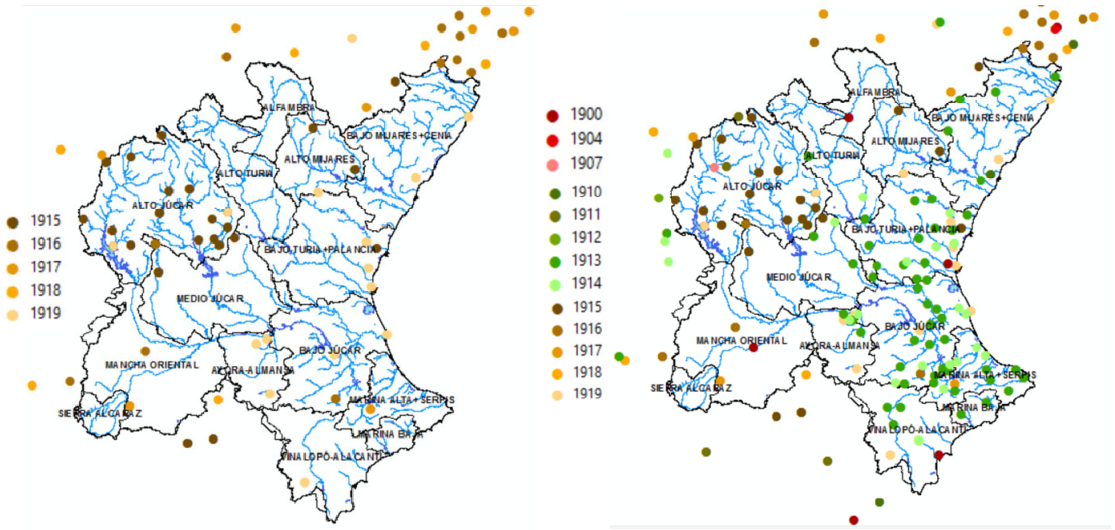


Figura 32. Estaciones de precipitación entre 1915 y 1919 (izquierda), conjunto de estaciones desde 1900 a 1919 (derecha).

En la década de 1920-1929, se produce un incremento de estaciones en Aragón, mientras que en la década 1930-1939 el incremento de estaciones se produce fundamentalmente en Murcia. De esta forma a finales de1939 las únicas zonas con una densidad baja de estaciones siguen siendo Alto Mijares, el río Alfambra, el alto Turia, y el Medio Júcar.

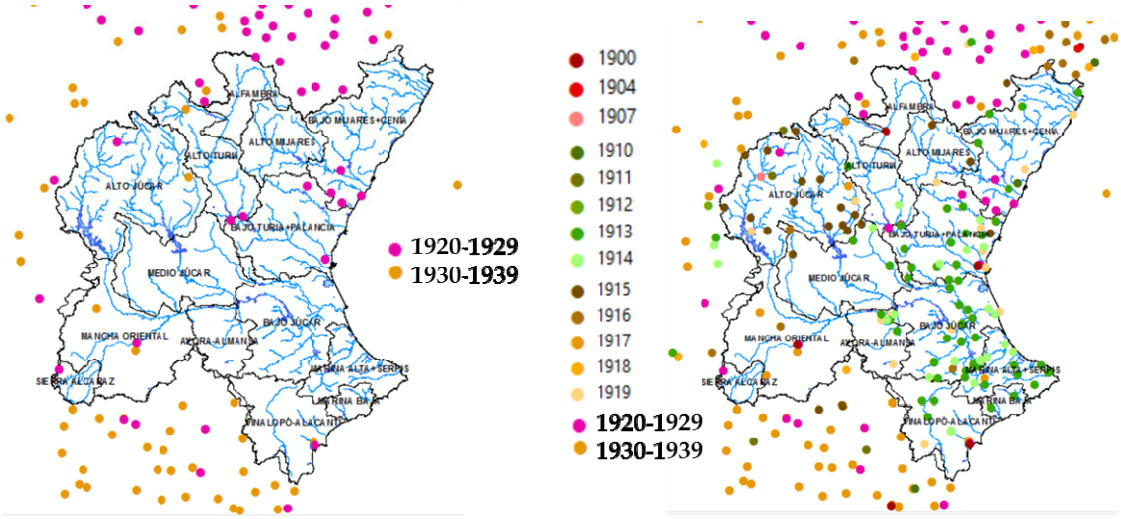


Figura 33. Estaciones de precipitación en las décadas de 1920-1929 y 1930-1939 (izquierda), conjunto de estaciones desde 1900 a 1939 (derecha).

La red de estaciones de precipitación con datos a lo largo de la historia cubre con una elevada densidad todo el territorio de la Demarcación.

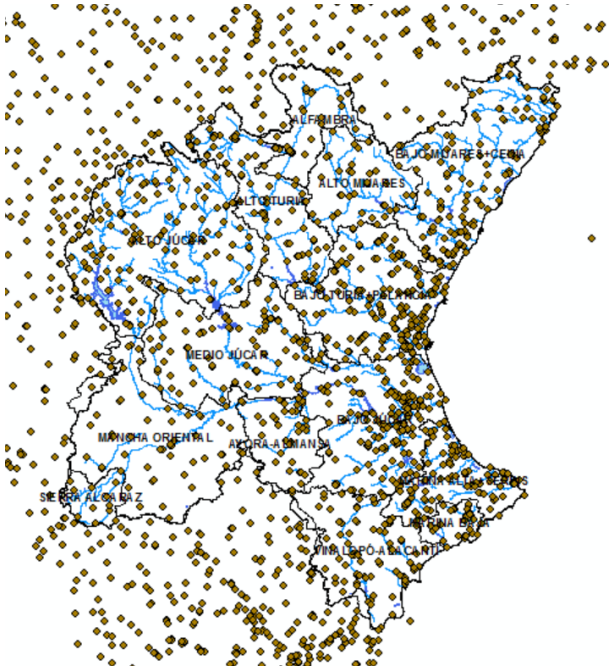


Figura 34. Estaciones de precipitación históricas.

De esta red se ha definido un conjunto de estaciones, formando por 9 grupos de completado que cubren las diferentes regiones hidroclimaticas. Algunos grupos de completado abarcan más de una zona hidroclimática, como el grupo número dos, que cubre la cabecera del Turia, del río Alfambra, y del río Mijares, el grupo número 5 que incluye el Medio Júcar y el Valle de Ayora, o el grupo 9, que cubre la zona de la Marina Alta y el Serpis y el área de la Marina Baja.

Grupo de completado	Cód.. zona	Nombre zona hidroclimática	Estaciones
g1	51	Cabeceras del Júcar y Cabriel	86
g2	42	Cabecera del Turia	70
g2	*41*	*Río Alfambra*	
g2	*21*	*Cabecera del río Mijares*	
g3	11	Cenia y Maestrazgo	69
g4	53	Mancha Oriental	49
g5	52	Medio Júcar y Río Balazote	45
g5	*52*	*Valle de Ayora, Júcar*	
g6	45	Bajo Turia	71
g7	55	Bajo Júcar	73
g8	91	Vinalopó	56
g9	61	Marina Alta y Serpis	51
g9	*81*	*Marina Baja*	
		Total	**570**

Tabla 16. Estaciones en cada grupo de completado y región hidroclimática asociada.

Los grupos de completado de precipitación se han ampliado, incluyendo estaciones históricas con información disponible y estaciones con más de 10 años de datos disponibles que estuvieran dentro de la DHJ o próximos a la DHJ. De esta forma el número de estaciones utilizado para realizar el completado de datos, ha pasado de 405 a 570 estaciones.

Se han incluido todas las estaciones que empiezan a tener información entre el año 1900 y el año 1909 (8 estaciones). Entre el año 1910- y 1939 se incluyen todas las que estén dentro de la DHJ con más de 10 años de registros (28 estaciones), y también, se incluyen las que estén muy próximas a la DHJ con más de 10 años de datos (11 estaciones). Posteriormente, en una primera fase se han incluido todas las estaciones con más de 35 años de registros, no incluidas previamente (53 estaciones) y en una segunda fase las estaciones no incluidas con más de 25 años de datos (64 estaciones), momento en el que empiezan a incorporarse las primeras estaciones del SAIH de las Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

El tamaño medio de los 9 grupos es de 65 estaciones, con un mínimo de 45 estaciones en el tramo medio del Júcar y río Balazote, debido a la falta de disponibilidad de estaciones, hasta un máximo de 86 estaciones en las cabeceras de los río Júcar y Cabriel.

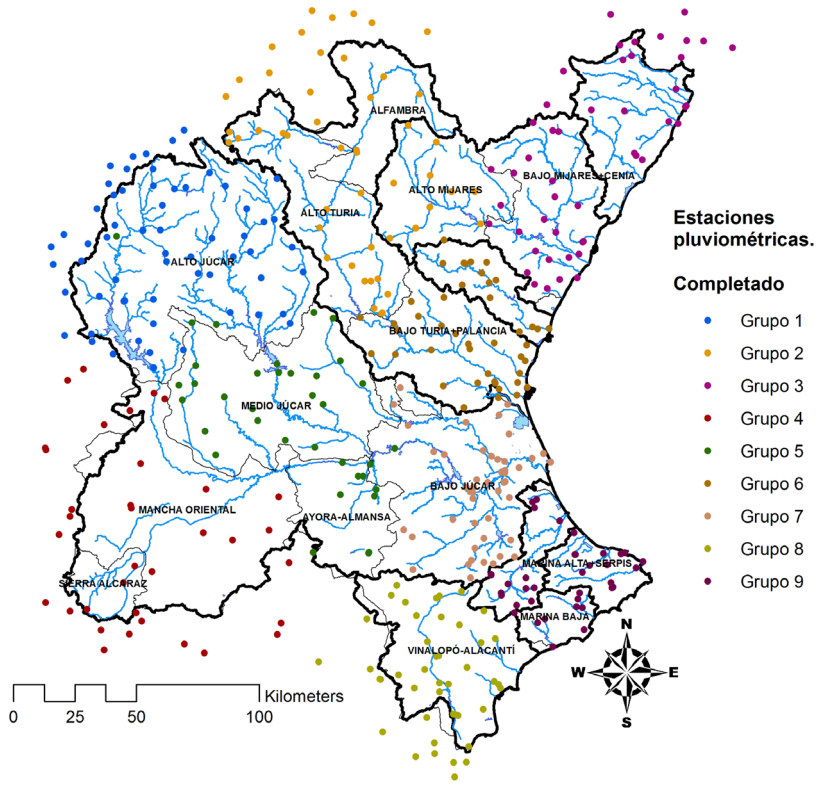


Figura 35. Estaciones de precipitación de los grupos de completado de datos.

Como síntesis de la información de precipitación existente:

1) Primeras estaciones en 1900. 6 estaciones en las provincias de Tarragona, Teruel, Albacete, Valencia, Alicante y Murcia
2) En el año 1907 primera estación en la provincia de Cuenca
3) Entre 1910 y 1914 fuerte incremento de estaciones en el litoral: Valencia, Alicante y parte de Castellón.
4) En 1915 incremento de estaciones en el interior, (provincia de Cuenca y Albacete), lo cual significa que hasta 1914 no existe una disponibilidad suficiente de estaciones con registros de lluvia en el interior.
5) Falta de representatividad en las lluvias anteriores a 1914, fundamentalmente en las zonas de cabecera y de interior.
6) 9 grupos de completado con un tamaño medio de grupo de 65 estaciones. Tres de estos grupos abarcan a más de una zona hidroclimática, por lo que podrían subdividirse en subgrupos. Sin embargo, estos grupos tienen el menor número de estaciones disponibles, g2 con 70 estaciones, g5 con 45 estaciones y g9 con 51 estaciones, por lo que si se subdividden los subgrupos contarían con un número significativamente más reducido que el resto de grupos de completado.

4.6 Simulación de series desde octubre de 1900

A partir de los datos de precipitación y temperatura, y del completado de datos de lluvia realizado mediante los 9 grupos de completado. Se ha realizado una simulación hidrológica desde octubre de 1900 hasta septiembre de 2018.

Los resultados del modelo de simulación se han contrastado con los datos de aforo disponibles para este período. A continuación, se muestran los ajustes con datos de las estaciones de aforo disponibles antes del año 1940.

Los primeros datos de aforo disponibles, son de enero de 1912. Los datos observados muestran que los años 1911/12, 1912/13, 1913/14 y 1914/15, fueron extremadamente secos, siéndolo también en la zona norte los años 1915/16 y 1916/17. Es decir los datos observados arrancan con un ciclo extremadamente seco en la Demarcación, que duró entre 4 y 6 años.

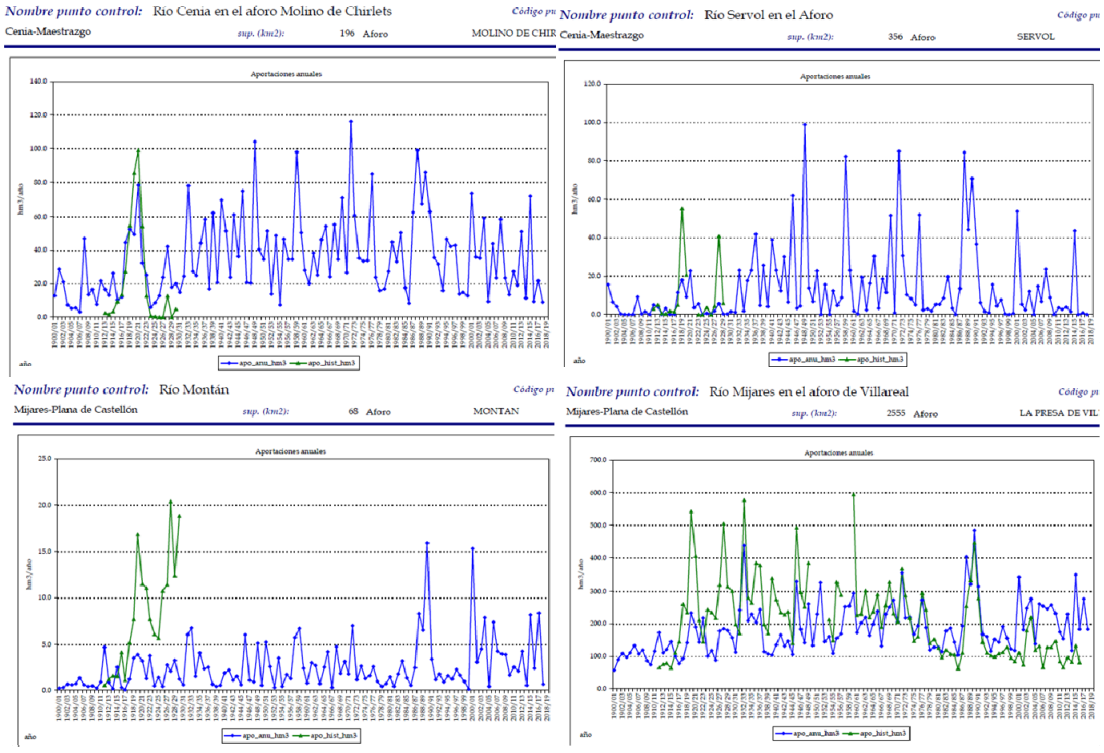


Figura 36. Aportaciones anuales históricas en el Cenia y Mijares. Río Cénia en el Molí de Chirlets, Río Servol en el aforo, río Montán en el aforo y río Mijares en la presa de Vila-Real.

El barraco del Carraixet dispone de caudales observados entre 1913/14 y 1919/20, muy por debajo de los resultados del modelo, mostrando la falta de conexión del acuífero con el sistema superficial. Por su parte el río Alfambra dispone de información desde el año 1912/13 hasta la actualidad.

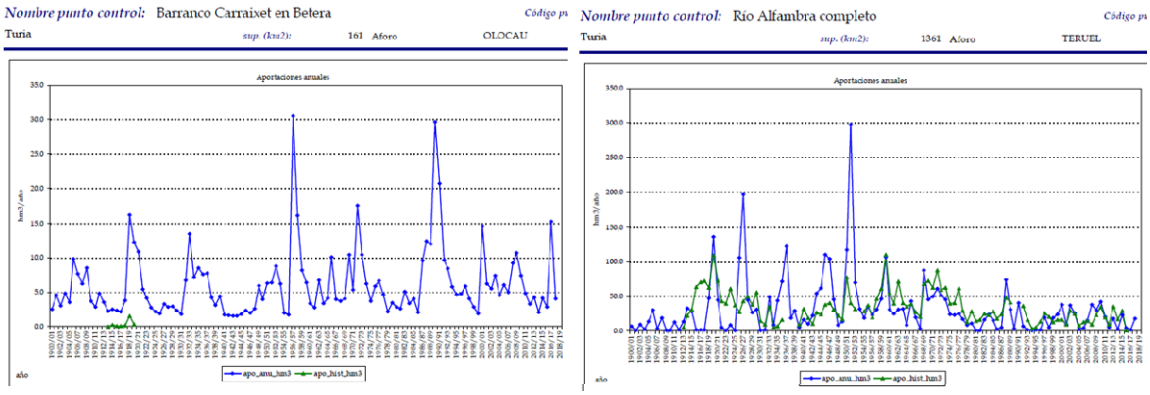


Figura 37. Aportaciones históricas en el Barranco del Carraixet y en el río Alfambra.

En el caso del río Turia, se aprecia en los datos observados valores extremadamente bajos en los 2-3 primeros años, 2011/12, 2012/13 y 2013/14. El modelo de simulación reproduce estos valores bajos de los primeros años. Anterior a los primeros datos observados, el modelo de simulación da resultados muy bajos, que no pueden contrastarse con datos de aforo. Sin embargo, hay que tener en cuenta la falta de información de precipitación disponible hasta el año 1914 en la zona de las cabeceras, por lo que los resultados del modelo hasta esta fecha son muy poco fiables.

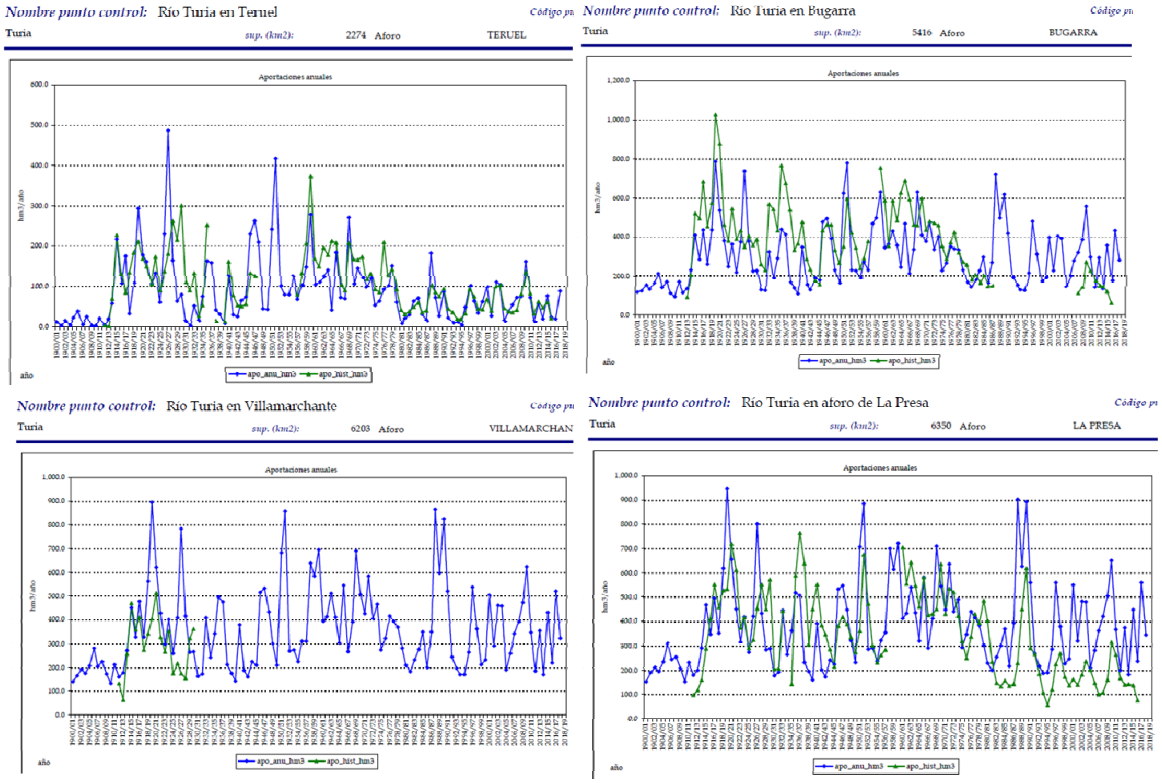


Figura 38. Aportaciones históricas en el río Turia: en Teruel, en Bugarra, en Villamarchante y en Manises (la Presa).

Al igual que en el caso del Turia, en los primeros años de simulación se obtienen unas aportaciones extremadamente bajas, lo cual se debe a la falta de información de lluvias en la provincia de Cuenca hasta el año 1914. Además, también se aprecia en los datos observados el inicio de la serie con unos años extremadamente secos, 1911/12, 1912/13 y 1913/14.

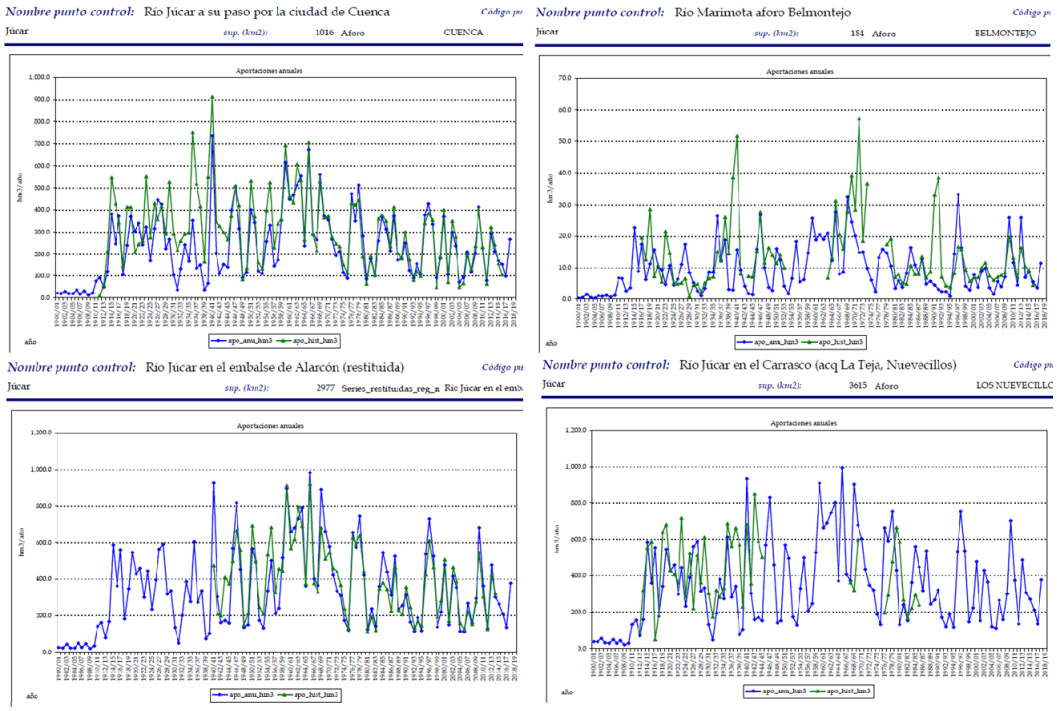


Figura 39. Aportaciones históricas en el río Júcar: en Cuenca, río Marimota en Belmontejo, Alarcón y el Carrasco.

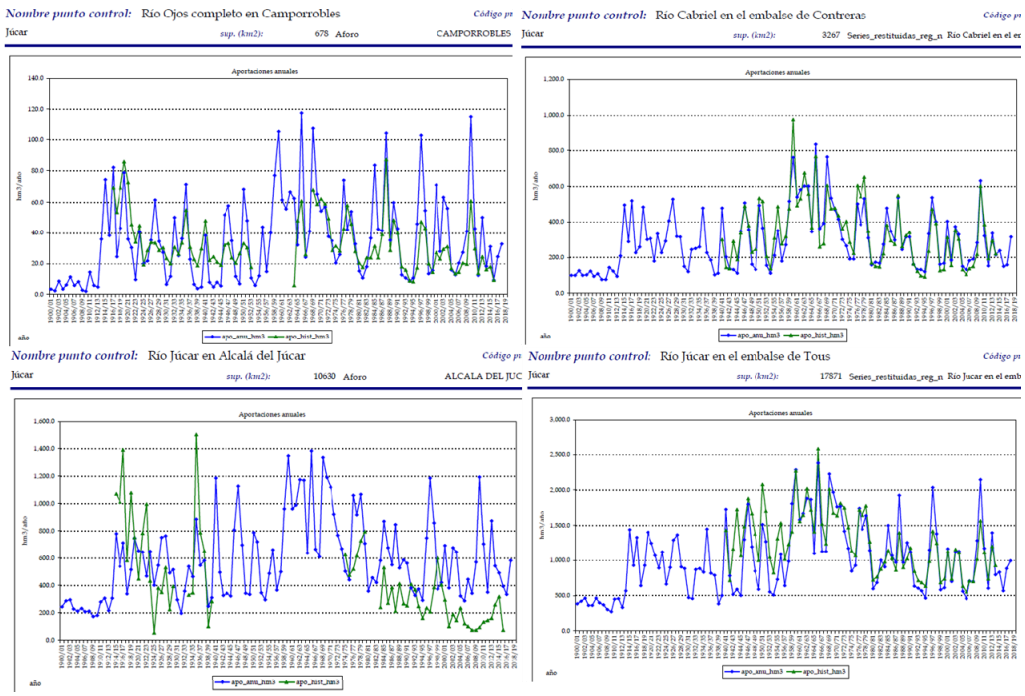


Figura 40. Aportaciones históricas en el río Cabriel y confluencia con el Júcar: en el río Ojos en Camporobles, río Contreras, Júcar en Alcalá del Júcar y Júcar en Tous.

Los datos observados muestran que los caudales del río Júcar en Alzira y en el Huerto Goig, fueron de 500 hm3/año en los años 2011/12 y 2012/13, y de aproximadamente 700 hm3 en el año 2013/14, lo que representa uno de los ciclos secos más intensos de los registros históricos.

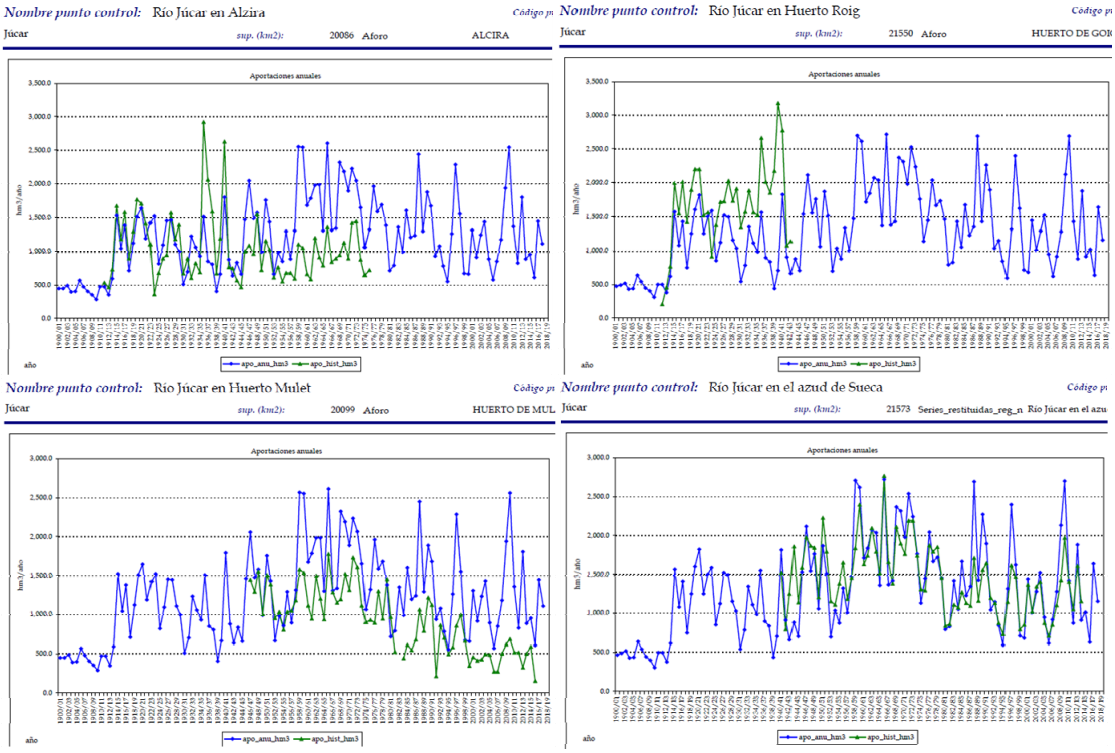


Figura 41. Aportaciones históricas en el tramo final del Júcar: en Alzira, en Huerto Goig, en Huerto Mulet, y en el azud de Sueca.

Los afluentes del Júcar, río Clariano (afluente del río Albaida), río Cáñoles y río Magro, también muestran caudales bajos observados en los primeros años.

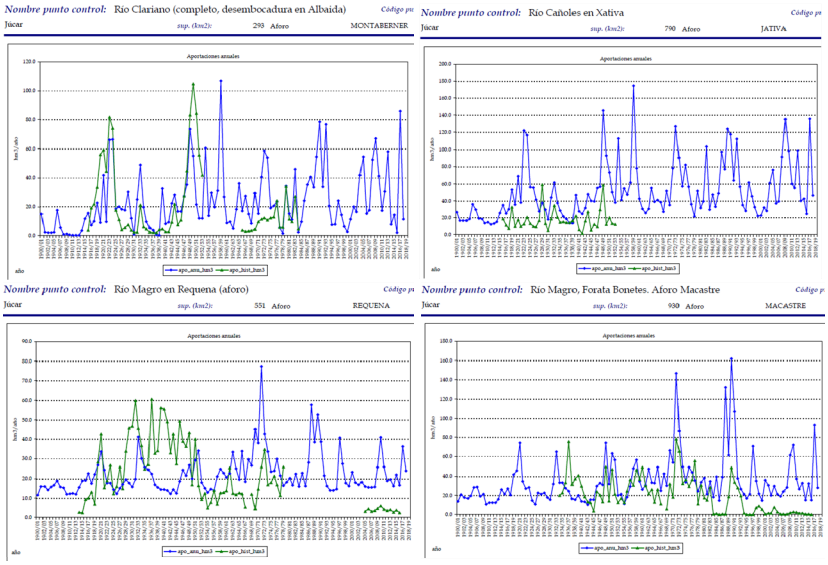


Figura 42. Aportaciones históricas en el tramo final del Júcar: en Alzira, en Huerto Goig, en Huerto Mulet, y en el azud de Sueca.

En el resto de sistemas, se dispone de información en los ríos Guadalest, Amadorio, Monegre y Vinalopó.

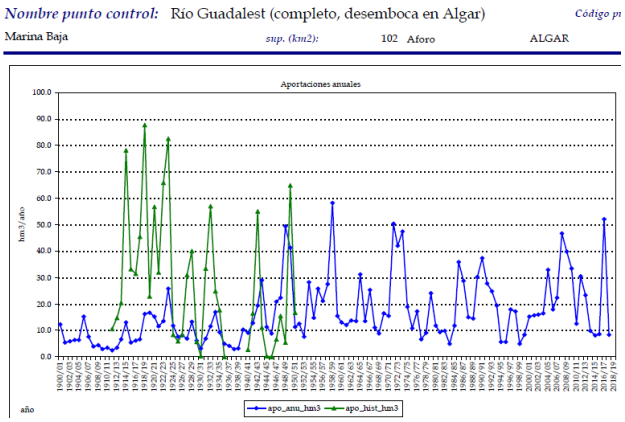


Figura 43. Aportaciones históricas en el río Guadalest.

Para el río Amadorio y su efluente el Sella, se cuenta con los datos de aforo y con las reconstrucciones realizadas dentro del estudio de río temporales.

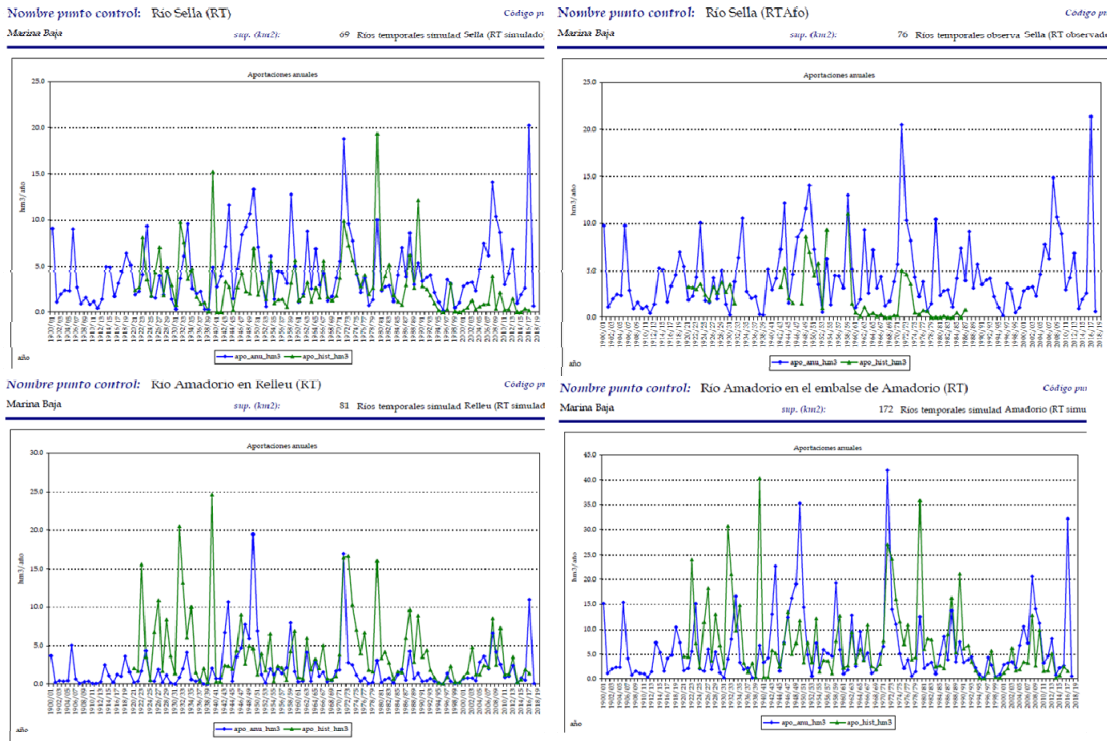


Figura 44. Aportaciones históricas en Amadorio y su afluente el Sella.

Finalmente, los datos del río Monegre muestran el carácter temporal de este río, con dos ciclo marcadamente secos. El primer ciclo entre 1912/13 y 1917/18 y un segundo ciclo, entre 1934/35 y 1944/45, fecha en la que deja de operar la estación de aforo.

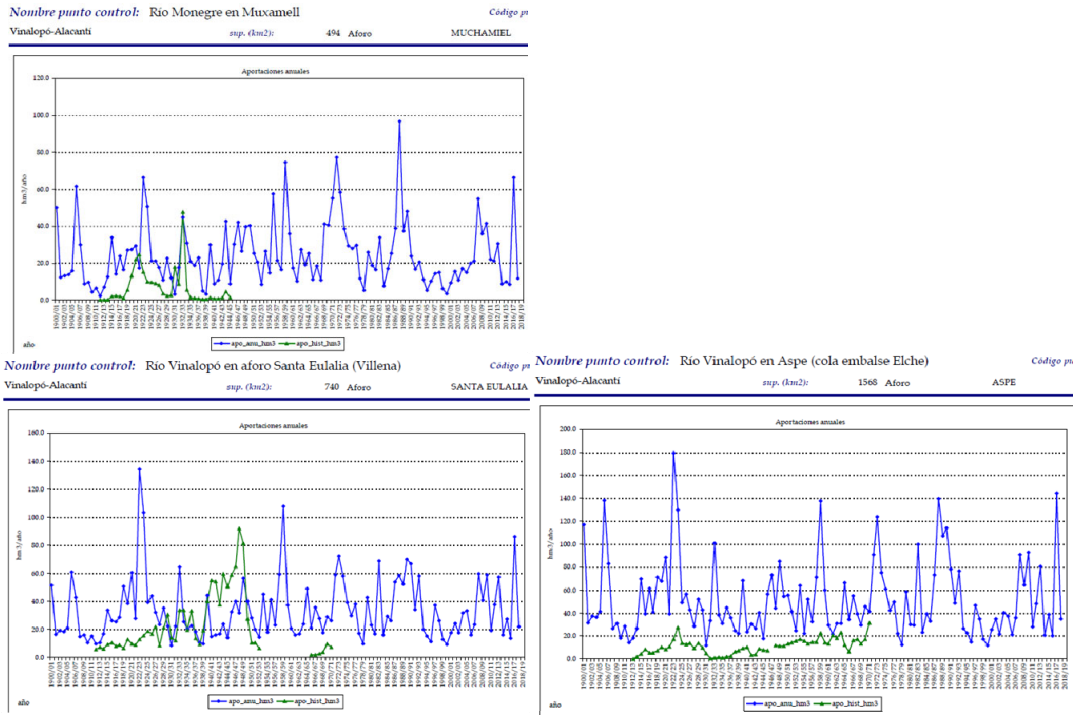


Figura 45. Aportaciones históricas en el Monegre y en el río Vinalopó.

4.7 Serie de la Demarcación del Júcar desde el año 1900

Con la información disponible, se ha podido reconstruir la serie de precipitaciones en la Demarcación del Júcar desde octubre del año 1900 hasta la fecha actual. Sin embargo, en base a la reducida densidad de estaciones de precipitación en los primeros años, en la cabecera del Júcar, Cabriel y Turia, hasta el año 1915, y al contraste con los datos observados en las estaciones de aforo, desde enero de 1912, la fiabilidad de la estimación de precipitaciones en el periodo de 1900 a 1911 puede considerarse muy baja. Por este motivo, en base a la información disponible, puede considerarse como primer año de referencia para los análisis de la serie temporal desde inicios del siglo XX el año hidrológico 1911/12.

Las precipitaciones en la DHJ entre 1940/41 y 2017/18 son de aproximadamente 498 mm/año, mientras que las precipitaciones entre 1911/12 y 1939/40 fueron de 473 mm/año. Esto significa que el periodo entre el año 1911/12 y el año 1939/1940 es un periodo más secos que el que se produciría a continuación.

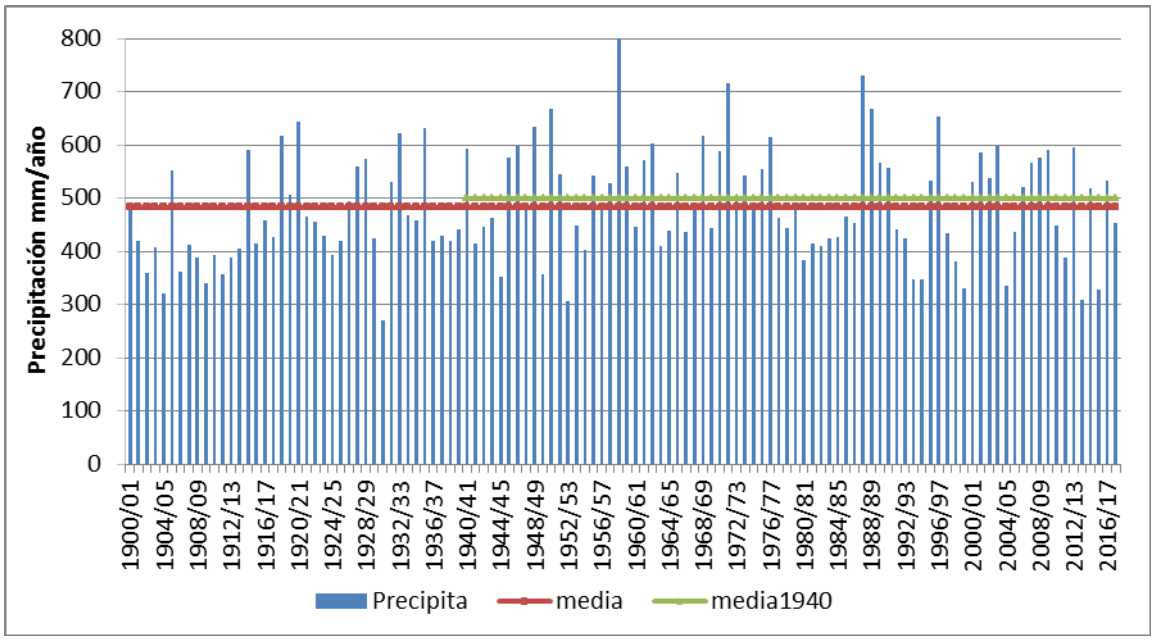


Figura 46. Precipitación en la Demarcación del Júcar desde el año 1900/01 hasta la actualidad.

Las aportaciones obtenidas en la Demarcación del Júcar, muestran que los valores anteriores al año 1945/46 eran sistemáticamente inferiores a los producidos después de ese año. Teniendo en cuenta la baja fiabilidad de los resultados de los primeros años, debido a la escasa densidad de estaciones de precipitación en las cabeceras de los ríos Júcar, Cabriel y Turia y la inexistencia de datos de aforo de contraste, se utilizan las series de aportaciones desde el año hidrológico 1911/12.

La media de aportaciones entre 1911/12 y 19139/49 es de 2,285 hm^3/año, frente a la media de aportaciones de 3,072 hm^3/año producida en el periodo 1940/41-2018/18. La media de aportaciones de este periodo inicial es muy inferior a la media de aportaciones de los último años, 1980/81-2017/18, cifrada en 2885, hm^3/año.

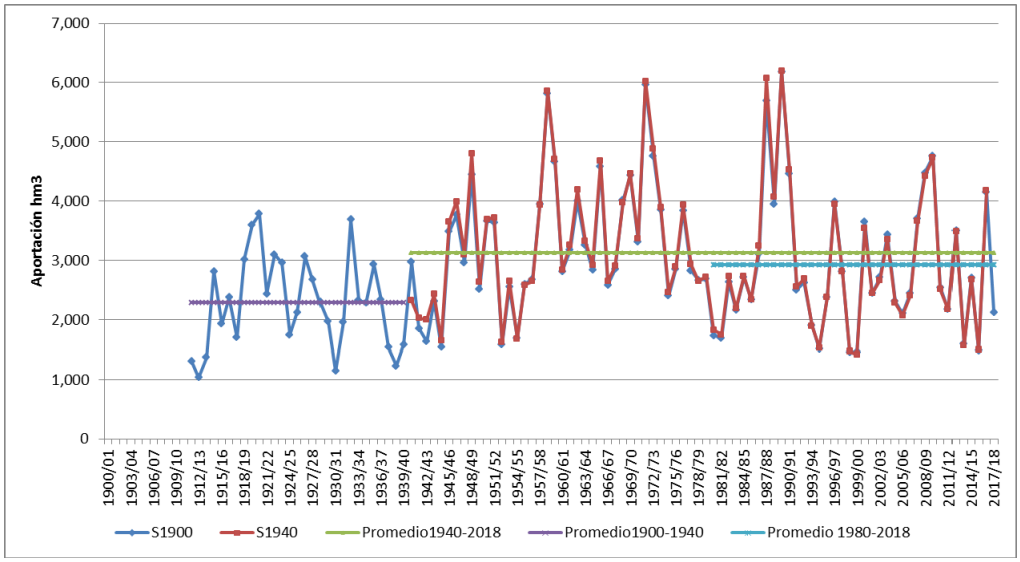


Figura 47. Aportación anual en la Demarcación del Júcar (hm^3/año).

