



MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS  
Y CALIDAD DE LAS AGUAS

SERVICIO: Q46-17001-E CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

OFICINA DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

CLAVE:

08.803-198/0411

TIPO:

ASISTENCIA TÉCNICA

REFERENCIA CRONOLÓGICA:

MAYO 2001

CLASE:

ESTUDIO

TÍTULO BÁSICO:

PLAN DE PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA ZONA HÚMEDA DE  
ALMENARA. TT. MM. VARIOS (CASTELLÓN)

PROVINCIA:

CASTELLÓN Y VALENCIA

CLAVE: CA Y VA

TERMINO MUNICIPAL: **VARIOS**

CLAVE:

PRESUPUESTO ADICIONAL:

PRESUPUESTO TOTAL:

119.675,15 euros

AUTOR:

JUAN FULLANA MONTORO

TOMO I: MEMORIA

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	14
1.1	EL MARJAL DE ALMENARA.....	14
1.2	HUMEDALES: FUNCIONES, GÉNESIS, IMPORTANCIA Y VALOR AMBIENTAL.....	15
1.2.1	<i>Funciones de los humedales</i> .....	16
1.2.2	<i>Productos de los humedales</i> .....	19
1.3	MARCO LEGAL .....	21
1.4	OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	24
2	DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ACTUACIÓN .....	26
2.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	26
2.1.1	<i>Municipios y zonas de interés ambiental</i> .....	26
2.1.2	<i>Identificación de límites</i> .....	29
2.1.3	<i>Origen de la zona húmeda</i> .....	31
2.1.4	<i>Unidades Hidrogeológicas relacionadas con el marjal</i> .....	32
2.2	EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y SITUACIÓN ACTUAL.....	34
2.2.1	<i>Usos del suelo</i> .....	34
2.2.2	<i>Tipología de la zona húmeda</i> .....	42
2.2.3	<i>Régimen de explotación del recurso hídrico</i> .....	43
2.2.3.1	Análisis de la piezometría .....	44
2.2.3.2	Evolución de la piezometría.....	46
2.2.4	<i>Especies vegetales y animales</i> .....	50
2.2.4.1	Flora y vegetación.....	50
2.2.4.2	Fauna .....	54
2.2.4.3	Consideraciones sobre la conservación .....	56
3	DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL .....	57
3.1	OBJETIVOS .....	57
3.2	CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL .....	57
3.3	ESTUDIO DE LA FLORA Y DE LAS COMUNIDADES VEGETALES.....	62
3.4	ESTUDIO DE LA AVIFAUNA E INVERTEBRADOS .....	69
3.5	ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.....	72
3.5.1	<i>En aguas superficiales y subsuperficiales</i> .....	72
3.5.1.1	Identificación de los puntos de muestreo .....	73
3.5.1.2	Resultados analíticos.....	74
3.5.2	<i>Aguas subterráneas</i> .....	80
3.5.2.1	Datos de conductividad aportados por la red de observación de la intrusión (ROI).....	81
3.6	PROPUESTAS DE ESCENARIOS DESEABLES PARA LA BIOCENOSIS .....	83

3.6.1	Zona 1: Saladares.....	85
3.6.2	Zona 2: Arrozales.....	86
3.6.2.1	Mantenimiento del arrozal.....	86
3.6.2.2	Desecación del terreno.....	88
3.6.3	Zonas 3, 4 y 5: Microrreserva, Estanys de Almenara, zona natural y microrreserva del Samaruc (Puerto Corinto).....	88
3.6.4	Zonas 6, 7 y 8: Cultivos hortícolas.....	92
4	RÉGIMEN DE EXPLOTACIÓN Y USOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	95
4.1	ANTECEDENTES.....	95
4.2	COMUNIDADES DE REGANTES.....	98
4.3	USOS DEL RECURSO HÍDRICO: CONCESIONES Y ESTIMACIONES.....	99
4.4	SALIDAS DE AGUA AL MAR: GOLAS Y DRENAJES.....	103
5	ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL MEDIO HÍDRICO.....	106
5.1	DESCRIPCIÓN DEL MEDIO.....	106
5.1.1	<i>Elementos naturales</i> .....	106
5.1.2	<i>Infraestructura: Red de canales</i> .....	107
5.2	BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	111
5.2.1	<i>Resultados obtenidos en los balances hídricos históricos del sistema acuífero en la zona de estudio</i> .....	112
5.2.1.1	Entradas de agua al sistema.....	112
5.2.1.2	Entradas al acuífero de Les Valls.....	112
5.2.1.3	Aportes directos desde manantiales.....	116
5.2.1.4	Entradas al Acuífero del Salto del Caballo desde el Acuífero de Algar-Quart.....	118
5.2.1.5	Recarga directa por lluvia.....	119
5.2.1.6	Recarga por retorno de riegos.....	120
5.2.1.7	Salidas de agua del sistema.....	122
5.2.2	<i>Datos de balance obtenidos a partir del ajuste del modelo numérico</i> .....	124
5.2.2.1	Entradas de agua al sistema.....	124
5.2.2.2	Salidas de agua.....	125
5.2.2.3	Volúmenes de entrada y salida de agua al mar.....	127
5.2.2.4	Balance de aguas superficiales en el marjal.....	128
5.2.3	<i>Síntesis de la totalidad de datos de balance obtenidos</i> .....	131
6	CONDICIONANTES DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL MARJAL.....	133
6.1	PRESIONES EN LA CUENCA VERTIENTE.....	133
6.2	CALIDAD MÍNIMA EXIGIBLE.....	134
6.2.1	<i>Parámetros limitantes de la calidad</i> .....	135
6.2.1.1	Características químicas.....	136

6.2.1.2	Características físicas .....	137
6.2.1.3	Características físico-químicas .....	137
6.2.2	<i>Calidad de las aguas superficiales en el marjal</i> .....	138
6.2.3	<i>Calidad de las aguas subterráneas en el marjal</i> .....	140
6.2.4	<i>Relación biocenosis-conductividad</i> .....	140
6.3	INTRUSIÓN SALINA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	146
7	MODELIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL MARJAL .....	152
7.1	ESTRUCTURA HIDROGEOLÓGICA .....	152
7.2	SÍNTESIS DEL MODELO GENERAL DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO .....	154
7.3	MODELO MATEMÁTICO .....	161
7.3.1	<i>Descripción del proceso de modelación</i> .....	161
7.3.1.1	Tratamiento temporal .....	162
7.3.1.2	Discretización espacial .....	162
7.3.1.3	Incorporación de la geometría .....	165
7.3.1.4	Tratamiento de los parámetros hidráulicos .....	167
7.3.1.5	Tratamiento de la recarga directa por lluvia .....	168
7.3.1.6	Tratamiento de la recarga por retorno de riegos .....	169
7.3.1.7	Condiciones de contorno y niveles iniciales .....	169
7.3.1.8	Tratamiento de la red de distribución de agua superficial .....	170
7.3.1.9	Tratamiento de los pozos de bombeo .....	172
7.3.1.10	Tratamiento de los manantiales .....	174
7.3.1.11	Condiciones de muro .....	179
7.3.2	<i>Calibración del modelo</i> .....	181
7.3.2.1	Calibración en régimen permanente .....	181
7.3.2.2	Calibración en régimen transitorio .....	186
7.3.2.3	Comparación del ajuste entre niveles simulados y observaciones reales obtenidas de la red de piezómetros .....	188
7.4	SIMULACIÓN DE ESCENARIOS CON EL MODELO .....	195
7.4.1	<i>Análisis de la influencia de la proximidad de las captaciones en el entorno de la zona de los Estanys</i> .....	196
7.4.2	<i>Análisis de las diferencias piezométricas correspondiente al máximo húmedo y seco de la década, bajo las actuales condiciones de distribución de agua en los canales</i> 203	
7.4.3	<i>Efecto del incremento de extracciones para el riego del arroz en pozos actualmente inactivos en el entorno de los Estanys</i> .....	204
7.4.4	<i>Análisis del efecto de la eliminación de las actuales zonas de huerta en el interior del perímetro de protección del marjal</i> .....	206
7.4.5	<i>Análisis del efecto de la disminución de extracciones en los acuíferos externos al marjal, manteniendo las actuales zonas de regadío en el interior del perímetro de protección del marjal</i> .....	210

7.4.6	<i>Análisis del efecto de la sustitución de extracciones en los acuíferos externos al marjal por aportes superficiales, manteniendo las actuales zonas de regadío en el interior del perímetro de protección del marjal.</i>	211
7.4.7	<i>Análisis de las líneas de flujo de un lixiviado situado en el vertedero.</i>	213
8	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTAS DE ACTUACIÓN	216
8.1	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	216
8.2	PROPUESTAS ENCAMINADAS A LA CONSERVACIÓN DE LOS VALORES AMBIENTALES EXISTENTES EN EL MARJAL	218
8.3	ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS	220
9	REFERENCIAS	222

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	El Marjal de Almenara .....	15
Figura 2.	Mapa de situación de los municipios integrantes del Marjal de Almenara. ....	27
Figura 3.	Distribución de la superficie del Marjal de Almenara según municipios que la integran.....	28
Figura 4.	Diagrama esquemático del sistema hidráulico del Marjal de Almenara. ....	33
Figura 5.	Distribución de cultivos respecto a vegetación del humedal en el mes de Junio del año 1956.....	35
Figura 6.	Distribución de cultivos respecto a vegetación del humedal en el mes de Marzo del año 1991.....	36
Figura 7.	Distribución de la superficie total de los municipios que integran el Marjal de Almenara según usos del suelo (año 2000).....	38
Figura 8.	Distribución de usos del suelo en el interior del marjal (año 2001).....	40
Figura 9.	Mapa de la distribución de usos del suelo en el interior del marjal (año 2001). ....	41
Figura 10.	Piezometría tentativa de los acuíferos de la zona de estudio.....	45
Figura 11.	Evolución piezométrica, durante el periodo 1990-2000 de los puntos de control piezométricos del acuífero de les Valls, externos al marjal. ....	47
Figura 12.	Evolución piezométrica, durante el periodo 1990-2000, de los puntos de control piezométricos del acuífero de les Valls, internos al marjal. ....	48
Figura 13.	Ubicación de los piezómetros de control.....	49
Figura 14.	Imagen de comunidades de sosas alacraneras en el Marjal de Almenara .....	51
Figura 15.	Imagen de juncales en el Marjal de Almenara .....	51
Figura 16.	Imagen de la comunidad de <i>Myriophyllum verticillatum</i> .....	52
Figura 17.	Mapa de localización de microrreservas vegetales en el Marjal de Almenara. ....	53
Figura 18.	Aspecto de la quisquilla o camarón (izquierda) y del molusco unionido de la especie <i>Anodonta cingea</i> . (derecha).....	54
Figura 19.	Imágenes de fauna en el Marjal de Almenara.....	55
Figura 20.	Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 1.....	59
Figura 21.	Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 2.....	60
Figura 22.	Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 3.....	60