4.8 Mejora de la simulación de la concentración de nitrato superficial

La simulación del transporte de nitrato a través de Demarcación incluye la determinación de la concentración de nitrato en aguas superficiales y subterráneas. Con el objetivo de mejorar el ajuste de la concentración de nitrato en las masas de agua superficial se ha incluido un cuarto parámetro en el modelo de simulación. Este parámetro representa la porción de suelo afectada por la escorrentía superficial.

Se considera que el agua que se infiltra al terreno puede lavar la totalidad del perfil del suelo, sin embargo el agua que escurre superficialmente, únicamente lava la capa más superficial del suelo, por ejemplo, los primeros 10-20 centímetros. Este parámetro se ha hecho depender de las características del suelo por lo que se considera como un porcentaje del nitrógeno contenido en el suelo. El valor del parámetro establecido es de 0.2.

Por otra parte, se ha trabajado de forma conjunta con la Confederación del Júcar en la revisión de los resultados de concentración en las masas de agua superficiales.

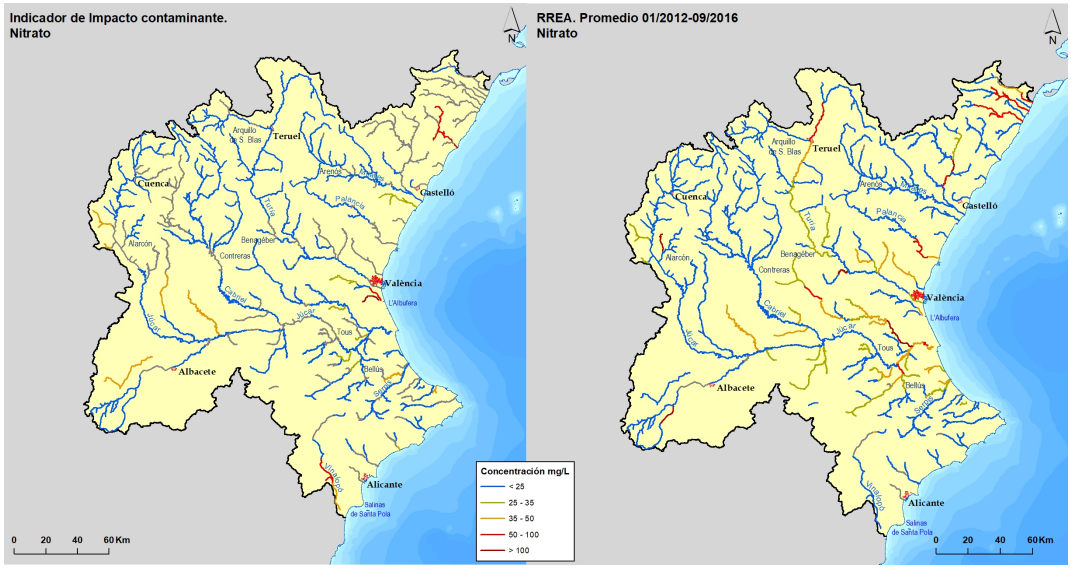


Figura 48. Concentración observada (izquierda) y simulada (derecha).

En esta revisión se han identificado concentraciones elevadas en los siguientes tramos:

- Río Turia, desde el río Alfambra hasta el embalse de Benageber
- Río Cáñoles y tramo final del Albaida hasta su confluencia con el río Júcar.
- Río Magro hasta el embalse de Forata

Las tres zonas se corresponden con zonas donde el acuífero situado en contacto con el río presenta concentraciones elevadas de nitrato, cercanas o superiores a

50 mgNO3/l. Esta situación indica que en estas zonas el acuífero realiza pequeñas o nulas contribuciones de agua al río, dado que si realizase aportaciones significativas, aumentaría de forma significativa la concentración de nitrato registrada en el río.

El análisis de la concentración de nitrato en el río en los diferentes tramos se está utilizando para calibrar y validar el esquema de flujo de agua que existe en estos tramos y que se reproduce con el modelo de simulación. El esquema de flujo queda de la siguiente forma:

La Plana de Valencia Sur se encuentra conectada con el río Júcar entre el azud de la toma de la Acequia Real del Júcar y la confluencia con el río Albaida. Esta zona es la única zona de la Plana de Valencia Sur que tiene concentraciones entre 20 y 40 mgNO3/l, cuando la concentración en el resto del acuífero se sitúa en el entorno de los 80-150 mgNO3/l. Las concentraciones entre 20 y 40 mgNO3/l en esta zona sólo pueden conseguirse gracias a los aportes subterráneos del Caroch Norte a través del contacto con este acuífero, dado que las concentraciones en este acuífero se sitúan entre 10 y 20 mgNO3/l.

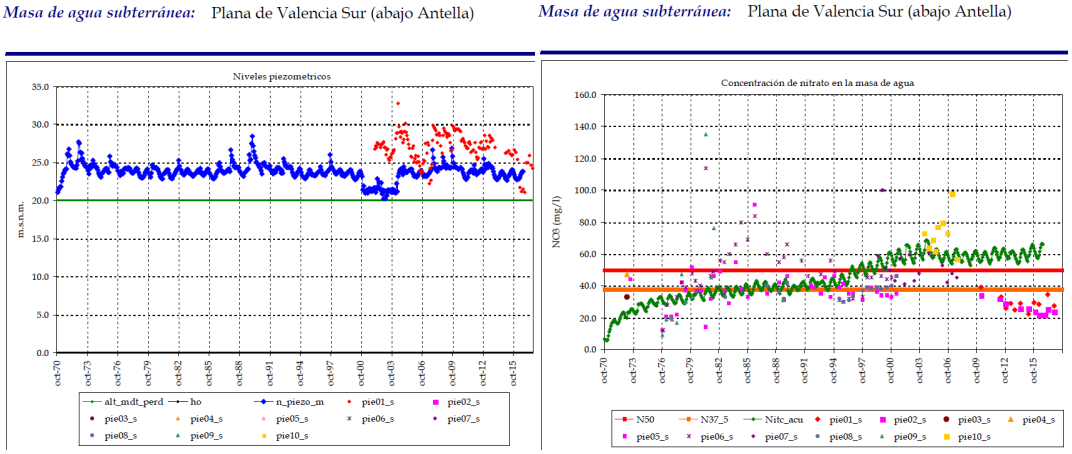


Figura 49. Nivel piezométrico y concentración de nitrato observado y simulado en la Plana de Valencia sur en la zona del azud de Antella.

Desde la confluencia del río Albaida hasta el azud de Cullera el río Júcar esta desconectado del acuífero, situándose el acuífero por debajo de la cota del río. Las concentraciones de nitrato de la Plana de Valencia Sur en esta zona se sitúan entre los 60 y los 80 mgNO3/l, por lo que si el acuífero realizara aportes significativos de agua a este tramo, las concentraciones de nitrato en el río serían muy superiores a las registradas en las estaciones de control. Esta desconexión se produce por el flujo de agua subterránea desde la zona del río hasta los manantiales de Senillera, Llacuna del Samaruc, Ullal Gross y Baldoví, que drenan la Plana de Valencia Sur.

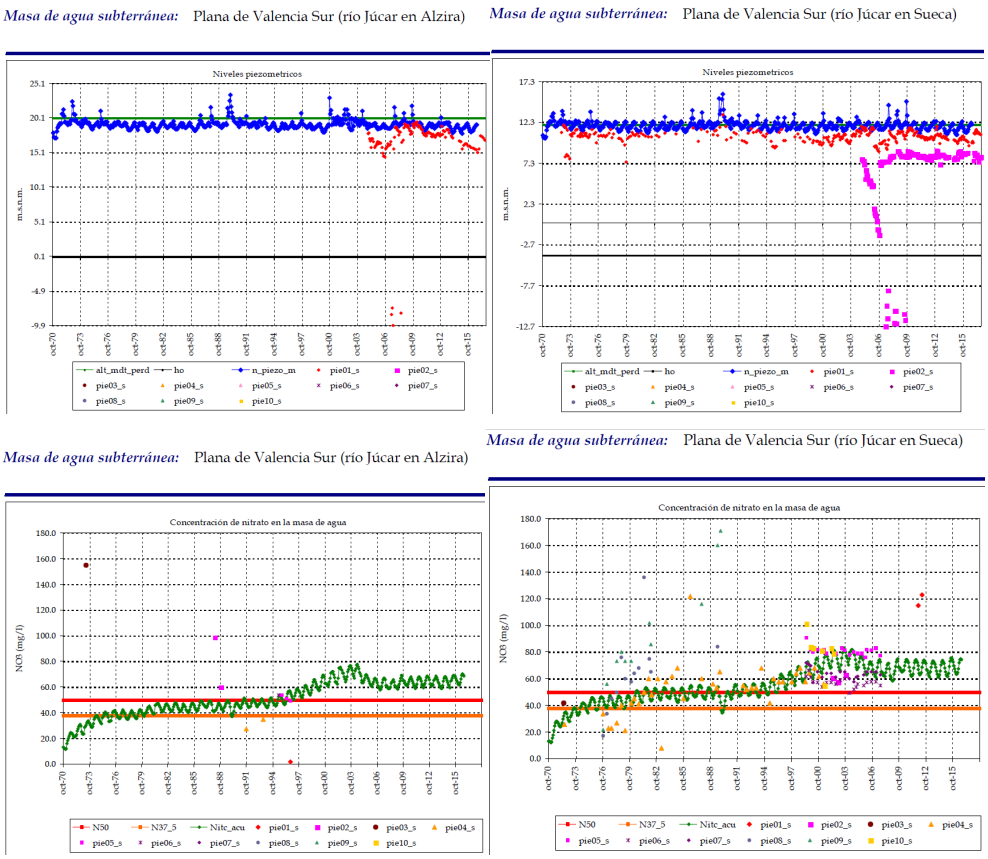


Figura 50. Nivel piezométrico observado y simulado y concentraciones de nitrato en la Plana de Valencia Sur en el entorno del río Júcar en Alzira y en Sueca.

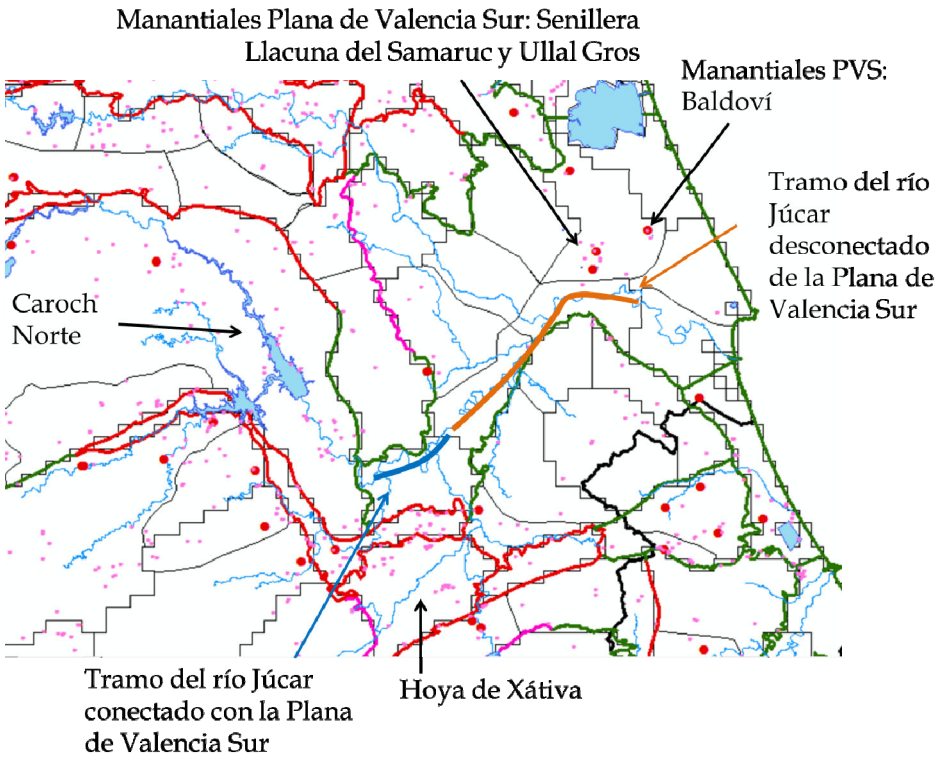


Figura 51. Tramo final del río Júcar, manantiales, limites permeables e impermeables entre las masas de agua.

Los valores de concentración de nitrato en la cabecera del Magro se sitúan en el entorno delos los 7-15 mgNO3/l, sin embargo la concentración en el acuífero Requena-Utiel ronda los 40-50 mgNO3/l en la zona de la confluencia del río Madre con la Rambla de la Torre en Caudete de las Fuentes, y en el río Magro en la zona de Requena.

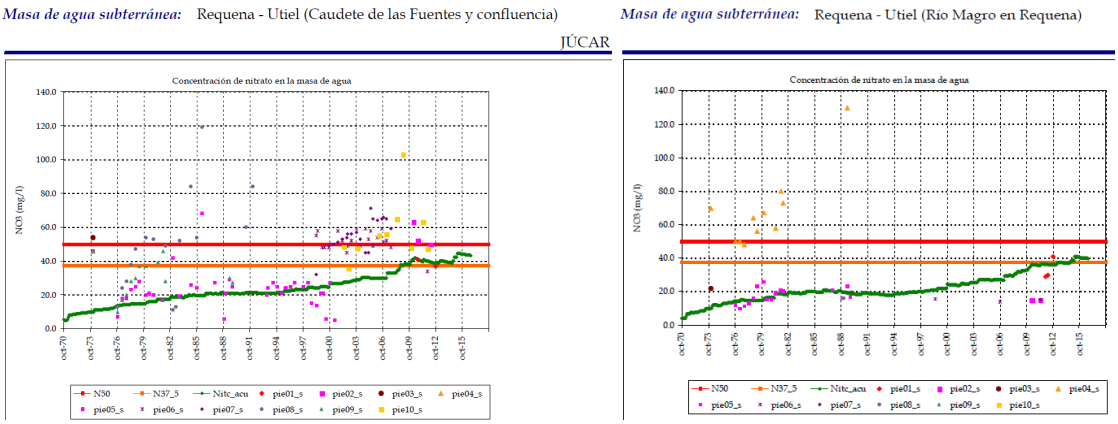


Figura 52. Concentración de nitrato en la masa de agua subterránea de Requena Utiel, en Caudete de las Fuentes y en Requena.

Estos resultados indican que el acuífero se encuentra desconectado del río, dado que si existiera una conexión significativa las concentraciones de nitrato en el río tendrían que ser mayores.

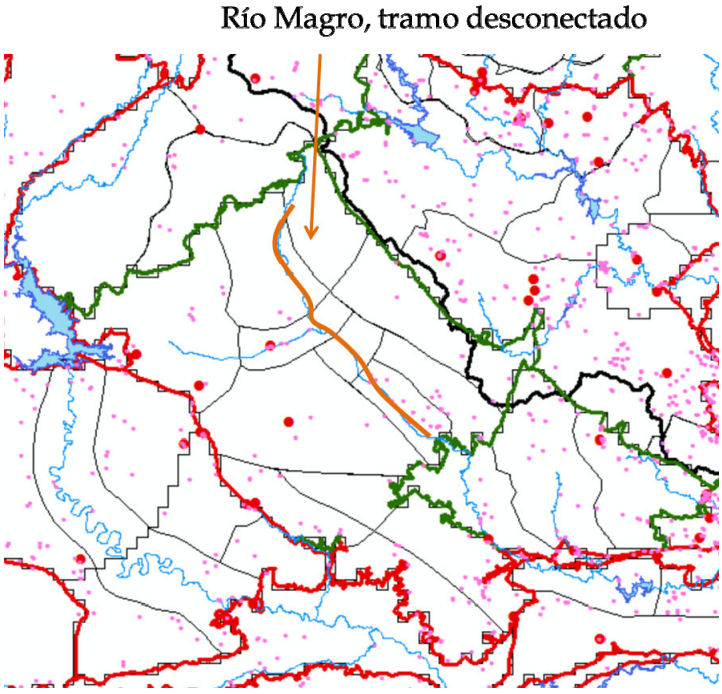


Figura 53. Cabecera del río Magro y desconexión del río respecto el acuífero de Requena-Utiel.

Las concentraciones de nitrato en el río Alfambra, se sitúan entre 7 y 13 mgNO3/l, mientras que la concentración en la el acuífero de la Hoya de Alfambra situado bajo el río varían entre los 25 mgNO3/l en la Rambla de la Hoz y los 40 mgNO3/l en Villalba. Estos valores, indican que los aportes de agua de la Hoya de Alfambra al río Alfambra son muy reducidos o nulos en la actualidad.

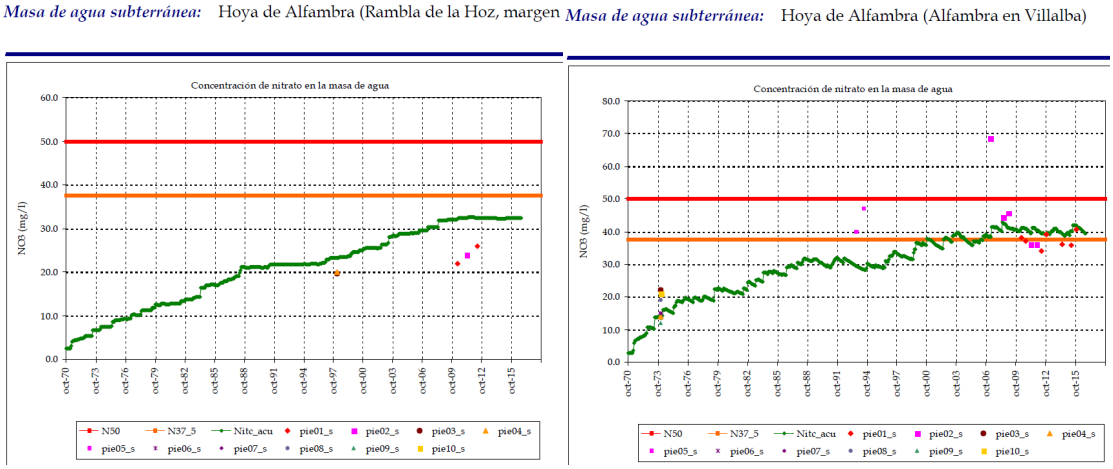


Figura 54. Concentración de nitrato en la masa de agua subterránea de la Hoya de Alfambra, en la Rambla de la Hoz y en Villalba.

Los nieles piezométricos de la masa de agua de la Hoya de Alfambra en la zona de Villalba y en la zona de Teruel, confirman la existencia de un descenso significativo, de 3-4 m en la zona de Villalba y de 12 m en la zona de Teruel. Mientras que los niveles en la cabecera en la Rambla de la Hoz se mantienen estables.

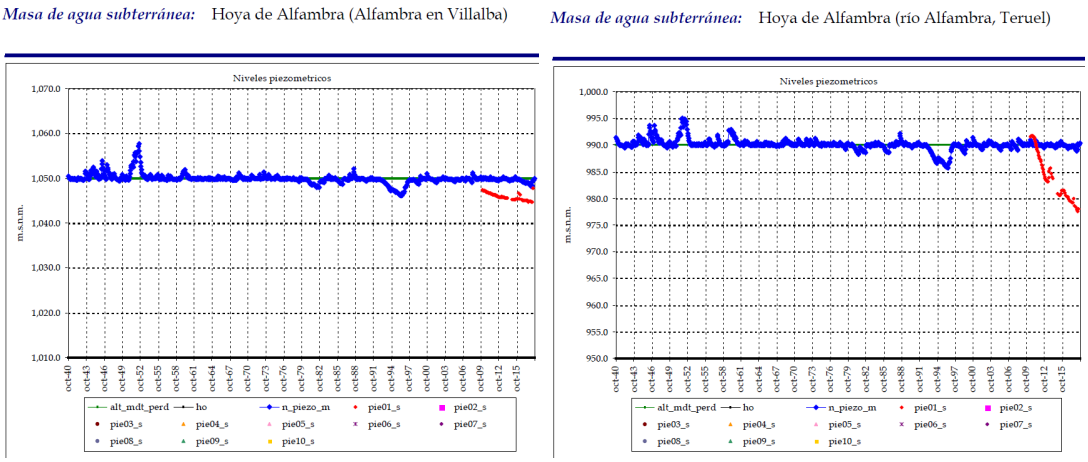


Figura 55. Niveles piezométricos en la masa de agua subterránea de la Hoya de Alfambra, en la Rambla de la Hoz y en Villalba.

Los bombeos existentes en esta masa de agua subterránea 0.6 hm3/año en relación a la recarga de lluvia 12 hm3/año, no justifican los descensos producidos. Estos descensos únicamente pueden ser compatibles con el drenaje subterráneo de esta masa a masas de agua subterráneas contiguas.

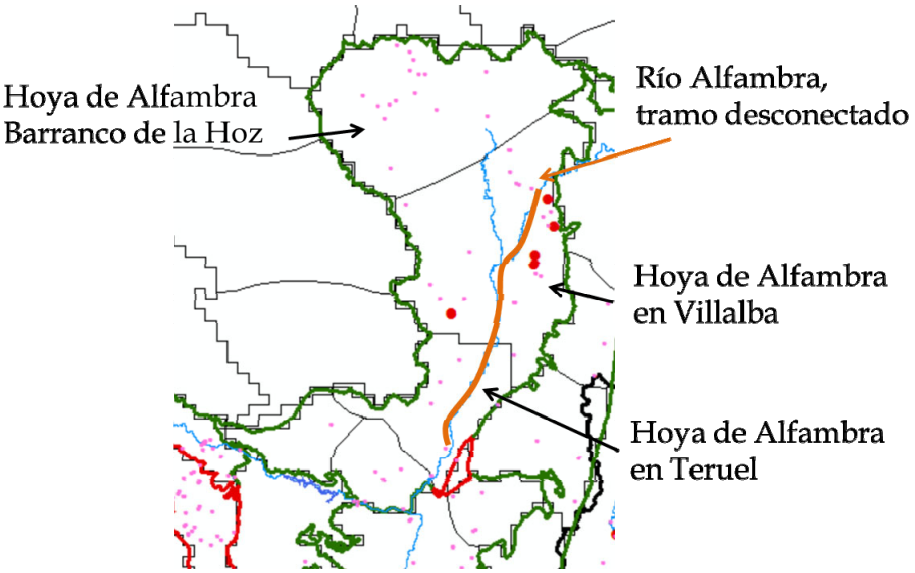


Figura 56. Tramo desconectado del río Alfambra de la masa de agua subterránea de la Hoya de Alfambra.

4.9 Mejora de la estimación de los aportes de agua a la Albufera de Valencia

El modelo de simulación incluye dos tipos de aportes de agua al Lago de l`Albufera de Valencia y su entorno. Aporte superficial procedente de los barrancos y acequias: Barranco del Poyo, Barranco de Picasent, barrancos menores y la acequia de Overa y del Clot, y el aporte superficial procedente del drenaje de la Plana de Valencia Sur en las inmediaciones del parque natural de l`Albufera de Valencia. Y por otra parte, el aporte subterráneo al parque natural procedente de la Plana de Valencia Sur.

Para el periodo 1980/81-2017/18 el aporte total obtenido en condiciones naturales es de 95 hm3/año. Siendo, el aporte superficial de 70 hm3/año, donde 15 hm3/año corresponde con el aporte de escorrentía superficial directa y 55 hm3/año corresponde con el aporte superficial procedente del drenaje de los acuíferos. Los aportes subterráneos son de 25 hm3/año.

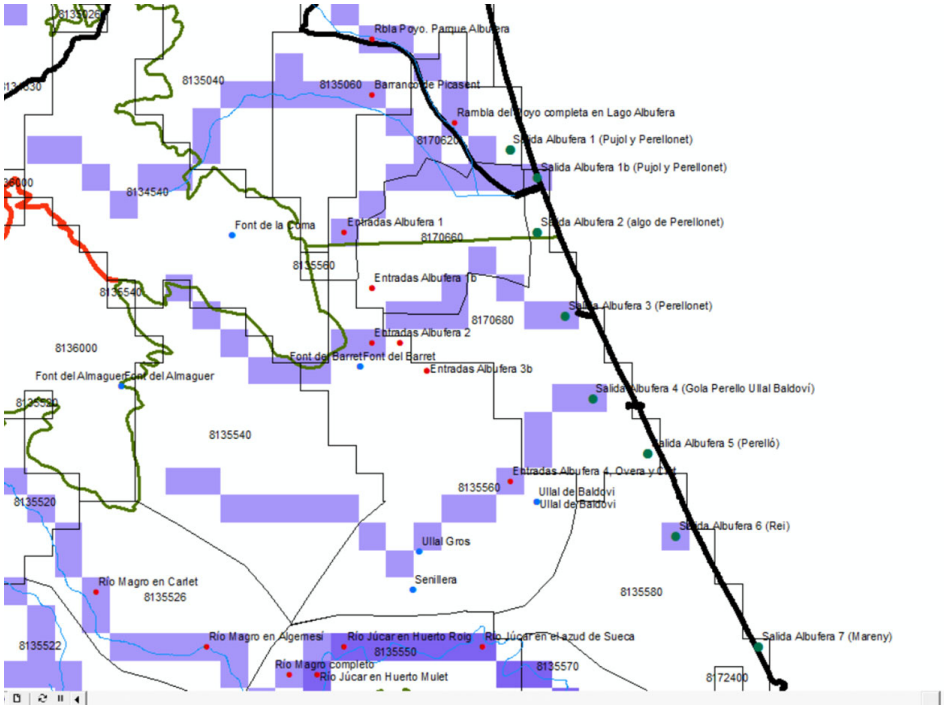


Figura 57. Detalle del modelo de simulación del entorno de l`Albufera de Valencia.

Los aportes subterráneos directos obtenidos son muy regulares dado que se originan por las diferencias entre los niveles piezométricos del acuífero, siendo estos relativamente poco variables. Los aportes superficiales son muy irregulares y aparecen únicamente durante los eventos de lluvia. Finalmente, los aportes superficiales de procedencia el drenaje de los acuíferos, tienen un comportamiento intermedio entre los dos casos anteriores.

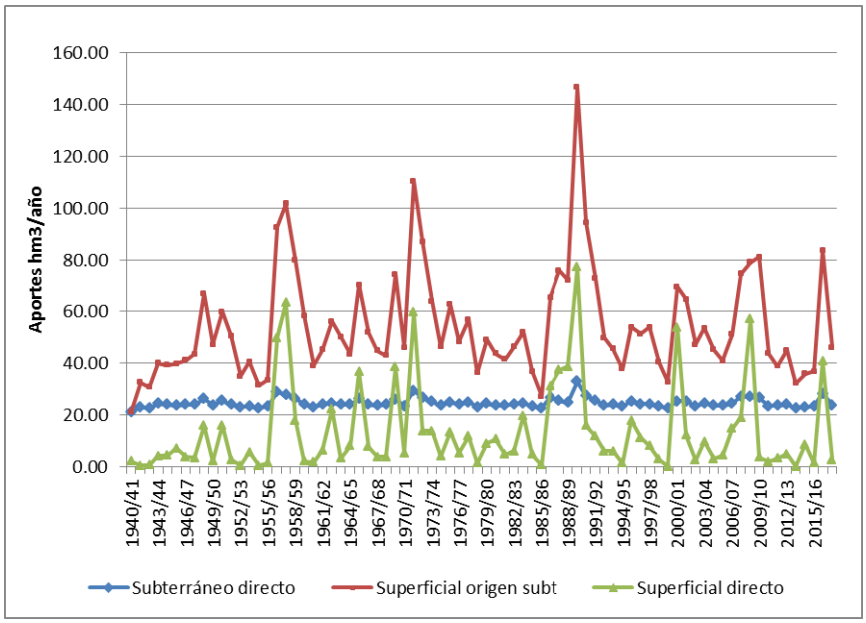


Figura 58. Aportes al entorno de l`Albufera de Valencia según su origen. Superficial directo, superficial procedente del drenaje de acuíferos y subterráneo directo.

Los aportes superficiales se desglosan entre los diferentes barrancos y acequias, según la siguiente tabla:

	SW	Total hm³/año	Superficial hm³/año	Subterráneo hm³/año
15032	Rbla Poyo. Parque Albufera	30.90	10.49	20.41
15034	Bco Picasent	3.55	1.86	1.69
15036	Entradas Albufera 1	10.96	0.46	10.50
15038	Entradas Albufera 1b	0.99	0.14	0.85
15054	Entradas Albufera 2	0.73	0.51	0.22
15056	Entradas Albufera 3, Font barret	1.81	0.05	1.76
15057	Entradas Albufera 3b	0.44	0.15	0.29
15066	Entradas Albufera 4, Overa y Clot	20.81	1.00	19.81

Tabla 17. Aportes superficiales al entorno del lago de l`Albufera de Valencia.

Por su parte los 24.6 hm3/año de aporte subterráneo directo, proceden 11.2 hm3/año de la Plana de Valencia Norte y 13.4 hm3/año de la Plan de Valencia Sur.

Los resultados obtenidos en condiciones naturales de aportes de agua al entorno de l`Albufera de Valencia, únicamente pueden obtenerse con la existencia de entradas laterales de agua subterránea a la Plana de Valencia Sur desde Las Pedrizas y desde el Caroch Norte, y la incorporación de agua a la Plana de Valencia Sur debido a la desconexión del río Júcar en el tramo final.

4.10 Calibración del modelo Patrical considerando la cantidad y la calidad del agua

Los trabajos realizados han consistido en la integración entre los resultados cuantitativos y de concentración de nitratos del modelo Patrical en la Demarcación del Júcar.

La Demarcación del Júcar cuenta con el modelo Patrical para esta Demarcación. Con este modelo se determinan los flujos de agua superficiales y subterráneos en la Demarcación, tanto en régimen natural como en régimen alterado.

Por otra parte se ha realizado para la Subdirección de Planificación del Ministerio un modelo de simulación del transporte de nitrato para toda España, también con la herramienta Patrical. Con este modelo se determinan las concentraciones de nitrato en acuíferos y en ríos en toda la Demarcación del Júcar.

En los últimos meses se ha realizado el análisis conjunto de los resultados cuantitativos y cualitativos en la Demarcación para lograr su coherencia y reproducir el esquema de flujo. La combinación de estos dos aspectos ha permitido mejorar el conocimiento del esquema de flujo existente en la Demarcación.

Los principales resultados alcanzados, integrando tanto aspectos de cantidad como de calidad, los cuales se han logrado reproducir con el modelo de simulación Patrical han sido los siguientes:

- Tramo final del Júcar desde la confluencia del río Albaida hasta la desembocadura del Júcar. Este tramo es un tramo de río no conectado significativamente con el acuífero subyacente. Las concentraciones del acuífero en esta zona superan ampliamente los 50 mgNO3/l, mientras que el caudal circulante por el río es inferior a 25 mgNO3/l. Si existieran aportes significativos del acuífero la concentración de nitrato en el río sería mucho más elevada.
- Tramo del río Júcar entre el embalse de Tous y la confluencia del río Albaida. Este tramo es un tramo ganador de agua subterránea, siendo en esta parte del acuífero de la Plana de Valencia Sur la concentración inferior a 50 mgNO3/l. Para reproducir estos niveles de concentración de nitrato en el acuífero en esta zona, es necesaria la entrada de agua subterránea con concentración muy reducida desde el Caroch Norte a la Plana de Valencia Sur en esta zona.
- Río Albaida entre el embalse de Bellús y la confluencia del río Júcar. El río Albaida presenta niveles bajos de nitrato por lo que recibe un aporte subterráneo significativo justo aguas abajo del embalse de Bellus, cuya procedencia es la masa de agua de Sierra Grossa, que cuenta con concentraciones muy bajas de nitrato. Los aportes de agua procedentes de la masa de agua de Hoja de Xátiva son poco significativos, dado que esta masa cuenta con elevadas concentraciones de nitrato. Además, los

aportes de agua de procedencia del Cáñoles también son menores que los procedentes de Sierra Grossa, dado que los aportes del Cáñoles superan los 25 mgNO3/l, mientras que la concentración final en el Albaida no alcanza los 25 mgNO3/l.

- Cabecera del río Magro. La cabecera del río Magro es también un tramo con concentraciones de nitrato inferiores a 25 mgNO3/l, que se encuentra situado sobre el acuífero de Utiel-Requena, el cual registra concentraciones superiores a 40 mgNO3/l. Por este motivo, este tramo de río no recibe aportes significativos de agua del acuífero, dado que elevaría la concentración registrada en el río.
- Río Alfambra hasta la confluencia con el río Guadalaviar. El acuífero de la Hoya de Alfambra, presenta concentraciones de nitrato elevadas, en algunas zonas valores próximos a los 40 mgNO3/l. Esto implica que si el acuífero estuviese conectado con el río en esa zona, las concentraciones registradas en el río sería mucho más elevadas que las medidas en la actualidad. Por otra parte, existen zonas en este acuífero con bajas concentraciones, sin embargo los niveles piezométricos son claramente descendentes, por lo que en base a eso, el acuífero está reduciendo paulatinamente sus aportes de agua al río.

6 Modelos de aguas subterráneas de Utiel-Requena y Cabrillas -Malacara y Plana de Valencia

6.1 Introducción

Este informe presenta los detalles acerca del diseño, construcción y calibración de los modelos numéricos de flujo de agua subterránea de:

1. El acuífero de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara.
2. El acuífero de la Plana Norte y de la Plana Sur de Valencia.

En el primer caso se ha tomado como punto de partida el trabajo de Fernández-Urizar (2017) y en el segundo caso el de Citores-Martínez (2018). Ambos modelos fueron íntegramente revisados y reconstruídos introduciendo gran cantidad de mejoras lo que permitió alcanzar una mejor representación de los sistemas modelados.

Los modelos se implementaron utilizando el código MODFLOW (McDonald, M. y Harbaugh, A., 1984) y la interfaz gráfica de usuario ModelMuse (Winston, R.B., 2009).

6.2 Modelo de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara

6.2.1 Motivación

En los últimos años, en la Comunidad Valenciana la explotación de las aguas subterráneas ha sufrido un crecimiento considerable, por lo que, en algunos lugares, los niveles piezométricos se han visto notablemente afectados. Es lo que ha ocurrido en las masas de agua subterránea de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara. En el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar del ciclo 2015-2021, la primera de estas masas de agua ha sido declarada en mal estado cuantitativo.

Con la finalidad de recuperar el buen estado y dar una solución a los usuarios de esta masa, se establece la necesidad de elaborar un modelo numérico que analice su comportamiento, así como las posibles relaciones río-acuífero y el efecto de los bombeos y reservas asignadas en los últimos años.

6.2.2 Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo pasan por:

1. Elaborar un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero de Requena-Utiel, teniendo en cuenta toda la información y los antecedentes disponibles.

2. Diseñar, construir y calibrar el modelo utilizando el código MODFLOW (McDonald, M. y Harbaugh, A., 1984) y la interfaz gráfica de usuario ModelMuse (Winston, R.B., 2009).

6.2.3 Antecedentes

Con el fin de llevar a cabo una correcta gestión y planificación de los recursos hídricos de la zona de estudio, en el año 2001 se realizó el primer Plan de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 08.24 Utiel-Requena, elaborado de acuerdo con el artículo 85.3 de la Normativa del Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar (CHJ, 1997) y la consulta del RD 1664/98 relativo a la aprobación de los planes hidrológicos de cuenca.

Los objetivos principales de los planes de explotación son garantizar la permanencia de aprovechamientos vigentes en el momento de aprobación del mismo, impedir el deterioro de los recursos hídricos por procesos contaminantes y potenciar las medidas para restaurar las problemáticas y desequilibrios existentes, en este caso haciendo hincapié en la intensa explotación del acuífero por riego de viñedo (CHJ, 2001).

Para la elaboración del Plan de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 08.24 Utiel-Requena 2001, se llevaron a cabo varios análisis y estudios que permitieron un conocimiento profundo y actualizado del funcionamiento de la misma. Entre todos los estudios, se realizó un modelo matemático de simulación, mediante la herramienta Visual Modflow 2.8.2.

Primeramente, se elaboró un modelo de flujo en régimen estacionario para la situación piezométrica de septiembre del año 2000, que describía el funcionamiento de la unidad hidrogeológica en aquel instante. Las extracciones cuantificadas suponían una salida de 22.359.521 m^3/año, producidas a través de 630 pozos de bombeo.

Después, se decidió analizar un escenario que contemplase todas las solicitudes de derechos concesionales que se estaban tramitando en el año 2000. Las salidas por extracciones aumentaron a 23.846.863 m^3/año, debido a un incremento de 96 pozos de bombeo.

Para finalizar, se estudió un horizonte futuro, una situación hipotética basada en un estudio de demandas futuras. Se tuvieron en cuenta las mayores parcelas de viñedo de secano, suponiendo que podían ser transformadas en regadío antes del año 2008. A pesar de existir problemas de convergencia y una baja calibración del citado escenario, el resultado fue que bajo esas condiciones la Unidad Hidrogeológica (UHG) se encontraría en una situación de sobreexplotación.

A la luz de los resultados obtenidos, se concluía que era necesario prestar especial atención a los aspectos cuantitativos del sistema de acuíferos, debido a la transformación de los usos del suelo que se estaba experimentando y al carácter dinámico de la UHG. En consecuencia, el plan de explotación planteaba una serie de cuestiones a considerar con objeto de adquirir un control sobre la

situación y alcanzar una gestión sostenible del sistema. Especialmente, remarcaba la necesidad de una actualización a medio o a corto plazo del plan.

Del año 2001 en adelante, se realizaron varios trabajos y estudios encaminados a obtener una mejor definición de las masas de agua, así como un mayor conocimiento de las relaciones entre las mismas.

En el año 2005, con objeto de dar cumplimiento a las condiciones definidas en el artículo 5 de la Directiva Marco del Agua (DMA), se llevó a cabo la primera de las delimitaciones de las masas de agua subterráneas bajo la Dirección General del Agua (DGA). Dicha delimitación fue recogida en el "Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias" (IGME-DGA, 2005). El artículo 5 de la DMA definía la masa de agua subterránea 080.026 Requena-Utiel.

Más adelante, con la aprobación de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) por la Orden ARM/3656/2008, de 10 de septiembre, se establecieron criterios técnicos para una mejor definición de las masas. Por ello, la entrada en vigor de la IPH requirió una revisión de los límites contemplados en el estudio realizado en el año 2005. Por consiguiente, dichas divisorias fueron adaptadas de acuerdo con las unidades litológicas contenidas en el Mapa Litoestratigráfico y de Permeabilidad de España (IGME, 2006).

Además, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), elaboró una caracterización adicional, mejorando la adaptación ya realizada (IGME-DGA, 2009a).

Dentro de estos trabajos, se llevó a cabo la caracterización adicional de las masas de agua en riesgo correspondientes a la Demarcación Hidrográfica del Júcar (IGME-DGA 2009b).

Con la finalidad de adaptar y complementar la información de la caracterización de las masas de agua tras la publicación de la IPH, en abril de 2011, el IGME publicó otro documento formado por un conjunto de fichas que constituían una determinación básica de cada una de las nuevas masas, las cuales formaban la base de gestión del PHJ 2009-2015 (IGME, 2011).

Dichos trabajos posibilitaron un mayor conocimiento general de la hidrología subterránea de la Comunidad Valenciana, lo que conllevó a una mejor definición de las masas de agua subterráneas. Por consiguiente, la masa de agua subterránea objeto de este estudio, fue definida como 080.133 Requena-Utiel, coincidente con límites ajustados de la masa 080.026 Requena-Utiel (artículo 5 de la DMA) e integrada en la UHG 8.24 Utiel-Requena.

En paralelo, se redactó el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar del ciclo 2009-2015, aprobado por el Real Decreto 595/2015, de 11 de julio. Para la zona de estudio, dicho plan establecía ciertas condiciones y medidas a aplicar para avanzar en la gestión sostenible del sistema. Teniendo en cuenta que la problemática principal de la UHG se debía al aumento de las extracciones, se definió una dotación bruta de apoyo de 450 m^3/ha/año para el riego de la vid.

Sin embargo, desde la aprobación del mismo, los usuarios de la zona han manifestado que la dotación definida era insuficiente para el riego de la vid, especialmente en años secos y que consideraban necesario aumentarla.

Además, debido al desarrollo socioeconómico de la zona, la explotación de los recursos hídricos subterráneos se incrementó, por lo que los derechos concesionales y, en consecuencia, las superficies de regadío aumentaron considerablemente provocando un descenso no sostenible en la piezometría del sistema.

Por consiguiente, en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar del ciclo 2015-2021, aprobado mediante el Real Decreto 1/2015, de 8 de enero, la masa de agua subterránea Requena-Utiel fue declarada en mal estado cuantitativo.

Teniendo en consideración todos los requerimientos, el plan vigente ha incrementado la dotación bruta a 1250 m^3/ha/año para las masas de agua subterránea que presenten presión significativa por bombeos o que se encuentren en mal estado cuantitativo. Sin embargo, en el caso de Requena-Utiel, a partir de un acuerdo entre la Administración y los usuarios, y teniendo en cuenta los condicionantes de la zona, se ha establecido una dotación bruta media de 600 m^3/ha/año para la superficie consolidada de vid, así como para la superficie de nueva transformación de vid, olivar y almendro, que dependerá de las condiciones climáticas de cada año (año húmedo, medio o seco).

Igualmente, en el artículo 20.C.9 del Anexo XI de la Normativa del PHJ 2015-2021, se establece que "Se reservan 6,5 hm^3/año de recursos subterráneos de la masa de agua subterránea de Requena-Utiel para atender futuros crecimientos en la unidad de demanda urbana de Requena y de la industria de la zona, así como para la adecuación de concesiones de regadío y dotaciones en la comarca Requena-Utiel. Esta reserva podrá materializarse una vez se realice un plan de explotación de la masa de agua subterránea".

El volumen reservado se distribuirá de la siguiente manera:

- 5,5 hm^3/año se almacenarán para redotar a los usuarios con concesiones vigentes para regadío de cultivos de vid y dotar a concesiones que se encuentran en proceso de tramitación.
- 0,5 hm^3/año se utilizarán para la mejora de la garantía de los regadíos superficiales con derechos concesionales vigentes.
- El volumen restante completará los posibles crecimientos en la Unidad de Demanda Urbana de Requena y de la industria de la zona.

Además, el artículo 20.C.13 de la citada normativa establece una reserva adicional de 2 hm^3/año para atender nuevos usos de poca importancia.

Por lo tanto, debido a la necesidad de disponer de un plan de explotación actualizado de la masa de agua subterránea Requena-Utiel, en diciembre de 2016 se aprobó la redacción del mismo, de acuerdo con lo dispuesto en el PHJ 2015-2021. Junto con este plan, se establece la necesidad de elaborar un modelo

matemático que ayude a predecir el comportamiento del sistema y la evolución del mismo.

En resumen, los antecedentes revisados se han dividido de la siguiente forma:

1. Modelos:
    - CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar), 2001. En Redacción del plan de explotación de la unidad hidrogeológica 08.24 "Utiel-Requena", capítulo 6, páginas 415-494.
    - Mercé Gallo, A., 2015. Estudio de alternativas de gestión de agua subterránea en la cuenca del río Magro. Trabajo de fin de grado, Universitat Politècnica de València, 88 p.
    - Fernández-Urizar, I., 2017. Modelación matemática del flujo de agua subterránea del acuífero de Requena-Utiel. Estudio del plan de explotación de la masa de agua. Trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de València, 95 p.
2. Delimitación de la masa de agua subterránea:
    - MIMAM (Ministerio de Medio Ambiente), 2005. Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias.
    - IGME-DGA (Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua), 2009. Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015.
    - IGME-DGA (Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua), 2011. Informe sobre la caracterización básica de las masas de agua subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
3. Planes hidrológicos:
    - CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar), 1998. Plan hidrológico de la Cuenca del Júcar. Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio.
    - CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar), 2014. Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar del ciclo 2009-2015. Real Decreto 595/2014, de 11 de julio.
    - CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar), 2016. Plan hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar del ciclo 2015-2021. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero.
4. Planes específicos de explotación:
    - CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar), 2001. Redacción del plan de explotación de la unidad hidrogeológica 08.24 "Utiel-Requena".

- CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar), 2016. Plan de explotación de la masa de agua subterránea Requena-Utiel.

Todos estos documentos se han utilizado para la implementación del modelo matemático de las masas de agua subterránea de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara.

6.2.4 Marco hidrológico

6.2.4.1 Localización del área de estudio

La masa de agua subterránea de Requena-Utiel, se sitúa en el sudeste de la Península Ibérica, en el centro de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Figura 59). Cuenta con una superficie total de 987,9 km^2. La mayor parte de la misma (966,4 km^2), se localiza en la provincia de Valencia, perteneciendo la parte restante a la provincia de Cuenca. Por su parte, la masa de agua subterránea de Cabrillas-Malacara, tiene una superficie de 286,34 km^2.

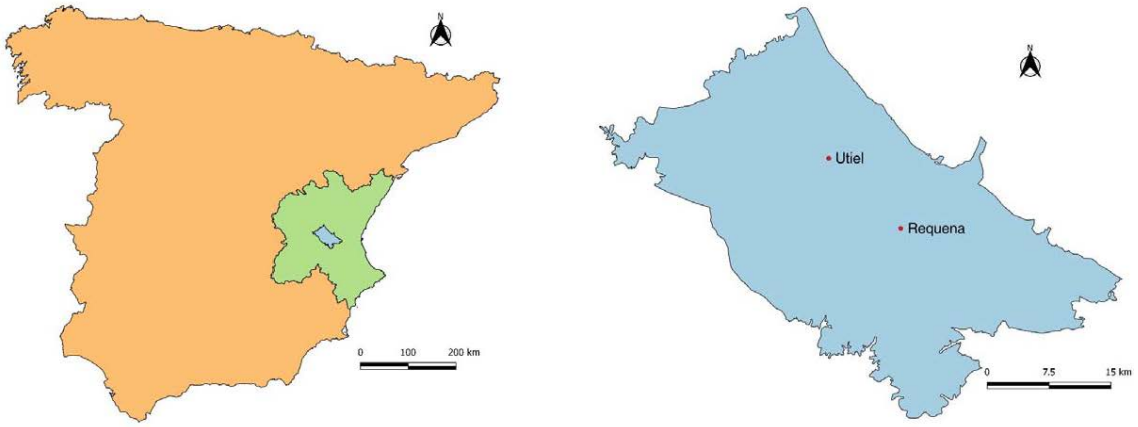


Figura 59. Localización del área de estudio.

De toda la zona de estudio, aproximadamente el 96,5% se encuentra dentro del sistema de explotación Júcar y la parte restante pertenece al sistema de explotación Turia.

6.2.4.2 Clima, temperatura y precipitación

La zona de estudio presenta un clima mediterráneo con algunos rasgos de continentalidad debido a la altitud en algunas zonas y el alejamiento al mar. La región se caracteriza por su sequedad, con dos estaciones lluviosas, un verano corto y un invierno de heladas muy largo. También por una gran amplitud térmica que se puede dar entre las estaciones cálidas y frías o incluso entre el día y la noche.

La temperatura media anual en la zona durante el periodo 1940/41 a 2015/16 es 13.5 ºC, y durante el periodo 1980/81 a 2015/16 de 14 ºC (Figura 60).

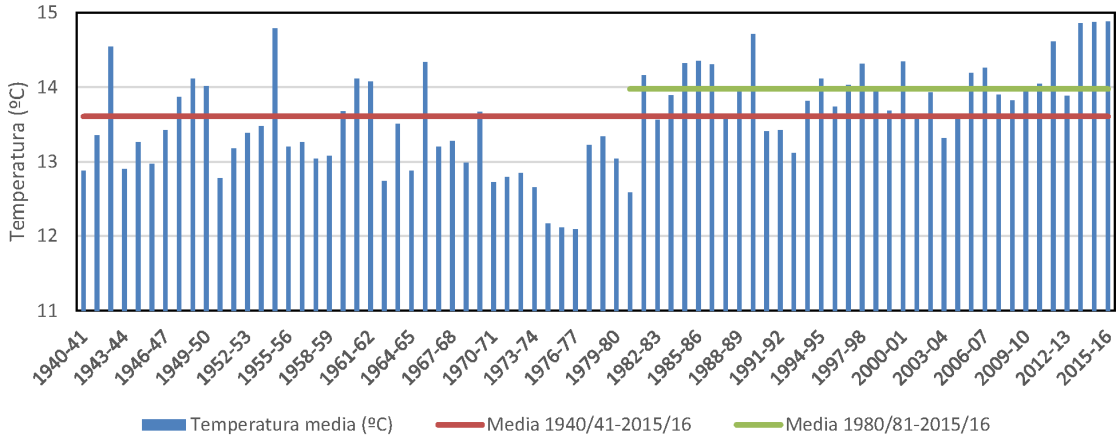


Figura 60. Evolución anual de la temperatura.

La zona se caracteriza por un verano corto y un invierno largo, registrándose en verano temperaturas de hasta 40 ºC y en invierno mínimas de 15 ºC bajo cero. La temperatura media registrada es de 13 ºC con máximas de 37 ºC en verano y mínimas de -3 ºC en los meses de invierno (Figura 61).

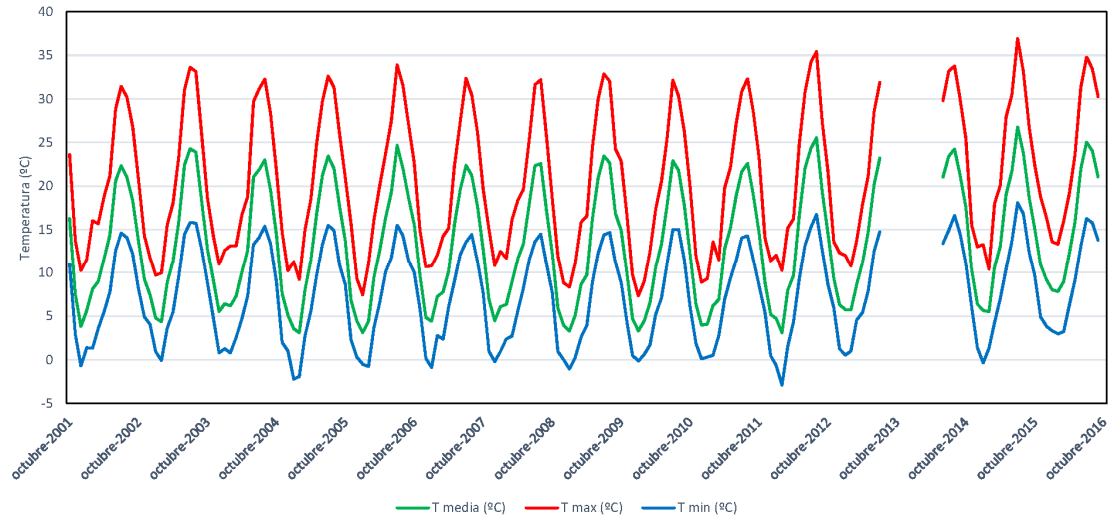


Figura 61. Evolución diaria de la temperatura en la estación meteorológica de Requena.

La precipitación media anual en la zona durante el periodo 1940/41 a 2015/16 es de 424 mm, y durante el periodo 1980/81 a 2015/16 de 408 mm (Figura 62).

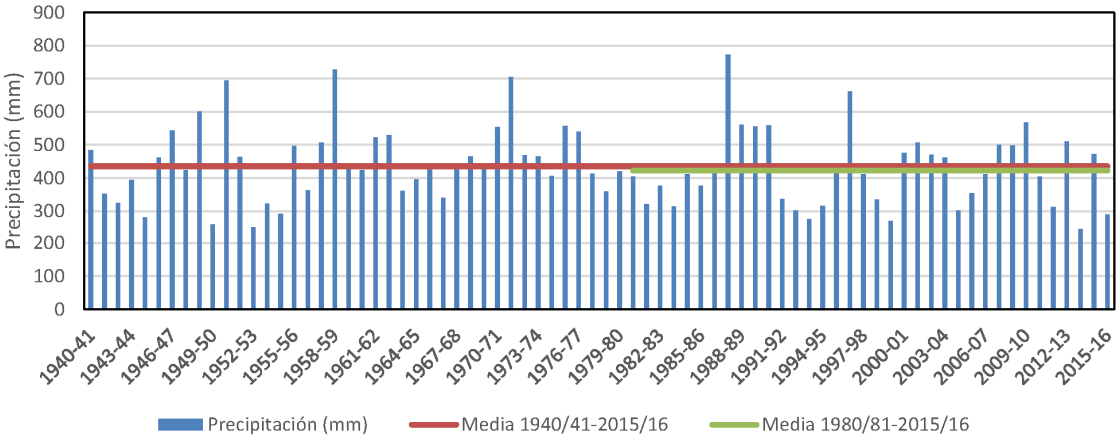


Figura 62. Evolución anual de la precipitación.

Las precipitaciones son irregulares, siendo los meses de abril y octubre los más lluviosos, que coinciden con los meses de recolección de la uva. En verano apenas se registran precipitaciones, lo que provoca ascensiones rápidas de masas de aire recalentado que vienen seguidas de tormentas de granizo. Los meses más húmedos son septiembre, octubre, mayo y abril, y julio y agosto se corresponden como los meses más secos (Figura 63).

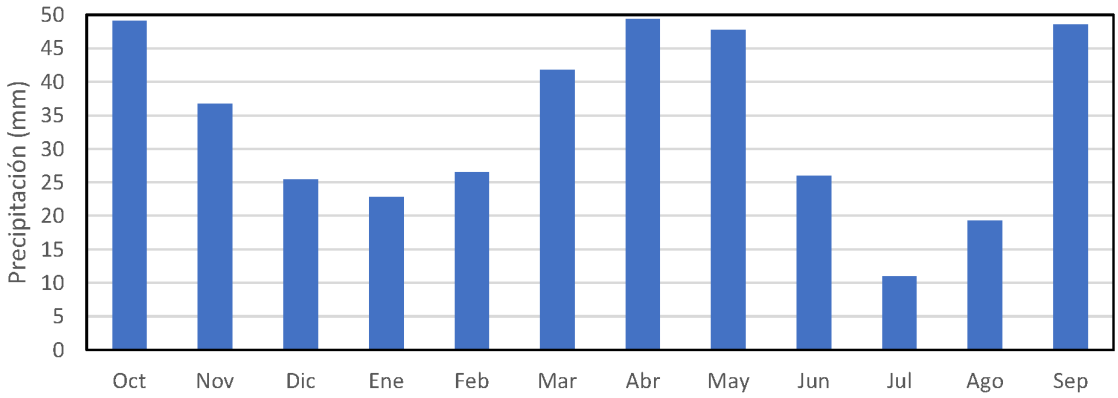


Figura 63. Precipitación media mensual entre 2001 y 2016.

6.2.4.3 Modelo digital del terreno

Para definir la superficie del terreno (límite superior del modelo), se ha utilizado un modelo digital del terreno a escala 25 m² (Figura 64).

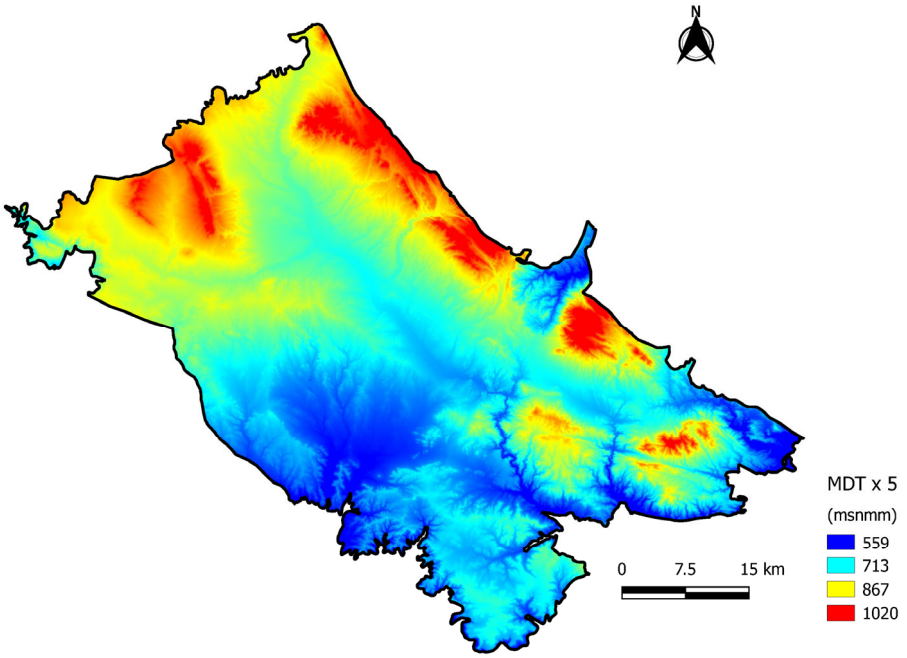


Figura 64. Modelo digital del terreno.

6.2.4.4 Red fluvial, embalses y manantiales

En principio, la red fluvial a considerar en el modelo estaría integrada por los ríos Magro y su afluente el río Madre, y los ríos Buñol, Mijares, Reatillo y Romeroso (Figura 65).

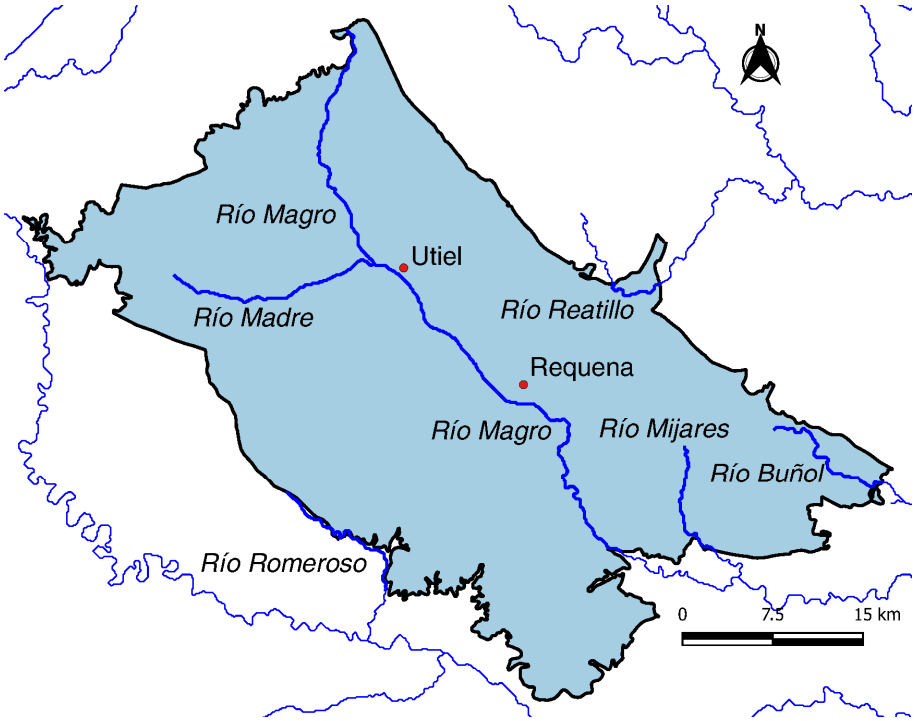


Figura 65. Red fluvial.

No hay embalses dentro de las masas de agua, siendo los más cercanos los de Contreras y Forata. Se estudiará la evolución de los caudales llegados a Forata y la posibilidad de incluir manantiales en el modelo.

6.2.4.5 Límites

El área a modelar limita al este con la masa de agua subterránea de Las Serranías. Éstas se unen por la traza de cabalgamiento entre los municipios de Sinarcas y Buñol. Al suroeste el límite es totalmente impermeable, siendo el flujo de transferencia completamente nulo. Al sureste existe la masa de agua subterránea de Buñol-Cheste. A lo largo del límite oeste se encuentra la masa de agua subterránea de Hoces de Cabriel. La relación entre la zona de estudio y esta masa es confusa. Al norte se encuentran las formaciones cretácicas de la masa de agua subterránea de Mira (figura 8).

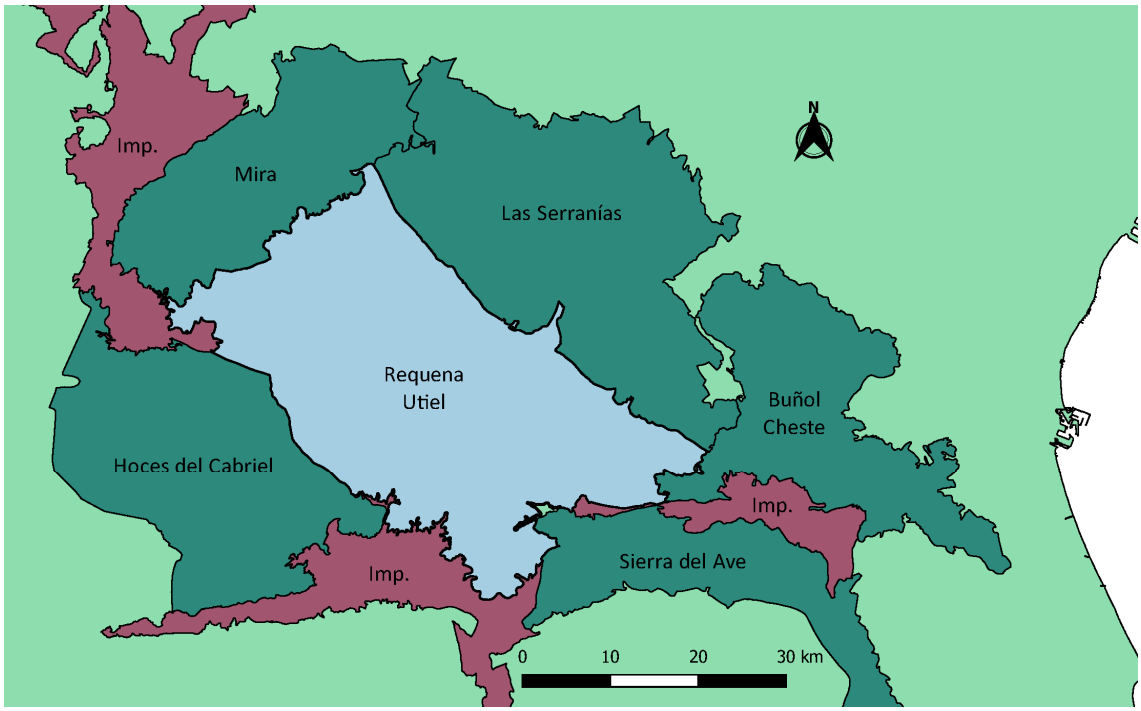


Figura 66. Límites de la zona de estudio.

6.2.4.6 Unidades hidrogeológicas

En base a CHJ (2001), se plantean las mismas unidades para este modelo, esto es:

1. Acuífero cuaternario: libre por naturaleza, compuesto por materiales detríticos del aluvial del Magro y glacis de la Sierra de Utiel.
2. Acuífero mioceno, dividido en dos sistemas:
    a. Mioceno calcáreo: se trata como acuífero libre y está compuesto por calizas pontienses drenadas por materiales de borde.
    b. Mioceno conglomerático de base: tiene un comportamiento característico de un acuífero confinado o semiconfinado, dependiendo de las zonas, y se compone de niveles alternantes de conglomerados y areniscas con tramos arcillosos y conglomerados de la formación terciaria.

Las unidades anteriores se extienden a la masa de agua de Cabrillas-Malacara. Todos estos acuíferos se encuentran sobre una base impermeable de facies de Keuper. En la Figura 67 se pueden ver las cotas del techo del modelo y de la base de las tres capas.

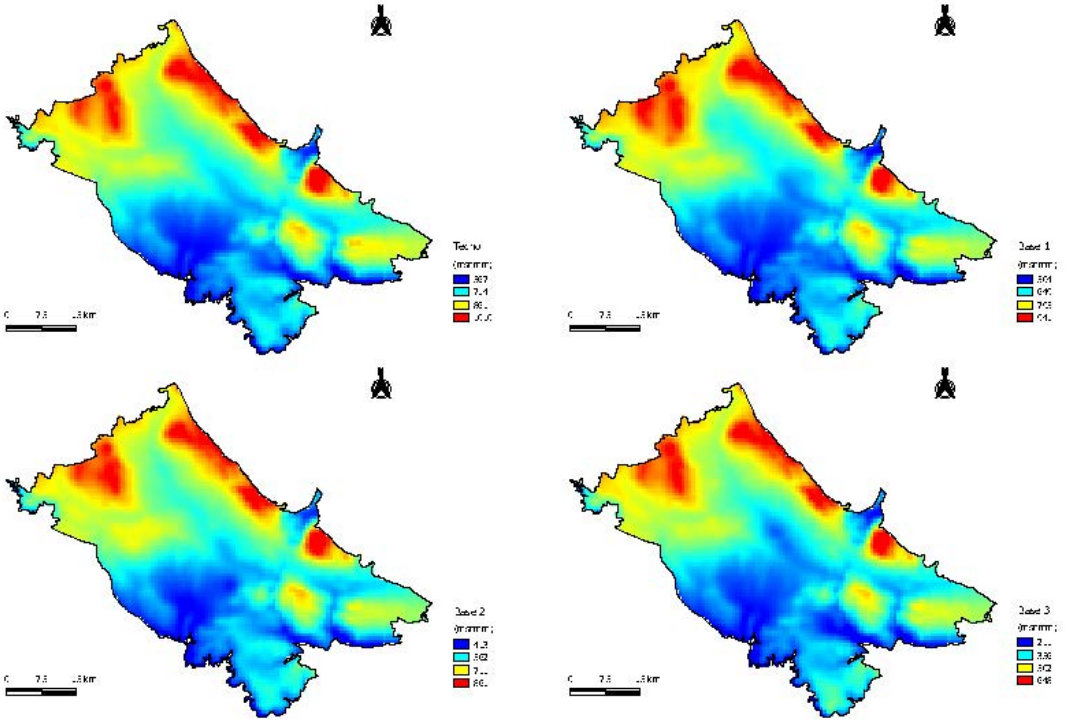


Figura 67. Límites verticales del modelo.

6.2.4.7 Dominios hidrogeológicos

A partir de un análisis de mapas hidrogeológicos, litológicos y de permeabilidad y de fichas de caracterización de las masas de agua subterránea, se determinan 4 dominios hidrogeológicos:

1. Dominio 1: formaciones de una permeabilidad muy alta. Gravas, arenas, limos (depósitos aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales).
2. Dominio 2: formaciones de una permeabilidad alta. Arenas, margas y calizas.
3. Dominio 3: formaciones de una permeabilidad media. Calizas, dolomías y margas.
4. Dominio 4: formaciones de una permeabilidad baja. Margas, arcillas, yesos, conglomerados, areniscas.

En la Figura 68 se ve el mapa de permeabilidades utilizado y en la Figura 69 los dominios establecidos.

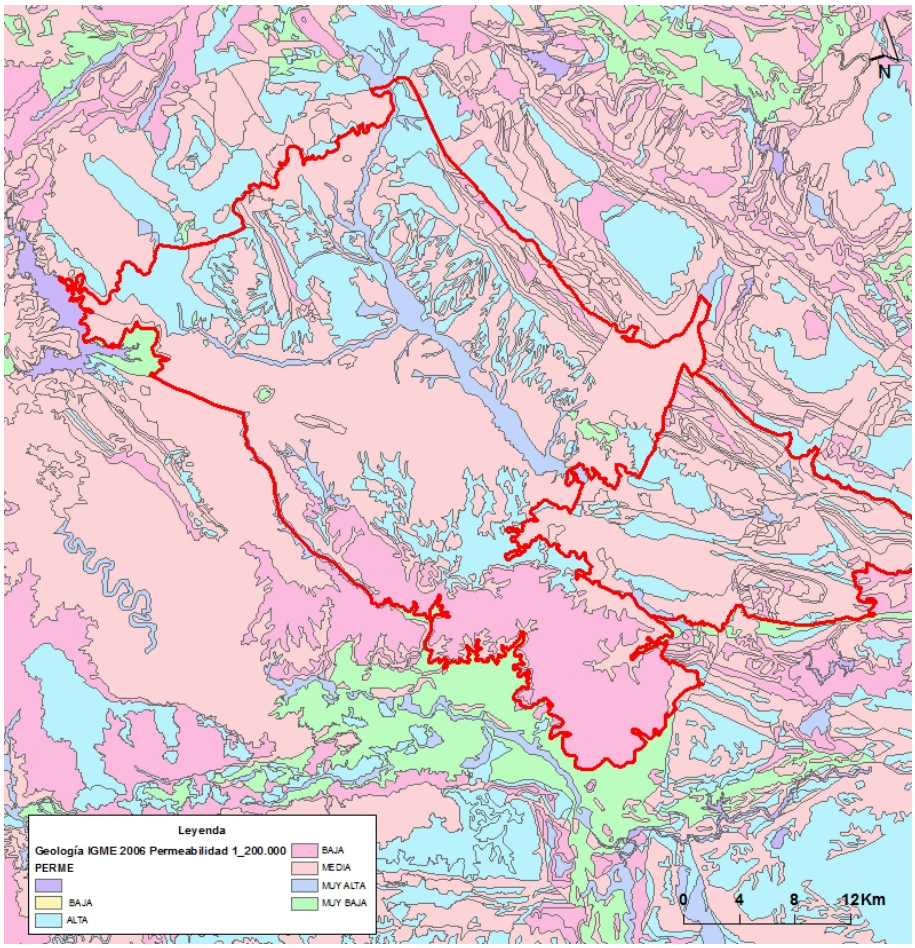


Figura 68. Permeabilidades según IGME.

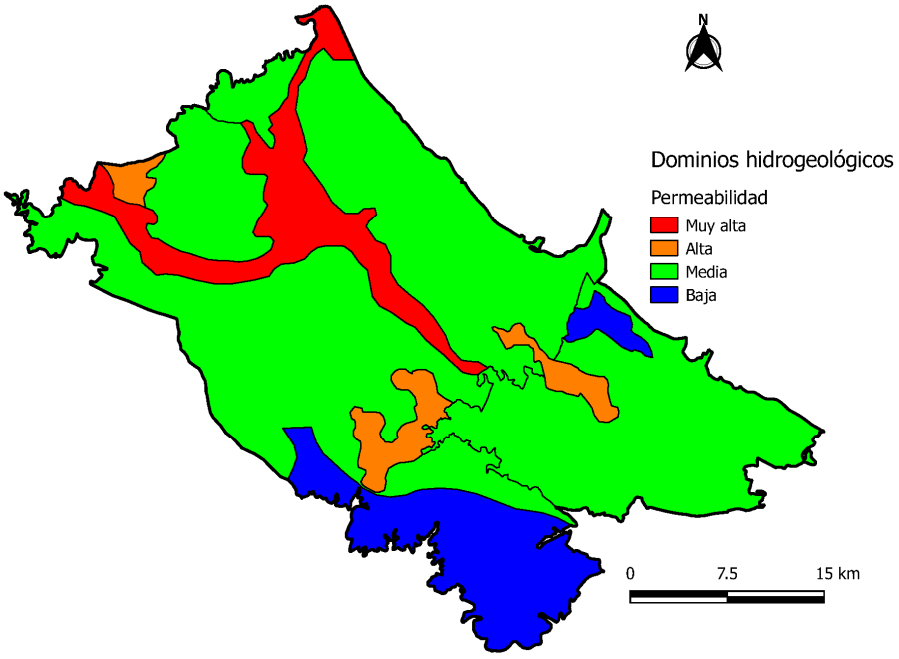


Figura 69. Dominios hidrogeológicos.

6.2.5 Información disponible

6.2.5.1 Piezometría

En la Figura 70 se ha representado la localización de los piezómetros dentro del dominio del modelo (verde) y los que se encuentran cercanos a los límites del mismo (rosa).

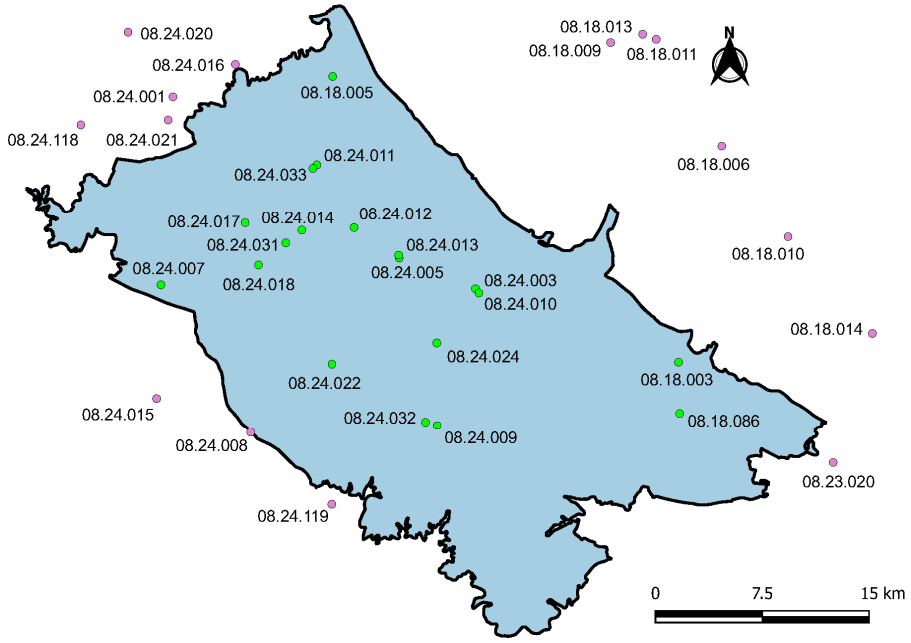


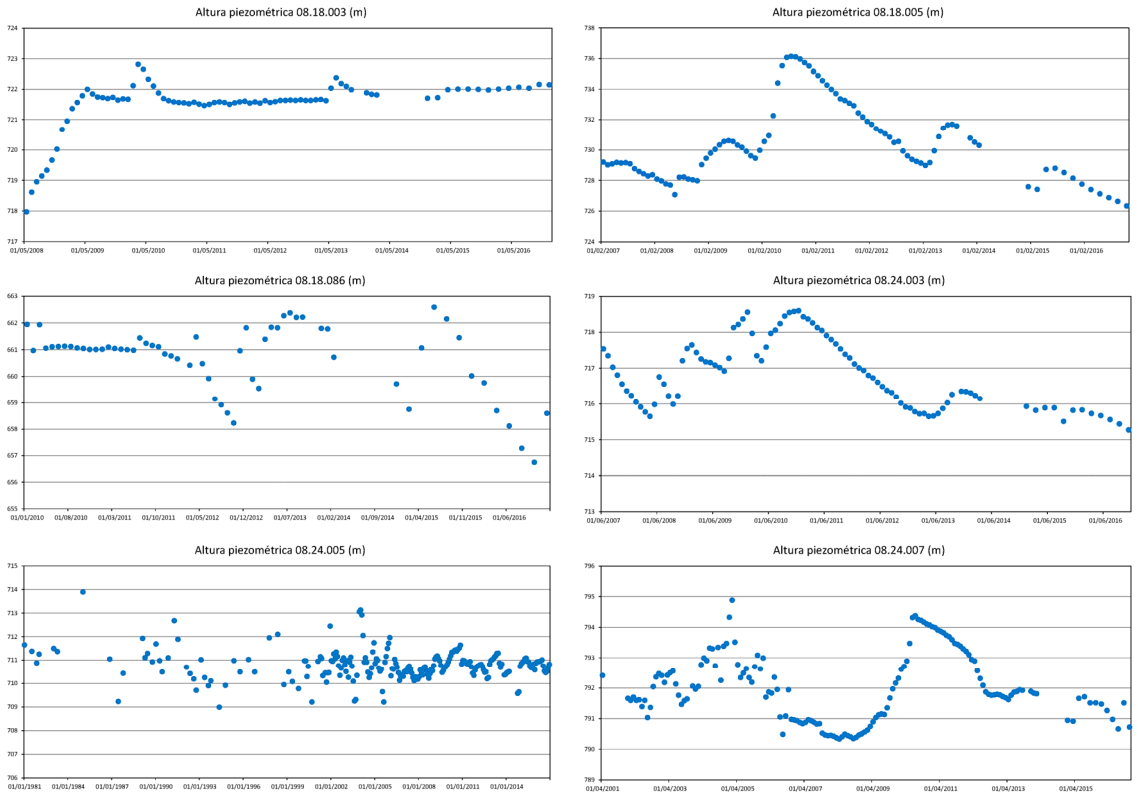
Figura 70. Localización de los piezómetros en el área de estudio.

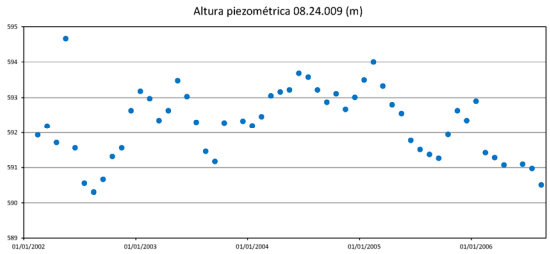
En la Figura 71 y en la Figura 72 se representan la longitud de las series de ambos conjuntos de piezómetros.

Figura 71. Duración de las series piezométricas en los pozos dentro del área de estudio.

Figura 72. Duración de las series piezométricas en los pozos fuera del área de estudio.

En las figuras 15 y 16 se pueden observar las series de cada uno de los pozos que se encuentran dentro de los límites de las masas de agua. Aunque dentro hay 19 piezómetros, hay 4 de los que no se dispone de información.





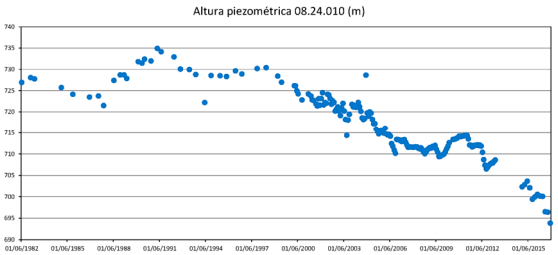
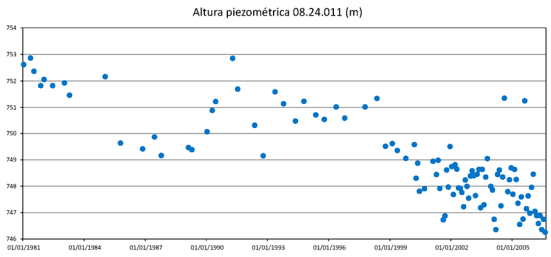
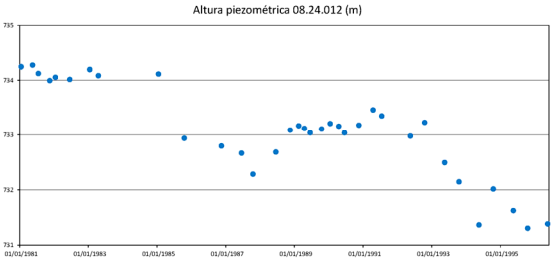
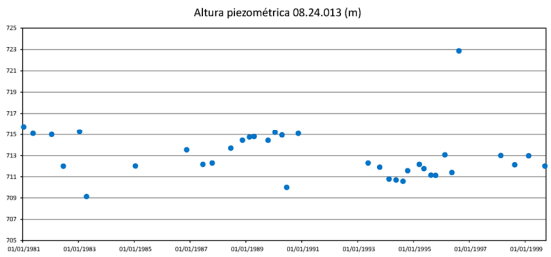
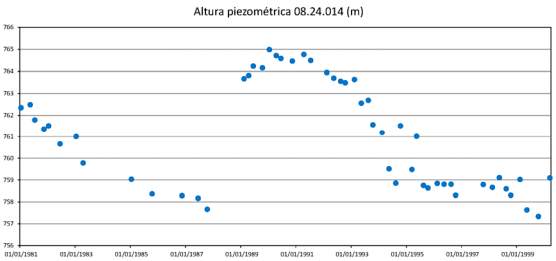


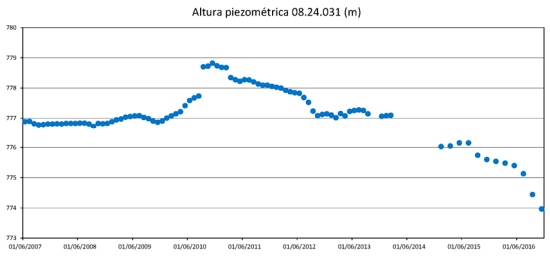
Figura 73. Series de altura piezométrica en los piezómetros del área modelada.

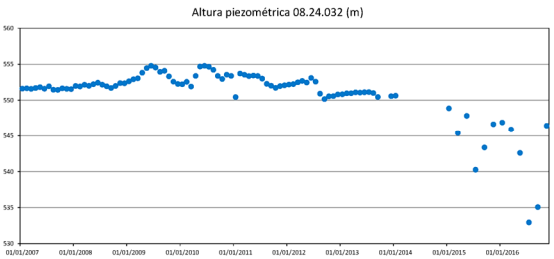












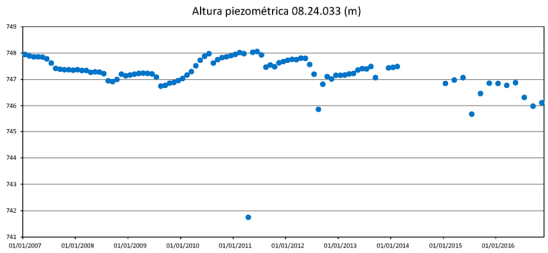


Figura 74. Series de altura piezométrica en los piezómetros del área modelada.

6.2.5.2 Flujos

En principio se dispone de los caudales registrados en la estación de aforos de Requena (Figura 75) y de los caudales de entrada al embalse de Forata (Figura 76).

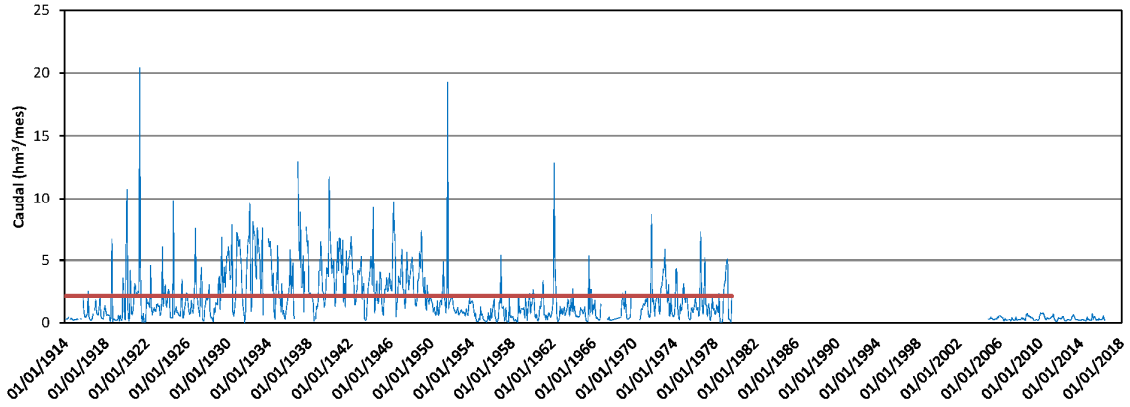


Figura 75. Caudales aforados en la estación de Requena.

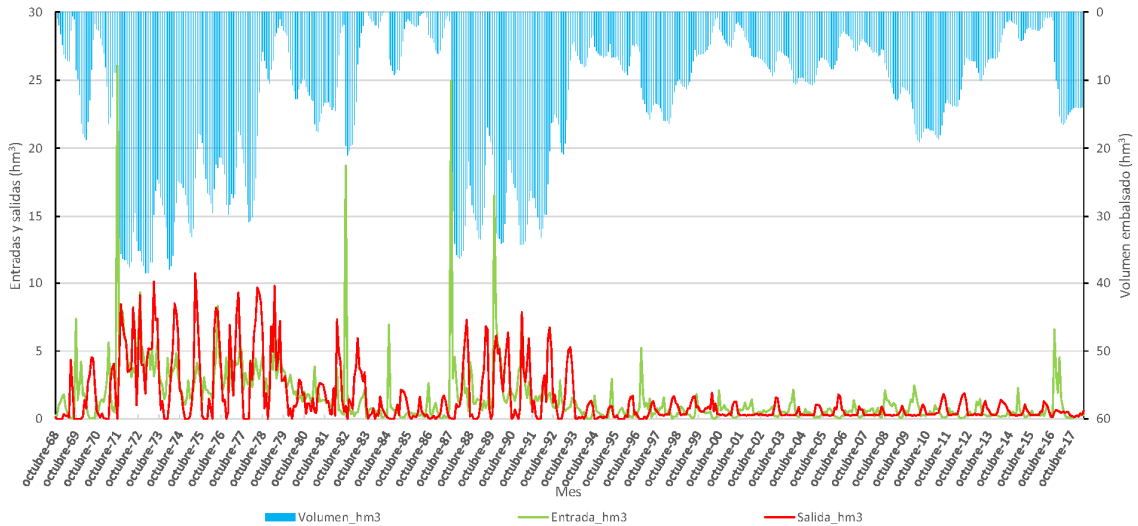


Figura 76. Volúmenes mensuales de entradas y salidas al embalse de forata.

La Rambla Ruices, nombre que recibe el Romeroso antes de la confluencia con el Cabriel, está caracterizada como ocasional o episódica. No parece que vaya a tener mucha aportación.

El río Mijares parece estar desconectado del acuífero y no suele llevar agua. Aunque está caracterizado como ganador por el IGME y podría haber llevado agua en el pasado.

Acerca del río Buñol se estima que en los meses de noviembre a febrero tiene un caudal mínimo de 100 l/s (8640 m^3/día).

El único dato que se puede aportar en relación al río Reatillo como aportaciones del río son las entradas al embalse de Buseo (Figura 77).

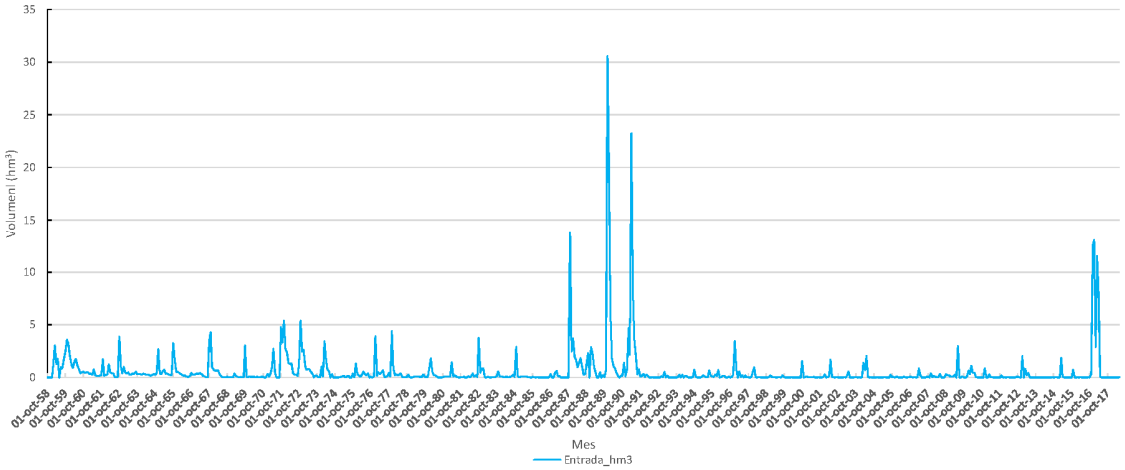


Figura 77. Entradas mensuales al embalse de Buseo.

A partir de la caracterización descrita en las fichas de masas de agua subterránea (IGME-DGA, 2011), se ha obtenido la siguiente información acerca de los posibles flujos entre la masa en estudio y sus vecinas:

1. Mira: existe un flujo hacia Requena-Utiel de entre 3 y 5 hm^3/año.
2. Las Serranías: no hay intercambio de flujo.
3. Buñol-Cheste: recibe un flujo desde Cabrillas-Malacara de unos 24 hm^3/año.
4. Hoces de Cabriel: no hay intercambio de flujo.

6.2.5.3 Recarga

Se dispone de información acerca de:

- Recarga por infiltración del agua de precipitación.
- Recarga por infiltración de los retornos de riego.

La recarga por infiltración del agua de precipitación se estima mediante PATRICAL (Pérez-Martín, 2005) a escala mensual. En la Figura 78 se puede ver la zonificación utilizada para la misma y en la Figura 79 su evolución anual.

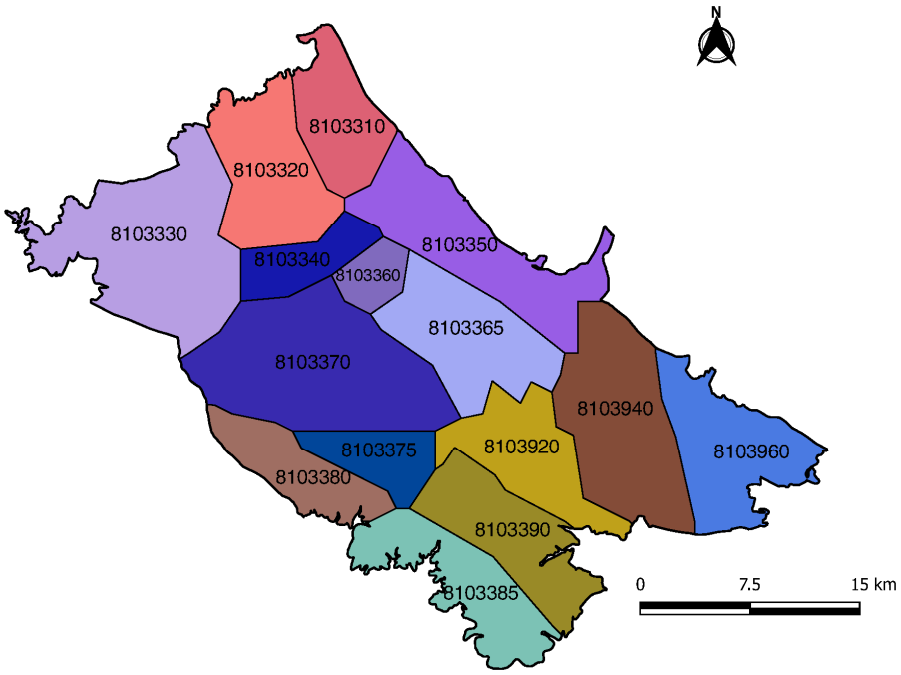


Figura 78. Zonificación de la recarga por infiltración del agua de precipitación.

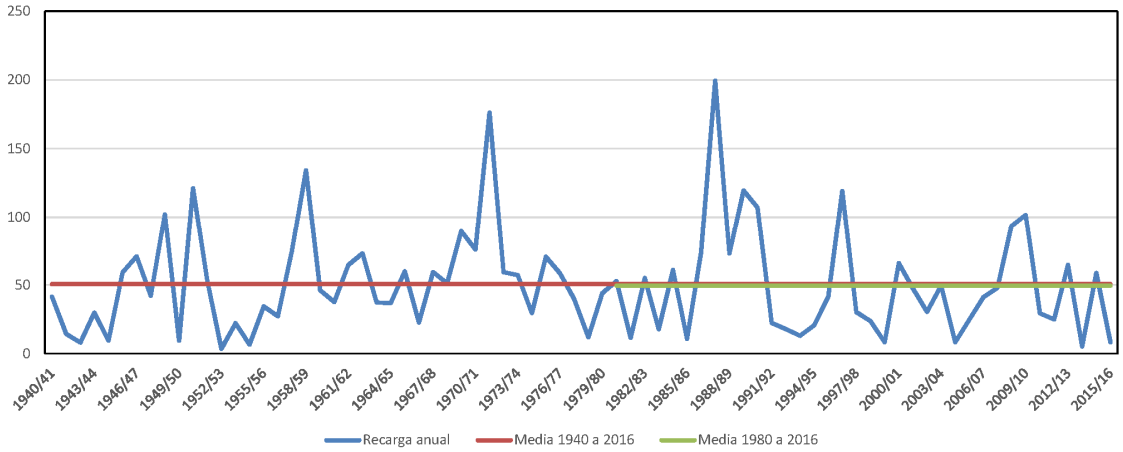


Figura 79. Evolución anual de la recarga por infiltración del agua de precipitación.

La tasa de recarga por excedentes o retornos de riego ha sido facilitada por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Para su cálculo se ha considerado que el agua regada que no es consumida por las plantas bien puede salir del sistema mediante evaporación o puede reintroducirse en él mediante los retornos. Los retornos pueden ser:

- Superficiales: vuelven al sistema por escorrentía superficial.
- Subterráneos: se infiltran al acuífero.

Los retornos superficiales no se tienen en cuenta en este modelo. Los retornos subterráneos se distribuyen según las unidades de demanda agrícola.

En la Figura 80 se pueden ver las unidades de demanda agrícola. No se consideran los regadíos de la Serranía de Valencia y los pequeños regadíos del

Valle de Ayora. En la Figura 81 se representa la evolución temporal de los retornos de riego.

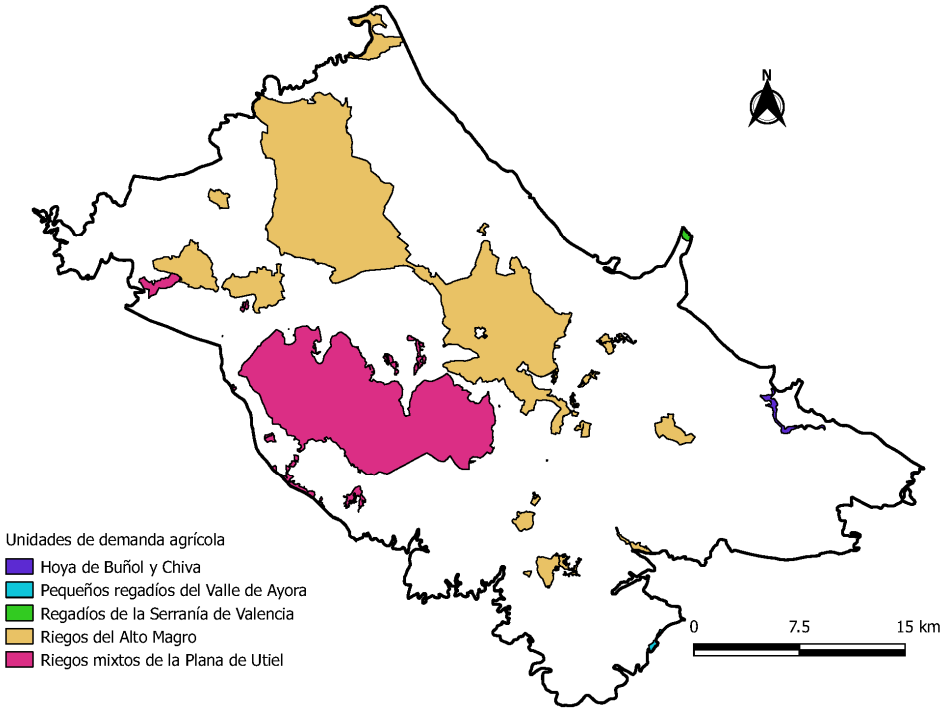


Figura 80. Unidades de damanda agrícola.

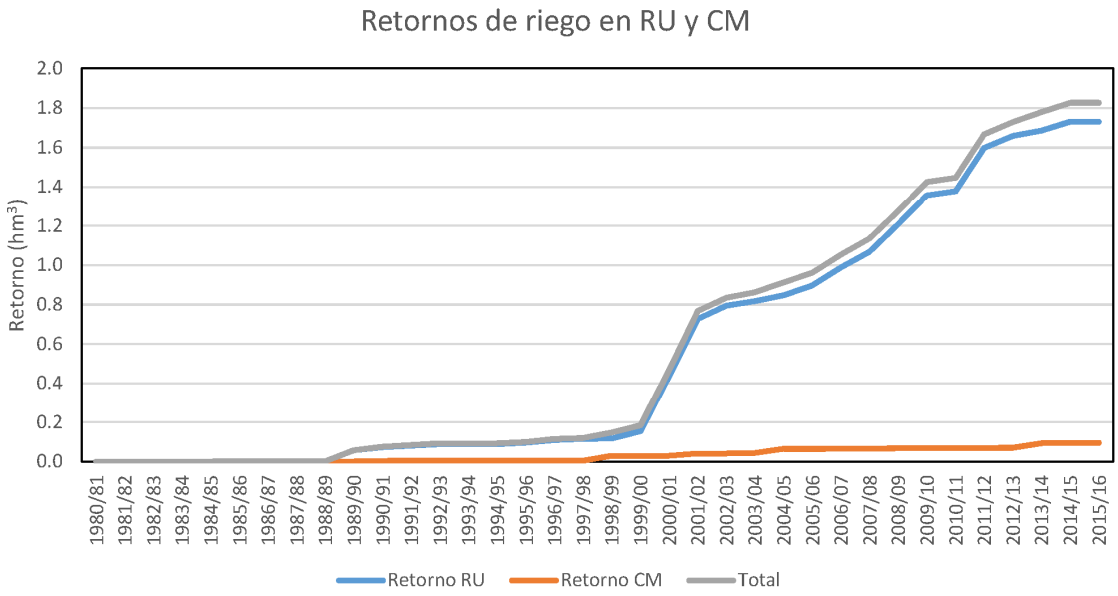


Figura 81. Evolución temporal de los retornos de riego.

6.2.5.4 Bombeos

Los pozos de bombeo se clasifican en agrícolas, urbanos e industriales según la demanda. En la Figura 82 se pueden ver los de demanda agrícola: 1001 en Requena-Utiel y 55 en Cabrillas-Malacara. En la Figura 83 se pueden ver los correspondientes a demanda urbana: 38 en Requena-Utiel y 6 en Cabrillas-Malacara. En la Figura 84 se pueden ver los correspondientes a demanda industrial: 63 en Requena-Utiel y 7 en Cabrillas-Malacara.

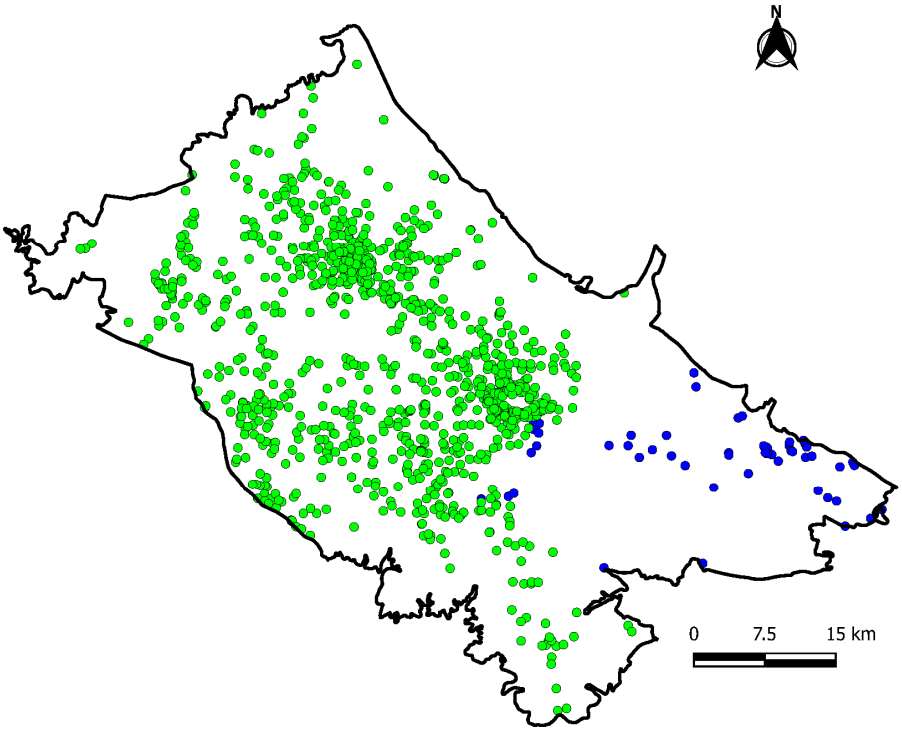


Figura 82. Localización de los pozos de demanda agrícola.

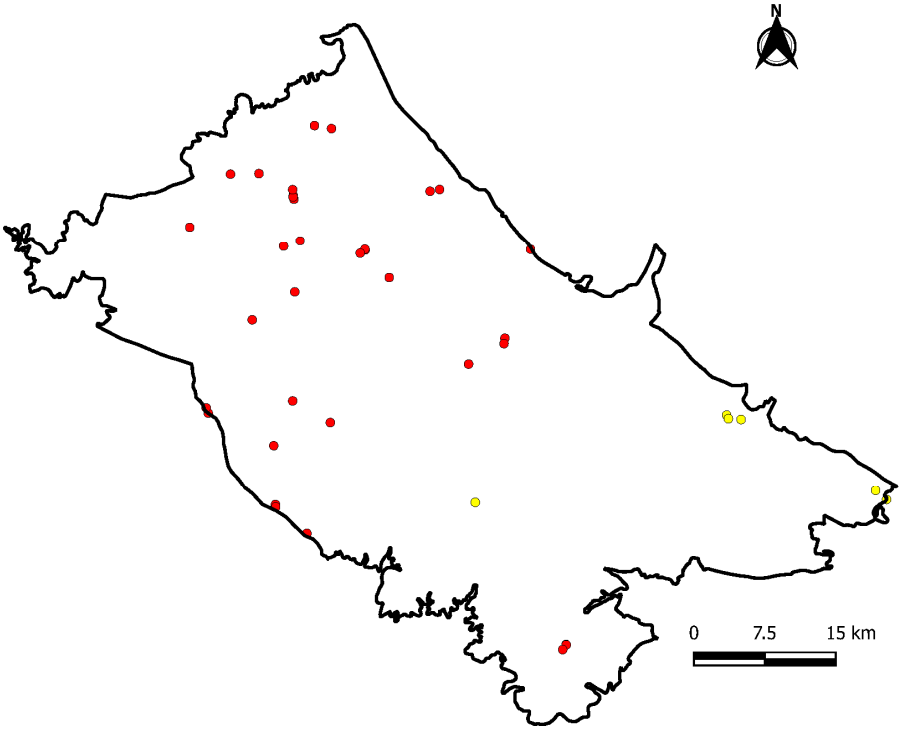


Figura 83. Localización de los pozos de demanda urbana.

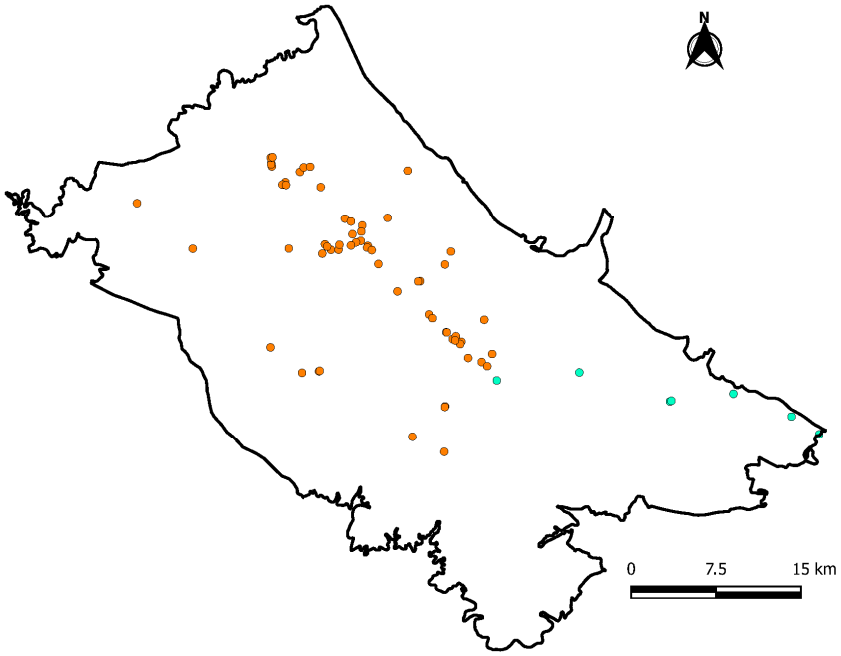


Figura 84. Localización de los pozos de demanda industrial.

En la Figura 85 se ha representado la evolución anual de los bombeos con un valor medio de aproximadamente 10 hm³/año.

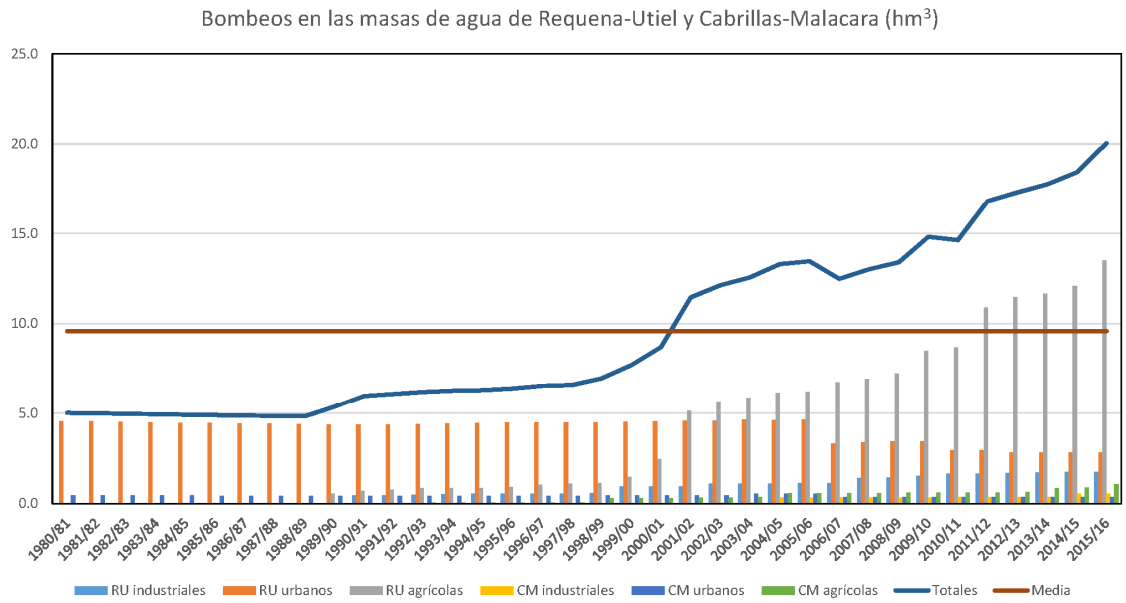


Figura 85. Evolución anual de los bombeos en el área de estudio.

6.2.6 Diseño y construcción del modelo

El procedimiento para la construcción del modelo ha sido el siguiente:

1. Creación del modelo.
2. Implementación de la discretización horizontal.
3. Implementación de la discretización vertical.
4. Introducción de la discretización temporal.

5. Introducción de la condición inicial.
6. Asignación preliminar de parámetros.
7. Implementación de las condiciones de contorno.
8. Introducción de las acciones exteriores.
9. Selección del *solver*.
10. Zonas para el balance.

6.2.6.1 Creación del modelo

Se trata de abrir un nuevo proyecto con información básica acerca del modelo. Toda la información introducida en este paso podrá ser modificada más adelante. De hecho, se suele abrir el nuevo proyecto con la información que por defecto ofrece el programa y que, evidentemente, no coincidirá con las características del modelo. En este paso se introduce una pequeña descripción del modelo, la fecha de inicio de la simulación, el sistema de proyección cartográfica utilizado, una discretización espacial preliminar, y un nombre para el proyecto, como puede verse en la Figura 86 y en la Figura 87.

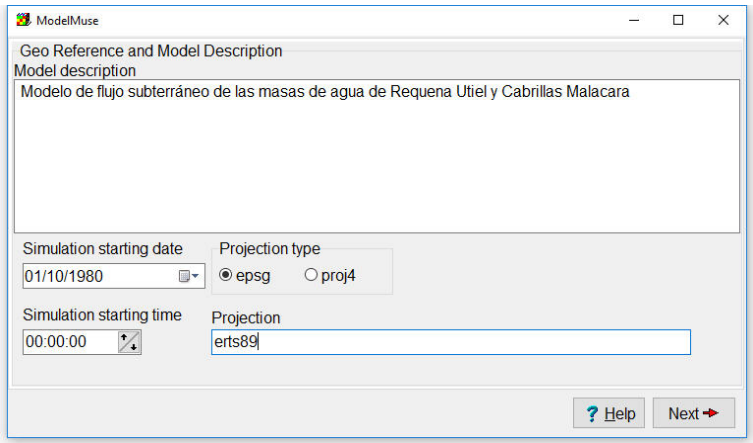


Figura 86. Información inicial para la creación del modelo de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

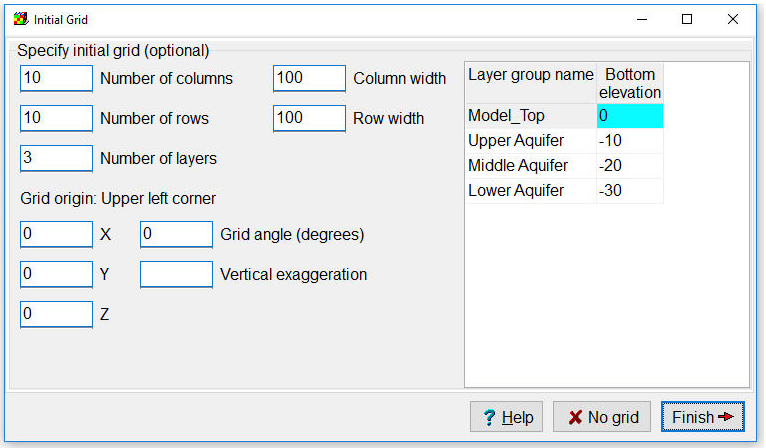


Figura 87. Discretización inicial de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

6.2.6.2 Implementación de la discretización horizontal

La discretización espacial se separa en horizontal y vertical. En este apartado se habla de la horizontal, es decir, la que corresponde al plano *xy*. Hay muchas maneras de introducir la geometría del modelo en ModelMuse. La utilizada en este modelo parte de dar entrada al contorno del dominio modelado y el tamaño de celda deseado. La aplicación calcula automáticamente el número de celdas en *x* y en *y*.

El contorno del modelo es introducido mediante un archivo shape y el tamaño de celda fijado ha sido igual a 500 m. El resultado de la discretización puede verse en la Figura 88.

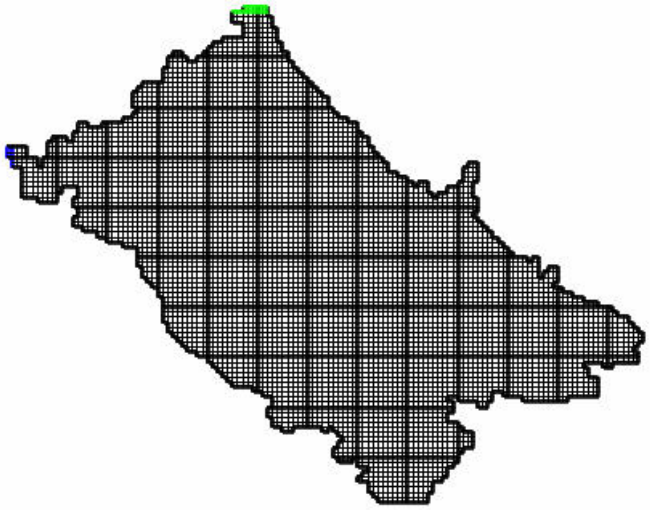


Figura 88. Discretización horizontal de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

Como resultado de esta discretización quedan 127 celdas en la dirección *x* y 99 celdas en la dirección *y*.

6.2.6.3 Implementación de la discretización vertical

En la dimensión vertical (eje *z*), el sistema está integrado por 3 capas:

1. Acuífero superior (*Upper Aquifer*).
2. Acuífero medio (*Middle Aquifer*).
3. Acuífero inferior (*Lower Aquifer*).

Para su definición se necesita informar al modelo de:

1. Cotas del techo de la capa superior (*Model_Top*).
2. Cotas de la base de la capa superior (*Upper_Aquifer_Bottom*).
3. Cotas de la base la capa media (*Middle_Aquifer_Bottom*).
4. Cotas de la base de la capa inferior (*Lower_Aquifer_Bottom*).

Para la definición de la geometría del modelo se comprobó que las capas son casi paralelas. Por ello, se determinaron las profundidades de cada capa con

respecto al MDT de 25 metros. Se encontró que la base de la capa 1 está a aproximadamente 66 m por debajo del terreno, que la de la capa 2 está a 152 m por debajo del terreno y que la de la capa 3 se encuentra a 360 m de profundidad.

Por tanto, las capas del modelo se definen de la siguiente manera:

- *Model_Top*: MDT de 25 m.
- *Upper_Aquifer_Bottom*: *Model_Top* - 66 m.
- *Middle_Aquifer_Bottom*: *Model_Top* - 152 m.
- *Lower_Aquifer_Bottom*: *Model_Top* - 360 m.

El resultado de la discretización vertical puede verse en la Figura 89.

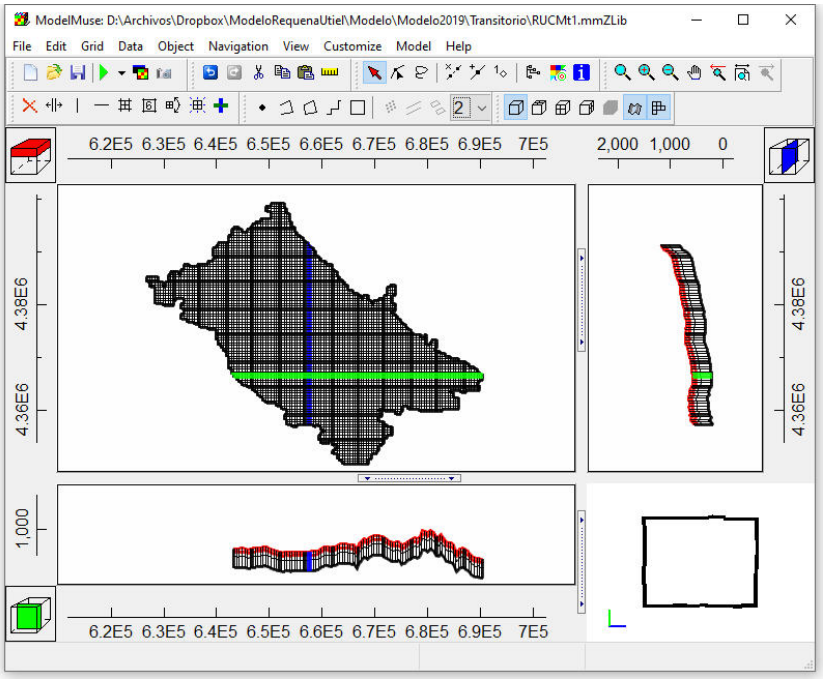


Figura 89. Discretización vertical de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

Corresponde a este paso configurar el tipo de capa, que puede ser:

1. Confinada: funciona como confinada.
2. Convertible: funciona como confinada o libre según la superficie piezométrica esté por encima o por debajo del techo de la misma.
3. No simulada: la capa no se simula.

En este modelo todas las capas funcionan como convertibles menos la última que es confinada.

6.2.6.4 Introducción de la discretización temporal

En este modelo se trabaja a escala mensual. El periodo de simulación va desde octubre de 1940 hasta septiembre de 2016, dividido de la siguiente manera:

1. Régimen no influenciado (estacionario): octubre de 1940 a septiembre de 1980 (40 años).
2. Régimen influenciado (transitorio): octubre de 1980 a septiembre de 2016 (36 años).

Se llama régimen no influenciado, a la situación en la cual se simula el comportamiento del acuífero antes de ser explotado, esto es, sin considerar los efectos de los bombeos. Se llama régimen influenciado, a la situación en la cual se simula el comportamiento del acuífero siendo explotado, esto es, considerando los efectos de los bombeos.

Una simulación estacionaria requiere un solo periodo de esfuerzo y un solo paso de tiempo. La longitud del periodo de esfuerzo no afecta la solución del sistema y por tanto a las alturas piezométricas. El término del almacenamiento se fija en cero al inicio de la simulación (lo hace el programa). La configuración por defecto sirve para una simulación estacionaria excepto por la unidad de tiempo, que en este modelo es el día.

La simulación transitoria se hace a través del periodo 1980 a 2016 a escala mensual. Esto supone 432 meses (13149 días). En principio se considera que cada mes corresponde a un periodo de esfuerzo (*stress period*) y que cada uno es discretizado en un número de pasos de tiempo (*time steps*) igual 1 cuya longitud es el número de días del mes. En la Figura 90 se puede ver como quedaría la discretización temporal en régimen transitorio.

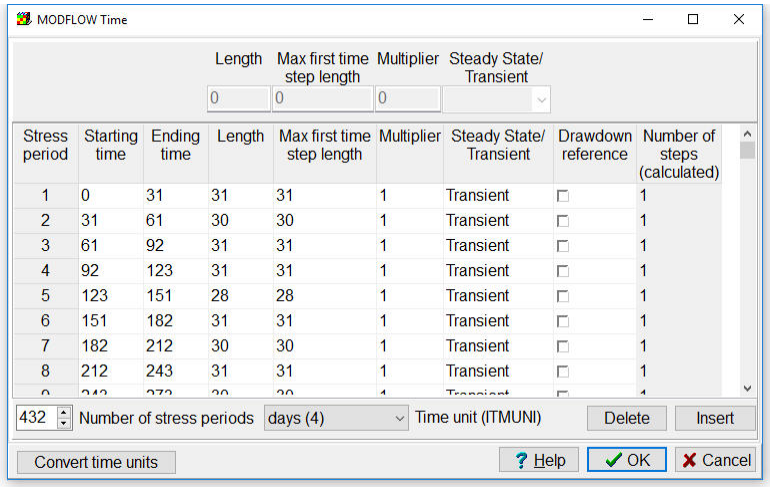


Figura 90. Discretización temporal para la simulación en régimen transitorio de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

6.2.6.5 Introducción de la condición inicial

La condición inicial describe los valores de la altura piezométrica para un tiempo considerado inicial. Estrictamente hablando, la condición inicial es requerida cuando se realizan simulaciones transitorias. Sin embargo, los modelos numéricos cuyas soluciones se obtienen a través de algoritmos iterativos, como es el caso de MODFLOW, requieren unas alturas de partida también en el caso de simulaciones estacionarias.

La elección de estas alturas iniciales puede tener una gran influencia sobre el proceso iterativo y la convergencia de la solución. Algunos criterios para seleccionar estas alturas pueden ser:

1. Que estén dentro del rango de la solución.
2. Considerarlas relativas a la topografía.
3. Que estén por encima de la base del modelo.
4. En modelos 3D que estén por encima de la base de la capa superior.
5. Considerarlas relativas a las condiciones de contorno impuestas.

En este modelo, para régimen estacionario se ha considerado como condición inicial la topografía del terreno (*Model_Top*), y para régimen transitorio se ha construido un mapa de alturas interpolando unos valores representativos de dicho parámetro en los pozos de observación. En la Figura 91 se pueden ver las alturas iniciales utilizadas en régimen transitorio.

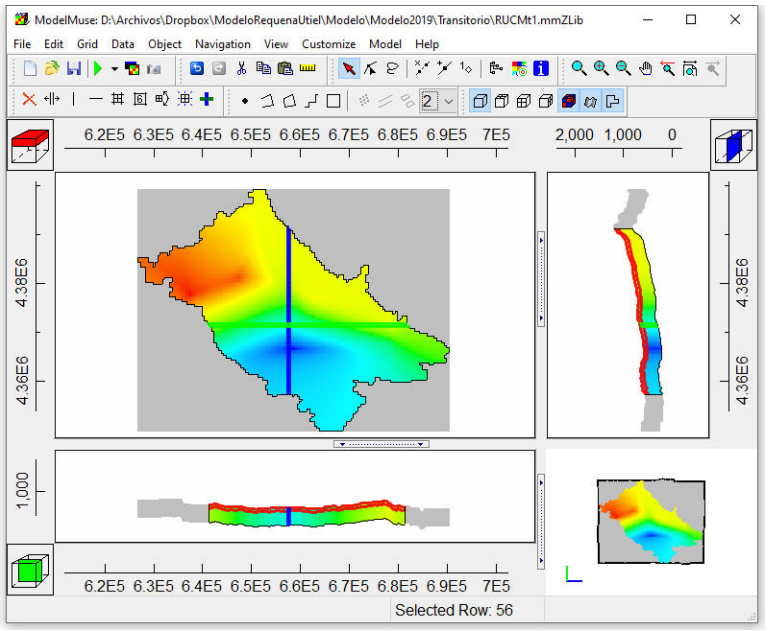


Figura 91. Alturas iniciales para la simulación en régimen transitorio de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

6.2.6.6 Asignación preliminar de parámetros

Los parámetros a configurar son las componentes de la conductividad hidráulica (*Kx*, *Ky* y *Kz*), el almacenamiento específico (*Ss*) y el rendimiento específico (*Sy*). En base a información geológica se realiza una zonificación para los parámetros (se utilizan mapas geológicos, litológicos, de materiales y de permabilidades). La zonificación resultante se presenta en la Figura 92.

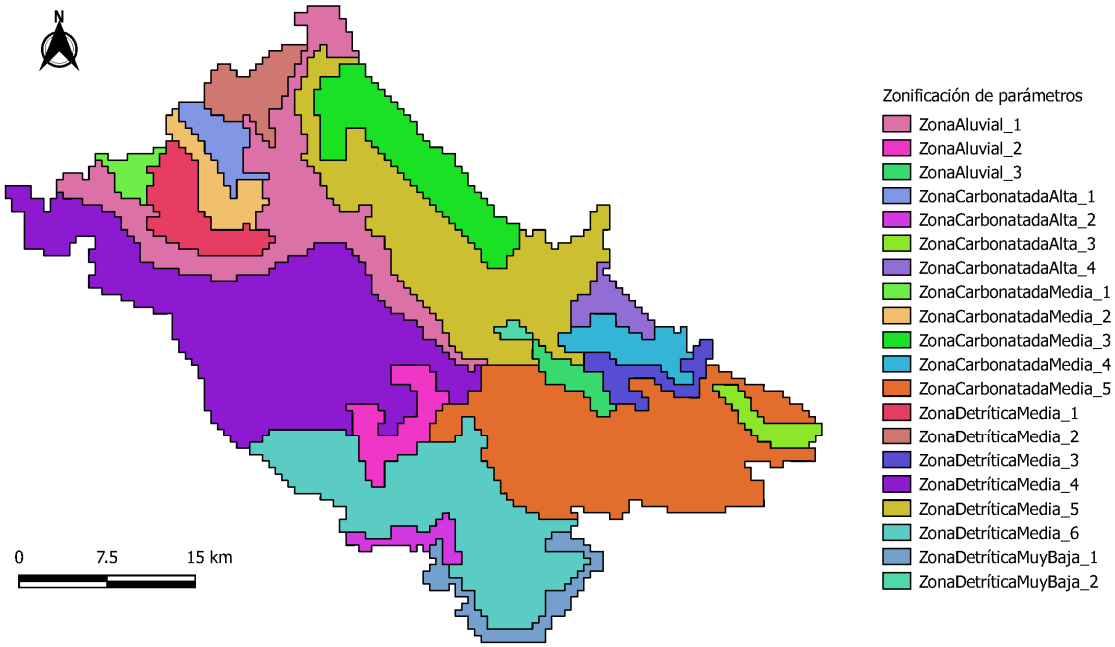


Figura 92. Zonificación para la configuración de los parámetros del modelo.

Los valores introducidos se resumen en la tabla Tabla 18.

	K_x			S_s			S_y		
	Capa			Capa			Capa		
Zona	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ZonaAluvial_1	7.3	7.3	7.0	0.01	0.01	0.0001	0.3	0.3	0.3
ZonaAluvial_2	9.0	9.0	8.0	0.01	0.01	0.0001	0.3	0.3	0.3
ZonaAluvial_3	6.0	6.0	4.0	0.01	0.01	0.0001	0.3	0.3	0.3
ZonaCarbonatadaAlta_1	6.0	6.0	4.0	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
ZonaCarbonatadaAlta_2	4.0	4.0	3.0	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
ZonaCarbonatadaAlta_3	2.0	1.0	0.8	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
ZonaCarbonatadaAlta_4	2.0	1.0	0.8	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
ZonaCarbonatadaMedia_1	5.0	5.0	3.0	0.01	0.01	0.00005	0.15	0.15	0.15
ZonaCarbonatadaMedia_2	5.0	5.0	4.0	0.01	0.01	0.00005	0.15	0.15	0.15
ZonaCarbonatadaMedia_3	0.1	0.1	0.09	0.01	0.01	0.00005	0.15	0.15	0.15
ZonaCarbonatadaMedia_4	0.05	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00005	0.15	0.15	0.15
ZonaCarbonatadaMedia_5	0.7	0.7	0.6	0.01	0.01	0.00005	0.15	0.15	0.15
ZonaDetríticaMedia_1	5.0	5.0	4.0	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
ZonaDetríticaMedia_2	0.3	0.3	0.2	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
ZonaDetríticaMedia_3	0.02	0.02	0.009	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
ZonaDetríticaMedia_4	0.14	0.14	0.13	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
ZonaDetríticaMedia_5	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
ZonaDetríticaMedia_6	0.5	0.5	0.4	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
ZonaDetríticaMuyBaja_1	0.1	0.1	0.08	0.01	0.01	0.00001	0.1	0.1	0.1
ZonaDetríticaMuyBaja_2	0.1	0.08	0.06	0.01	0.01	0.00001	0.1	0.1	0.1

Tabla 18. Valores de los parámetros asignados de forma preliminar a cada zona del acuífero.

6.2.6.7 Implementación de las condiciones de contorno

Las condiciones de contorno se pueden clasificar en:

1. Los límites laterales.
2. Los cauces superficiales.
3. La recarga.

6.2.6.7.1 Los límites laterales

Los límites laterales en este modelo son:

a) Los límites impermeables.

b) El límite con la masa de agua subterránea de Buñol Cheste.

c) El límite con la masa de agua subterránea de Mira.

En la figura 8 se puede ver los límites laterales a configurar.

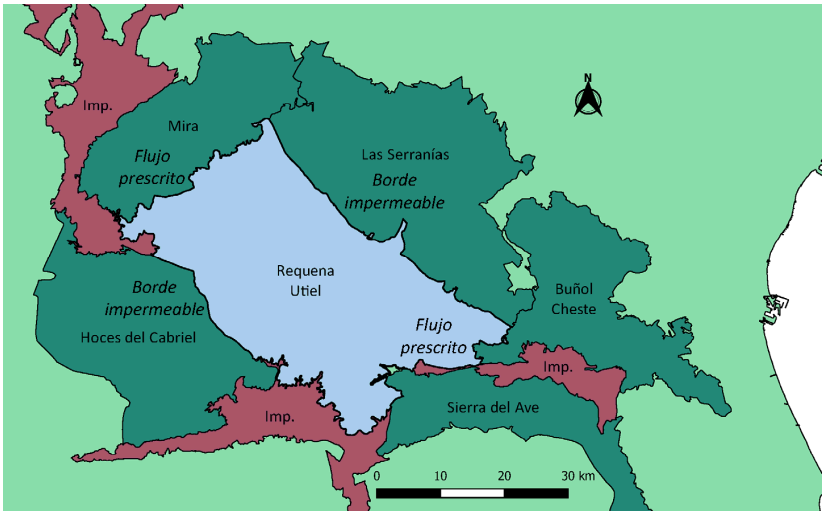


Figura 93. Límites laterales de las masas de agua subterránea de Requena Utiel y Cabrillas Malacara.

Los límites impermeables (Hocel del Cabriel y Las Serranías) no requieren ninguna configuración ya que en MODFLOW-ModelMuse, por defecto todos los límites son impermeables.

Los límites abiertos son aquellos a través de los cuales puede entrar o salir agua al o del sistema. Lo habitual es modelar estos contornos en base al conocimiento de tres parámetros: la altura de agua en el exterior, el flujo atravesando el contorno y la conductancia de los materiales que forman el borde. En general, se conocen dos de estos parámetros y se calibra el tercero.

La información que se tiene acerca del límite con Buñol Cheste es la siguiente:

a) Descarga hacia la masa de agua subterránea de Buñol Cheste de unos 3 hm^3/año (IGME, 2011).

b) Las últimas simulaciones de PATRICAL aumentan esta descarga a los 24 hm^3/año.

La información que se tiene acerca del límite con Mira es la siguiente:

a) Entrada desde la masa de agua subterránea de Mira de unos 10 hm^3/año (IGME, 2011).

b) Las últimas simulaciones de PATRICAL reducen esta entrada a unos 3 a 5 hm^3/año.

En la Figura 94 se puede ver la localización de los contornos con Buñol Cheste y con Mira, ambas afectan a todas las capas del modelo.

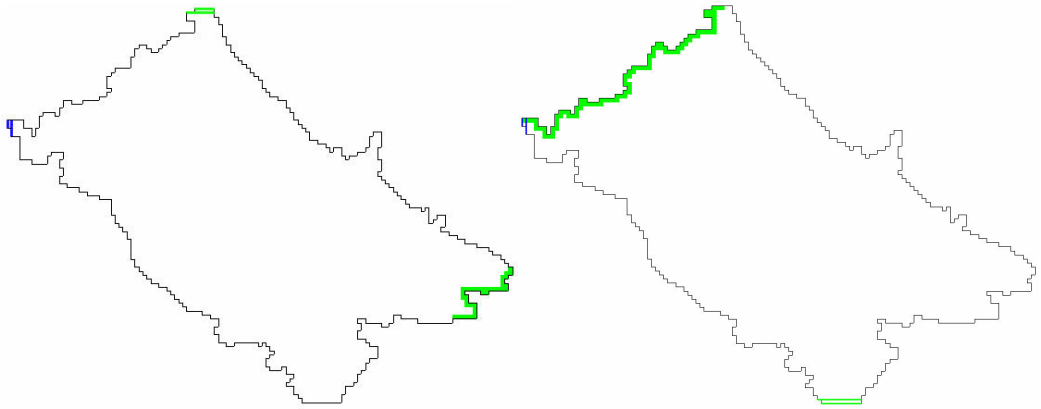


Figura 94. Localización de los contornos con Buñol Cheste y Mira.

Los contornos abiertos se han simulado como un contorno de tipo 3 (flujo dependiente de la altura piezométrica). Se utiliza el paquete GHB (*General-Head Boundary*) de MODFLOW que requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo.
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo.
3. *Boundary head*: altura de referencia de la fuente o sumidero externo.
4. *Conductance*: conductancia de los materiales entre la fuente o sumidero externo y el dominio del modelo.

Para determinar una altura de referencia de la altura piezométrica en cada contorno se ha hecho un estudio de la piezometría de cada zona. En la Figura 95 se puede ver la localización de los piezómetros encontradas cerca de cada borde.

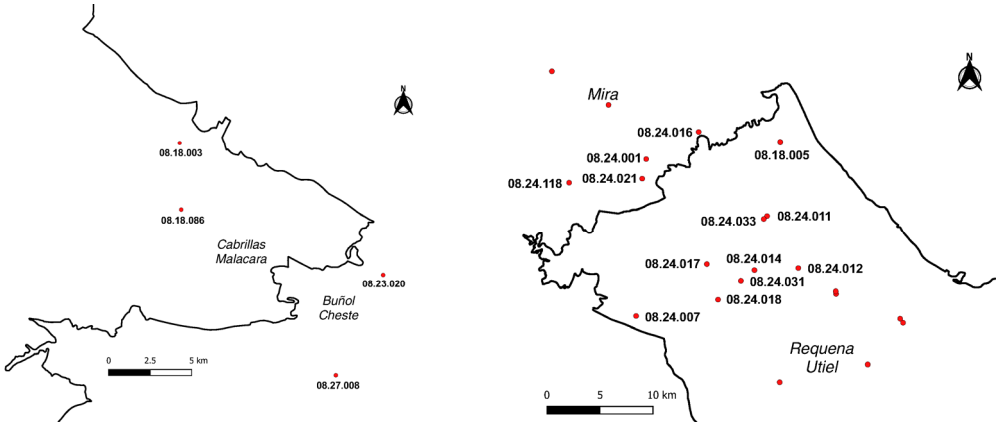


Figura 95. Localización de los piezómetros en las cercanías de los bordes abiertos de Buñol Cheste y Mira.