Figura 23. Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 4.....	61
Figura 24. Mapa de localización de especies vegetales relevantes. ....	64
Figura 25. Imagen de la especie vegetal <i>Centaurea dracunculifolia</i> .....	65
Figura 26. Imagen de la especie vegetal <i>Limonium angostibracteatum</i> .....	66
Figura 27. Imagen de la especie <i>Scrophularia balsibil</i> .....	67
Figura 28. Imagen de la especie vegetal <i>Silene cambessedesil</i> .....	68
Figura 29. Proporción de presencia de especies en peligro en comunidades vegetales asociadas.....	71
Figura 30. Mapa de ubicación de puntos de muestreo. ....	73
Figura 31. Evolución de la conductividad en los piezómetros de la ROI emplazados dentro de la zona de estudio, en las proximidades de la costa y en los laterales del marjal. .	82
Figura 32. Evolución de la conductividad en los piezómetros de la ROI emplazados dentro de la zona de estudio, en la parte central y el interior del acuífero de Les Valls. ....	83
Figura 33. Escenarios deseables para la biocenosis propuestos .....	84
Figura 34. Niveles de agua en los Estanys de Almenara necesarios para conservar la biodiversidad.....	91
Figura 35. Representación de todos los pozos que se han utilizado en el modelo matemático del Marjal de Almenara según el caudal de extracción.....	102
Figura 36. Propuesta de hidrogramas Caudal-Tiempo según estimación de caudales vertidos por las golgas al mar por integración de caudal medio anual.....	105
Figura 37. Evolución de caudales en la surgencia de la Font de Quart.....	107
Figura 38. Mapa de canales principales y golgas de desagüe en el Marjal de Almenara .....	109
Figura 39. Mapa de canales y motores/turbinas en el Marjal de Almenara. ....	110
Figura 40. Ubicación de las entradas laterales entre los acuíferos del Algar-Quart y Les Valls .....	113
Figura 41. Evolución piezométrica en la zona del Algar-Quart y de la precipitación para el período 1990-2001. ....	114
Figura 42. Valores de evolución anual de entradas laterales desde la unidad del Algar-Quart hacia la Plana utilizando el ajuste de gradientes o de precipitaciones. ....	115
Figura 43. Ubicación de manantiales, especificando fuentes y líneas de entrada. ....	118
Figura 44. Serie estimativa de aportes subterráneos desde el acuífero del Algar-Quart hacia el acuífero del Salto del Caballo para el periodo 1990-1999. ....	119

Figura 45. Distribución de los valores medios anuales de recarga por retorno de riegos y lluvia (mm/año) en el ámbito del modelo.....	121
Figura 46. Evolución de la ET del acuífero a lo largo del periodo estudiado y su relación con la recarga por lluvia, obtenida a partir del programa SIMPA. ....	127
Figura 47. Evolución de la escorrentía superficial mensual, calculada a partir del programa SIMPA.....	129
Figura 48. Balance hídrico del acuífero detrítico de les Valls y del Salto del Caballo en el ámbito del modelo para la década 1990-1999. ....	132
Figura 49. Mapa de distribución geográfica de los puntos de la red de control de salinidad ubicados en torno al marjal. ....	148
Figura 50. Distribución espacial de la salinidad máxima del acuífero de Les Valls. ....	149
Figura 51. Evolución temporal del contenido en Cloruros durante el periodo 1985-2001, en el acuífero de Les Valls, sector interno y central. ....	150
Figura 52. Evolución temporal del contenido en Cloruros durante el periodo 1985-2001, sector costero. ....	151
Figura 53. Acuíferos incorporados en el modelo, con la posición de las entradas laterales subterráneas incorporadas.....	154
Figura 54. Valores de recarga del acuífero, calculados por el programa SIMPA para la zona de estudio, correspondiente al periodo 1990-1999.....	156
Figura 55. Rasgos piezométricos generales de la zona de estudio.....	159
Figura 56. Mallado del modelo. ....	163
Figura 57. Perfil transversal de la zona modelada, en un corte B-B' desde la Unidad Algar-Quart, hacia el mar.....	164
Figura 58. Mapa de isohipsas de muro del acuífero detrítico en la zona de modelación. ....	166
Figura 59. Distribución de las zonas de canales principales introducidos en el modelo, en el ámbito del marjal. ....	171
Figura 60. Núcleos de extracciones definidos en el modelo. ....	173
Figura 61. Evolución simulada de caudales de salida en la zona de surgencia de Los Estanys (periodo comprendido entre enero 1990 y diciembre 1999). ....	175
Figura 62. Curva cota-volumen de los Estanys de Almenara.....	178
Figura 63. Distribución de las condiciones de muro en el modelo.....	180
Figura 64. Gráfico de ajuste del régimen permanente en los diferentes piezómetros empleados en la modelación.....	182

Figura 65. Valores de la conductividad hidráulica obtenidos al final de la fase de calibración.	183
Figura 66. Resultado del balance obtenido al final de la calibración en régimen permanente	184
Figura 67. Rango de valores de coeficiente de almacenamiento S, calibrado e incorporado al modelo.	187
Figura 68. Representación del error residual en %	188
Figura 69. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.21.011.	190
Figura 70. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.12.017.	191
Figura 71. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.12.020.	192
Figura 72. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.21.005.	193
Figura 73. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.21.014.	194
Figura 74. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.12.067.	195
Figura 75. Ubicación geográfica de los pozos anteriores.	197
Figura 76. Evolución de los niveles en el punto de observación de los Estanys en el acuífero de les Valls, frente a la parada individual de las extracciones más cercanas en su entorno.	198
Figura 77. Ubicación geográfica de los pozos anteriores, indicando volumen de extracción	200
Figura 78. Evolución de la variación del nivel freático en el punto de surgencia de los Estanys, frente a la parada de grupos de captaciones en el acuífero del Salto del Caballo.	201
Figura 79. Mapa de isoafecciones, en m de descenso, sobre el acuífero referidos a la vertical de los Estanys, causada por un bombeo constante de 1000 m <sup>3</sup> /d.	202
Figura 80. Distribución espacial de la variación máxima de nivel freático ( en metros), correspondiente a la situación seca y húmeda del periodo 1990-2000.	204
Figura 81. Simulación de la extracción de agua subterránea para riego de arrozales en el pozo 668-4-018, actualmente inactivo, en el nivel freático en la vertical de los Estanys.	205

- Figura 82. Evolución del nivel freático del acuífero en ausencia de huertas en el interior del perímetro del marjal..... 207
- Figura 83. Mapa de isodiferencias correspondiente al final de la simulación 7.4.4 ( 10 años). Los descensos respecto a la situación inicial se representan en metros, con valor positivo. En negro, perímetro de la marjal..... 208
- Figura 84. Términos fundamentales del balance hídrico en las respectivas simulaciones efectuadas. .... 209
- Figura 85. Mapa de isodiferencias correspondiente al final de la simulación 7.4.5 (10 años). En negro, perímetro de la marjal, El fondo blanco representa la zona de la marjal con descensos respecto al nivel inicial (signo negativo) y la coloreada con descensos (signo positivo, en metros). .... 211
- Figura 86. Mapa de isodiferencias correspondiente a la simulación 7.4.6. En color negro, el perímetro de la Marjal. La zona coloreada muestra los sectores donde se produce un ascenso respecto al nivel inicial, mientras que las zonas en blanco muestran descensos (signo positivo, en metros). .... 212
- Figura 87. Aspecto de la pluma de trazador registradas a 10 años de vertido constante. En negro, perímetro de la marjal. .... 214
- Figura 88. Relación entre la pluma de contaminante y las líneas de flujo. En rojo, piezometría, en marrón, posición de captaciones y en negro perímetro de la zona ..... 215

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores corregidos de los vértices de la microrreserva de Almenara .....	30
Tabla 2.	Coordenadas de los vértices de la nueva microrreserva de Puerto Corinto.....	30
Tabla 3.	Cuadro comparativo de distribución de cultivos respecto a vegetación del humedal en los años 1956 y 1991 .....	37
Tabla 4.	Variación de la superficie de riego y superficie cultivada en el periodo 1990 – 2000.....	39
Tabla 5.	Variación de la superficie de riego y superficie destinada al cultivo de cítricos en el periodo 1990 – 2000.....	40
Tabla 6.	Tareas realizadas en la fase de inventario.....	58
Tabla 7.	Datos de distribución de especies en peligro en función de las comunidades vegetales presentes en el marjal.....	70
Tabla 8.	Resumen de resultados analíticos relevantes de las muestras recogidas en el Marjal de Almenara .....	74
Tabla 9.	Tabla de volumen solicitado según bases de datos de Gesregistro y Gescatálogo.....	100
Tabla 10.	Valores de bombeo bruto obtenidos en las diversas UDAS dentro de la zona de estudio. ....	101
Tabla 11.	Valores de retorno por riego mediante aguas subterráneas de las diferentes U.D.A existentes en el ámbito de estudio del proyecto. ....	120
Tabla 12.	Valores de la ETP medios mensuales (mm).....	126
Tabla 13.	Propuesta de calidad específica de aguas superficiales destinadas al riego agrícola.....	139
Tabla 14.	Amplitud de salinidad de las aguas en las que viven las plantas acuáticas. ....	143
Tabla 15.	Localización de los puntos de control de salinidad en el ámbito hidrogeológico de influencia del marjal.....	147
Tabla 16.	Datos de ajuste del régimen permanente en los diferentes piezómetros empleados en la modelación. ....	183
Tabla 17.	Datos de resultado del balance obtenido al final de la calibración en régimen permanente.....	185
Tabla 18.	Valores medios de la diferencia entre los datos observados en los piezómetros y los calculados, al final de la fase de calibración del régimen transitorio.....	189

## ÍNDICE DE ANEJOS

1. LEGISLACIÓN
  - a. Aprobación del Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana
  - b. Aprobación de las microrreservas vegetales del Marjal de Almenara
  - c. Marco Normativo
  - d. Criterios Ramsar para la conservación de los humedales
2. INVENTARIO DE COMUNIDADES VEGETALES
3. INVENTARIO DE AVIFAUNA E INVERTEBRADOS
4. CAMPAÑAS DE MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES
5. COMUNIDADES DE REGANTES
6. PUNTOS DE ABASTECIMIENTO PARA AGUA POTABLE
7. ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUA RESIDUAL
8. INFORMES HIDROGEOLÓGICOS
  - a. Informe preliminar para la definición del modelo conceptual de funcionamiento hidráulico del Marjal de Almenara
  - b. Definición de las condiciones de contorno del acuífero de la Plana de Sagunto en la zona de contacto con el acuífero de Algar-Quart
  - c. Definición de las isohipsas de muro del acuífero detrítico de la Plana de Sagunto
9. MODELO MATEMÁTICO DE LOS ACUÍFEROS
10. EXPEDIENTES SANCIONADORES
11. BIBLIOGRAFÍA
12. REPORTAJE FOTOGRÁFICO

## ÍNDICE DE MAPAS

1. MAPA DE SITUACIÓN: TÉRMINOS MUNICIPALES
2. LÍMITES DE LA ZONA HÚMEDA Y MICRORRESERVAS
3. USOS DEL SUELO
4. CANALES
5. CANALES PRINCIPALES Y GOLAS DE DESAGÜE
6. POZOS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES Y PUNTOS DE VERTIDO
7. COMUNIDADES VEGETALES
8. ESPECIES VEGETALES RELEVANTES
9. MAPA DE SALINIDAD INVIERNO 2002
10. MAPA DE SALINIDAD VERANO 2002
11. MAPA DE CLORUROS INVIERNO 2002
12. MAPA DE CLORUROS VERANO 2002
13. MAPA DE NITRATOS INVIERNO 2002
14. MAPA DE NITRATOS VERANO 2002
15. MAPA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN INVIERNO 2002
16. MAPA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN VERANO 2002
17. SOCIEDADES DE RIEGO DENTRO DEL MARJAL
18. CLASIFICACIÓN URBANÍSTICA DEL MARJAL
19. ZONIFICACIÓN DE CULTIVOS EN BASE A USOS SOSTENIBLES

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 EL MARJAL DE ALMENARA

El artículo 15 de la Ley 11/1994, de 27 de Diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana, establece que el Gobierno Valenciano, a propuesta del Conseller de Medio Ambiente, aprobará un catálogo de zonas húmedas de la Comunidad Valenciana.

El proyecto de Decreto para la aprobación del Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana se somete a información pública el 2 de febrero de 1.998 por el plazo de un mes, prorrogándose posteriormente hasta el 30 de abril de dicho año. Diversas consideraciones hacen necesaria la reformulación del Catálogo, lo que impuso, con el fin de garantizar su eficacia, la aprobación mediante Acuerdo del Gobierno Valenciano de 3 de noviembre de 1.999 de una serie de medidas cautelares, que a su vez fueron modificadas por el Acuerdo de 18 de julio de 2.000, para adaptar las citadas medidas a la delimitación resultante del nuevo proyecto de Catálogo.

La aprobación definitiva del Catálogo de Zonas Húmedas se produjo por acuerdo de 10 de septiembre de 2002 del Gobierno Valenciano. El régimen jurídico aplicable a los terrenos incluidos en el Catálogo es el establecido en el artículo 15 de la Ley 11/1994 de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana.

En este Catálogo está incluido el Marjal de Almenara, la cual constituye una zona húmeda de gran interés natural, con una importante biodiversidad ambiental. Estos valores medioambientales son los que hacen necesario tratar de preservarlos mediante un uso racional del recurso hidráulico que permita compaginar el desarrollo económico de la zona con la conservación de los recursos naturales y los ecosistemas, es lo que se conoce como desarrollo sostenible.

El Marjal de Almenara ocupa una superficie de 1.488,72 hectáreas en los municipios de Almenara, Chilches, La Llosa y Moncófar, en la provincia de Castellón y en Benavites, Quartell y Sagunto en la provincia de Valencia. Originariamente ocupaba una zona más extensa en la que además de los municipios anteriormente reseñados también se incluían Burriana y Nules (Castellón) y Faura y Canet d'en Berenguer (Valencia).

Se trata del segundo humedal en cuanto a dimensiones e interés naturalístico de la provincia de Castellón. Los límites naturales del mismo son: al Norte el río Belcaire, el río Palancia al Sur, al Oeste la Sierra de Espadán y al Este el mar Mediterráneo (ver figura 1).

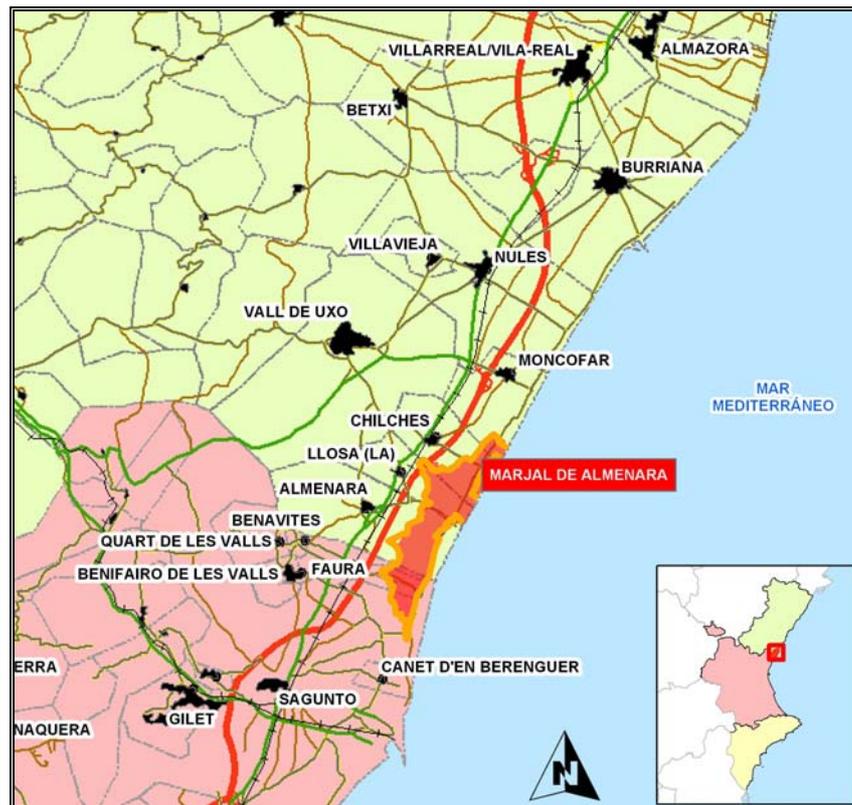


Figura 1. El Marjal de Almenara

## **1.2 HUMEDALES: FUNCIONES, GÉNESIS, IMPORTANCIA Y VALOR AMBIENTAL**

Las zonas húmedas litorales son una serie de espacios físicos que tienen en común la presencia de una lámina de agua permanente o estacional en la proximidad de la costa; pueden estar formadas por restingas de arena o sedimentos de río arrastrados por las corrientes dominantes, formando lagunas como el caso de las albuferas, o bien, pueden ser zonas bajas a las que el alto nivel freático puede mantener

inundadas casi todo el año, como ocurre con los marjales. También se reconocen como tales a los deltas de los ríos o, incluso, formaciones más o menos alteradas por el hombre para su aprovechamiento como los arrozales, las salinas, etc.

En casi todos los casos existe una interacción tierra-mar, bien en su génesis, bien en su funcionamiento o, incluso, en las dos circunstancias, de manera que el agua dulce o salobre ha venido alternando en el interior de los humedales.

Estos espacios están caracterizados por ser los más productivos de la tierra, en cuanto a biomasa se refiere; paisajísticamente se traduce en un tipo peculiar de vegetación cuya imagen todos reconocemos. Su alto valor puede ser fácilmente apreciado al enumerar una serie de productos y funciones que desempeñan o pueden desempeñar bajo el punto de vista ecológico y social.

### 1.2.1 Funciones de los humedales

Se agrupan en esta categoría los beneficios que los humedales ofrecen de forma indirecta y que se generan a partir de las interacciones de sus elementos bióticos y abióticos.

- **Descarga de acuíferos.** Esta función se cumple cuando el humedal es alimentado por el agua procedente de los acuíferos subterráneos, como es el caso de "Els Estany's". Estas zonas constituyen el punto de encuentro del agua subterránea con la superficie. Pueden tener un importante papel como recurso en el mantenimiento de las condiciones locales de las aguas subterráneas, fundamentalmente en lo que se refiere a abastecimiento de agua local y para la agricultura, siempre que este bien gestionado (Viñals, 2.000). El aporte de agua dulce de los acuíferos al humedal trae como consecuencia que la salinidad del agua embalsada no suba excesivamente, excepto si el acuífero se ha salinizado (Costa, 1.999). En los casos de humedales costeros como el Marjal de Almenara, éstos actúan además como barreras al fenómeno de intrusión marina.
  
- **Control de avenidas.** Aunque esta función es más importante en los humedales que interfieren a los sistemas fluviales, en los humedales situados cerca de la costa actúan de forma similar frente a las fuertes precipitaciones. Éstos también funcionan como embalses donde se detiene, retiene y disminuye la velocidad del

flujo, amortiguando y ralentizando el pico de crecida de la inundación, pero no tienen apenas territorio aguas abajo sobre el que influir.