En la Figura 96 y en la Figura 97 se pueden ver las series de alturas piezométricas registradas en los piezómetros cercanos a los contornos de Buñol Cheste y Mira, respectivamente.

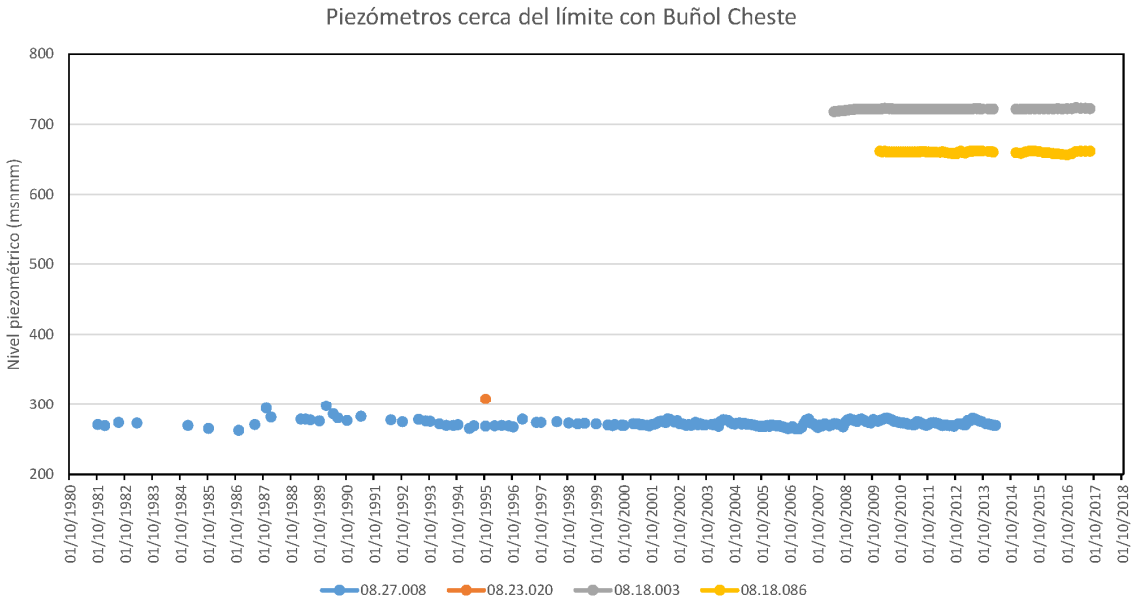


Figura 96. Series piezométricas en el contorno de Buñol Cheste.

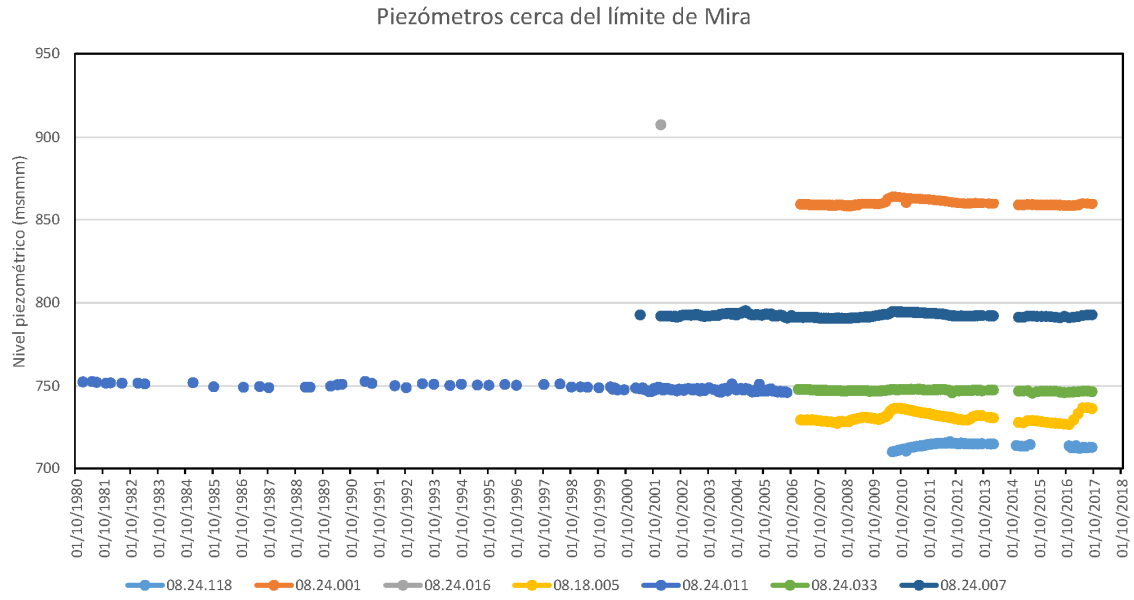


Figura 97. Series piezométricas en el contorno de Mira.

En el caso de Buñol Cheste los piezómetros se muestran estables con valores medios:

- 08.18.003: 722 m.
- 08.18.086: 660 m.
- 08.23.020: 308 m (solo una medida en 1995).
- 08.27.008: 273 m.

A partir del análisis anterior, tanto en régimen estacionario como transitorio, se busca calibrar una altura y una conductancia que garanticen un flujo de salida de 24 hm3/año. Se parte de una altura de 300 m y una conductancia de 2.5 m2/día.

En el caso de Mira los piezómetros se muestran estables con valores medios:

- 08.24.118: 714 m.
- 08.24.001: 860 m.
- 08.24.016: 907 m (solo una medida en 2002).
- 08.18.005: 731 m.
- 08.24.011: 749 m.
- 08.24.033: 747 m.
- 08.24.007: 792 m.

Al no observarse una variabilidad acentuada en la piezometría, se decide fijar un valor de la altura y de la conductancia invariables en el tiempo en los puntos del contorno cercanos a los piezómetros. Los valores fijados son interpolados por MODELMUSE para disponer de la altura en todo el contorno. En la figura se puede ver la topografía del contorno de Mira y la altura piezométrica resultante de dicha interpolación.

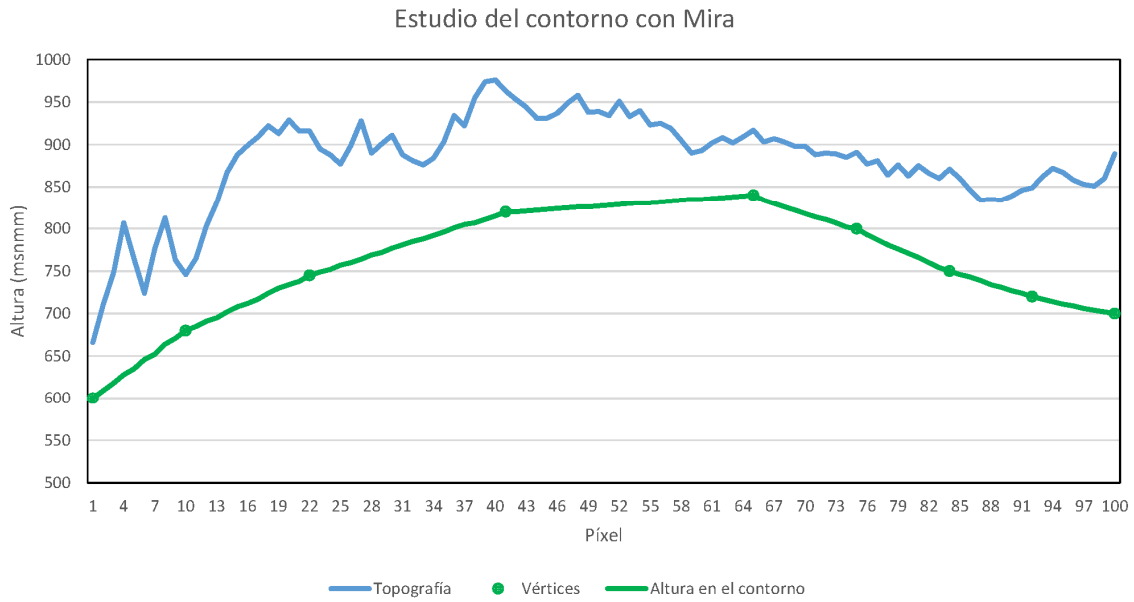


Figura 98. Topografía del contorno de Mira y altura piezométrica impuesta.

6.2.6.7.2 Los cauces superficiales

La red fluvial de esta zona está formada por:

a) La Rambla de la Torre.
b) El río Madre.
c) El río Magro.
d) El río Buñol.

En la Figura 99 se representa la red fluvial del modelo.

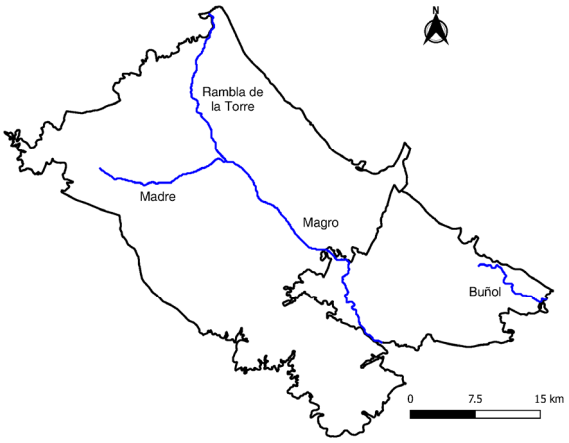


Figura 99. Red fluvial del modelo.

Un cauce se simula como un contorno de tipo 3 (flujo dependiente de la altura piezométrica). Para ello se utiliza el paquete RIV (River) de MODFLOW que requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo.
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo.
3. *River stage*: altura de agua en el río.
4. *Conductance*: conductancia de los materiales del lecho del río.
5. *River bottom*: cota del lecho del río.

La cota del lecho de los cauces se obtiene haciendo la intersección entre el trazado de cada cauce y el MDT de 25 m. Dicha intersección produce un perfil formado por muchos valores dentro de cada celda del modelo (el tamaño de las celdas es de 1 km^2). Para reducir los muchos valores que pueden caer dentro de cada celda a uno, éstos se promedian y el valor resultante se asigna como lecho del cauce en esa celda. En algunos casos el valor medio así hallado queda por encima de la superficie del terreno por lo que se hacen unas pequeñas correcciones para que ello no suceda (estos puntos son muy pocos).

Se considera así al resultado como la variable *River bottom* en MODFLOW y se le suma 1 m para conocer el *River stage* (verificando que no supere la cota del terreno). El perfil del río Magro así calculado es casi idéntico al calculado por Martínez (2018).

En las Figura 100 a Figura 103, se muestran los perfiles resultantes para cada río y su situación respecto al terreno y las capas del modelo.

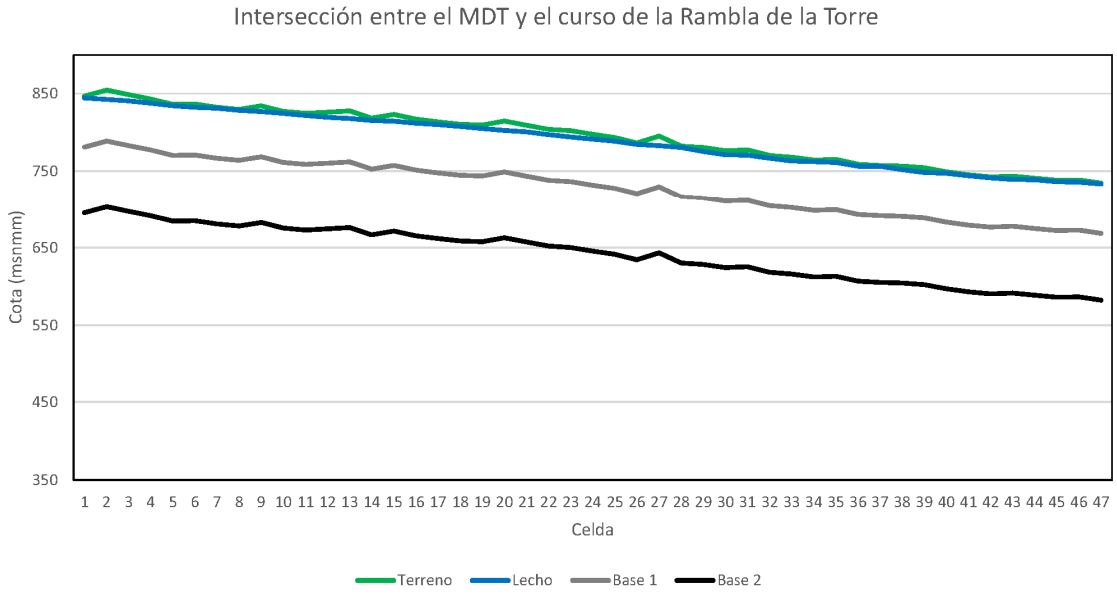


Figura 100. Perfil de la Rambla de la Torre.

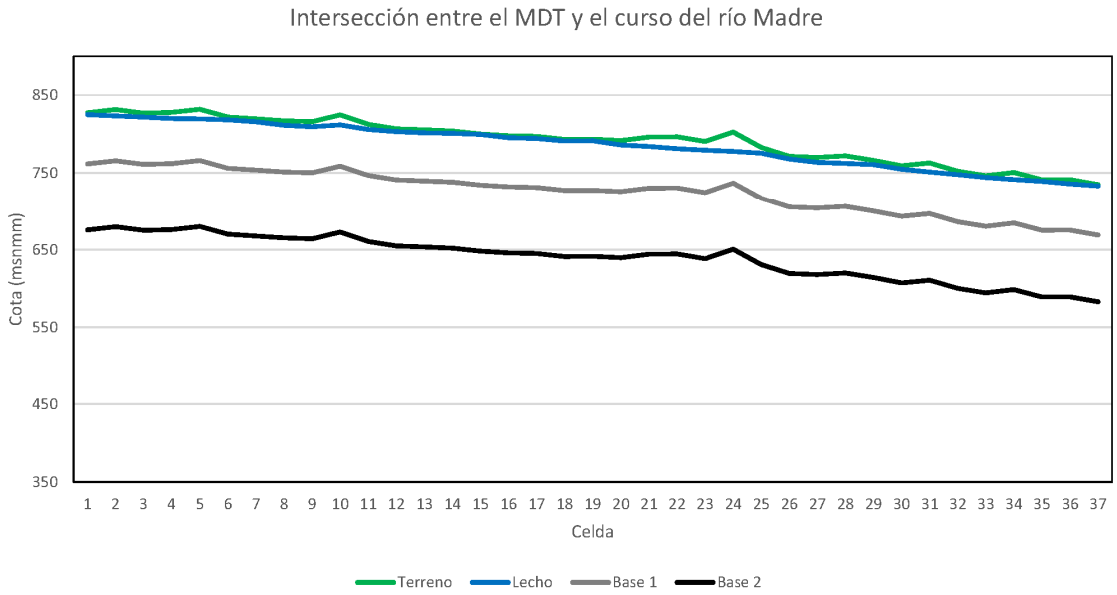


Figura 101. Perfil del río Madre.

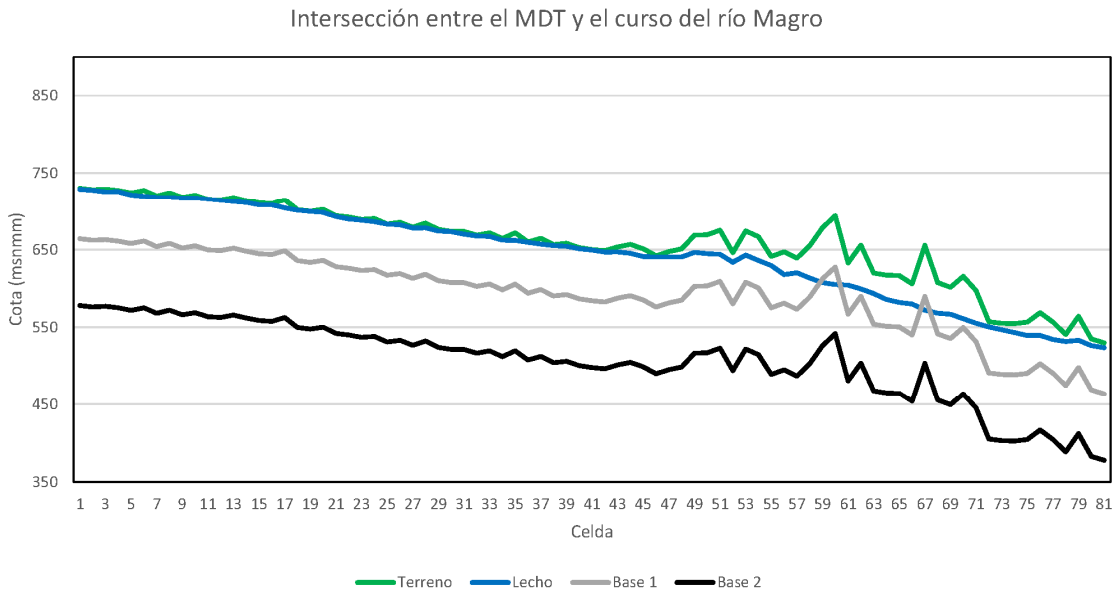


Figura 102. Perfil del río Magro.

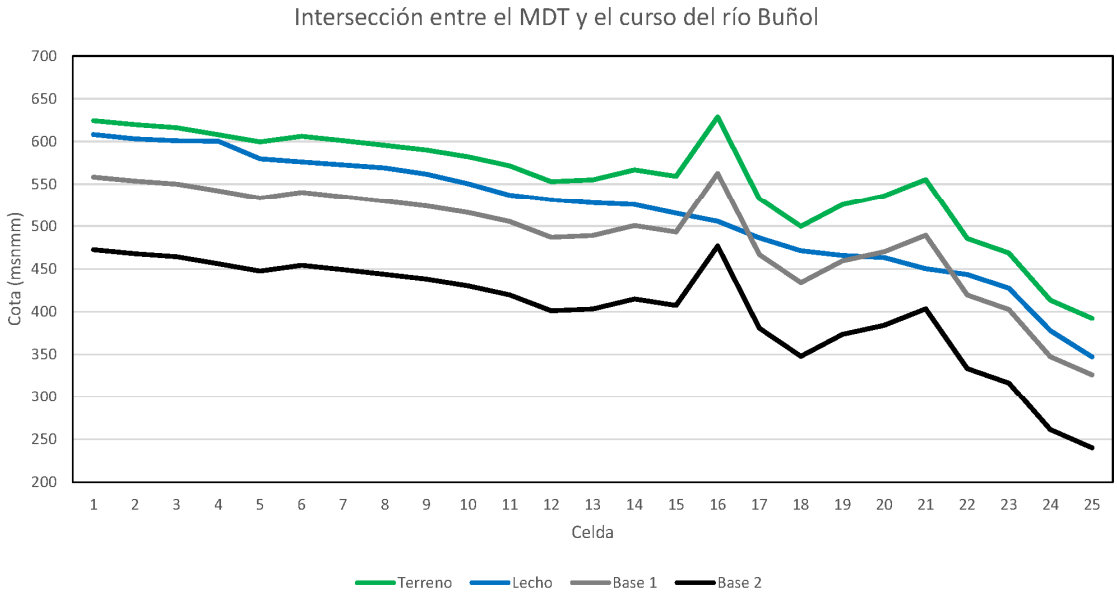


Figura 103. Perfil del río Buñol.

La información se organiza en una hoja de cálculo (*LechoRíosRUCM.xlsx*) con 2 partes, por ejemplo, para la Rambla de la Torre:

1. Rambla de la Torre (coordenadas):
    a. *CoordX*: coordenada X de la celda de río.
    b. *CoordY*: coordenada Y de la celda de río.
    c. *River bottom*: cota del lecho del río en la celda.
2. Rambla de la Torre (configuración):
    a. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo.
    b. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo.

c. *River stage*: altura de agua en el río.

d. *Conductance*: conductancia de los materiales del lecho del río.

e. *River bottom*: cota del lecho del río.

Esta forma de organizar la información facilita la introducción en el modelo a través de ModelMuse.

6.2.6.7.3 La recarga

Se consideran dos tipos de recarga:

1. Recarga por infiltración del agua de precipitación.
2. Recarga por infiltración de los retornos subterráneos de riego.

La recarga se simula como un contorno de tipo 2 (flujo prescrito). Para ello se utiliza el paquete RCH (*Recharge*) de MODFLOW que, requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo durante el cual se produce la recarga [T].
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo durante el cual se produce la recarga [T].
3. *Recharge rate*: tasa de recarga durante el periodo de esfuerzo antes configurado [L/T].

La recarga por precipitación está zonificada siguiendo la distribución utilizada en PATRICAL (Pérez-Martín, 2005), y que puede verse en la Figura 78.

Esta información está preparada para ser introducida en ModelMuse en la hoja de cálculo *RecargaRUCM.xlsx*. En régimen estacionario se asigna un valor único representativo de la recarga en cada zona a lo largo de toda la serie temporal (media aritmética de los valores entre los años hidrológicos 1940/41 y 1979/80). En régimen transitorio se asigna un valor mensual de recarga a cada zona entre los años hidrológicos 1980/81 y 2015/16.

La recarga por retornos de riegos subterráneos se distribuyen según las unidades de demanda agrícola representadas en la Figura 80. La forma de introducirla es similar a la recarga por precipitación.

Esta información está preparada para ser introducida en ModelMuse en la hoja de cálculo *RetornosRUCM.xlsx*. En régimen estacionario no hay retornos de riego subterráneo ya que no se bombea. En régimen transitorio se asigna un valor mensual de recarga a cada zona entre los años hidrológicos 1980/81 y 2015/16.

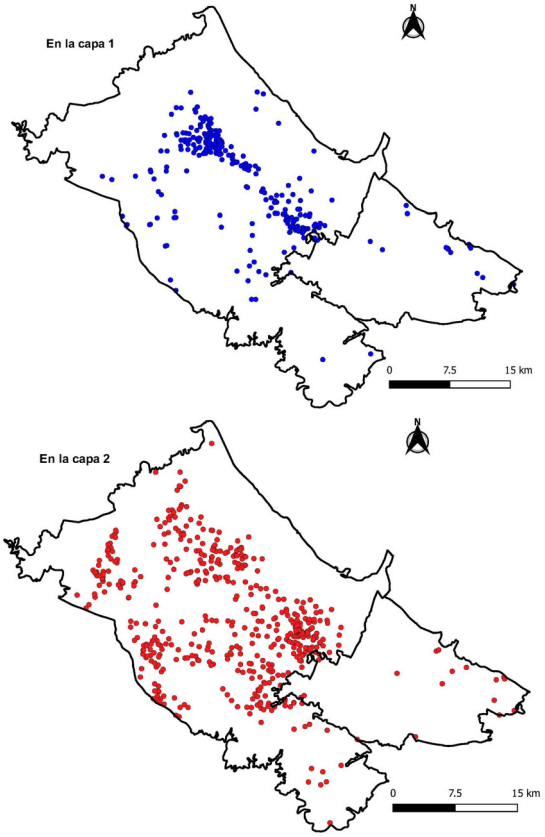
6.2.6.8 Introducción de las acciones exteriores

Como acciones exteriores tenemos los bombeos. Los bombeos se han clasificado en 3 tipos: agrícolas, urbanos e industriales (Figura 82, Figura 83 y Figura 84). Se

simulan como un contorno de tipo 2 (flujo prescrito). Para ello se utiliza el paquete WEL (*Well*) de MODFLOW.

En régimen estacionario (no influenciado) no hay bombeos. En régimen transitorio se asigna un valor mensual de bombeo a cada pozo entre los años hidrológicos 1980/81 y 2015/16. Esta información está preparada para ser introducida en ModelMuse en la hoja de cálculo *BombeosRUCM.xlsx*. Dicha hoja contiene una hoja para cada tipo de pozo y cada masa de agua subterránea (6 en total). Contiene la siguiente información que fue suministrada por la CHJ:

1. Coordenadas *x* e *y* de cada pozo.
2. Capa que se está bombeando. Solo se han clasificado los pozos agrícolas. (Figura 104). Los pozos urbanos e industriales bombean de la capa 3.
3. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo durante el cual se produce el bombeo o la inyección [T].
4. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo durante el cual se produce el bombeo o la inyección [T].
5. *Pumping rate*: tasa de bombeo o inyección durante el periodo de esfuerzo antes configurado [L^3/T].
6. *Well code*: identificador del pozo (no se utiliza más que para identificar cada pozo).



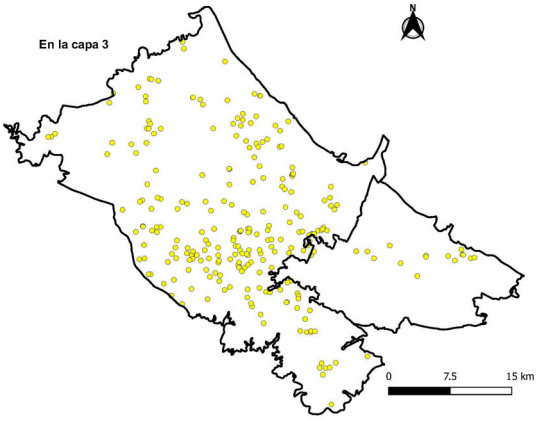


Figura 104. Localización de los pozos agrícolas asignados a cada capa.

6.2.6.9 Selección del solver

El sistema de ecuaciones algebraicas que resulta de la implementación del método de las diferencias finitas en MODFLOW puede ser resuelto por varios métodos (todos iterativos). En este caso, y al menos por ahora, se ha seleccionado el método PCGN (Preconditioned Conjugate Gradient Solver with Improved Nonlinear Control). Los parámetros fijados para este algoritmo se pueden ver en la Figura 105.

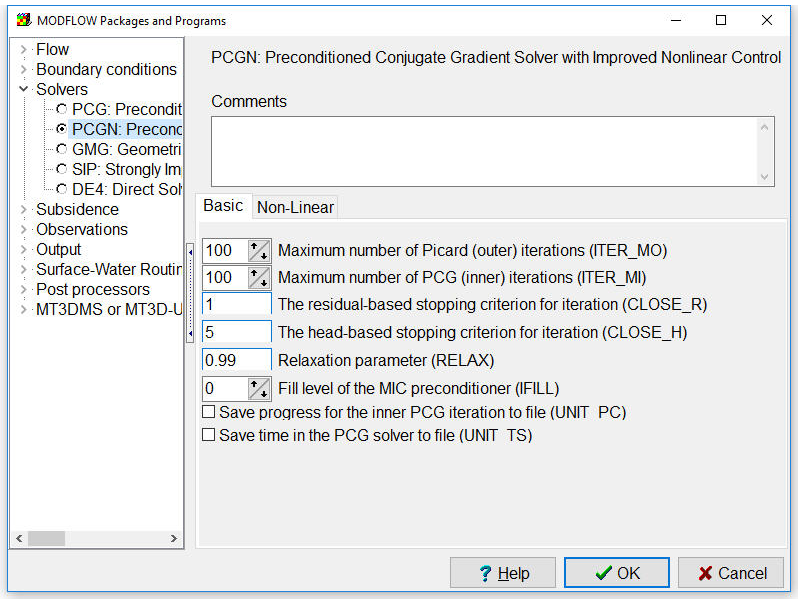


Figura 105. Solver seleccionado y sus parámetros.

6.2.6.10 Zonas para el balance

Para llevar a cabo un balance hidrológico detallado se establecen las siguientes zonas:

- Zona 1: contorno con Mira.
- Zona 2: contorno con Buñol-Cheste.
- Zona 3: Rambla de la Torre.

- Zona 4: Río Madre.
- Zona 5: Río Magro.
- Zona 6: Río Buñol.

Dichas zonas se establecen utilizando el programa ZoneBudget de MODFLOW.

6.2.7 Calibración

Después de haber implementado el modelo se procede a su calibración. Para ello buscaremos los parámetros, las condiciones iniciales y de contorno y las acciones externas que permitan que el modelo reproduzca las variables de estado (alturas piezométricas y flujos) con una cierta tolerancia.

Las modificaciones realizadas al modelo durante el proceso de calibración fueron las siguientes:

1. Cambios en los valores de algunos de los parámetros (componentes de la conductividad hidráulica, almacenamiento específico y rendimiento específico).
2. Cambios en las conductancias del lecho de los ríos Magro y Buñol.
3. Cambio en el *solver* de sistemas de ecuaciones.

El modelo se ha calibrado en régimen alterado (transitorio) y de forma manual.

6.2.7.1 Los parámetros

En la Tabla 19 se pueden ver los valores definitivos de los parámetros del modelo.

		K_x			S_s			S_y		
Zona		Capa			Capa			Capa		
Id.	Nombre	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	ZonaAluvial_1	30.0	30.0	30.0	0.01	0.01	0.01	0.1	0.1	0.1
2	ZonaAluvial_2	0.14	0.14	0.13	0.03	0.03	0.001	0.2	0.2	0.2
3	ZonaAluvial_3	6.0	6.0	4.0	0.01	0.01	0.0001	0.3	0.3	0.3
4	ZonaCarbonatadaAlta_1	6.0	6.0	4.0	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
5	ZonaCarbonatadaAlta_2	4.0	4.0	3.0	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
6	ZonaCarbonatadaAlta_3	2.0	1.0	0.8	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
7	ZonaCarbonatadaAlta_4	2.0	1.0	0.8	0.02	0.02	0.0005	0.2	0.2	0.2
8	ZonaCarbonatadaMedia_1	5.0	5.0	3.0	0.01	0.01	0.00001	0.15	0.15	0.15
9	ZonaCarbonatadaMedia_2	5.0	5.0	4.0	0.01	0.01	0.00001	0.15	0.15	0.15
10	ZonaCarbonatadaMedia_3	0.1	0.1	0.09	0.01	0.01	0.00001	0.15	0.15	0.15
11	ZonaCarbonatadaMedia_4	0.05	0.05	0.03	0.0013	0.0013	0.00001	0.15	0.15	0.15
12	ZonaCarbonatadaMedia_5	1.2	1.2	1.2	0.01	0.01	0.00001	0.035	0.035	0.035
13	ZonaDetríticaMedia_1	0.01	0.01	0.01	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2
14	ZonaDetríticaMedia_2	0.3	0.3	0.2	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
15	ZonaDetríticaMedia_3	0.02	0.02	0.009	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
16	ZonaDetríticaMedia_4	0.14	0.14	0.13	0.03	0.03	0.001	0.2	0.2	0.2
17	ZonaDetríticaMedia_5	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.02	0.3	0.3	0.3
18	ZonaDetríticaMedia_6	0.5	0.5	0.4	0.05	0.05	0.0001	0.2	0.2	0.2
19	ZonaDetríticaMuyBaja_1	0.1	0.1	0.08	0.01	0.01	0.00001	0.1	0.1	0.1
20	ZonaDetríticaMuyBaja_2	0.1	0.08	0.06	0.01	0.01	0.00001	0.1	0.1	0.1

Tabla 19. Parámetros calibrados en el modelo de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara.

Las zonas modificadas con respecto a la asignación preliminar fueron la 1, 2, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16 y 17.

6.2.7.2 Las conductancias del lecho de los ríos

La conductancia del lecho del río Magro pasa de 100 m²/día a 12 m²/día y la del río Buñol pasa de 100 m²/día a 2.5 m²/día.

6.2.7.3 El solver

En la Figura 106 se puede ver el algoritmo de resolución de los sistemas de ecuaciones seleccionado y sus características. El criterio de cierre ha sido fijado en 0.3 m.

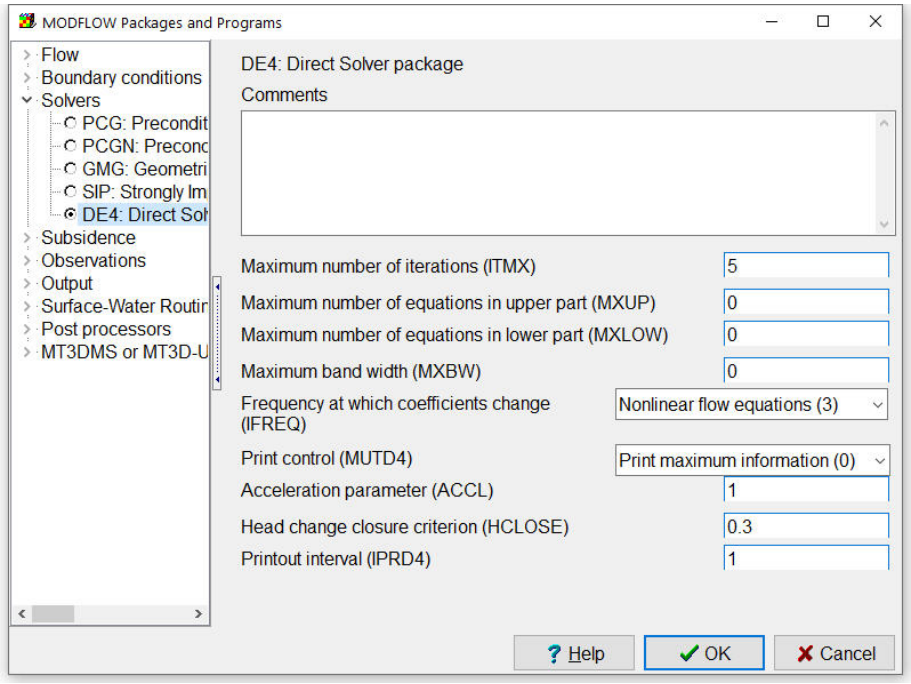


Figura 106. Algoritmo y parámetros para la resolución de los sistemas de ecuaciones.

Con estos parámetros no se comete en ninguna iteración un error mayor del 1% en el balance hídrico garantizando la conservación de la masa.

6.2.8 Balance en régimen influenciado

Una vez realizadas las modificaciones anteriores se ejecuta el modelo y se interpretan los resultados. A continuación, se presentan los balances y los ajustes correspondientes al régimen influenciado.

6.2.8.1 Evolución de la recarga

En la Figura 107 se presenta la evolución de la recarga que se deriva del balance global del modelo. Se ha comprobado que corresponda a la evolución que sigue la recarga introducida.

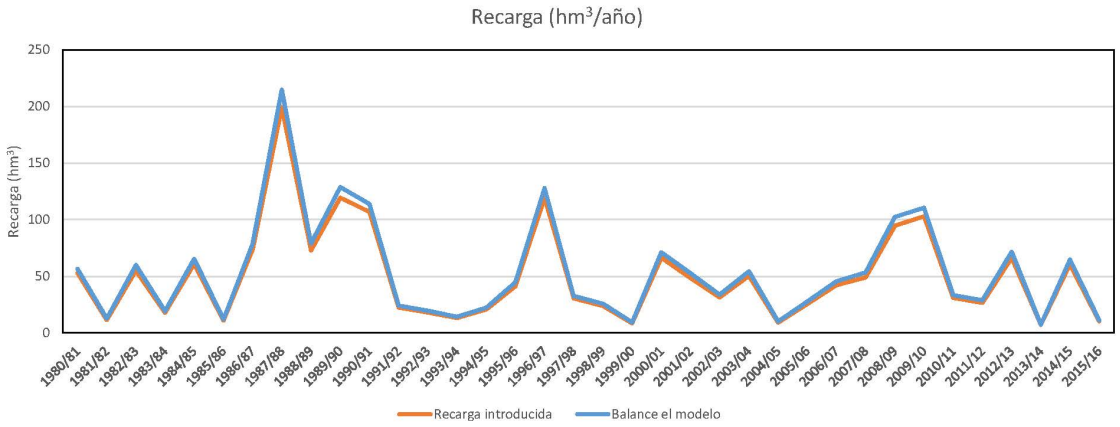


Figura 107. Evolución de la recarga.

6.2.8.2 Evolución de los bombeos

En la Figura 108 se presenta la evolución de los bombeos que se deriva del balance global del modelo. Se ha comprobado que corresponda a la evolución que siguen los introducidos.

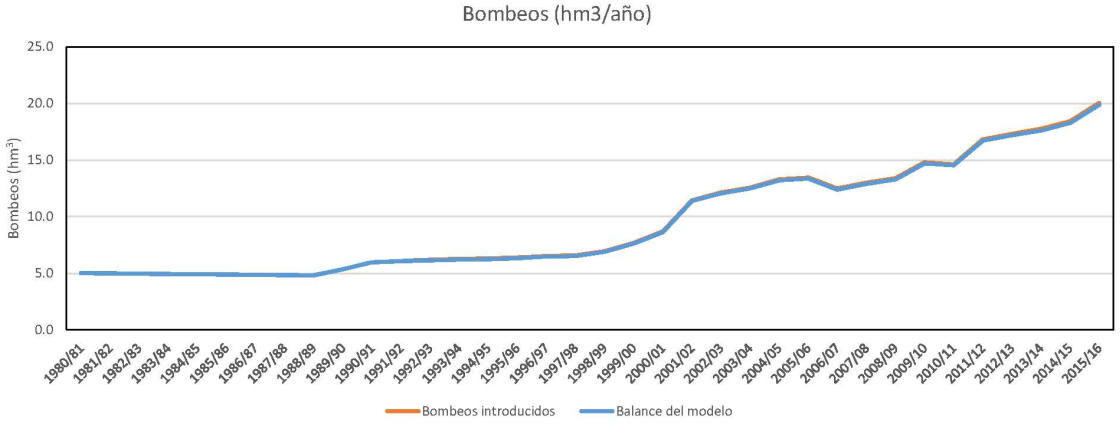


Figura 108. Evolución de los bombeos.

6.2.8.3 Evolución de las transferencias laterales

En la Figura 109 se presenta la evolución de las transferencias subterráneas con otras masas de agua.

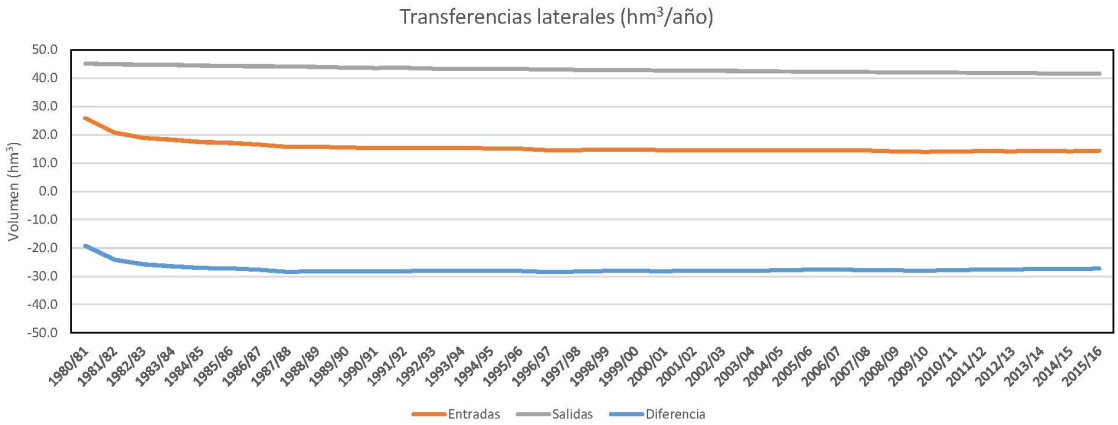


Figura 109. Evolución de las transferencias laterales con otras masas de aguas subterráneas.

6.2.8.4 Evolución de la relación río-acuífero

En la Figura 110 se presenta la evolución de las transferencias de agua entre la red fluvial y el acuífero.

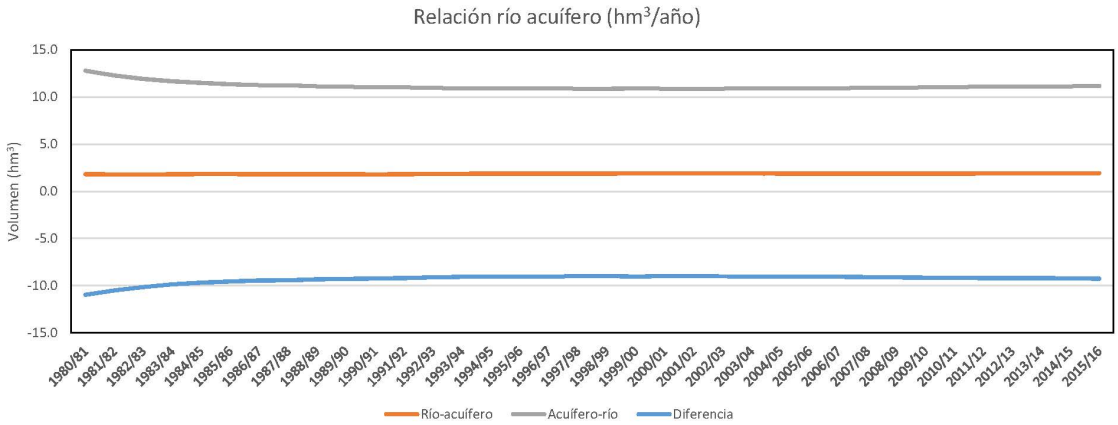


Figura 110. Evolución de las transferencias entre la red fluvial y el acuífero.

6.2.8.5 Evolución del almacenamiento del acuífero

En la Figura 111 se presenta la evolución del almacenamiento del acuífero.

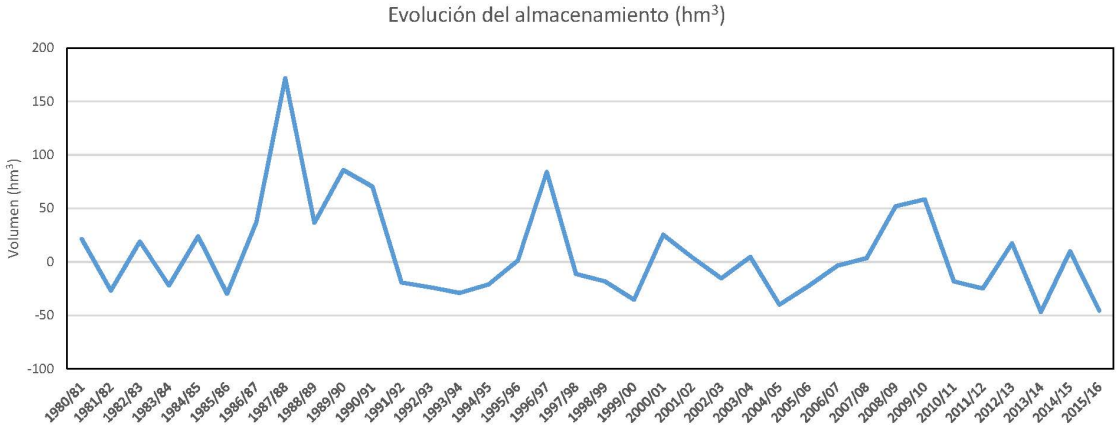


Figura 111. Evolución del almacenamiento del acuífero.

6.2.8.6 Balance hidrológico

En la Figura 112 se presenta el balance global del modelo.