- **Estabilización de la línea costera y control de la erosión.** Los humedales costeros contribuyen a la estabilidad de la línea de costa, que normalmente suele albergar una gran concentración de población. La vegetación del humedal estabiliza la línea costera gracias a la reducción de la energía de las olas y corrientes, al mismo tiempo que las raíces de las plantas fijan los sedimentos del fondo.
- **Retención de sedimentos.** Los humedales situados en las cuencas fluviales funcionan de lagunas de sedimentación. Sin embargo, en el caso del Marjal de Almenara, únicamente puede haber aportes de sedimentos continentales por efecto del viento o del hombre. Junto a la sedimentación continental las lagunas pueden igualmente funcionar como lugares de sedimentación marina, siempre que exista una comunicación con el mar. Las corrientes de entrada aportan sedimentos desde los fondos marinos próximos a la cubeta lagunar y a las llanuras tidales (tanto de la línea de costa como de la restinga) (Andrés et al., 2.000).
- **Retención de sustancias tóxicas.** En determinadas condiciones, muchas sustancias tóxicas son adsorbidas por los coloides del sedimento y la materia particulada. Los contaminantes iónicos se unen a la fracción mineral del sedimento y los contaminantes no iónicos se fijan a la fracción orgánica. Así los sedimentos de los humedales pueden funcionar como sumideros de numerosos contaminantes. Sin embargo, esta función no debe sobrevalorarse ya que una excesiva o rápida acumulación en los sedimentos puede llegar a afectar a los organismos del humedal.
- **Retención de nutrientes.** Los humedales constituyen un almacén de nutrientes muy importante. El fósforo y el nitrógeno son retenidos por las plantas y los sedimentos de los humedales, mejorando la calidad del agua y evitando la eutrofización. En condiciones anaerobias y como consecuencia de la desnitrificación, se puede producir la reducción bioquímica de los nitratos que serán reconvertidos en nitrógeno gaseoso y pasará a la atmósfera. Al entrar en el humedal, una parte del fósforo será aprovechado por las plantas, pero un porcentaje importante quedará inmovilizado en los sedimentos debido a la dureza del agua. Por otra parte, los humedales juegan un importante papel en la retención

del CO<sub>2</sub>. Así, las masas de vegetación palustre y los depósitos orgánicos de carácter turboso que la acumulación de sus restos produce, constituyen reservorios de carbono reducido que impiden que este elemento se oxide y se volatilice a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, con las conocidas implicaciones climáticas (García et al., 1.999).

- ❑ **Protección contra tormentas.** Los humedales costeros ayudan a disipar la fuerza del viento y las olas, reduciendo así los daños que pueden provocar las tormentas en las zonas más interiores.
- ❑ **Regulación de microclimas.** Los humedales dan lugar a unas condiciones microclimáticas más húmedas, que cobran gran valor en un medio como el mediterráneo (sobre todo en las latitudes más meridionales) donde la escasez hídrica, sobre todo en verano es un factor dominante.
- ❑ **Hábitat para la flora y fauna.** En zonas con clima mediterráneo, la presencia casi permanente de agua en los humedales permite que alberguen comunidades biológicas más estables que en otros casos, constituyéndose como reservorios de alta biodiversidad. Se trata pues, de los ecosistemas que presentan una de las mejores condiciones para el desarrollo de la comunidad biótica. Hay que destacar a este respecto, el importante desarrollo de especies acuáticas que encuentran alimento únicamente en esta agua. En estas zonas, incluso en los peores momentos de sequía, se mantienen pastos ricos y grandes poblaciones de insectos que son alimentos básicos para los organismos herbívoros e insectívoros. La gran cantidad de recursos que se concentran en los humedales hace que muchos depredadores como las rapaces los utilicen como zona de alimentación, aunque habitualmente ocupen ecosistemas terrestres.
- ❑ **Buenos refugios faunísticos.** Las densas masas de vegetación no sólo ofrecen una buena protección frente a depredadores, sino que constituyen lugares ideales de reproducción y cría.
- ❑ **Actividades recreativas y turismo.** En los humedales se realizan gran cantidad de actividades recreativas como el paseo, la observación de aves, la fotografía de naturaleza, la pesca, la caza, etc. y turísticas, orientadas a los amantes de la naturaleza (ecoturismo), aunque esta actividad no está muy desarrollada por el momento, en potencia presenta importantes posibilidades.

- **Función científica, pedagógica y cultural.** La existencia de endemismos o rarezas vegetales, especies animales amenazadas, etc., tiene un gran valor científico que permite el desarrollo de estudios de gran interés. A nivel científico, los humedales no sólo interesan por sus elementos bióticos y abióticos actuales, sino también como fuentes de información de épocas anteriores, en cuanto a que, por ejemplo en las turberas, se conservan registros polínicos de gran importancia para conocer como eran los sistemas naturales pasados. Además, la peculiar vegetación y la presencia de una importante ornitofauna supone un atractivo añadido que permite el desarrollo de actividades pedagógicas (aulas de naturaleza). No debemos olvidar su importancia histórica y cultural, ya que los humedales pueden estar ligados a tradiciones, a manifestaciones culturales, etc. Por ejemplo, en el Marjal de Almenara se encuentran interesantes yacimientos epipaleolíticos, ibéricos, romanos, medievales, árabes, etc., amén de edificaciones de reconocido valor histórico-artístico.
- **Valor paisajístico.** Muchos humedales tienen un extraordinario valor como recurso paisajístico de primer orden que atrae a numerosos visitantes. Es evidente que, incluso en el caso de que no posean un gran valor ecológico, a nivel paisajístico la presencia de zonas húmedas costeras siempre contribuye a diversificar el entorno de las costas mediterráneas.

### 1.2.2 Productos de los humedales

Se consideran productos los componentes y aspectos directamente explotables por el hombre y de los cuales se obtiene un beneficio económico. Los más importantes son los siguientes:

- **Recursos vegetales.** Aunque hoy en menor medida, históricamente los humedales han sido explotados por el hombre para extraer plantas y productos vegetales para usos diversos, como la construcción (madera, carrizo, cañas), la fabricación de muebles (enea), la alimentación (berros, arroz), la fabricación de productos químicos (sosa), medicinas o como combustible (leña, turba).
- **Recursos pesqueros.** Antiguamente, la pesca fue una actividad establecida en muchos los humedales. En la actualidad, se sigue practicando aunque

normalmente con fines recreativos. Además, un pez como la anguila depende de los humedales costeros para su desarrollo.

- **Pastos.** Algunos humedales albergan eriales o pastos que pueden ser aprovechados por el ganado si se utilizan sistemas de pastoreo compatibles. En el Marjal de Almenara se practica la ganadería extensiva, básicamente de ganado ovino, en algunos campos abandonados. Puede ser una práctica perfectamente compatible con el humedal si se limita su entrada en aquellos lugares de interés ecológico.
- **Recursos agrarios.** Desde antiguo, la agricultura se ha desarrollado en los llanos costeros rodeando los humedales para aprovechar la fertilidad de los suelos. Así han ido transformándose los humedales hasta la situación actual. Aunque mayoritariamente se ha desarrollado una agricultura intensiva de regadío poco adecuada para la gestión sostenible de los humedales, existen una serie de cultivos que pueden ser compatible con ellos. Por ejemplo, los arrozales o los cultivos hortícolas de verano permiten la inundación de los terrenos en algunos momentos del año, lo que favorece el establecimiento de especies faunísticas.
- **Extracción de turba.** La extracción de turba puede ser una actividad productiva en muchos humedales y permite la renovación del humedal y el mantenimiento de aguas libres gran parte del año. En el caso del Marjal de Almenara la extracción de turba todavía se realiza en la zona sur, cerca de la Reserva del Samaruc.
- **Recursos hídricos.** Los humedales suponen una fuente directa o indirecta de agua para la agricultura, la ganadería e, incluso, la industria. Además, muchas casas de campo situadas en el llano costero se abastecen a través de pozos que extraen el agua acumulada en el propio humedal.

A éstos hay que añadir que las zonas húmedas producen la biomasa necesaria para la alimentación de peces, aves y, en definitiva, constituyen un importantísimo eslabón en la cadena trófica, aspecto que indirectamente favorece al hombre en la obtención de recursos.

Las costas de restinga y albufera son un tipo costa muy común en el territorio valenciano y están constituidas por tramos en los que se forman zonas embalsadas y pantanosas, separadas del mar por cordones de grava o de arena, que según la

cantidad de agua y su naturaleza forman saladares, marjales o albuferas. La génesis de estas zonas parece ligada a la trasgresión Flandriense (Holoceno) acompañada de la aportación sincrónica, de gran cantidad de sedimentos que provocaron el crecimiento del cordón litoral o restinga hasta crear verdaderos lagos interiores de agua marina que pasaron a dulce como producto de las avenidas de su cuenca vertiente o de aportes subterráneos, para, alternativamente ir variando la salinidad según los temporales de Levante introdujesen por las “golas” agua marina o los aportes de agua dulce diluyesen la concentración (Sanchis et al., 1.989). Son frecuentes, dada la enorme productividad biológica de este medio, los sedimentos de turbas, aunque son de mala calidad por su elevado contenido en sales.

La gran riqueza y diversidad de elementos bióticos y abióticos de los humedales pone de manifiesto la complejidad y la gran productividad de estos ecosistemas. Poseen una gran variedad de biotopos y hábitats intermedios entre los ambientes terrestre y acuático, jugando un importante papel en la conservación de la biodiversidad. Estos sistemas tienen un comportamiento diferente a otros sistemas hidrológicos, por su alta productividad biológica y por permanecer activos durante la época estival, cuando se produce el mayor déficit hídrico. Por tanto, los humedales originan corredores naturales que constituyen buenos refugios de muchas especies vegetales y animales, favoreciendo así la diversidad biológica.

Los humedales son sistemas singulares, tanto estructural como funcionalmente, claves en la dinámica de todos los ecosistemas. Desgraciadamente, aunque en la antigüedad las zonas húmedas se extendían casi sin discontinuidad desde Peñíscola hasta Torre Vieja, en la actualidad, tan sólo quedan pequeños retazos a modo de islas que, además, están expuestos a todo tipo de amenazas.

### **1.3 MARCO LEGAL**

La legislación sobre el demanio marítimo ha sido cogida a contrapié por la evolución de las ideas y la nueva sensibilidad sobre la utilización de los recursos naturales y la protección del medioambiente. Un ejemplo es la regulación sobre las marismas, terrenos que hasta hace muy poco se contemplaban como zonas sanitariamente peligrosas e improductivas, y que ahora se ven y valoran como tesoros ecológicos que hay que salvar y proteger a toda costa.

La Ley de Aguas de 1.866 no incluyó, expresamente, en el dominio público las lagunas vivas o marismas, una especie dentro del género de las zonas húmedas o tierras encharcadizas según la tradicional terminología legal, justamente las que están en contacto con el mar y son por él vivificadas.

No obstante, reguló la posibilidad de desecar las marismas particulares, del Estado y comunales, accediendo en estos dos últimos supuestos, el realizador de la obra a la propiedad del terreno desecado. Impuso también la desecación obligatoria «cuando se declarase insalubre por quien corresponda una laguna o terreno pantanoso». Previendo que si los terrenos fueren de propiedad privada y la mayoría de los dueños se negase a ejecutar la desecación, el Gobierno podía conceder su desecación a cualquier particular o empresa. En este caso, adquirirían la propiedad del terreno así obtenido, abonando únicamente a los antiguos dueños la suma correspondiente a la capitalización del rendimiento anual que de tales pantanos o encharcamientos percibían.

Vistas las lagunas y terrenos pantanosos como improductivos focos de infección, es lógico que, además de permitirse e imponerse su desecación, se estimulase, tanto de las privadas como de las públicas, lo que propició la Ley Cambó de 24 de julio de 1.918, el texto que «más sañudamente asumió el propósito erradicador de nuestras zonas húmedas» (Martín Mateo) y que estuvo vigente hasta 1.985, en que se promulgó la nueva Ley de Aguas (BOE 8-8-85, Nº 189).

Consecuentemente, las concesiones que sobre estos terrenos públicos se otorgaban a los particulares tenían por objeto variar su naturaleza a través de la desecación, convirtiéndolas de este modo en dominio particular de quien realizase su transformación.

Se originaba así una legislación sobre este dominio público cuya finalidad era justamente terminar con él, degradarlo y transformarlo en propiedad privada. Esta técnica de la declaración de un bien como propiedad pública para ordenar desde la Administración su transformación y aprovechamiento tiene en el Derecho romano un antecedente claro en las concesiones sobre el *ager publicus*, es decir, las tierras conquistadas en las colonias, que se otorgaban para su puesta en cultivo y definitiva apropiación privada de los beneficiarios de la concesión.

A significar, sin embargo, que aquella legislación sanitaria y de fomento de la agricultura común y cuya finalidad era precisamente la degradación de las marismas no las calificaba explícitamente como bien de dominio público. Por ello no es extraño que se desconociese su carácter demanial. A ello se añadía la observación de que la naturaleza demanial se contradecía con el dato de no estar afectados a un uso o a un servicio público.

No obstante, ha sido objeto de revisión en línea con el respeto de los valores ecológicos y medioambientales que la propia Constitución impone (art. 45). Esta nueva orientación ha conducido a una interpretación extensiva de la demanialidad marítima comprensiva, de forma inequívoca, de las marismas, régimen que postula un aprovechamiento sobre la base de mantenerlas vivas y protegidas de cualquier degradación de su naturaleza.

A esta orientación responde la legislación sobre algunas zonas húmedas, protegidas ya por la Ley 15/1975, de 2 de mayo, sobre Espacios Naturales Protegidos, Ley cabecera de otras leyes especiales de protección, como la de 28 de diciembre de 1.978, sobre el Coto de Doñana, que expresamente excluye la aplicación de la Ley Cambó (en la actualidad sustituida por la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestre).

Pero, definitivamente, es la Ley de Costas vigente la que otorga a la calificación demanial de las zonas húmedas un sentido estrictamente protector y conservacionista de su carácter natural, incluyendo en amplísima definición a «las marismas, albuferas, esteros, marjales y, en general, los terrenos bajos que se inundan como consecuencia del flujo y reflujo de las mareas, de las olas o de la filtración del agua del mar».

De todas las maneras, los daños causados a la Naturaleza por la anterior política son ya en muchos casos irreversibles y los terrenos desecados por concesión regular quedan definitivamente en el dominio privado, sin perjuicio del carácter de dominio público de sus playas y zona marítimo-terrestre.

Sin embargo, a partir de los años sesenta se desarrolla a escala internacional un movimiento en favor de la conservación de los ambientes acuáticos, que toma fuerza gracias al Convenio de Ramsar (1.971) dedicado específicamente a la conservación de este tipo de ecosistemas. Mediante la difusión de los valores y riqueza de los

ambientes acuáticos iniciada por naturalistas, científicos y conservacionistas, este cambio de percepción se ha generalizado y está llegando al público en general, a la administración y a las esferas políticas.

La protección de estos ecosistemas está amparada por un importante marco legal a los siguientes niveles:

- Autonómico
- Estatal
- Comunitario (Unión Europea)
- Supracomunitario (Convenios Internacionales)

El detalle de la normativa correspondiente a cada uno de los mencionados niveles figura en el Anejo 1 c.

#### **1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

En base a cuanto antecede, el documento presente tiene como objeto la elaboración de una serie de propuestas de actuación sobre los recursos hídricos de la zona que permitan la sostenibilidad del marjal de Almenara haciéndolo compatible con el mantenimiento de la economía de la zona, la cual es mayoritariamente agraria ya que los recursos económicos turístico-recreativos tienen una presencia poco significativa.

Para ello se han planteado los siguientes objetivos:

- Conocimiento exhaustivo de la flora y fauna de la zona húmeda, de manera que se pueda evaluar que especies se encuentran presentes, cual es su valor ambiental, que necesidades hídricas mínimas necesitan y que normas en cuanto al control sobre los aprovechamientos se deben plantear para preservarlas.
- Funcionamiento hidrogeológico del humedal, aportaciones de las diferentes unidades hidrogeológicas, extracciones mediante pozos tanto en la zona interior como en el perímetro exterior del marjal.

- Funcionamiento de las turbinas y golas de salida de agua al mar, así como el conocimiento de los caudales drenados del interior de las zonas cultivadas hacia los canales principales de drenaje.
- Elaboración de un modelo hidrogeológico en régimen transitorio del marjal, que permita contemplar diferentes escenarios en función de los datos de partida.
- Recomendaciones para la protección del valor ambiental de la zona, indicando requerimientos hídricos mínimos para el mantenimiento de la biocenosis del marjal y de los estanys.

En base a lo anteriormente expuesto, la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente convocó a concurso público los trabajos de *“Consultoría y Asistencia Técnica para la redacción el Plan de Protección de Recursos Hídricos de la Zona Húmeda de Almenara (Castellón)”* del que resultó adjudicataria la empresa AQUATEC, S.A., según resolución de 17 de abril de 2.001, iniciándose los trabajos que son objeto del presente documento el 11 de mayo de 2.001.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ACTUACIÓN

### 2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

#### 2.1.1 Municipios y zonas de interés ambiental

Actualmente, el marjal de Almenara ocupa una superficie de 1.488,72 ha en los municipios siguientes (Figura 2):

- Provincia de Castellón
  - Almenara
  - Chilches
  - La Llosa
  - Moncófar
- Provincia de Valencia
  - Benavites
  - Quartell
  - Sagunto

Originariamente, el Marjal de Almenara ocupaba una zona más extensa en la que además de los municipios anteriormente reseñados también se incluían Burriana y Nules (Castellón), y Faura y Canet d'en Berenguer (Valencia).



Figura 2. Mapa de situación de los municipios integrantes del Marjal de Almenara.

La distribución de esta superficie entre los municipios antes relacionados se representa en la Figura 3. Esta distribución ha sido estimada sobre la base de los resultados obtenidos del geoprocesamiento de superficies a partir de herramientas de sistemas de información geográficos (S.I.G.).

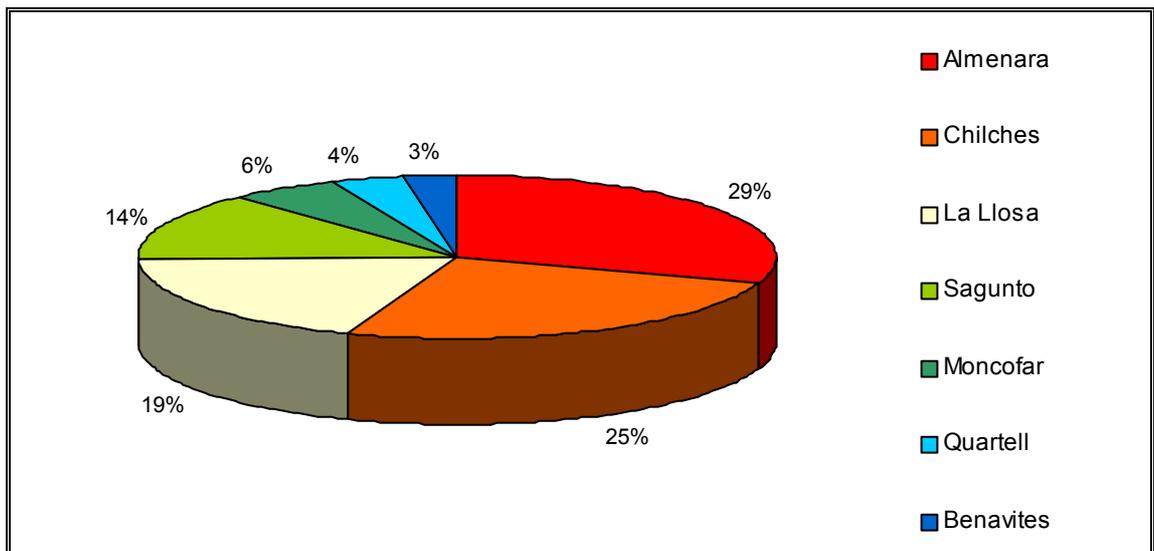


Figura 3. Distribución de la superficie del Marjal de Almenara según municipios que la integran.