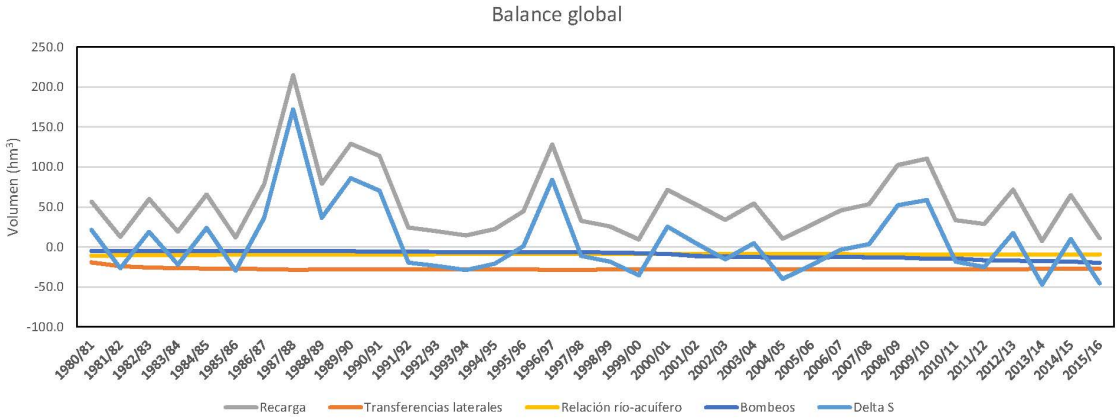


Figura 112. Balance global en el acuífero.

Los valores medios anuales para la serie de años 1980/81 a 2015/16 se pueden ver en la Tabla 20.

Valores medios anuales desde 1980/81 a 2015/16

Entradas		Salidas		ΔS
Lluvia	53.92			53.92
Masas	15.62	Masas	43.04	-27.42
Río acuífero	1.87	Acuífero río	11.16	-9.28
		Bombeos	9.52	-9.52
Total	71.42	Total	63.72	7.70

Tabla 20. Balance global medio durante el periodo de simulación.

El balance por zonas se puede ver en la Tabla 21.

Entradas		Salidas		ΔS	Tipología
Lluvia	53.92			53.92	
Mira	15.62	Mira	8.15	7.47	
Buñol Cheste	0.00	Buñol Cheste	34.23	-34.23	
Rambla de la Torre	0.68	Rambla de la Torre	0.00	0.68	Perdedor
Madre	1.12	Madre	1.08	0.05	Perdedor
Magro	0.07	Magro	5.17	-5.10	Ganador
Buñol	0.00	Buñol	3.70	-3.70	Ganador
		Bombeos	9.52	-9.52	
Total	71.42	Total	61.84	9.58	

Tabla 21. Balance zonal medio durante el periodo de simulación.

6.2.8.7 Piezometría

En la Figura 113 se presentan los ajustes conseguidos en los 10 piezómetros de control.

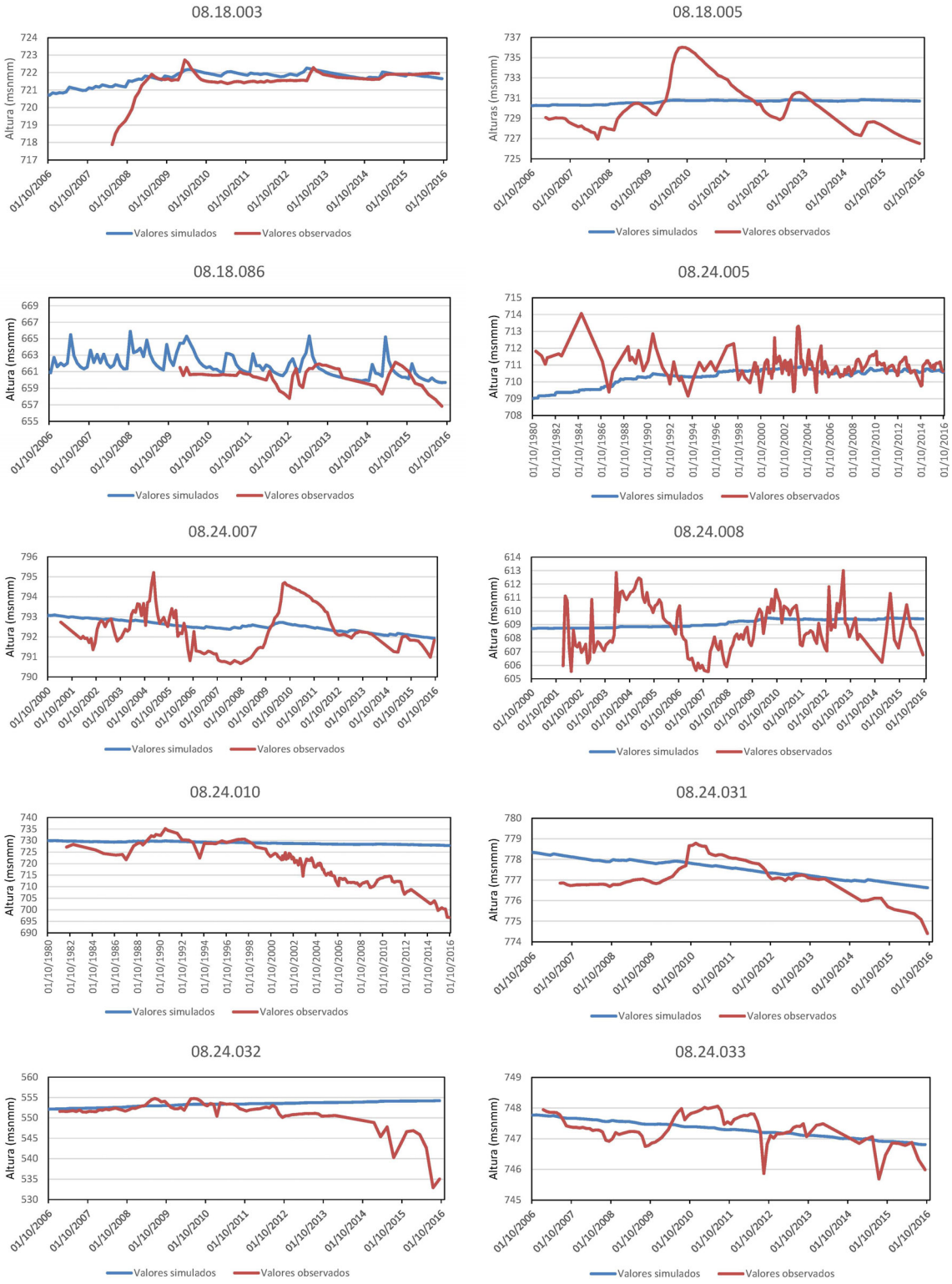


Figura 113. Ajustes de las alturas piezométricas en los pozos de control.

6.2.8.8 Comentarios

Se ha conseguido un modelo calibrado para las masas de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara que es una evolución notable con respecto a los modelos anteriores. Sin embargo, hay todavía grandes incertidumbres que afectan a la

robustez del mismo y que se deberían acotar en futuras investigaciones. Las más importantes son:

1. Estudio detallado de los límites con la masa de agua subterránea de Mira y de Buñol-Cheste. Esto permitirá determinar con mayor precisión el intercambio de flujos con la masa modelada. En el modelo actual dichos intercambios son de 7.47 hm^3/año entrando por el contorno con Mira y de 34.23 hm^3/año saliendo por Buñol-Cheste.
2. Estudio detallado de los caudales circulantes por cada uno de los cauces de la red fluvial del modelo. Se tiene una buena descripción geométrica de los cauces, pero no se conoce con precisión la cantidad de agua que circula por ellos. Esto permitiría mejorar la modelación de las relaciones río acuífero.
3. Mejora en la calibración de los piezómetros 08.18.005, 08.24.010 y 08.24.032 para capturar los descensos que se producen a partir de la mitad de la serie.
4. Mejora en la calibración de los piezómetros 08.24.005, 08.24.007 y 08.24.008 para capturar la variabilidad de las alturas observadas.

6.3 Modelo de la Plana Norte y Sur de Valencia

6.3.1 Motivación

La Comunidad Valenciana es una de las zonas de España donde mayor uso del agua subterránea se hace. Posee importantes núcleos urbanos y extensas superficies de regadío. No cuenta con un gran aporte de agua por precipitación de lluvia ya que forma parte de un clima mediterráneo semiárido.

La masa de agua subterránea denominada Plana de Valencia (Norte y Sur), es de gran relevancia debido a que sobre la misma se localizan la ciudad de Valencia, las desembocaduras de los ríos Júcar y Turia, el parque de la Albufera de Valencia, importantes superficies agrícolas y una extensa línea de costa cubierta con playas y dunas de arena que dota al acuífero de conexión con el mar.

Una de las herramientas fundamentales para la comprensión de las relaciones entre una masa de agua subterránea y los sistemas que se desarrollan en superficie, son los modelos matemáticos. Sin ser un fin en sí mismos, permiten integrar de forma sistemática toda la información disponible acerca del sistema estudiado. El resultado es una representación de la realidad que permite conocer el comportamiento del acuífero y predecir su funcionamiento.

6.3.2 Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo pasan por:

3. Elaborar un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero de la Plana de Valencia, teniendo en cuenta toda la información y los antecedentes disponibles.
4. Diseñar, construir y calibrar el modelo utilizando el código MODFLOW (McDonald, M. y Harbaugh, A., 1984) y la interfaz gráfica de usuario ModelMuse (Winston, R.B., 2009).

6.3.3 Antecedentes

Cronológicamente, los antecedentes consultados para la elaboración de este modelo han sido:

1. IGME-IRYDA (1977). Se describe la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia (entonces sistema 51), como monocapa y el periodo de análisis va desde abril de 1973 hasta mayo de 1974.
2. IGME (1982). Modelo numérico distribuido con el código Prickett y Lonnquist (Prickett et al., 1971), que se extiende desde el delta del Palancia hasta la desembocadura del río Júcar, considerándose un acuífero bicapa. El periodo de simulación va desde octubre de 1977 a septiembre de 1980.

3. IGME (1986). Modelo del acuífero de la Plana de Valencia Sur incluyendo la totalidad del parque de La Albufera. Se plantean diferentes alternativas de gestión y se propone un balance para el periodo de años entre 1980 y 1985.
4. CHJ (1989). Modelo de la Plana de Valencia Sur (entonces unidad hidrogeológica 08.26). En él se plantean posibilidades de trasvase al Vinalopó y diversas reglas de operación del embalse de Tous con las respectivas respuestas del acuífero.
5. CHJ (1997). Modelo basado en IGME (1986). El periodo de simulación está comprendido entre los años 1969 y 1995.
6. CHJ (2002) Se presentan dos modelos:
    a. Modelo agregado de los acuíferos del Turia medio, asignando 3 celdas a la unidad de la Plana de Valencia Norte de un total de 7 celdas. La simulación de este modelo ha transcurrido desde octubre de 1970 hasta septiembre de 2001.
    b. Modelo distribuido de la Plana de Valencia Sur con el código MODFLOW, que incorpora la superficie comprendida entre La Albufera y la ciudad de Valencia pertenecientes a la Plana de Valencia Norte. Basado en el modelo previo, considera el sistema como un acuífero bicapa y simula el periodo entre los años 1969 y 2000.
7. Ballesteros Navarro, B. et al. (2012). Modelo de la Plana de Valencia Sur implementado con VisualMODFLOW. El periodo escogido para esta simulación ha sido el comprendido entre el 15 de abril de 2006 y el 30 de septiembre de 2008, periodo de una importante sequía, con el principal objetivo de analizar el funcionamiento hidrodinámico de este sistema bajo condiciones de sequía.
8. Citores-Martínez, Í. (2018). Modelación matemática del flujo de agua subterránea del acuífero de la Plana de Valencia Norte y Sur. Trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de València.

6.3.4 Marco hidrológico

6.3.4.1 Localización del área de estudio

El acuífero de la Plana de Valencia se ubica en el levante de la península ibérica, en la zona central costera de la DHJ. Tiene una superficie total de 953 km^2, y pertenece en su totalidad a la provincia de Valencia (Figura 114).

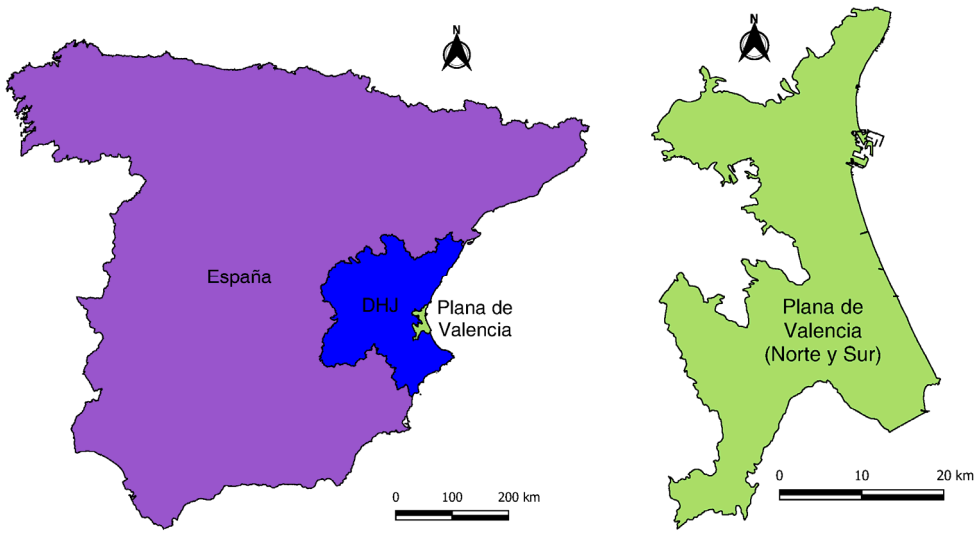


Figura 114. Localización del acuífero de la Plana de Valencia.

6.3.4.2 Clima, temperatura y precipitación

El entorno donde se encuentra el sistema de estudio pertenece a un clima mediterráneo semiárido. Observando la distribución anual de la precipitación y la temperatura media según los datos utilizados en PATRICAL (Pérez-Martín, 2005), se observa una tendencia general de aumento de las temperaturas y descenso de la precipitación acorde con la tendencia generada por el cambio climático en la mayor parte del planeta (Figura 115).

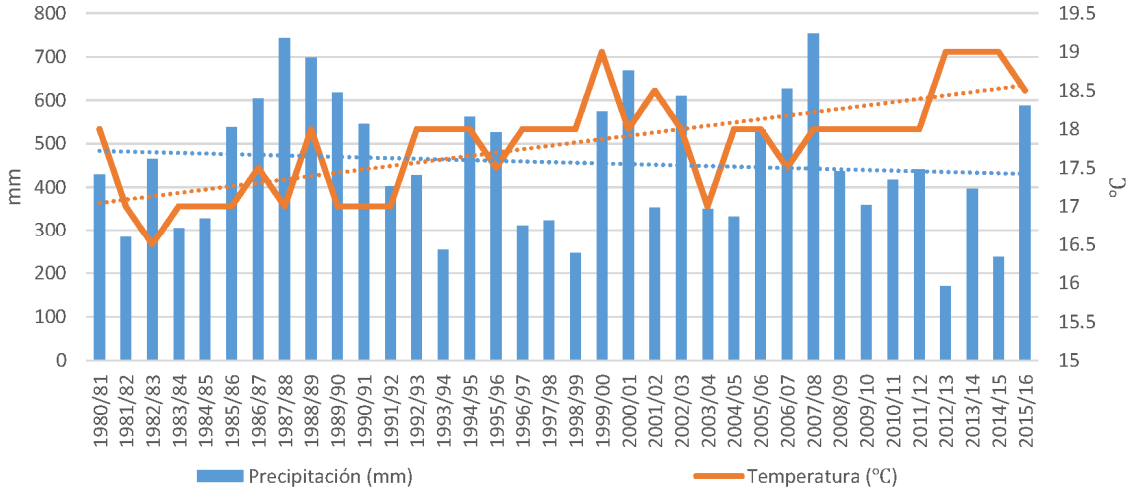


Figura 115. Evolución anual de la temperatura y la precipitación en el ámbito de la modelación.

6.3.4.3 Modelo digital del terreno

Para definir la superficie del terreno (límite superior del modelo), se ha utilizado un modelo digital del terreno (Figura 116), con una definición de 25 m por 25 m (Centro Nacional de Información Geográfica, CNIG).

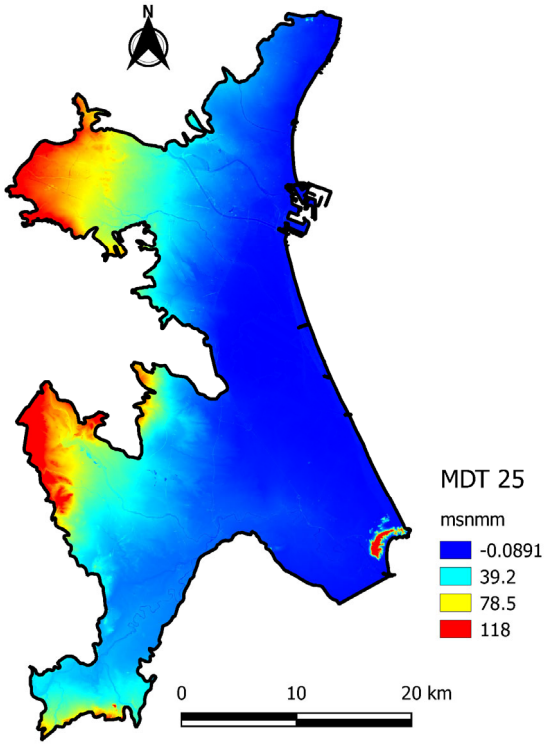


Figura 116. Modelo digital del terreno.

6.3.4.4 Red fluvial

La red fluvial a considerar en el modelo incluye los ríos Albaida, Júcar, Magro, Sellent, Turia, Verde y la Rambla del Poyo (Figura 117).

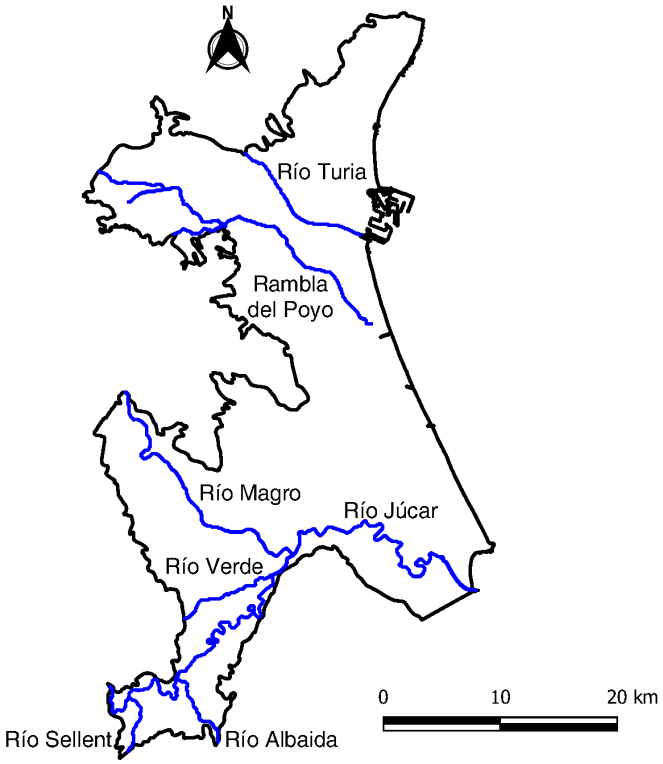


Figura 117. Red fluvial.

6.3.4.5 Manantiales, marjales y lagos

Los humedales de mayor importancia en la Plana de Valencia son la Marjal de Rafallel y Vistabella, la Balsa de San Lorenzo y los ullals cercanos al Parque de la Albufera (Figura 118).

Los dos primeros son humedales costeros mediterráneos alimentados por el acuífero mediante flujo vertical, el primero de tipo marjal y el segundo tipo laguna litoral (IGME, 2009b).

Por otro lado, los ullals son humedales costeros de agua dulce que tienen su origen en los afloramientos de acuíferos subterráneos y para este caso en concreto, se transporta su agua gracias a los canales de riego.

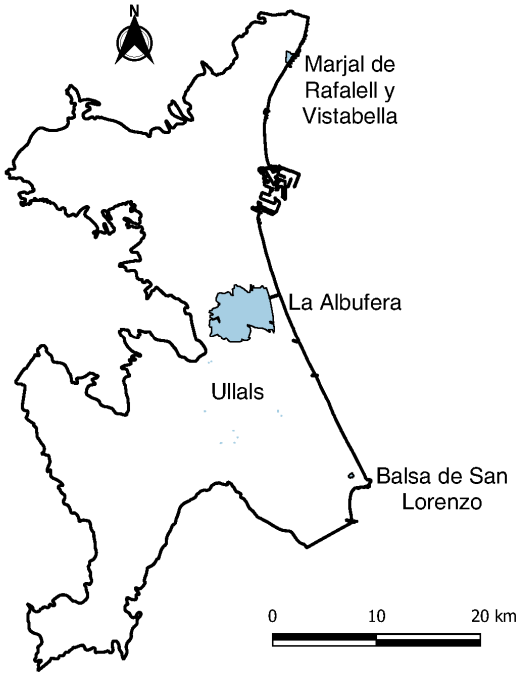


Figura 118. Manantiales, marjales y lagos.

Mención aparte requiere el sistema de la Albufera puesto que es el humedal más importante de la Comunidad Valenciana. El lago cuenta con una superficie de 2.500 ha y se encuentra situado dentro del Parque Natural de La Albufera que tiene una superficie de 21.120 hectáreas (CHJ, 2003). Además, está conectado con los ríos Júcar y Turia y con el acuífero de la Plana.

En la actualidad la Albufera es un humedal costero de agua dulce, pero inicialmente era una laguna de agua salobre en la que se mezclaban el agua marina y la descarga de los acuíferos de la Plana de Valencia Norte y Sur la cual tenía una única salida, la Gola del Rey. Debido al desarrollo del arrozal en el siglo XVII, se tuvo que abrir nuevas golas, que son las que funcionan en la actualidad: las golas del Perelló, del Perellonet y la de Puzol. Con el paso del tiempo, el lago fue haciéndose más pequeño y junto con el desarrollo del regadío en la zona, acabó por convertirlo en un lago de agua dulce como lo conocemos en la actualidad (Sahuquillo, 2012).

Desde un punto de vista hidrológico, los aportes a La Albufera proceden sobre todo de la escorrentía superficial (natural y urbana) y subterránea y de los retornos de riego, afectados tanto por periodos de sequía como por la mejora de la gestión y modernización del sistema de regadío (CHJ, 2007). El Parque recibe los sobrantes de los sistemas de regadío del Turia por el norte y del Júcar por el oeste y sur. Concretamente, por el norte llegan al lago las aguas del Turia a través de las acequias de Favara y del Oro, por el oeste recibe las aguas de la Acequia Real del Júcar. Además, existen tres canales de conexión con la Comunidad de regantes de Sueca que hacen posibles ciertos intercambios de agua (Sahuquillo, 2012). A estos aportes también habría que añadir la precipitación directa sobre el lago y los vertidos directos sin depurar, resultando que un 78% de los aportes de caudal al lago tienen origen antrópico y por tanto dependen del hombre (Palop et al., 2015).

Hay acequias que solamente alimentan al lago en forma de aportación superficial, aportación subterránea y con sobrantes de riego, mientras que hay otras que también vierten efluentes de las EDARs y aguas residuales urbanas e industriales sin tratar (CHJ, 2003).

En la Figura 119 se puede observar la variación de los niveles en el lago para el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1997/1998 y 2006/2007. Se puede apreciar como en el periodo otoñal noviembre-diciembre, los niveles son más altos debido a las inundaciones masivas de los campos que se realizan en la Perellonà y cuando sólo se permiten pequeñas salidas de caudales a través de la Gola de Puzol por motivos ambientales. Por el contrario, desde marzo hasta mediados de abril los niveles son más bajos ya que es la época en la que se deja descansar la tierra. El nivel medio es de 0.26 m.s.n.m.

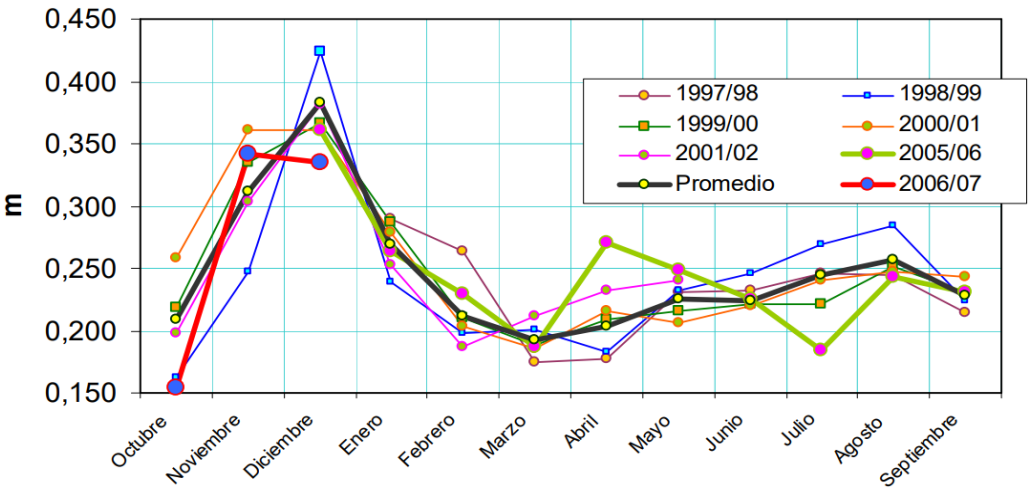


Figura 119. Evolución mensual de los niveles medios en el lago. Fuente: Modificado de CHJ. (2007).

Si comparamos los niveles medios del lago con la serie piezométrica del pozo cercano 08.26.103 (situado al sur del lago), observamos que los niveles en la Albufera son mayores (Figura 14). Este hecho podría explicarse por la antropización del lago, mientras que, los bajos niveles piezométricos son el resultado de la acción de los canales de riego y de los bombeos realizados.

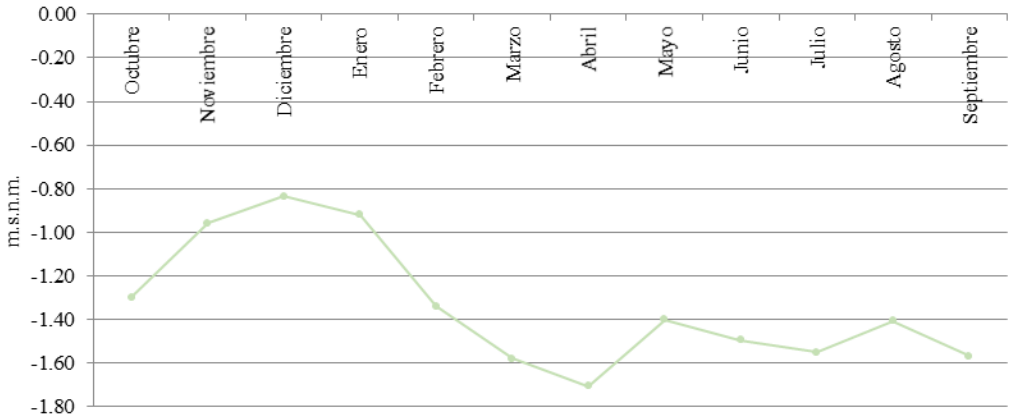


Figura 120. Distribución anual piezométrica del pozo 08.26.103 cerca de Sollana. Fuente: Elaboración propia con datos de la CHJ.

Esto implica que el parque, de acuerdo con su configuración actual (sistema de agua dulce) no puede mantenerse con los aportes procedentes de su cuenca vertiente ni siquiera con los aportes de escorrentía superficial, que es muy reducida al tratarse de una cuenca mediterránea muy llana y permeable (Palop et al., 2015).

6.3.4.6 Canales o acequias

Las acequias introducidas se concentran en la parte este del modelo, en las zonas colindantes al Parque de la Albufera, donde se encuentran mayormente los cultivos de arroz (Figura 121).

En el modelo, por medio de las acequias se están intentando simular los bombeos que se realizan en el entorno del Parque de la Albufera y que detraen agua del sistema subterráneo y la llevan a zonas de interés agrícola. En el modelo, el excedente de esta agua bombeada no retorna al sistema, aunque en la realidad sí lo hace alimentando al lago superficialmente.

Para cuantificar el agua subterránea que se obtiene en el parque, y de acuerdo a Citores (2018), se dividieron los canales en zonas coincidentes con unidades de demanda agrícola (UDAs). Estas unidades son las siguientes:

- Regadíos tradicionales del Turia - Séquia de l'Or.
- Regadíos tradicionales del Turia - Vega de Valencia.
- Regadíos tradicionales del Júcar - Comunidad de Regantes de la Acequia Real del Júcar.
- Regadíos tradicionales del Júcar - Comunidad de Regantes de Sueca.
- Regadíos tradicionales del Júcar - Comunidad de Regantes de Cullera.

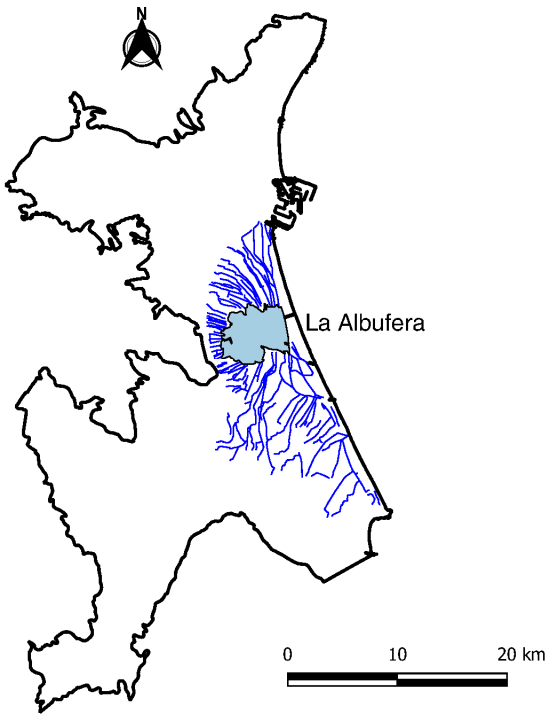


Figura 121. Localización de los canales o acequias en el entorno del parque de la Albufera.

6.3.4.7 Límites

El área a modelar limita al norte con las masas de la Plana de Sagunto y de Liria-Casinos, al oeste con las masas de Buñol-Cheste, La Contienda, Sierra del Ave y Caroch Norte, al sur con un tramo impermeable seguido de las masas de Sierra de las Agujas y Plana de Jaraco y al este con el Mar Mediterráneo (Figura 122).

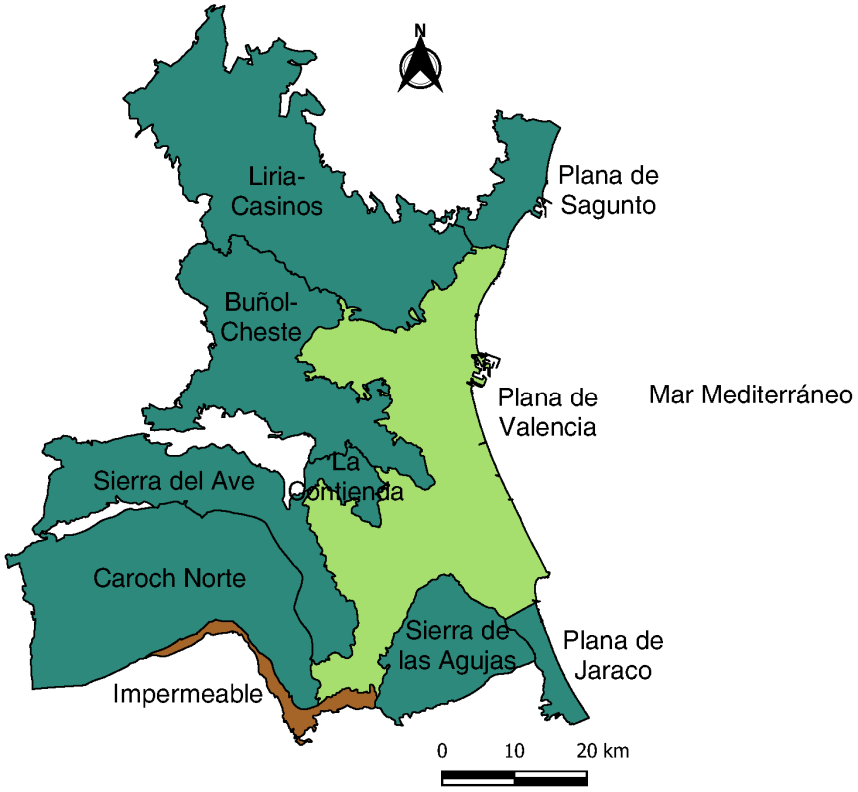


Figura 122. Límites horizontales del modelo.

6.3.4.8 Unidades hidrogeológicas

La Plana de Valencia se encuentra en una zona de confluencia de las estribaciones de las Cordilleras Ibérica y Bética y se divide en dos subcuencas, Plana de Valencia Norte y Plana de Valencia Sur. Por lo general el flujo del agua subterránea se mueve con dirección de oeste a este formando isopiezas paralelas a la línea de costa. Se considera como un sistema multicapa formado por materiales permeables, como gravas, arenas, areniscas y calizas, y materiales impermeables como son las margas y las arcillas. Según el IGME, las edades de los materiales encontrados varían desde el Triásico al Cuaternario.

En el presente trabajo, y de acuerdo a Ballesteros et al. (2012), se han distinguido cuatro unidades con diverso interés hidrogeológico que tienen como base impermeable facies del Keuper:

1. Primera unidad hidrogeológica: está formada por materiales detríticos pliocuaternarios de elevada permeabilidad.
2. Segunda unidad hidrogeológica: está formada por materiales terciarios, calizas, areniscas y conglomerados pliocenos de permeabilidad media.
3. Tercera unidad hidrogeológica: está formada por materiales terciarios, margas miocenas poco permeables.
4. Cuarta unidad hidrogeológica: constituida por materiales mesozoicos de formaciones carbonáticas permeables.

Las potencias y espesores de estas unidades hidrogeológicas son muy variables, especialmente en la Plana de Valencia Sur, debido al mayor conocimiento de detalle de la geología en esta zona.

En la Figura 123 se pueden ver las cotas del techo del modelo y de la base de cada una de las capas.

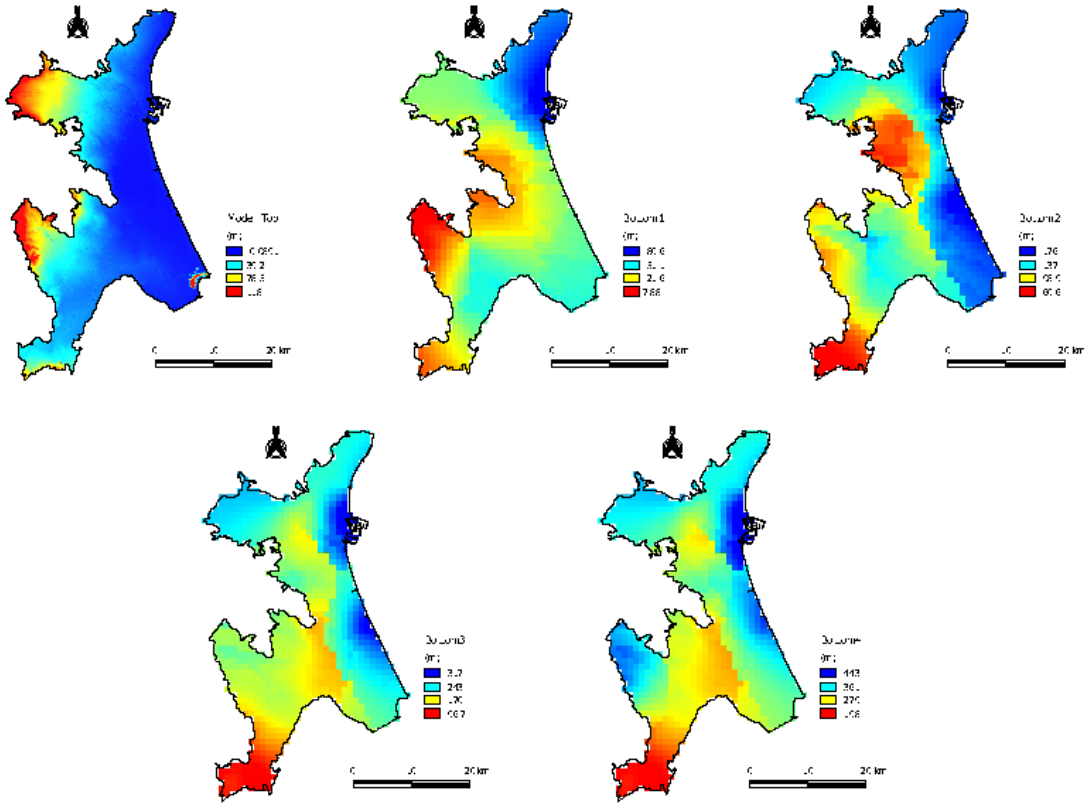


Figura 123. Límites verticales del modelo.

6.3.4.9 Dominios hidrogeológicos

A partir de un análisis de mapas hidrogeológicos, litológicos y de permeabilidad y de fichas de caracterización de la masa de agua subterránea, se determinan 5 dominios hidrogeológicos:

1. Dominio 1 o de permeabilidad muy alta: estas formaciones se constituyen de depósitos aluviales, de fondos de valle y terrazas bajas de los ríos. Se trata de gravas, arenas, limos y travertinos en su mayoría.
2. Dominio 2 o de permeabilidad alta: se forman de materiales provenientes de depósitos de glacis, piedemonte, terrazas medias y altas, cordones litorales y playas. Por lo general contienen arenas y gravas, con intercalaciones de limos, arcillas, calizas, dolomías y margas.
3. Dominio 3 o de permeabilidad media: se trata de formaciones compuestas por calizas, dolomías, margas, conglomerados y calizas travertínicas.
4. Dominio 4 o de permeabilidad baja: se trata de depósitos de estuario, marismas, sedimentos litorales, áreas endorreicas, lacustres y turberas.

Contienen limos, arcillas, materia orgánica, sales, yesos, margas, calizas y conglomerados.

5. Dominio 5 o de permeabilidad muy baja: está constituido por arcillas abigarradas y yesos, pudiendo contener margas y areniscas.

En la Figura 124 se presentan los dominios hidrogeológicos implementados.

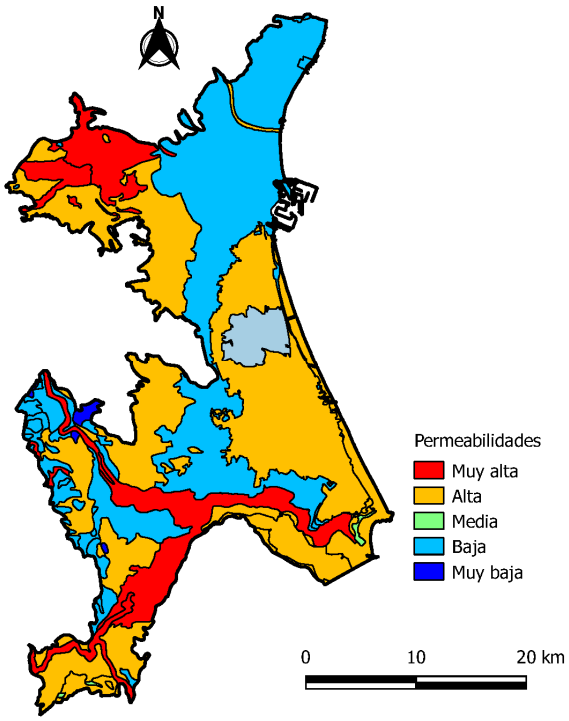


Figura 124. Dominios hidrogeológicos según el mapa de permeabilidades del IGME.

6.3.5 Información disponible

6.3.5.1 Piezometría

En la Figura 125 se ha representado la localización de los piezómetros dentro del dominio del modelo (128), de los operativos (22) y de los representativos (6).

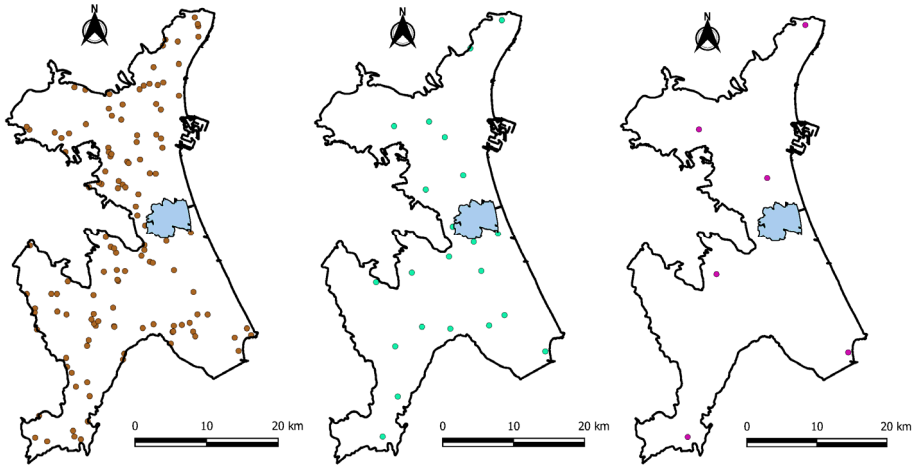


Figura 125. Red de piezómetros en la Plana de Valencia.

En la Figura 126 y en la Figura 127 se muestran las series de los piezómetros operativos en la Plana de Valencia Norte y Sur, respectivamente.

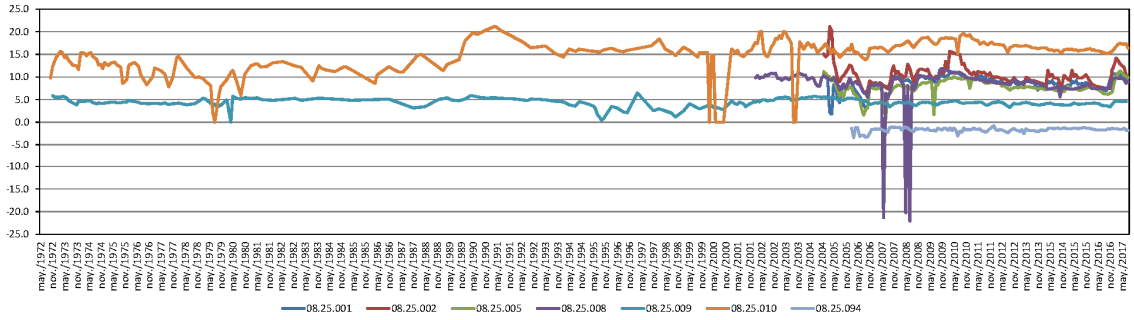


Figura 126. Series de alturas piezométricas en los piezómetros operativos de la Plana Norte de Valencia.

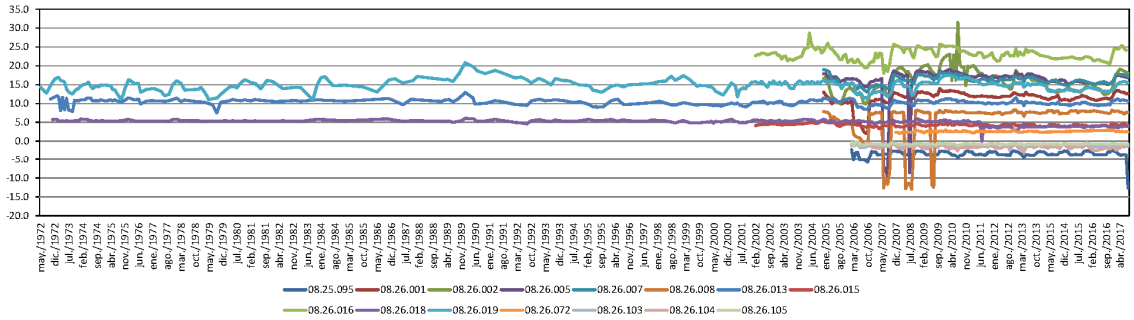


Figura 127. Series de alturas piezométricas en los piezómetros operativos de la Plana Sur de Valencia.