La zona de mayor interés ambiental se puede considerar encuadrada en los siguientes términos municipales, ordenados de Norte a Sur: Chilches, La Llosa, Almenara, Benavites, Quartell y Sagunto.

En Chilches el área comprendida dentro del marjal está muy transformada en la actualidad, dedicada casi en su mayoría al cultivo de hortalizas, alternando las variedades de invierno con las de verano. También hay zonas dedicadas al cultivo del arroz. En el término municipal de La Llosa predomina el cultivo de arroz, con algunas zonas de cultivo hortícola y de cítricos.

El municipio de Almenara contiene dentro de su término la zona de mayor valor ambiental del humedal, incorporando además los estanys. Existe ya una reserva de flora delimitada y considerada de especial interés. En Benavites y Quartell se presentan varias áreas de vegetación natural de saladar las cuales se encuentran en

claro retroceso, habiendo desaparecido de algunas zonas próximas a la franja costera. Asimismo están presentes los saladares en parcelas que pertenecen al término municipal de Sagunto.

Los valores ambientales más destacados de la zona son los Estanys junto con la marisma que cubre la zona de terreno comprendida entre estos y el mar Mediterráneo. Es de resaltar la vegetación acuática y helofítica que aparece y la fauna que esta mantiene. En determinadas épocas del año se produce un fuerte incremento en el ritmo de extracción del agua de la zona a fin de regar los cultivos adyacentes, habiéndose llegado, en algún año poco lluvioso, a desecarlos. La fauna presente en el entorno incluye un importante número de aves, tanto en cantidad como en singularidad, que utilizan esta zona húmeda como refugio y lugar de paso en sus migraciones hacia el sur en la época invernal.

### **2.1.2 Identificación de límites**

La identificación de los límites de la zona húmeda se ejecutó en base a la propuesta del perímetro establecido en el Catálogo de Zona Húmedas de la Comunidad Valenciana, elaborado por la Conselleria de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana en junio de 2.000, ampliándolo en una franja de 500 metros y corregida en base a la delimitación incluida en dicho Catálogo al ser éste aprobado definitivamente.

Asimismo se identificaron mediante información aportada por el mismo organismo los límites de las microrreservas de flora existentes en la zona, las cuales se encuentran dentro de los términos municipales de Moncófar y Chilches. En este sentido, se ha incluido una nueva microrreserva en trámite de aprobación. Ésta, integrada en el término municipal de Sagunto, se denominará microrreserva de Puerto Corinto.

Para un mayor detalle de la zona de estudio se ha utilizado una imagen obtenida mediante satélite IRS, del año 1.997, la cual ha servido, además de instrumento de identificación de elementos tales como cultivos, pozos, canales, caminos y demás elementos, para la elaboración de mapas en los que se describen los diferentes usos del suelo, la red de canales de drenaje, la situación de los pozos de extracción de agua para riego y de los motores o turbinas que se utilizan para desecar los campos y posibilitar el cultivo de los campos.

En cuanto a la cartografía utilizada, se ha dispuesto de mapas a escala 1:25.000 (Mapa Topográfico Nacional) y 1:10.000 (Instituto Cartográfico Valenciano).

Igualmente, se obtuvieron de las Delegaciones de la Agencia Tributaria del Ministerio de Economía y Hacienda la cartografía catastral rústica a escala 1:2.000, correspondiente a los municipios que contienen la zona de estudio.

Mediante el uso de la imagen aérea y el apoyo del uso de un GPS en campo se realizó la comprobación del correcto posicionamiento de una serie de vértices de los facilitados en la poligonal definida en el Catálogo de zonas húmedas.

Durante la fase de comprobación, se detectaron vértices que no parecían encajar correctamente con la definición del Catálogo. Estos puntos discordantes fueron comunicados a la Consejería de Medio Ambiente, donde el técnico encargado de las microrreservas confirmó las sospechas, facilitando los valores correctos de los vértices señalados, además de las coordenadas de la nueva microrreserva de Puerto Corinto.

Estos valores se transcriben a continuación.

**Tabla 1. Valores corregidos de los vértices de la microrreserva de Almenara**

MICRORRESERVA DE ALMENARA				
Vértice	Coordenada X	Coordenada X corregida	Coordenada Y	Coordenada Y corregida
7	741.456	741.465		
13			4.404.091	4.404.019
18			4.404.950	4.404.050

Nota: coordenadas en proyección UTM referenciadas al huso 30.

**Tabla 2. Coordenadas de los vértices de la nueva microrreserva de Puerto Corinto.**

MICRORRESERVA DE PUERTO CORINTO (NUEVA)		
Vértice	Coordenada X	Coordenada Y
1	739.075	4.399.835
2	738.912	4.399.831
3	738.938	4.399.752
4	739.135	4.399.771

Nota: coordenadas en proyección UTM referenciadas al huso 30.

### 2.1.3 Origen de la zona húmeda

El Marjal de Almenara tiene un origen muy similar al del resto de albuferas y marjales de la Comunidad Valenciana. Se ubica en la zona límite entre las Sierras Mesozoicas, con depósitos de piedemonte y aluviales asociados, y la franja litoral, marcada por barras de arenas y cantos que delimitan a la misma por el este. La existencia de una topografía cercana o inferior a la del mar propicia además la presencia de encharcamientos o lagunas, con un quimismo final de las aguas que responde al equilibrio entre el quimismo de las masas de agua que convergen en la misma, así como a la composición sedimentológica de los materiales que constituyen el sustrato de la misma.

A mediados del siglo XIX, se realiza en la zona del marjal una importante transformación agraria con el objeto de convertir terrenos lagunares marcadamente salinos a zonas de cultivos agrícolas, principalmente, arrozales y huertas. Durante dicha fase se construye un importante sistema de canales y acequias con el objeto principal de drenar el terreno, topográficamente deprimido respecto al nivel del mar, con un nivel freático marcado por el acuífero detrítico de la Plana y las surgencias naturales de los acuíferos carbonatados, que en dicho período, muestran un grado de explotación muy inferior al actual.

Geomorfológicamente el Marjal de Almenara es una ciénaga litoral cuyo álveo se encuentra en avanzado estado de colmatación. Los procesos marinos tuvieron gran protagonismo en su génesis pero el funcionamiento actual es bastante autónomo del mar.

Los distintos ambientes que se pueden reconocer son:

- **Glacis y abanicos pleistocenos.** Se trata de una amplia superficie que se extiende entre la orla de relieves y el marjal, formada con el concurso de diversos barrancos: el de Talavera, la Rambleta, la Rodana, etc., que contribuyen a su colmatación natural.
- **Restinga litoral.** Está constituido por una franja de arenas de 13,5 km de longitud y una anchura 300-700 m, originada posiblemente por el crecimiento de una flecha de punta libre que arranca en la desembocadura del abanico del río del Belcaire al Norte para apoyarse en el del Palancia al Sur. Además se ha constatado en la

parte interna (*Barri del Mar*), la presencia de restos fósiles de calcoarenitas pertenecientes a restingas pleistocenas.

- **El marjal.** Se trata de un espacio palustre de 1.488,72 hectáreas constituida por limos orgánicos y turbas (*de tipo húmica-sáprica*), que incluye tres relevantes espejos de agua (*estany*s) que en realidad son “*ullals*” que proporcionan importantes caudales.

El drenaje de este espacio se efectúa mediante cuatro salidas al mar o golas, denominándose, de norte a sur, Gola del Estanyol (evacuación del agua obligatoriamente a partir de turbinas), Gola de Casablanca, Gola de Queral o de los ingleses y Gola Almarda o del Estany, dotadas con motores (excepto la Gola Almarda) que elevan la cota del nivel de agua de las acequias y facilitan la evacuación del agua al mar. Por lo general suelen funcionar en régimen natural y desagüe en lámina libre.

#### **2.1.4 Unidades Hidrogeológicas relacionadas con el marjal**

El marjal se encuentra ubicada en el sector costero del acuífero de Les Valls. Dicho acuífero pertenece a dos Unidades Hidrogeológicas, ocupando el límite norte de la Unidad de la Plana de Sagunto y el límite sur de la Unidad de la Plana de Castellón. El margen noroccidental del marjal, en la zona de Almenara y Chilches, lo constituye el sector costero del acuífero del Salto del Caballo, que pertenece a la Unidad Hidrogeológica del Medio Palancia.

El acuífero de Les Valls está constituido por los depósitos cuaternario de glacis-piedemontes y lagunares que se encuentran entre las localidades de Canet Playa, Playa de Chilches, Chilches, Almenara, Benavites, Quart de les Valls y Faura, entre las provincias de Castellón de la Plana y Valencia.

Por último, sin lindar con la zona de marjal, pero constituyendo el contacto lateral meridional del acuífero de Les Valls, se encuentra el acuífero del Algar-Quart también perteneciente a la Unidad del Medio Palancia. La Figura 4 muestra, de forma esquemática, la relación espacial entre los diferentes acuíferos.

El funcionamiento hidráulico del marjal puede considerarse de cierta complejidad. Éste se caracteriza por dos aspectos fundamentales:

- La superficie topográfica del marjal se sitúa en ciertas épocas del año por debajo de la superficie piezométrica del acuífero detrítico de les Valls, dando lugar a su encharcamiento periódico en ciertas áreas.
- A través del marjal emergen parte de las aguas subterráneas que ceden los acuíferos del interior (Algart-Quart y Salto de Caballo), al acuífero detrítico de les Valls a través de zonas preferenciales de circulación y que originan las surgencias denominadas ullals.

Este conjunto de “ullals” (zonas encharcadas temporalmente ó excavaciones construidas para la explotación de turbas) se caracteriza por ser drenajes del acuífero detrítico con características hidroquímicas ligeramente diferenciadas. La Balsa de Almenara constituye un medio acuático integrado en el marjal pero de funcionamiento hidráulico diferente, ya que sirve de receptáculo de la escorrentía subterránea que emerge en forma de manantiales en el contacto del acuífero detrítico con los materiales mesozoicos del Acuífero del Salto del Caballo.

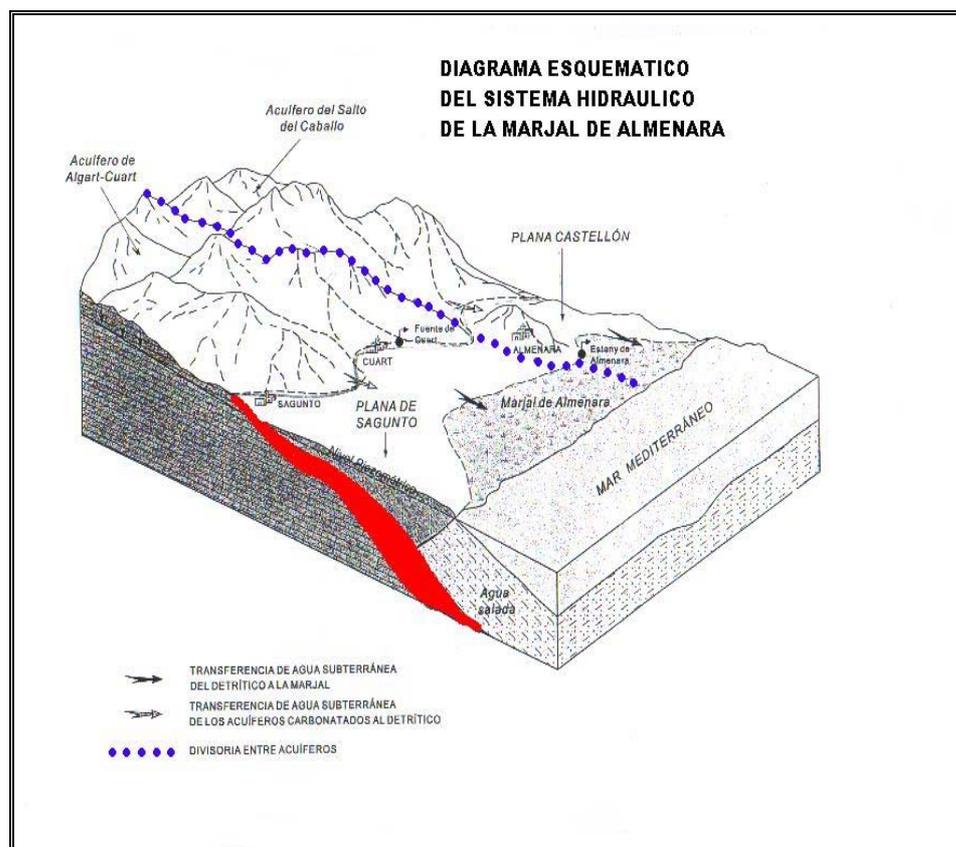


Figura 4. Diagrama esquemático del sistema hidráulico del Marjal de Almenara.

## 2.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y SITUACIÓN ACTUAL

Uno de los principales objetivos del presente estudio es determinar el nivel deseable que debe alcanzar la lámina de agua en aquellas zonas cuyo valor medioambiental debe ser protegido.

Al tratar de realizar una prognosis en diferentes escenarios, es fundamental realizar un contraste de los resultados obtenidos con los sucesos anteriores. Para poder evaluar el futuro de la zona húmeda es indispensable mirar a su pasado.

### 2.2.1 Usos del suelo

Se ha intentado obtener toda la información gráfica posible de la zona de estudio para, superponiendo imágenes, conseguir medir las superficies de algunas variables importantes en el desarrollo y calibrado del modelo matemático de simulación del funcionamiento del marjal. Dichas variables han sido:

- Área ocupada por cultivos citrícolas, hortícolas y arrozales.
- Transformaciones de cultivos con riego por inundación (a manta) a métodos de riego localizado (riego por goteo)

Para la medición de las superficies, se ha dispuesto de una serie de fotografías realizadas en vuelos aéreos. Éstas han sido:

- Fotografía aérea correspondientes a vuelos realizados en los años 1.956, 1.976, 1.991 y 1.997. El ámbito que recogen todos los municipios de la zona de estudio adentrándonos todo lo posible hacia el interior, en los dos acuíferos el marjal, el del Salto del Caballo y el de Algart-Quart pertenecientes ambos a la unidad hidrogeológica del Medio Palancia (08.20).
- Fotografías aéreas de algunos términos municipales, como es el caso de Sagunto, Benavites, Quartell y parte del término municipal de Almenara en los años 1969, 1986, 1988 y 1994.

Igualmente, se ha contado con información relativa a la caracterización y evolución del uso del suelo en la superficie total (20.388 hectáreas) de los municipios que integran el Marjal de Almenara en su término.

A continuación se muestra sendos mapas que representan la distribución de los cultivos respecto a la vegetación del humedal para los años 1.956 y 1.991, respectivamente.

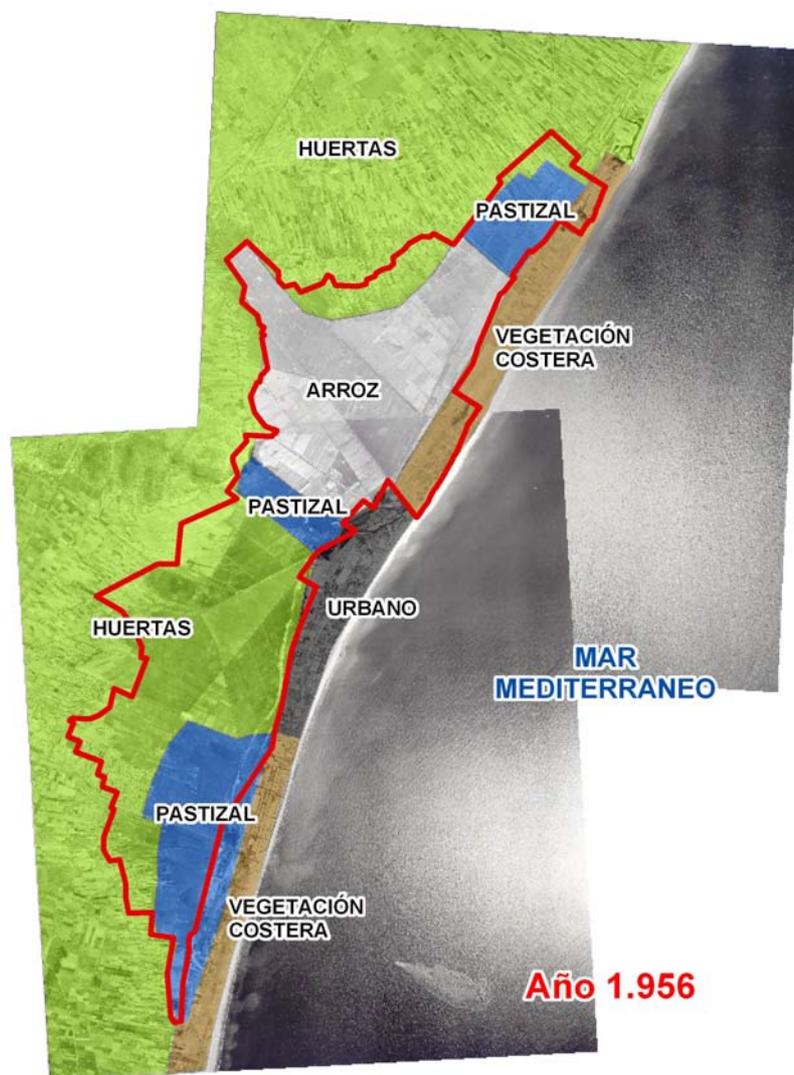


Figura 5. Distribución de cultivos respecto a vegetación del humedal en el mes de Junio del año 1956.

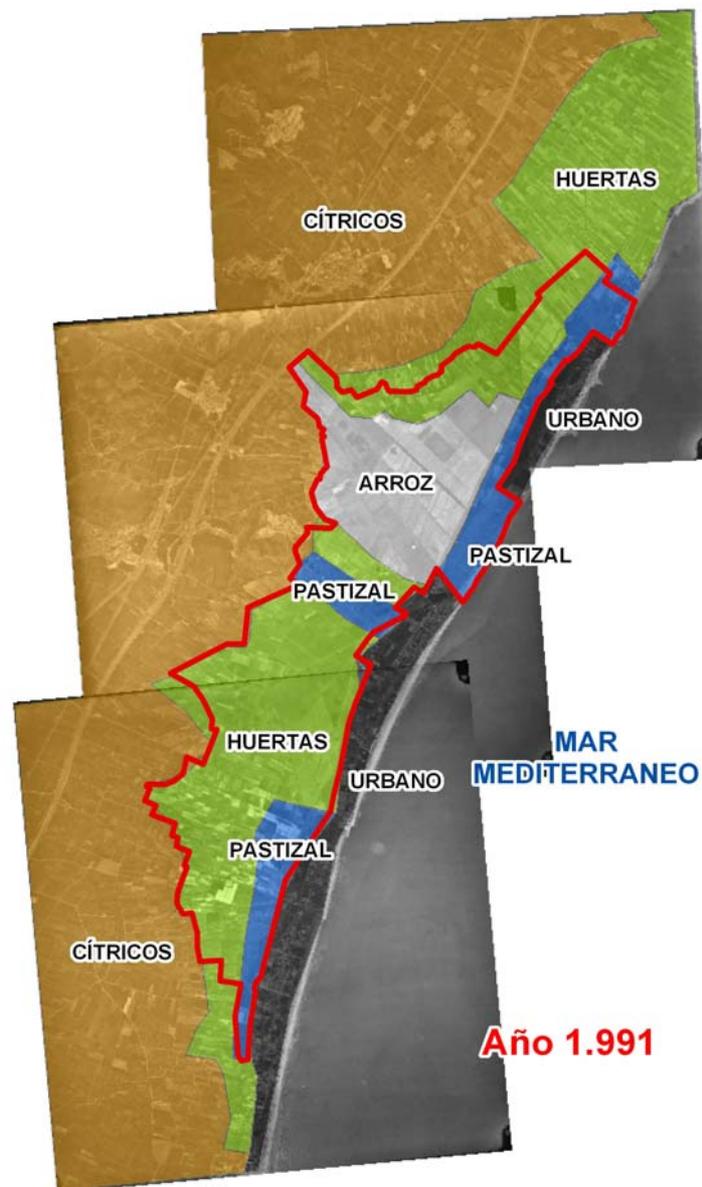


Figura 6. Distribución de cultivos respecto a vegetación del humedal en el mes de Marzo del año 1991.