6.3.5.2 Flujos

A nivel superficial se conoce la evolución de los niveles de la lámina de agua del lago de la Albufera (Figura 128).

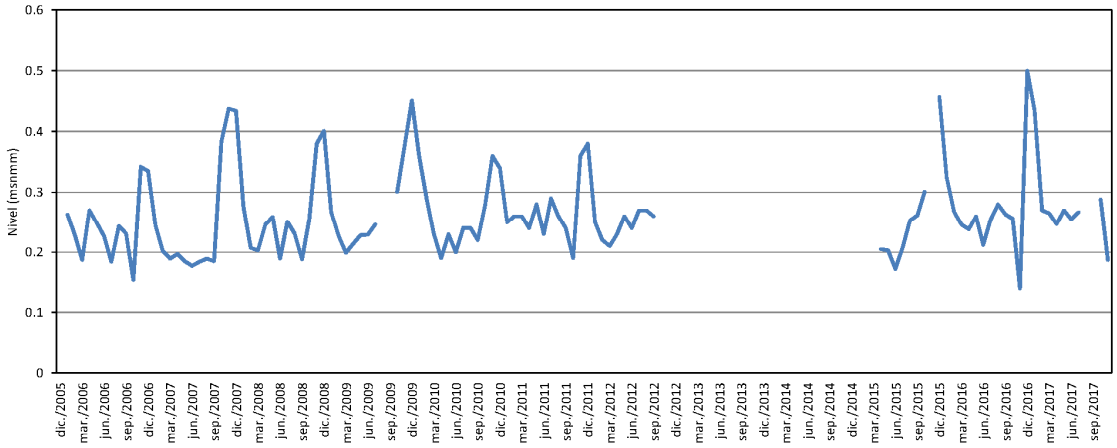


Figura 128. Evolución anual del nivel de agua en el lago de la Albufera.

En cuanto a las transferencias subterráneas, se tienen los aportes subterráneos a la red fluvial, los aportes subterráneos al Parque de la Albufera (parque, acequias, ullals y lago) y las transferencias de agua entre masas subterráneas.

A partir de PATRICAL (Pérez-Martín, 2005), los valores preliminares de los flujos subterráneos son:

1. Flujos entre la masa de agua subterránea y la red fluvial: 45 hm^3/año.
2. Flujos entre la masa de agua subterránea y el parque de la Albufera: 130 hm^3/año.
3. Flujos desde otras masas de agua subterránea y hacia el mar:
    a. Liria-Casinos: 1.86 hm^3/año.
    b. Buñol-Cheste: 21 hm^3/año.
    c. La Contienda: 1 hm^3/año.
    d. Sierra del Ave: 26 hm^3/año.
    e. Caroch Norte: 40 hm^3/año.
    f. Sierra de las Agujas: 11.43 hm^3/año.
    g. Salidas al Mar Plana Norte: 43 hm^3/año.
    h. Salidas al Mar Plana Sur: 32 hm^3/año.

En la Figura 129 se puede ver el resumen de estas transferencias subterráneas de agua.

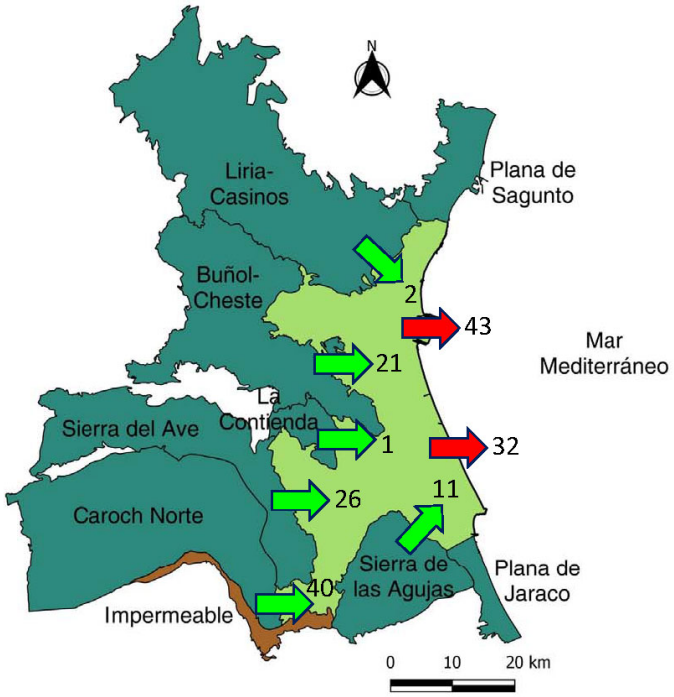


Figura 129. Esquema y valores de las transferencias subterráneos en la Plana de Valencia.

6.3.5.3 Recarga

La recarga se estima mediante PATRICAL (Pérez-Martín, 2005) a escala mensual. En la Figura 130 se puede ver la zonificación utilizada para la misma y en la Figura 131 su evolución anual.

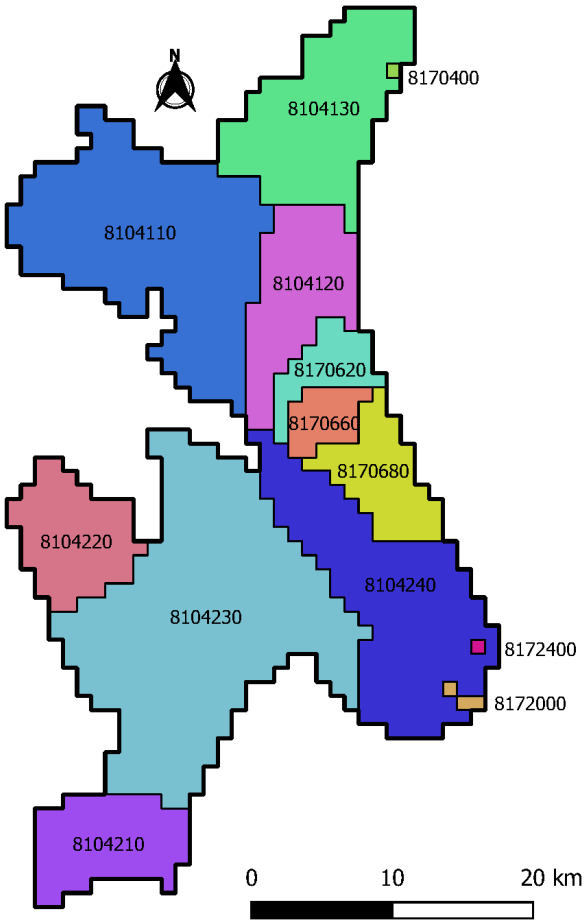


Figura 130. Zonificación de la recarga por infiltración del agua de precipitación.

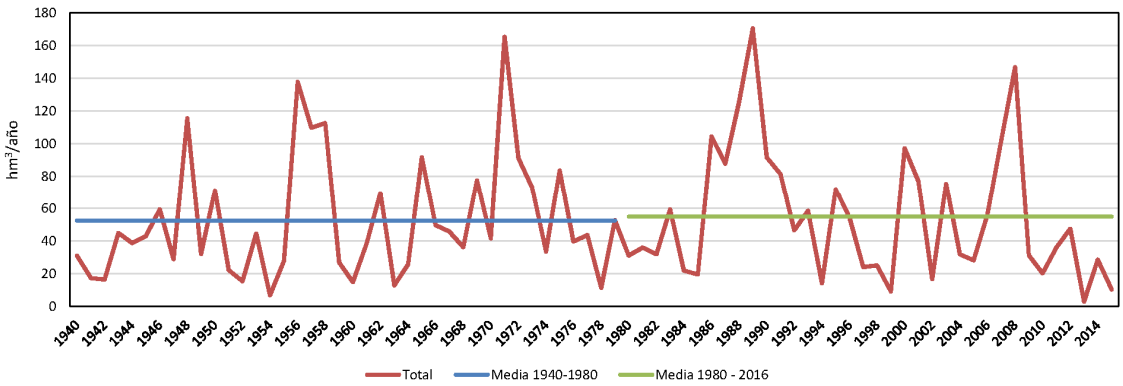


Figura 131. Evolución anual de la recarga por infiltración del agua de precipitación.

La tasa de recarga por excedentes o retornos de riego ha sido facilitada por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Para su cálculo se ha considerado que el agua regada que no es consumida por las plantas bien puede salir del sistema mediante evaporación o puede reintroducirse en él mediante los retornos. Los retornos pueden ser:

1. Superficiales: vuelven al sistema por escorrentía superficial.
2. Subterráneos: se infiltran al acuífero.

Los retornos superficiales no se tienen en cuenta en este modelo y los retornos subterráneos se distribuyen según las unidades de demanda agrícola (Figura 132).

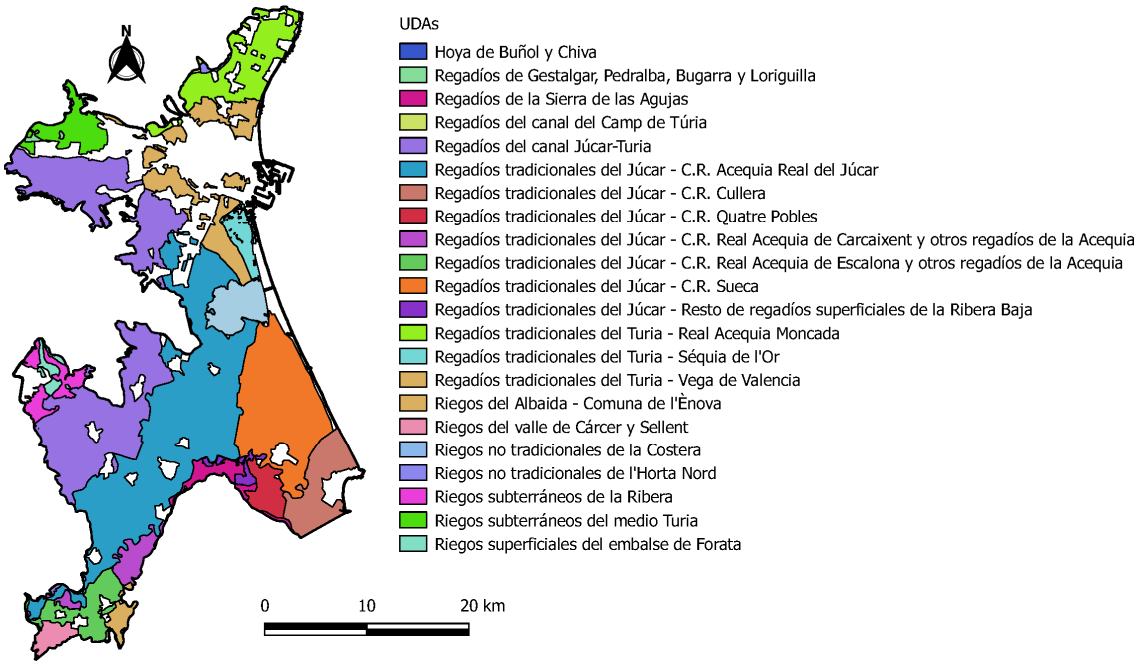


Figura 132. Unidades de demanda agrícola.

En la Figura 133 se representa la evolución de los retornos sobre la Plana de Valencia.

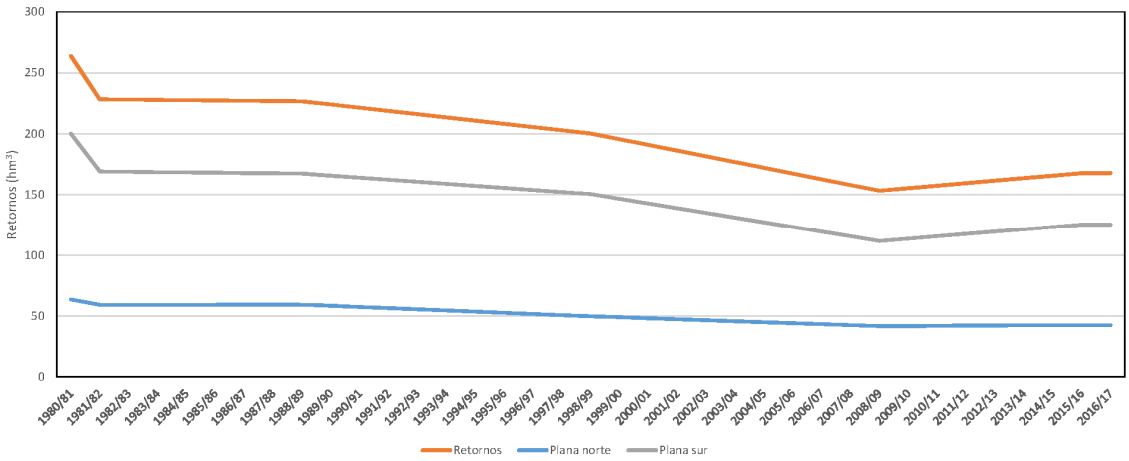


Figura 133. Evolución anual de los retornos de riego en la Plana de Valencia.

6.3.5.4 Bombeos

Los pozos de bombeo se clasifican en tres tipos en este modelo:

1. Pozos de sequía (89).
2. Pozos de abastecimiento urbano (99).
3. Pozos de abastecimiento agrícola (742).

En la Figura 134 se puede ver su localización y en la Figura 135, la evolución anual de los bombeos.

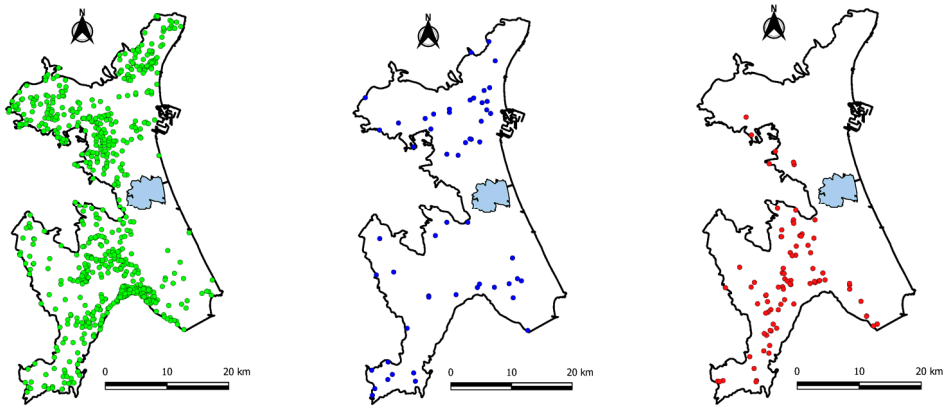


Figura 134. Localización de los pozos de bombeo en la Plana de Valencia. Agrícolas (verde), urbanos (azul) y de sequía (rojo).

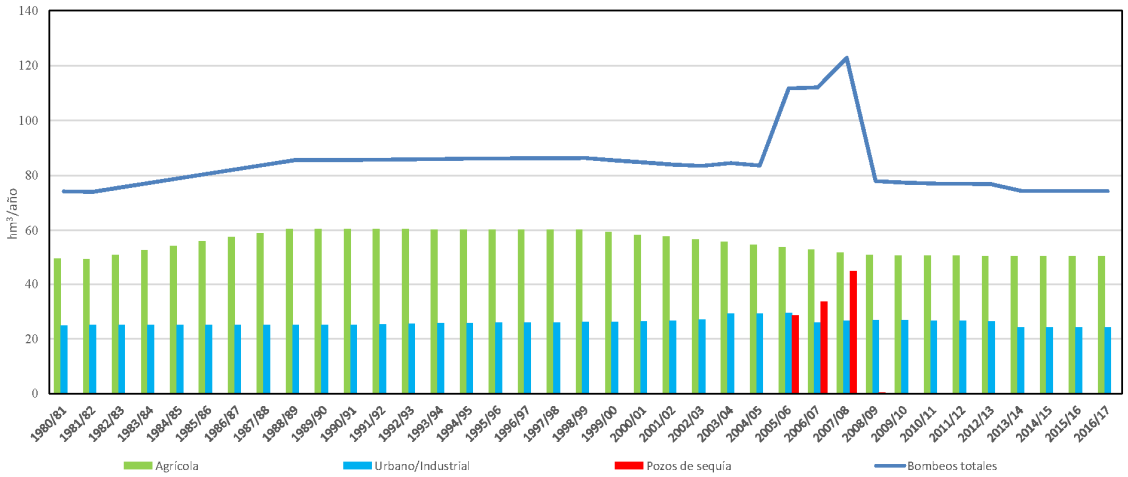


Figura 135. Evolución anual de los bombeos en la Plana de Valencia.

Como se observa en la Figura 135, los bombeos se sitúan entre valores de 80-85 hm³/año, pudiendo sobrepasar los 120 hm³/año en periodos en los que se ponen en marcha protocolos de emergencia por motivos de sequía.

Los bombeos para uso agrícola son los más importantes cuantitativamente, extrayendo de media unos 54 hm³/año en 742 pozos repartidos entre la Plana Norte y Sur.

Los bombeos para uso urbano e industrial extraen un volumen medio de 26 hm³/año repartidos en 99 pozos.

En lo que concierne a los pozos de sequía, su utilización se reduce al periodo de sequía prolongada comprendido entre los años 2006/2009, en el que se tuvo que activar una serie de pozos para completar el suministro de agua a los riegos de la ribera del Júcar y tramo final del río Turia como parte de la puesta en marcha de una serie de medidas de emergencia para solventar los problemas de escasez de agua. Como se puede observar en la Figura 135, se llegaron a extraer 126 hm³ en el año 2007/2008, es decir, unos 40 hm³ al año adicionales a los extraídos en condiciones de normalidad.

Se ha considerado que la profundidad a la que se sitúa la totalidad de los pozos es de -20 m, debido a que, a partir de ese valor se conseguía extraer el máximo de agua posible y el espesor de la capa permitía la extracción. Lo correcto sería poner cada pozo con su profundidad de bombeo real, sin embargo, se carece de esa información.

6.3.6 Diseño y construcción del modelo

El procedimiento para la construcción del modelo ha sido el siguiente:

1. Creación del modelo.
2. Implementación de la discretización horizontal.
3. Implementación de la discretización vertical.
4. Introducción de la discretización temporal.
5. Introducción de la condición inicial.
6. Asignación preliminar de parámetros.
7. Implementación de las condiciones de contorno.
8. Introducción de las acciones exteriores.
9. Selección del *solver*.
10. Zonas para el balance.

6.3.6.1 Creación del modelo

Se trata de abrir un nuevo proyecto con información básica acerca del modelo. Toda la información introducida en este paso podrá ser modificada más adelante. En este paso se introduce una pequeña descripción del modelo, la fecha de inicio de la simulación, el sistema de proyección cartográfica utilizado, una discretización espacial preliminar, y un nombre para el proyecto, como puede verse en la Figura 136 y en la Figura 137.

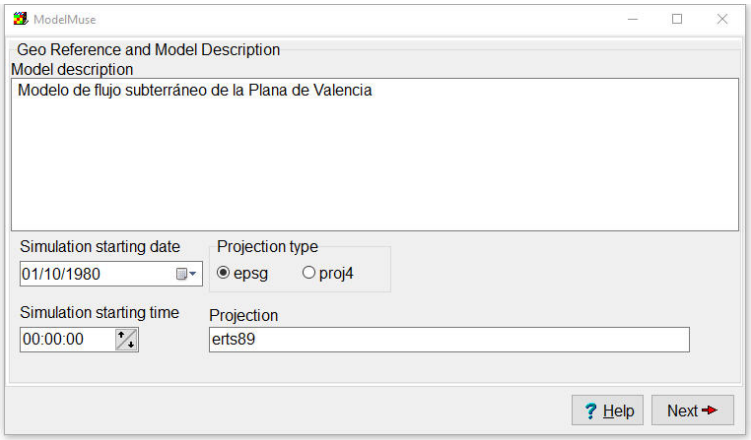


Figura 136. Información inicial para la creación del modelo de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

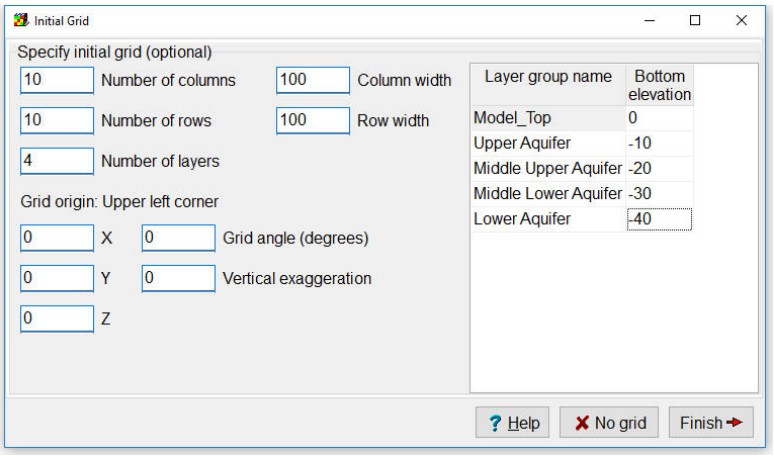


Figura 137. Discretización inicial de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

6.3.6.2 Implementación de la discretización horizontal

La discretización espacial se separa en horizontal y vertical. En este apartado se habla de la horizontal, es decir, la que corresponde al plano *xy*. Hay muchas maneras de introducir la geometría del modelo en ModelMuse. La utilizada en este trabajo parte de dar entrada al contorno del dominio modelado y el tamaño de celda deseado. La aplicación calcula automáticamente el número de celdas en *x* y en *y*.

El contorno del modelo es introducido mediante un archivo shape (*MasaPV.shp*) y el tamaño de celda fijado ha sido igual a 1000 m. El resultado de la discretización puede verse en la Figura 138.

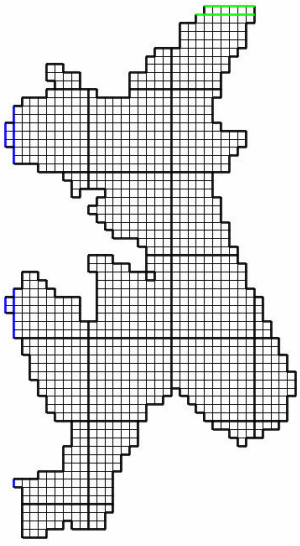


Figura 138. Discretización horizontal de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

Como resultado de esta discretización, el modelo queda enmarcado dentro de un dominio rectangular de 35 celdas en la dirección *x* y 64 celdas en la dirección *y*.

6.3.6.3 Implementación de la discretización vertical

En la dimensión vertical (eje *z*), el sistema está integrado por 4 capas:

1. Acuífero superior (*Upper Aquifer*).
2. Acuífero medio superior (*Middle Upper Aquifer*).
3. Acuífero medio inferior (*Middle Lower Aquifer*).
4. Acuífero inferior (*Lower Aquifer*).

Para su definición se necesita informar al modelo de:

1. Cotas del techo de la capa superior (*Model_Top*).
2. Cotas de la base de la capa superior (*Upper_Aquifer_Bottom*).
3. Cotas de la base la capa media superior (*Middle_Upper_Aquifer_Bottom*).
4. Cotas de la base la capa media inferior (*Middle_Lower_Aquifer_Bottom*).
5. Cotas de la base de la capa inferior (*Lower_Aquifer_Bottom*).

Para cada una de estas superficies se dispone de un archivo ráster (*Model_Top.asc, Bottom1.asc, Bottom2.asc, Bottom3.asc* y *Bottom4.asc*), definidos a la escala de la discretización horizontal, es decir, sobre celdas de 1000 m por 1000 m. Se deben importar estos archivos. El resultado de la discretización vertical puede verse en la Figura 139.

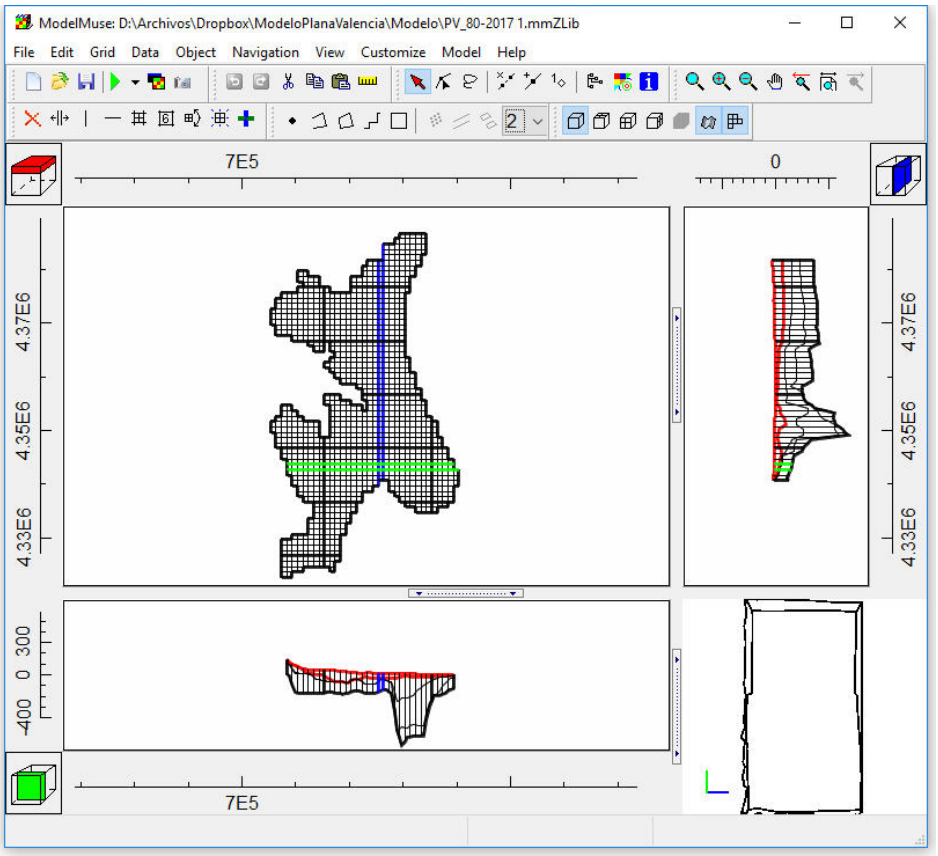


Figura 139. Discretización vertical de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

Corresponde ahora configurar el tipo de capa, que puede ser:

1. Confinada: funciona como confinada.
2. Convertible: funciona como confinada o libre según la superficie piezométrica esté por encima o por debajo del techo de la misma.
3. No simulada: la capa no se simula.

En este modelo todas las capas funcionan como convertibles menos la última (inferior) que es confinada.

6.3.6.4 Introducción de la discretización temporal

En este modelo se trabaja a escala mensual. El periodo de simulación va desde octubre de 1940 hasta septiembre de 2017, dividido de la siguiente manera:

3. Régimen no influenciado (estacionario): octubre de 1940 a septiembre de 1980 (40 años).
4. Régimen influenciado (transitorio): octubre de 1980 a septiembre de 2017 (37 años).

Se llama régimen no influenciado, a la situación en la cual se simula el comportamiento del acuífero antes de ser explotado, esto es, sin considerar los efectos de los bombeos. Se llama régimen influenciado, a la situación en la cual se simula el comportamiento del acuífero siendo explotado, esto es, considerando los efectos de los bombeos y sus consecuencias (retornos y acequias).

Una simulación estacionaria requiere un solo periodo de esfuerzo y un solo paso de tiempo. La longitud del periodo de esfuerzo no afecta la solución del sistema y por tanto a las alturas piezométricas. El término del almacenamiento se fija en cero al inicio de la simulación (lo hace el programa). La configuración por defecto sirve para una simulación estacionaria excepto por la unidad de tiempo, que en este modelo es el día.

La simulación transitoria se hace a través del periodo 1980/81 a 2016/17 a escala mensual. Esto supone 444 meses (13514 días). En principio se considera que cada mes corresponde a un periodo de esfuerzo (*stress period*) y que cada uno es discretizado en un único paso de tiempo (*time steps*), cuya longitud es el número de días del mes. En la Figura 140 se puede ver como quedaría la discretización temporal en régimen transitorio.

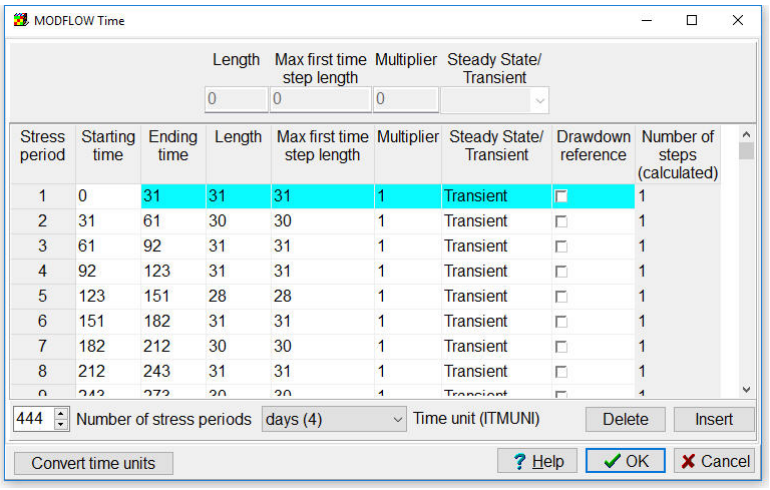


Figura 140. Discretización temporal para la simulación en régimen transitorio de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

6.3.6.5 Introducción de la condición inicial

La condición inicial describe los valores de la altura piezométrica para un tiempo considerado inicial. Estrictamente hablando, la condición inicial es requerida cuando se realizan simulaciones transitorias. Sin embargo, los modelos numéricos cuyas soluciones se obtienen a través de algoritmos iterativos, como es el caso de MODFLOW, requieren unas alturas de partida también en el caso de simulaciones estacionarias.

La elección de estas alturas iniciales puede tener una gran influencia sobre el proceso iterativo y la convergencia de la solución. Algunos criterios para seleccionar estas alturas pueden ser:

1. Que estén dentro del rango de la solución.
2. Considerarlas relativas a la topografía.
3. Que estén por encima de la base del modelo.
4. En modelos 3D que estén por encima de la base de la capa superior.
5. Considerarlas relativas a las condiciones de contorno impuestas.

En este modelo, para régimen estacionario se ha considerado como condición inicial la topografía del terreno (*Model_Top*), y para régimen transitorio un mapa de piezometría realizado por la empresa EPTISA para el año 2005 que se puede ver en la Figura 141.

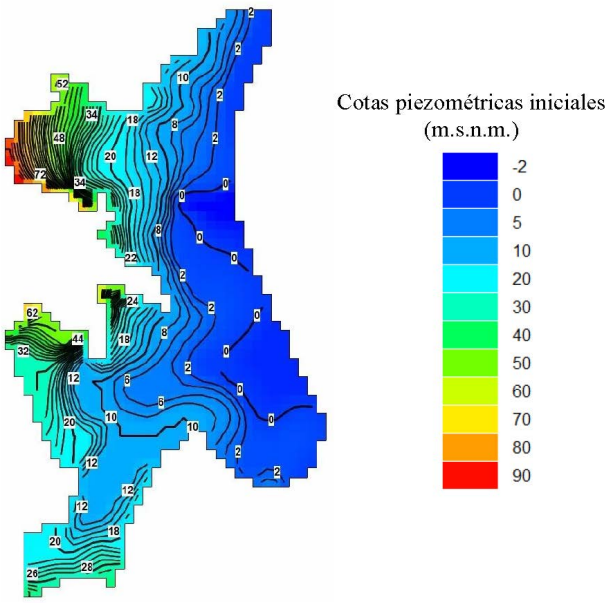


Figura 141. Alturas iniciales para la simulación en régimen transitorio de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

La condición inicial en régimen transitorio fue preparada en una hoja de cálculo (*AlturasInicialesPV.xlsx*) e importada como archivo de puntos por ModelMuse.

6.3.6.6 Asignación preliminar de parámetros

Los parámetros a configurar son las componentes de la conductividad hidráulica (*Kx*, *Ky* y *Kz*), el almacenamiento específico (*Ss*) y el rendimiento específico (*Sy*). En la fase preliminar de la modelación se dará valores a los parámetros según los dominios hidrogeológicos y rangos de valores mostrados en la Figura 142 y en la Tabla 22, respectivamente.

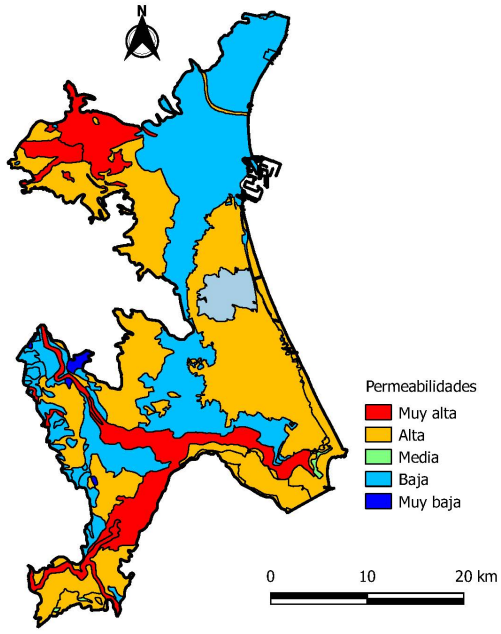


Figura 142. Dominios hidrogeológicos para la simulación del flujo de la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

	K (m/día)	S_s (1/m)	S_y (–)
Dominio 1	>10000 – 450	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.20 – 0.35
Dominio 2	450 – 1	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.20 – 0.35
Dominio 3	1 –0.01	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.10 – 0.20
Dominio 4	0.01 – 0.0001	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.05 – 0.10
Dominio 5	0.0001 – <0.000001	$10^{-5} - 10^{-2}$	0.05 – 0.10

Tabla 22. Rangos de valores según dominios hidrogeológicos de la conductividad hidráulica, el almacenamiento específico y el rendimiento específico.

Los dominios hidrogeológicos se generan mediante un sistema de información geográfica a partir de la información geológica disponible. Se importan como un único archivo (*DominiosHidrogeologicos.shp*).

Para la asignación de valores de *K* se asume que *Kx* = *Ky* y *Kz* = *Kx*=10. A partir de la tabla 2 se decide que los valores de *Kx* son 1000 m/seg, 100 m/seg, 1 m/seg, 0.01 m/seg y 0.0001 m/seg para los dominios 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. Todas las capas con los mismos valores. Estos valores se modificarán durante la calibración.

Para la asignación de los parámetros de almacenamiento conviene recordar que si la capa es libre se requieren valores del rendimiento específico *Sy*, si la capa es confinada se requieren valores del almacenamiento específico *Ss*, y si la capa es convertible se debe asignar tanto el rendimiento específico como el almacenamiento específico. El rendimiento específico es apropiado para capas que contienen el nivel freático. Si un acuífero libre es representado por varias capas, solo la que contenga el nivel freático será libre, las demás funcionan como confinadas utilizando por tanto el almacenamiento específico.

La zonificación para los parámetros de almacenamiento es la misma que para la conductividad hidráulica. Para el almacenamiento específico, y en función de la tabla 2, se asigna el valor de 0.01 1/m a todo el acuífero. Para el rendimiento específico los siguientes valores: dominio 1=0.3, dominio 2=0.2, dominio 3=0.2, dominio 4=0.1 y dominio 5=0.1. Los parámetros de almacenamiento solo se introducen en régimen transitorio. Estos valores se modificarán durante la calibración.

Para incorporar los valores arriba seleccionados al modelo, se han generado archivos *shape* en un SIG que incluyen tanto la zonificación como los valores de los parámetros en cada zona. Se prepara un archivo por cada capa. Para la conductividad hidráulica (K_x, K_y, K_z):

- *KsCapa1.shp*.
- *KsCapa2.shp*.
- *KsCapa3.shp*.
- *KsCapa4.shp*.

Para el coeficiente de almacenamiento específico (S_s) y el rendimiento específico (S_y):

- *SCapa1.shp*.

- *SCapa2.shp*.
- *SCapa3.shp*.
- *SCapa4.shp*.

De esta manera el proceso de introducción de parámetros es muy rápido importando los *shapefiles*.

6.3.6.7 Implementación de las condiciones de contorno

Las condiciones de contorno se pueden clasificar en:

1. Los límites laterales.
2. Los cuerpos de agua superficial.
3. Los drenajes.
4. La recarga.

6.3.6.7.1 Los límites laterales

En este modelo son:

a) Los límites impermeables.
b) Los límites con otras masas de agua subterránea: Plana de Sagunto, Liria-Casinos, Buñol-Cheste, La Contienda, Sierra del Ave, Caroch Norte, Sierra de las Agujas y la Plana de Jaraco.
c) Los límites con el mar.

En la Figura 143 se puede ver los límites laterales a configurar.

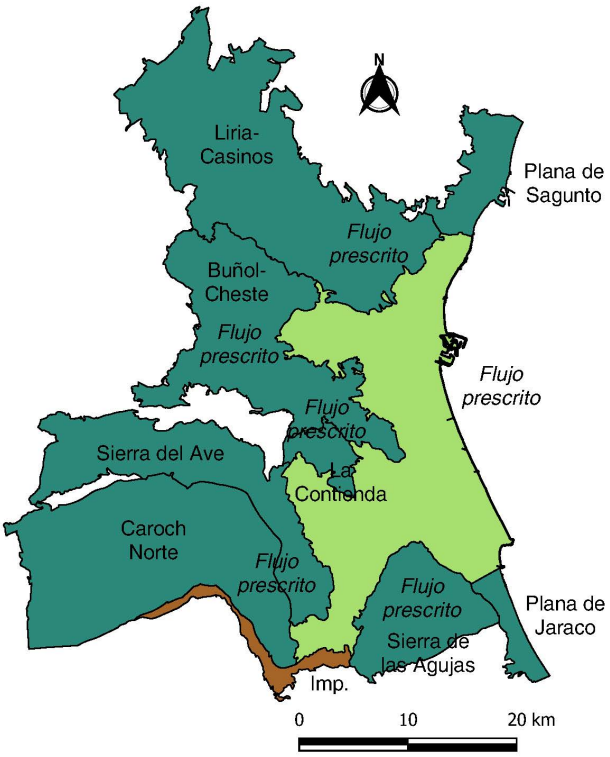


Figura 143. Límites laterales y su condición hidrogeológica en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

Los límites impermeables no requieren ninguna configuración ya que en MODFLOW-ModelMuse, por defecto todos los límites son impermeables.

Los límites abiertos son aquellos a través de los cuales puede entrar o salir agua al o del sistema. Lo habitual es modelar estos contornos en base al conocimiento de tres parámetros: la altura de agua en el exterior, el flujo atravesando el contorno y la conductancia de los materiales que forman el borde. Suelen conocerse dos de estos parámetros y se calibra el tercero.

La información que se tiene acerca de estos contornos (PATRICAL) se puede ver en la Figura 144.

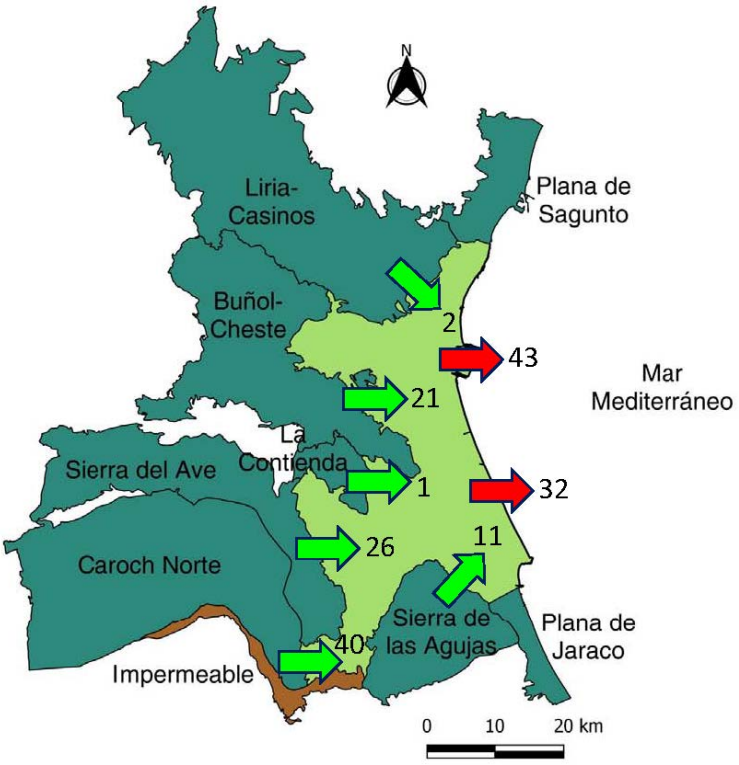


Figura 144. Flujos laterales calibrados con PATRICAL en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

Tanto en régimen estacionario como transitorio se busca calibrar una altura y una conductancia que garanticen los flujos de entrada que se ven en la Figura 144. Si fuera necesario estos valores se modificarán a la hora de calibrar el modelo.

La línea de costa es tratada de la misma manera que los límites con otras masas de agua subterránea. Se intentan calibrar los flujos de salida que se ven en la Figura 144.

Los límites abiertos se han simulado como un contorno de tipo 3 (flujo dependiente de la altura piezométrica). Se utiliza el paquete GHB (*General-Head Boundary*) de MODFLOW que requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo.
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo.
3. *Boundary head*: altura de referencia de la fuente o sumidero externo.
4. *Conductance*: conductancia de los materiales entre la fuente o sumidero externo y el dominio del modelo.

La información acerca de los límites laterales se ordena y prepara en una hoja de cálculo (*GHB-PV.xlsx*). Todas las conductancias fueron definidas en función de la componente de la conductividad hidráulica en la dirección x (K_x). De forma similar se ha trabajado con los límites del modelo con el mar.

6.3.6.7.2 Los cuerpos de agua superficial

La red fluvial de esta zona está formada por los ríos Turia, Rambla del Poyo, Magro, Verde, Júcar, Sellent y Albaida. Además, es necesario tener en cuenta el lago de la Albufera.

Un cauce se simula como un contorno de tipo 3 (flujo dependiente de la altura piezométrica). Para ello se utiliza el paquete RIV (*River*) de MODFLOW que requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo.
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo.
3. *River stage*: altura de agua en el río.
4. *Conductance*: conductancia de los materiales del lecho del río.
5. *River bottom*: cota del lecho del río.

La red fluvial fue introducida a partir de organizar la información en una hoja de cálculo (*Configuración-de-los-ríos.xlsx*). También en este caso los valores de las conductancias de los materiales semipermeables de los lechos fueron definidas en función de la componente en la dirección x de la conductividad hidráulica (K_x).

6.3.6.7.3 Los drenajes

En este modelo se consideran los siguientes drenajes:

1. Canales de riego o acequias.
2. La Marjal de Rafallel y Vistabella y la Balsa de San Lorenzo.
3. Manantiales o "Ullals".

Se han simulado como un contorno de tipo 3 (flujo dependiente de la altura piezométrica). Se utiliza el paquete DRN (*Drain*) de MODFLOW que requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo.
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo.
3. *Boundary head*: altura de referencia del dren.
4. *Conductance*: conductancia de los materiales entre el dren y el dominio del modelo.

El paquete DRN permite simular los efectos del drenaje agrícola. El drenaje agrícola es el conjunto de obras que se construyen en una parcela con el objeto de desalojar excedentes de agua en la superficie del terreno o en el perfil de suelo. Un dren agrícola es un dispositivo a través del cual se extrae agua de un acuífero a un caudal proporcional a la diferencia de potencial entre el acuífero y el dren. El dren puede ser una tubería horizontal perforada o un canal abierto con lecho semipermeable. Tal dispositivo cumple sus objetivos siempre que la cota del nivel piezométrico en el acuífero esté por encima del nivel fijo correspondiente al dren.

Se dispone de archivos *shape* con los cuerpos de agua superficial que funcionarán como drenes los cuales pueden ser importados con MODELMUSE, ellos son:

1. Los canales de riego o acequias: *Canales.shp*.
2. La Marjal de Rafallel y Vistabella: *Marjal.shp*.
3. La Balsa de San Lorenzo: *BalsaSanLorenzo.shp*.
4. Los Manantiales o "Ullals": *Ullals.shp*.

Una vez que el objeto es creado se enlaza con el paquete DRN definiendo el inicio y final de cada periodo de esfuerzo, la altura de referencia del dren, la conductancia de los materiales entre el dren y el dominio del modelo.

6.3.6.7.4 La recarga

Tenemos recarga por infiltración del agua de precipitación y por retornos de riego.

La recarga por precipitación está zonificada siguiendo la distribución utilizada en PATRICAL (Pérez-Martín, 2005), y que puede verse en la Figura 145.

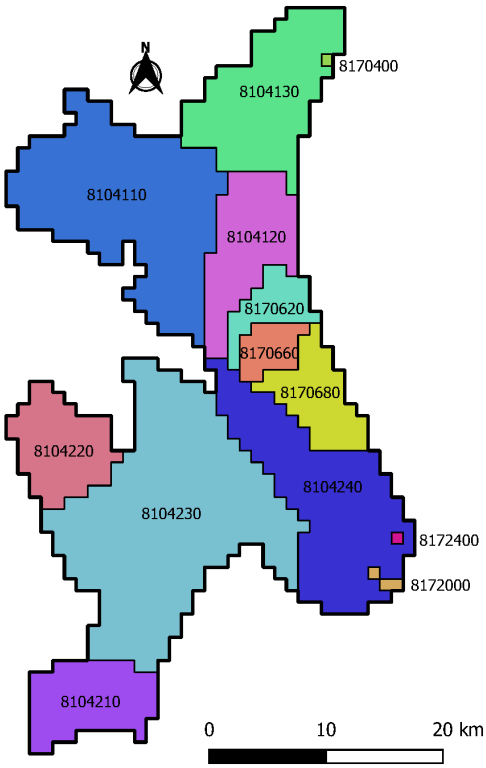


Figura 145. Zonificación utilizada para introducir la recarga por infiltración del agua de precipitación en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

La recarga se simula como un contorno de tipo 2 (flujo prescrito). Para ello se utiliza el paquete RCH (*Recharge*) de MODFLOW que, requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo durante el cual se produce la recarga [T].

2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo durante el cual se produce la recarga [T].
3. *Recharge rate*: tasa de recarga durante el periodo de esfuerzo antes configurado [L/T].

En régimen estacionario se asigna un valor único representativo de la recarga en cada zona a lo largo de toda la serie temporal (media aritmética de los valores entre los años hidrológicos 1940/41 y 1979/80). En régimen transitorio se asigna un valor mensual de recarga a cada zona entre los años hidrológicos 1980/81 y 2016/17. Esta información está preparada para ser introducida en ModelMuse en la hoja de cálculo *RecargaPV.xlsx*.

La tasa de recarga por excedentes o retornos de riego ha sido facilitada por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Para su cálculo se ha considerado que el agua regada que no es consumida por las plantas bien puede salir del sistema mediante evaporación o puede reintroducirse en él mediante los retornos.

Los retornos pueden ser:

1. Superficiales: vuelven al sistema por escorrentía superficial.
2. Subterráneos: se infiltran al acuífero.

Los retornos superficiales no se tienen en cuenta en este modelo. Los retornos subterráneos se distribuyen según las unidades de demanda agrícola (Figura 146).

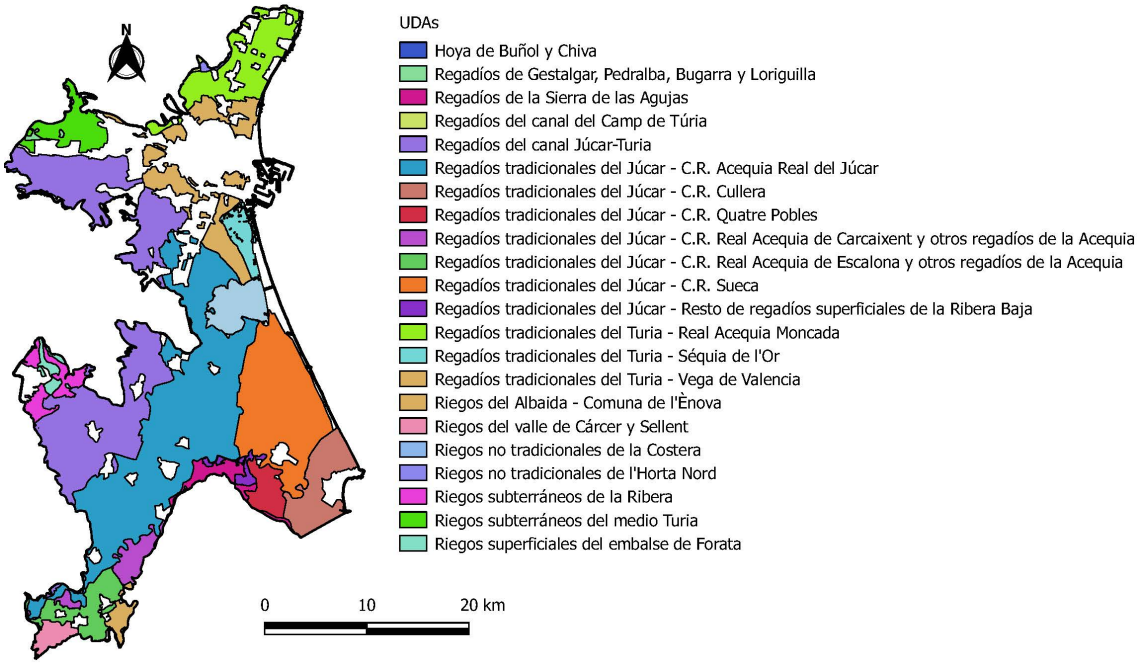


Figura 146. Unidades de demanda agrícola en la masa de agua subterránea de la Plana de Valencia.

La recarga por retornos de riego se simula como un contorno de tipo 2 (flujo prescrito). Para ello se utiliza el paquete RCH (*Recharge*) de MODFLOW que, requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo durante el cual se produce la recarga [T].
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo durante el cual se produce la recarga [T].
3. *Recharge rate*: tasa de recarga durante el periodo de esfuerzo antes configurado [L/T].

En régimen estacionario (no influenciado) no se consideran retornos. En régimen transitorio se asigna un valor mensual de retorno a cada zona entre los años hidrológicos 1980/81 y 2016/17. Esta información está preparada para ser introducida en ModelMuse en la hoja de cálculo *RetornosPV.xlsx.*

6.3.6.8 Introducción de las acciones exteriores

Como acciones exteriores tenemos los bombeos. Los bombeos se han clasificado en 3 tipos: agrícolas, urbanos y de sequía. Se simulan como un contorno de tipo 2 (flujo prescrito). Para ello se utiliza el paquete WEL (*Well*) de MODFLOW que, requiere la siguiente información:

1. *Starting time*: inicio del periodo de esfuerzo durante el cual se produce el bombeo o la inyección [T].
2. *Ending time*: final del periodo de esfuerzo durante el cual se produce el bombeo o la inyección [T].
3. *Pumping rate*: tasa de bombeo o inyección durante el periodo de esfuerzo antes configurado [L^3/T].

En régimen estacionario (no influenciado) no hay bombeos. En régimen transitorio se asigna un valor mensual de bombeo a cada pozo entre los años hidrológicos 1980/81 y 2016/17. Esta información se prepara en hoja de cálculo, una para cada tipo de pozos: *BombeosSequíaPV.xlsx, BombeosUrbanosPV.xlsx* y *BombeosAgrícolasPV.xlsx.* A partir de esas hojas y utilizando un GIS se generan capas que pueden ser importadas con ModelMuse (*BombeosSequíaPV.shp, BombeosUrbanosPV_80_98.shp, BombeosUrbanosPV_98_16.shp, BombeosUrbanos PV_16_17.shp, BombeosAgrícolasPV_80_98.shp, BombeosAgrícolasPV_98_16.shp y BombeosAgrícolasPV_16_17.shp*).

6.3.6.9 Selección del solver

En la Figura 147 se puede ver el algoritmo de resolución de los sistemas de ecuaciones seleccionado y sus características. El criterio de cierre ha sido fijado en 0.1 m.

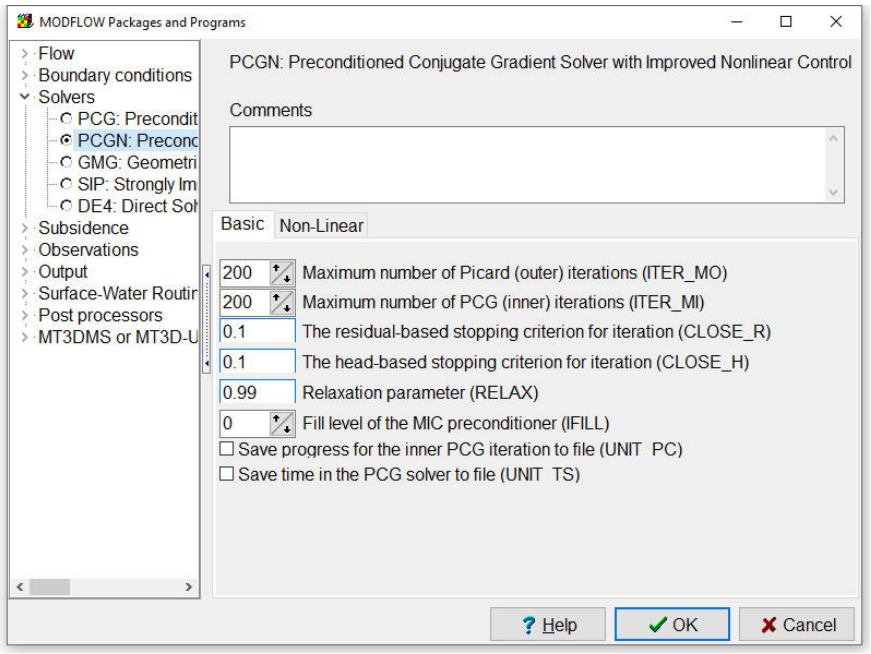


Figura 147. Algoritmo y parámetros para la resolución de los sistemas de ecuaciones.

Con estos parámetros no se comete en ninguna iteración un error mayor del 1% en el balance hídrico garantizando la conservación de la masa.

6.3.6.10 Zonas para el balance

Para llevar a cabo un balance hidrológico detallado se establecen las siguientes zonas:

- Zona 1: Costa norte superior.
- Zona 2: Costa norte inferior.
- Zona 3: Costa sur superior.
- Zona 4: Costa sur inferior.
- Zona 5: Marjal de Rafallel y Vistabella.
- Zona 6: Balsa de San Lorenzo.
- Zona 7: Lago de la Albufera.
- Zona 8: Contorno con Sagunto.
- Zona 9: Contorno con Liria Casinos.
- Zona 10: Contorno con Buñol Cheste.
- Zona 11: Contorno con La Contienda.
- Zona 12: Contorno con la Sierra del Ave.
- Zona 13: Contorno con Caroch Norte.
- Zona 14: Contorno con la Sierra de las Agujas.
- Zona 15: Contorno con Jaraco.

- Zona 16: Canales de la zona norte y sur.
- Zona 17: Río Júcar.
- Zona 18: Río Verde.
- Zona 19: Río Magro.
- Zona 20: Río Sellent.
- Zona 21: Río Albaida.
- Zona 22: Rambla del Poyo.
- Zona 23: Río Turia.
- Zona 24: Ullals.

Dichas zonas se establecen utilizando el programa ZoneBudget de MODFLOW.

6.3.7 Calibración

Después de haber implementado el modelo se procede a su calibración. Para ello buscaremos los parámetros, las condiciones iniciales y de contorno y las acciones externas que permitan que el modelo reproduzca las variables de estado (alturas piezométricas y flujos) con una cierta tolerancia.

Las modificaciones realizadas al modelo durante el proceso de calibración fueron las siguientes:

1. Cambios en los valores de algunos parámetros de los acuíferos.
2. Cambios en los valores de algunos parámetros de los ríos.
3. Cambios en los valores de algunos parámetros de la Albufera.

El modelo se ha calibrado en régimen alterado (transitorio) y de forma manual.

6.3.7.1 Los parámetros de los acuíferos

En las Figura 148, Figura 149, Figura 150 y Figura 151, se pueden ver los valores definitivos de los parámetros hidrogeológicos para las distintas capas del modelo (componentes de la conductividad hidráulica, almacenamiento específico y rendimiento específico).

CAPA 1			
Zona	Kx	Ky	Kz
1	0.05	0.05	0.005
2	0.5	0.5	0.05
3	1	1	0.1
4	3	3	0.3
5	5	5	0.5
6	7	7	0.7
7	10	10	1
8	45	45	4.5
9	70	70	7
10	80	80	8
11	86.4	86.4	8.64
12	100	100	10
13	150	150	15
14	250	250	25
15	524	524	52.4
16	683	683	68.3
17	800	800	80
18	875	875	87.5
19	900	900	90
20	1000	1000	100
21	1500	1500	150

CAPA 1		
Zona	Sy	Ss
1	0.006	0.0001
2	0.01	0.00001
3	0.02	0.00001
4	0.05	0.00001
5	0.07	0.001
6	0.1	0.00001

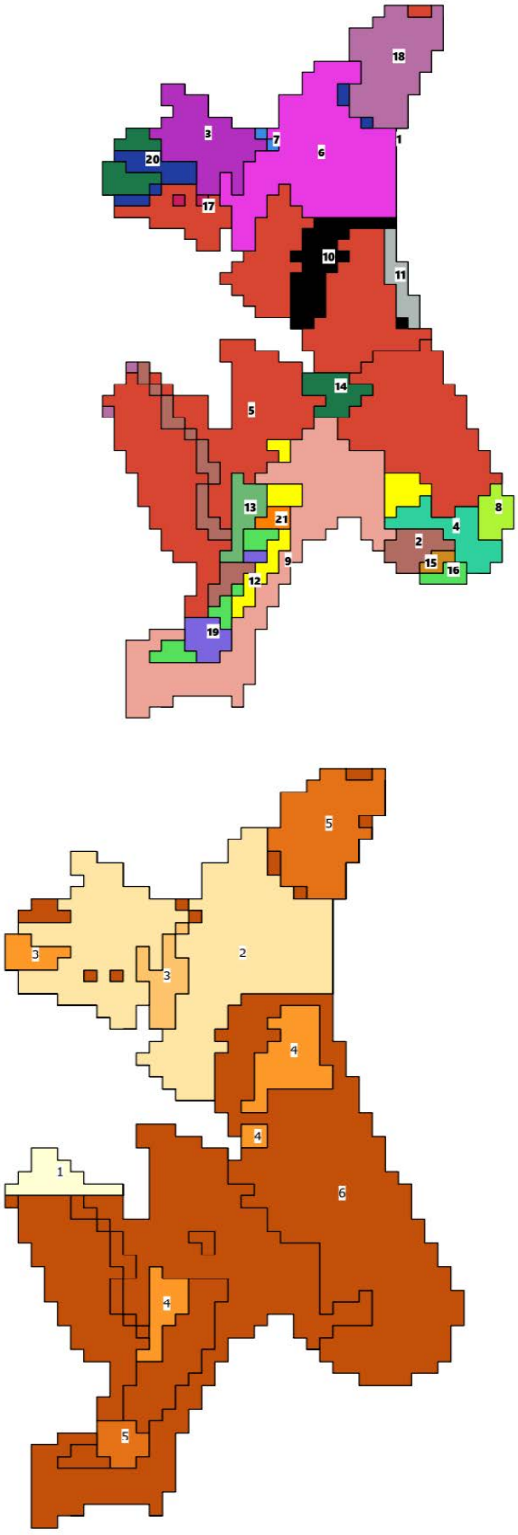


Figura 148. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 1 del modelo de la Plana de Valencia.

CAPA 2			
Zona	Kx	Ky	Kz
1	0.1	0.1	0.01
2	4	4	0.4
3	10	10	1
4	30	30	3

CAPA 2		
Zona	Sy	Ss
1	0.01	0.00001
2	0.05	0.00001
3	0.1	0.00001

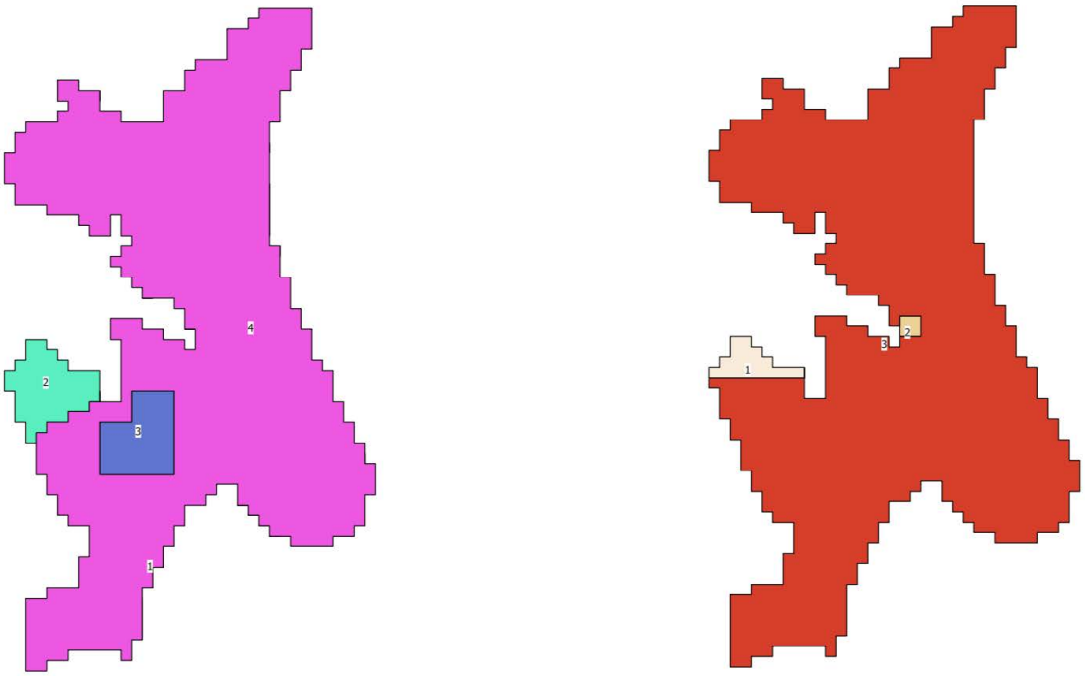


Figura 149. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 2 del modelo de la Plana de Valencia

CAPA3			
Zona	Kx	Ky	Kz
1	0.1	0.1	0.01

CAPA 3		
Zona	Sy	Ss
1	0.1	0.00001

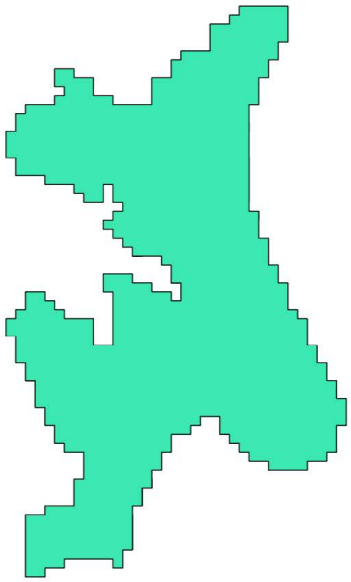


Figura 150. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 3 del modelo de la Plana de Valencia

CAPA 4			
Zona	Kx	Ky	Kz
1	0.1	0.1	0.01
2	45	45	4.5

CAPA 4		
Zona	Sy	Ss
1	0.1	0.00001

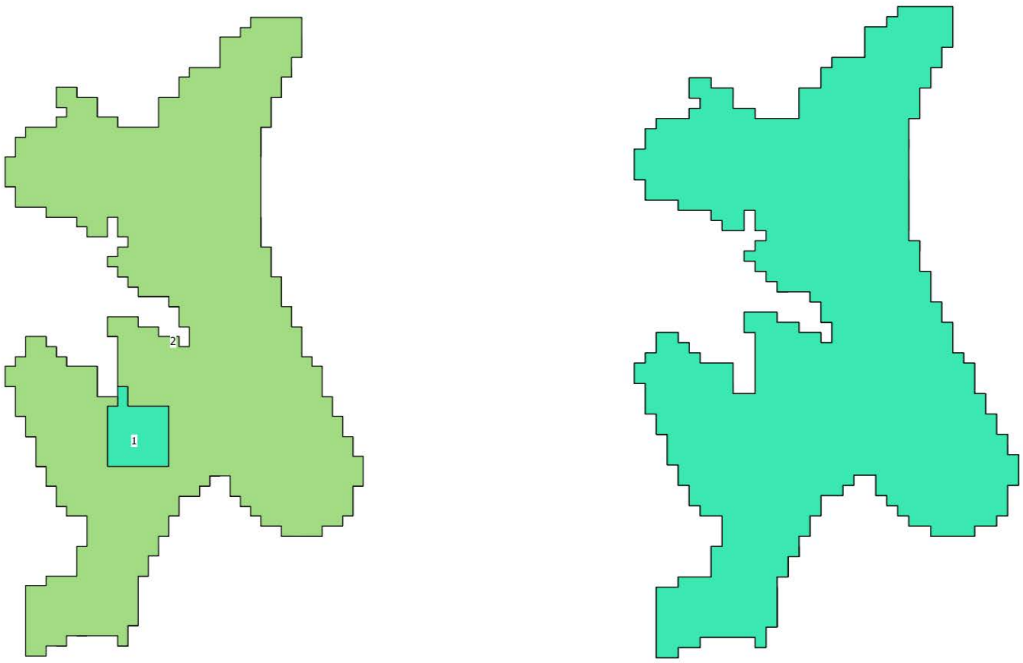


Figura 151. Parámetros hidrogeológicos calibrados para la capa 4 del modelo de la Plana de Valencia

6.3.7.2 Los parámetros de los ríos

En la Tabla 23 se pueden ver los valores definitivos de los parámetros de los distintos tramos de los ríos (estado y fondo del río y conductancia del lecho).

RÍO JÚCAR

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.1 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-3
2	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	1.75 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-3
3	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-2	0.14 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-5
4	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-2	0.07 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-5
5	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	35* Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-1
6	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	1.4 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-2
7	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	2.5 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-2
8	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	2.5	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-2
9	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	1	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-1
10	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	1	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-1

RÍO TURIA

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.5	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.01
2	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.5	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.01

RAMBLA DEL POYO

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-1
2	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.06*Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.01
3	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.05*Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.01
4	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.1*Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.01

RÍO MAGRO

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.04*Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.5
2	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.01*Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.1
3	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.002 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.5
4	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.02 * Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.5
5	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.1* Kx	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.5

RÍO VERDE

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	13	1.8	12
2	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	2.4	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-2

RÍO SELLENT

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	0.2	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-0.9

RÍO ALBAIDA

Tramo	Starting time	Ending time	River stage	Conductance (calculated)	River bottom
1	0	13514	InterpolatedVertexValue("NivelRio")	3	InterpolatedVertexValue("NivelRio")-1

Tabla 23. Parámetros calibrados para los tramos de los ríos del modelo de la Plana de Valencia (estado y fondo del río y conductancia del lecho).

6.3.7.3 Los parámetros de la Albufera

La conductancia del lecho del lago de la Albufera pasa de 0.0025 m^2/día a 1 m^2/día y su cota de fondo pasa de -0.8 m a 1.0 m.

6.3.8 Balance en régimen influenciado

Una vez realizadas las modificaciones anteriores se ejecuta el modelo y se interpretan los resultados. A continuación, se presentan los balances y los ajustes correspondientes al régimen influenciado.

6.3.8.1 Evolución de la recarga

En la Figura 152 se presenta la evolución de la recarga que se deriva del balance global del modelo. Se ha comprobado que corresponda a la evolución que sigue la recarga introducida.

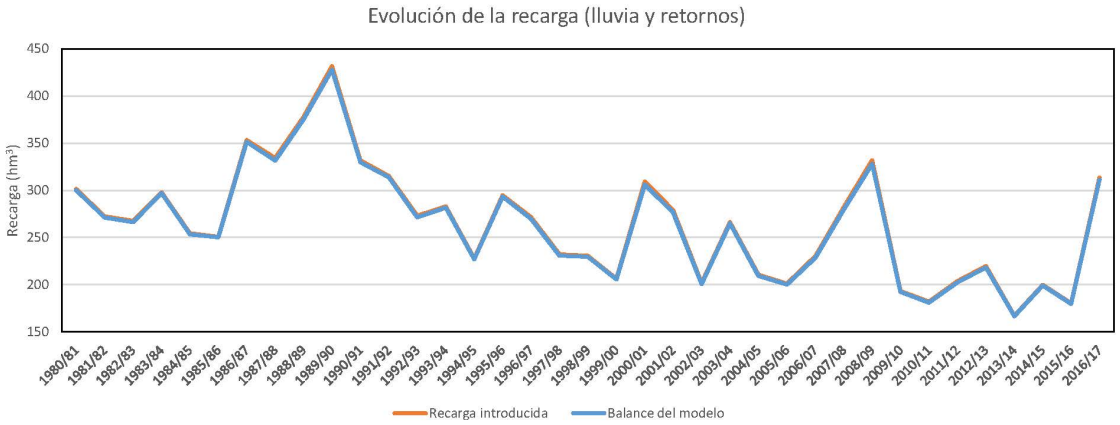


Figura 152. Evolución de la recarga en el modelo de la Plana de Valencia.

6.3.8.2 Evolución de los bombeos

En la Figura 153 se presenta la evolución de los bombeos que se deriva del balance global del modelo. Se ha comprobado que corresponda a la evolución que siguen los introducidos.

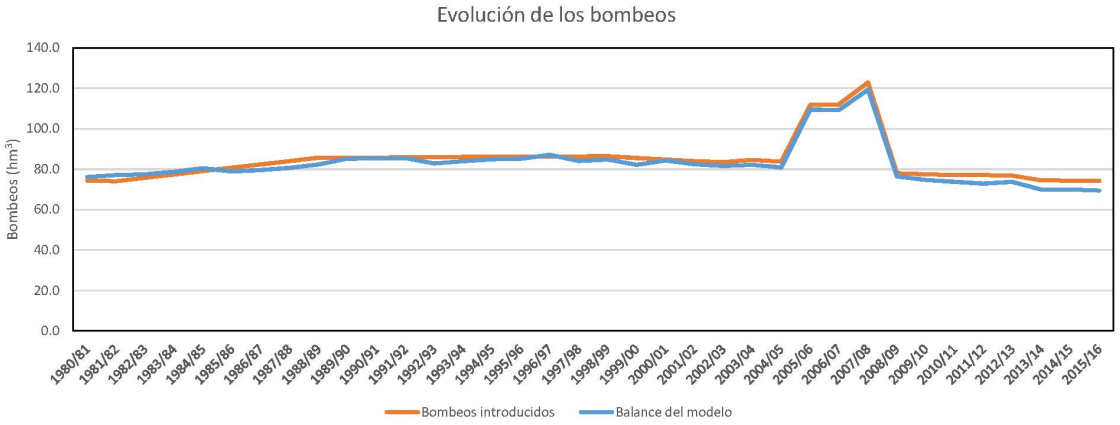


Figura 153. Evolución de los bombeos en el modelo de la Plana de Valencia.

6.3.8.3 Evolución de las transferencias laterales

En la Figura 154 se presenta la evolución de las transferencias subterráneas con otras masas de agua.

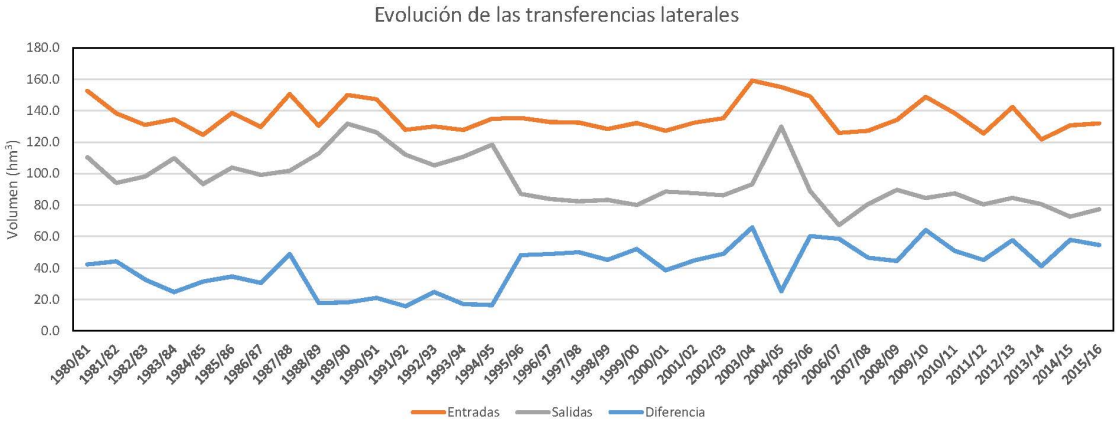


Figura 154. Evolución de las transferencias laterales con otras masas de agua subterránea en el modelo de la Plana de Valencia.

6.3.8.4 Evolución de la relación río-acuífero

En la Figura 155 se presenta la evolución de las transferencias de agua entre la red fluvial y el acuífero.

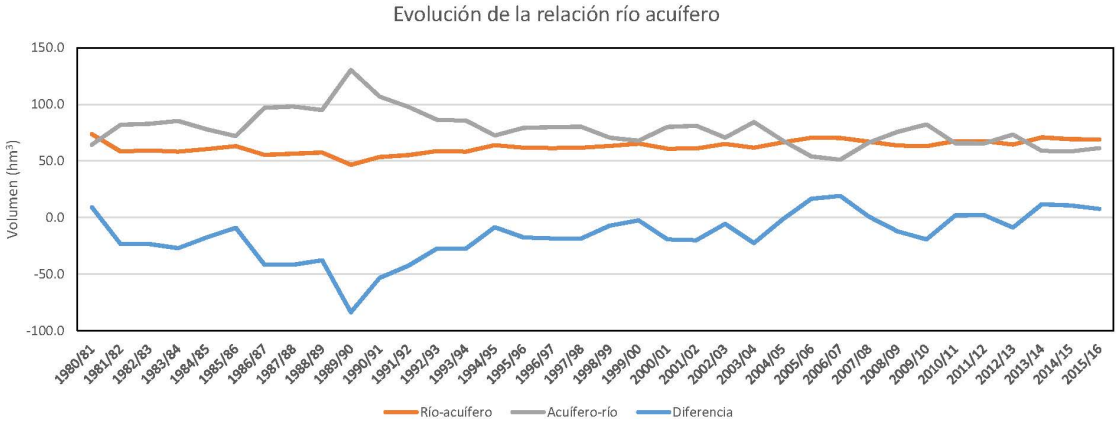


Figura 155. Evolución de las transferencias entre la red fluvial y el acuífero en el modelo de la Plana de Valencia.

6.3.8.5 Evolución del almacenamiento del acuífero

En la Figura 156 se presenta la evolución del almacenamiento del acuífero.

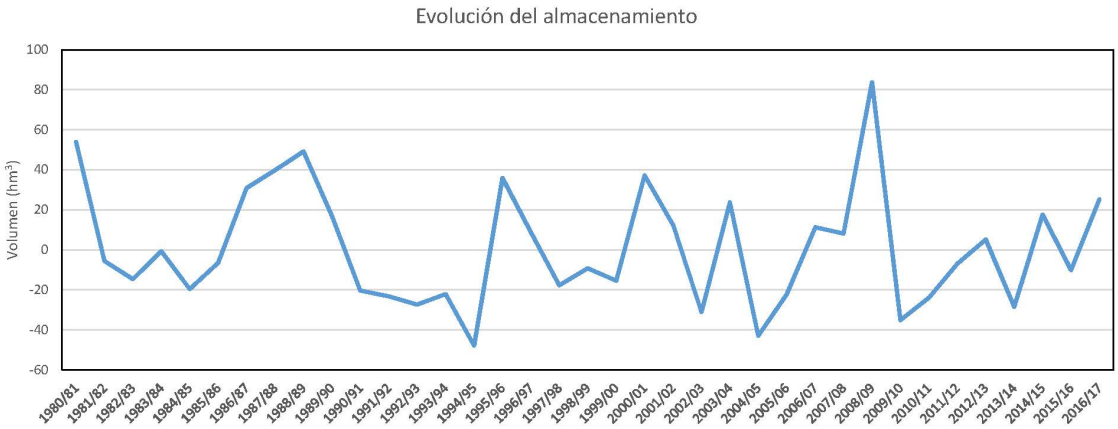


Figura 156. Evolución del almacenamiento del acuífero en el modelo de la Plana de Valencia.

6.3.8.6 Balance hidrológico

En la Figura 157 se presenta el balance global del modelo.

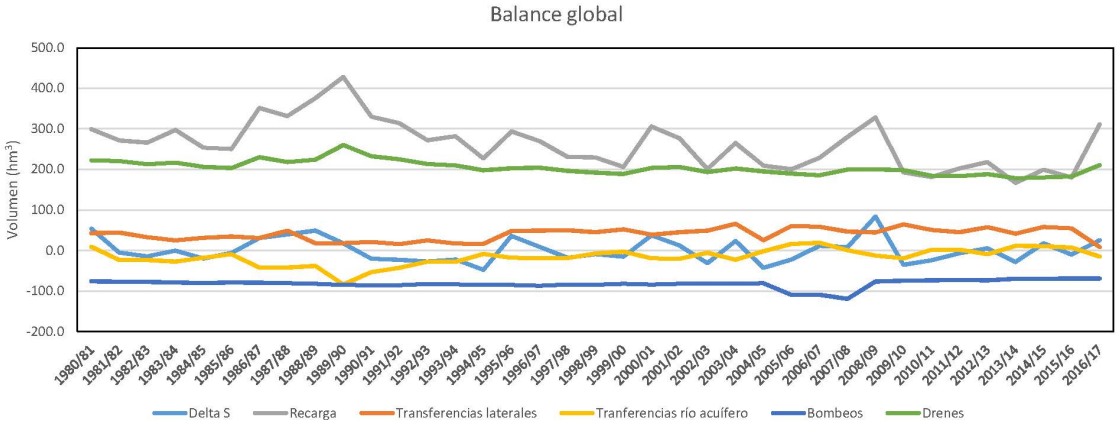


Figura 157. Balance global en el modelo de la Plana de Valencia.

Los valores medios anuales para la serie de años 1980/81 a 2015/16 se pueden ver en la Tabla 24.

Valores medios anuales desde 1980/81 a 2016/17

Entradas		Salidas		ΔS
Lluvia	262.85			262.85
Masas	135.35	Masas	95.40	39.95
Río acuífero	62.47	Acuífero río	77.96	-15.48
		Bombeos	82.20	-82.20
		Drenes	204.49	-204.49
Total	460.68	Total	460.03	0.64

Tabla 24. Balance global medio durante el periodo de simulación para la Plana de Valencia.

El balance por zonas se puede ver en la Tabla 25.

RÍOS	Entradas (hm^3)	Salidas (hm^3)	Neto (hm^3)	Tipo
Júcar	12.65	62.45	-49.80	Ganador
Verde	0.09	9.12	-9.04	Ganador
Magro	20.08	0.04	20.05	Perdedor
Sellent	0.64	0.00	0.64	Perdedor
Albaida	5.68	0.00	5.68	Perdedor
Rambla del Poyo	4.03	6.11	-2.08	Ganador
Turia	0.02	0.14	-0.12	Ganador
Total	43.19	77.86	-34.66	Ganador
ALBUFERA	**Entradas (hm^3)**	**Salidas (hm^3)**	**Neto (hm^3)**	**Afección**
Lago	5.57	0.08	5.50	Entrada
Canales	0.00	148.53	-148.53	Salida
Ullals	0.00	7.86	-7.86	Salida
Total	0.00	156.40	-156.40	Salida
TRANSFERENCIAS LATERALES	**Entradas (hm^3)**	**Salidas (hm^3)**	**Neto (hm^3)**	**Afección**
Plana de Sagunto	13.61	0.18	13.43	Entrada
Liria Casinos	16.10	1.18	14.92	Entrada
Buñol Cheste	24.46	0.00	24.46	Entrada
La Contienda	17.05	5.43	11.62	Entrada
Sierra del Ave	27.87	27.79	0.08	Entrada
Caroch Norte	6.29	0.10	6.19	Entrada
Sierra de las Agujas	8.65	2.63	6.02	Entrada
Plana de Jaraco	0.09	2.95	-2.86	Salida
Total	114.13	40.26	73.87	Entrada
TRANSFERENCIAS CON EL MAR	**Entradas (hm^3)**	**Salidas (hm^3)**	**Neto (hm^3)**	**Afección**
Costa norte superior	0.00	26.43	-26.43	Salida
Costa norte inferior	0.11	2.62	-2.51	Salida
Costa sur superior	1.71	5.70	-3.99	Salida
Costa sur inferior	4.94	1.98	2.97	Entrada
Total	6.76	36.72	-29.96	Salida
HUMEDALES	**Entradas (hm^3)**	**Salidas (hm^3)**	**Neto (hm^3)**	**Afección**
La Marjal de Rafallel y Vistabella	0.00	26.90	-26.90	Salida
Balsa de San Lorenzo	0.00	10.28	-10.28	Salida
Total	0.00	37.19	-37.19	Salida
RECARGA	**Entradas (hm^3)**	**Salidas (hm^3)**	**Neto (hm^3)**	**Afección**
Recarga	262.85	0.00	262.85	Entrada
BOMBEOS	**Entradas (hm^3)**	**Salidas (hm^3)**	**Neto (hm^3)**	**Afección**
Bombeos	0.00	82.20	-82.20	Salida

Tabla 25. Balance zonal medio durante el periodo de simulación para la Plana de Valencia.

6.3.8.7 Piezometría

En la Figura 158 y en la Figura 159 se presentan los ajustes conseguidos en los 18 piezómetros de control.

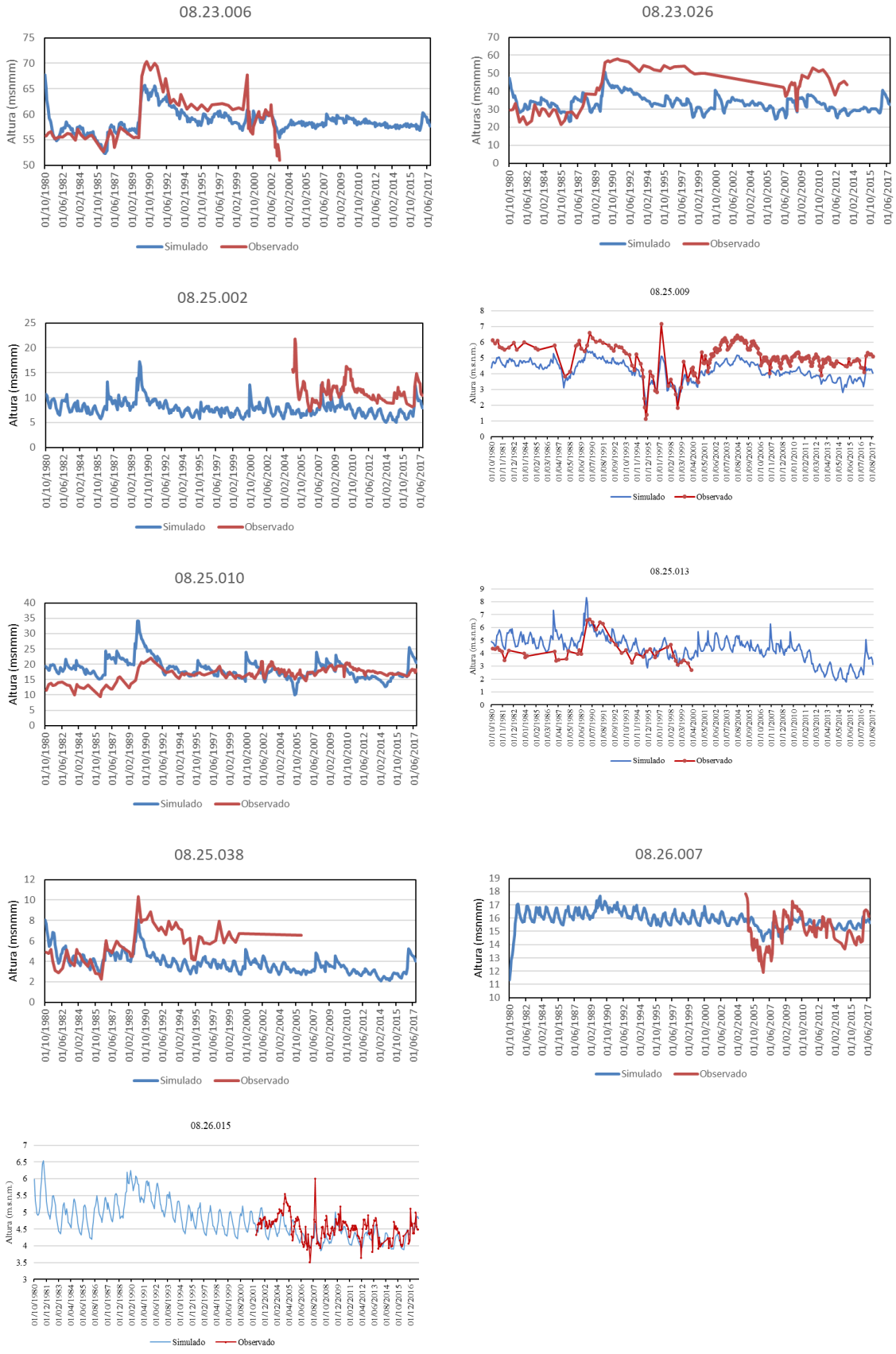


Figura 158. Ajuste de la piezometría en los pozos de control para la Plana de Valencia.

Figura 159. Ajuste de la piezometría en los pozos de control para la Plana de Valencia.

6.3.8.8 Comentarios

Se ha conseguido un modelo calibrado para la masa de la Plana de Valencia que es una evolución con respecto a los modelos anteriores. Sin embargo, hay todavía grandes incertidumbres que afectan a la robustez del mismo y que se deberían acotar en futuras investigaciones. Las más importantes son:

1. Estudio detallado de los límites con las masas de agua subterránea con las que la Plana limita por el oeste. Esto permitirá determinar con mayor precisión el intercambio de flujos con la masa modelada. Se está intentando reproducir las transferencias calibradas con PATRICAL pero correspondería obtener unas transferencias con este modelo en base a la piezometría y compararlas.
2. Estudio detallado de los caudales circulantes por cada uno de los cauces de la red fluvial del modelo. Se tiene una buena descripción geométrica de los cauces, pero no se conoce con precisión la cantidad de agua que circula por ellos. Esto permitiría mejorar la modelación de las relaciones río acuífero.
3. Estudio de la profundidad de extracción de agua de los pozos de bombeo. Se ha considerado que todos los pozos extraen el agua a 20 metros por debajo de la superficie.
4. Mejora en la modelación de la Albufera.
5. Mejora en la modelación de la relación entre la Plana y el mar.
6. Mejora en la calibración de algunos piezómetros.

.

7 Referencias

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome

CHJ (2016). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015 - 2021.

IGME (2009). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica del Júcar. Instituto Geológico y Minero de España. 141 pp

Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(3):885−900, doi:10.13031/2013.23153

Nash JE, Sutcliffe JV (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I: A discussion of principles, J. Hydrol., 10:282-290

Pérez-Martín MA, Estrela T, Andreu J and Ferrer J. (2014). Modeling Water Resources and River-Aquifer Interaction in the Júcar River Basin, Spain. Water Resource Management (2014) 28:4337–4358 DOI 10.1007/s11269-014-0755-3.

Thornthwaite CW (1948) "An approach toward a rational classification of climate". Geographical Review 38(1):55–94. doi:10.2307/210739

Anexo 4I:

Evapotranspiración potencial en la Demarcación del Júcar

Anexo 4II:

Funcionamiento y conexión río-acuífero del acuífero Utiel-Requena

Anexo 4III:

Contraste de resultados incluyendo manantiales y ríos temporales