De la comparativa entre las situaciones expuestas para los años 1956 y 1991 surge el siguiente cuadro del que se extraen diferentes apreciaciones.

**Tabla 3. Cuadro comparativo de distribución de cultivos respecto a vegetación del humedal en los años 1956 y 1991**

Uso	% respecto a superficie total del marjal	
	Año 1.956	Año 1.991
Arroz	29,7	21,9
Cítricos	0,0	1,8
Huertas	39,3	50,1
Vegetación costera y pastizal	29,3	19,6
Urbanos	1,7	5,7

Por un lado, se hace evidente que entre los años 1956 y 1991, en el exterior del marjal el cultivo de cítricos ha sustituido al cultivo hortícola tradicional.

Por otro, en el interior del marjal se observa lo siguiente:

- La vegetación natural representada por juncales y pastizales se ha visto reducida de un 29,3 % en el año 1956 a un 19,6 % en el año 1991.
- La huerta ha ocupado los terrenos donde antes se cultivaba arroz y terrenos naturales.
- Los asentamientos urbanos han triplicado su superficie (del 1,7 % en 1956 hasta el 5,7% en 1991), eliminando casi en su totalidad la vegetación costera que había anteriormente.

Para el año 2000, la distribución de usos del suelo para la totalidad de municipios que integran el marjal se caracteriza a continuación. El siguiente gráfico pretende mostrar el porcentaje de cada uno de los diferentes usos identificados.

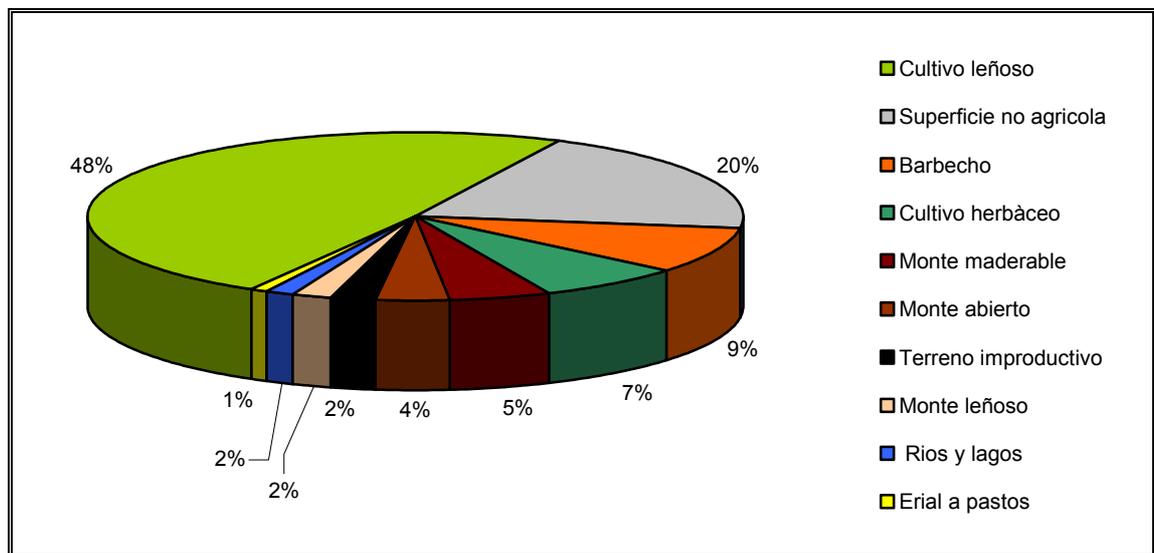


Figura 7. Distribución de la superficie total de los municipios que integran el Marjal de Almenara según usos del suelo (año 2000).

Así, tal y como ilustra la Figura 7, de las 20.388 ha que abarcan los 7 municipios de estudio, la mayor ocupación en el año 2000 corresponde al cultivo leñoso representado mayoritariamente por variedades de árboles frutales entre los que predominan los cítricos. Igualmente, se observa que las tierras productivas en barbecho constituyen el 9% del total y que el cultivo de herbáceos, principalmente hortalizas, constituye el 7%.

Por otro lado, se destaca la proporción de superficie caracterizada por terreno no agrícola y terreno improductivo que alcanza conjuntamente el 22% del total.

En los municipios que comprenden la zona de estudio de los que se dispone de datos contrastados y en el municipio de la Vall de Uxó, que si bien no forma parte de los municipios del marjal si tiene influencia en cuanto a la explotación de recursos hídricos del acuífero del Salto del Caballo, la superficie labrada ha experimentado una disminución en el periodo 1990 y 2000.

El siguiente cuadro muestra los porcentajes de superficie de regadío y cultivada existentes en estos años.

**Tabla 4. Variación de la superficie de riego y superficie cultivada en el periodo 1990 - 2000**

Municipio	Año 1990		Año 2000		Variación en el periodo 1990 y 2000	
	Superficie riego (ha)	Superficie cultivada (ha)	Superficie riego (ha)	Superficie cultivada (ha)	Superficie riego	Superficie cultivada
Almenara	1.981	2.309	1.979	2.279	-0,1%	-1,3%
Chilches	1.054	1.167	734	895	-30,4%	-23,3%
Llosa, la	500	717	445	477	-11,0%	-33,5%
Moncófar	1.036	1.037	962	988	-7,1%	-4,7%
Vall de Uxó	2.305	4.498	4.469	4.482	93,9%	-0,4%

Las mayores disminuciones en superficie labrada se producen en los municipios de La Llosa y Chilches (a causa del incremento de la actividad industrial, lo cual se refleja en el anejo 9), siendo éstas del 33,5 % y 23,3 % respectivamente. Esta disminución apenas es significativa en Almenara (1,3 %) y Vall de Uxó (0,4 %), mientras que en Moncófar representa casi un 5 % de abandono de superficie cultivable.

Por las mismas causas y en el mismo período se produce un descenso en la superficie ocupada por cultivos de regadío en los municipios de Chilches (30,4 %), La Llosa (11 %) y Moncófar (7%), mientras que en la Vall de Uxó la superficie de cultivos de regadío aumenta casi hasta duplicar la existente en 1.990 y en Almenara se mantiene en el mismo nivel que 10 años atrás.

Dentro del contexto de la disminución generalizada de superficie cultivada y de riego, se produce un aumento de la superficie destinada a cultivo de cítricos en todos los municipios, a excepción de Chilches.

Es decir, el cultivo de cítricos se han revelado como el más rentable de los existentes en la zona, lo que se ha traducido en el abandono de cultivos hortícolas o de arroz hacia esta modalidad, tal y como se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 5. Variación de la superficie de riego y superficie destinada al cultivo de cítricos en el periodo 1990 – 2000**

Municipio	Año 1990		Año 2000		Variación en el periodo 1990 y 2000	
	Superficie cítricos (ha)	Superficie cultivada (ha)	Superficie cítricos (ha)	Superficie cultivada (ha)	Superficie cítricos	Superficie cultivada
Almenara	1.430	1.981	1.769	1.979	23,7%	-0,1%
Chilches	733	1.054	657	734	-10,4%	-30,4%
Llosa, la	267	500	317	445	18,7%	-11,0%
Moncófar	718	1.036	753	962	4,9%	-7,1%
Vall de Uxo	2.298	2.305	4.450	4.469	93,6%	93,9%

Sobre la base de la campaña de campo realizada entre verano y otoño de 2.001, se caracterizado igualmente la distribución del uso del suelo en el interior del marjal.

Ésta se presenta a continuación en forma de gráfico y mapa (Figuras 8 y 9).

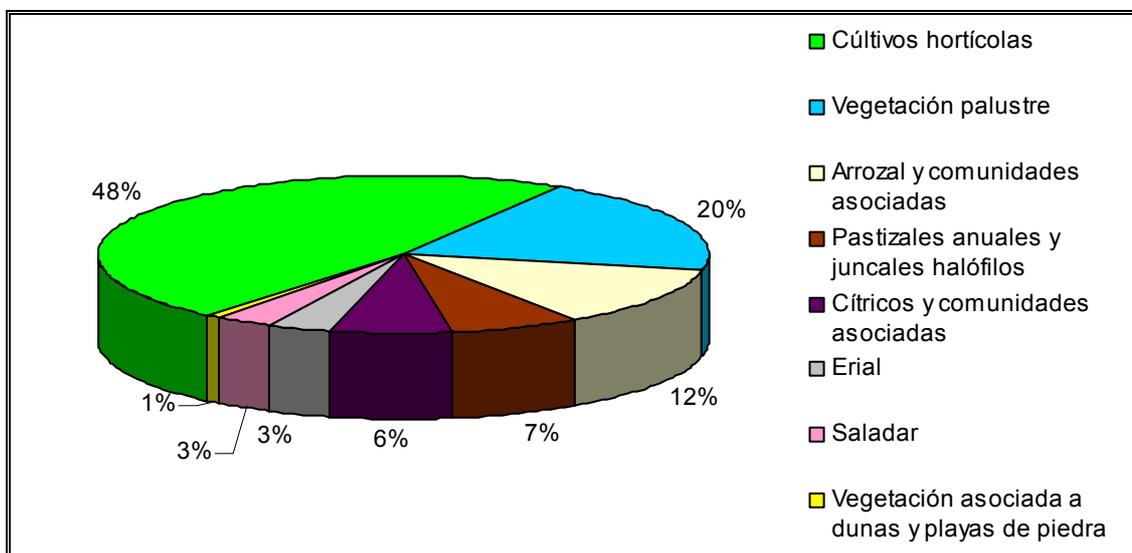


Figura 8. Distribución de usos del suelo en el interior del marjal (año 2001).

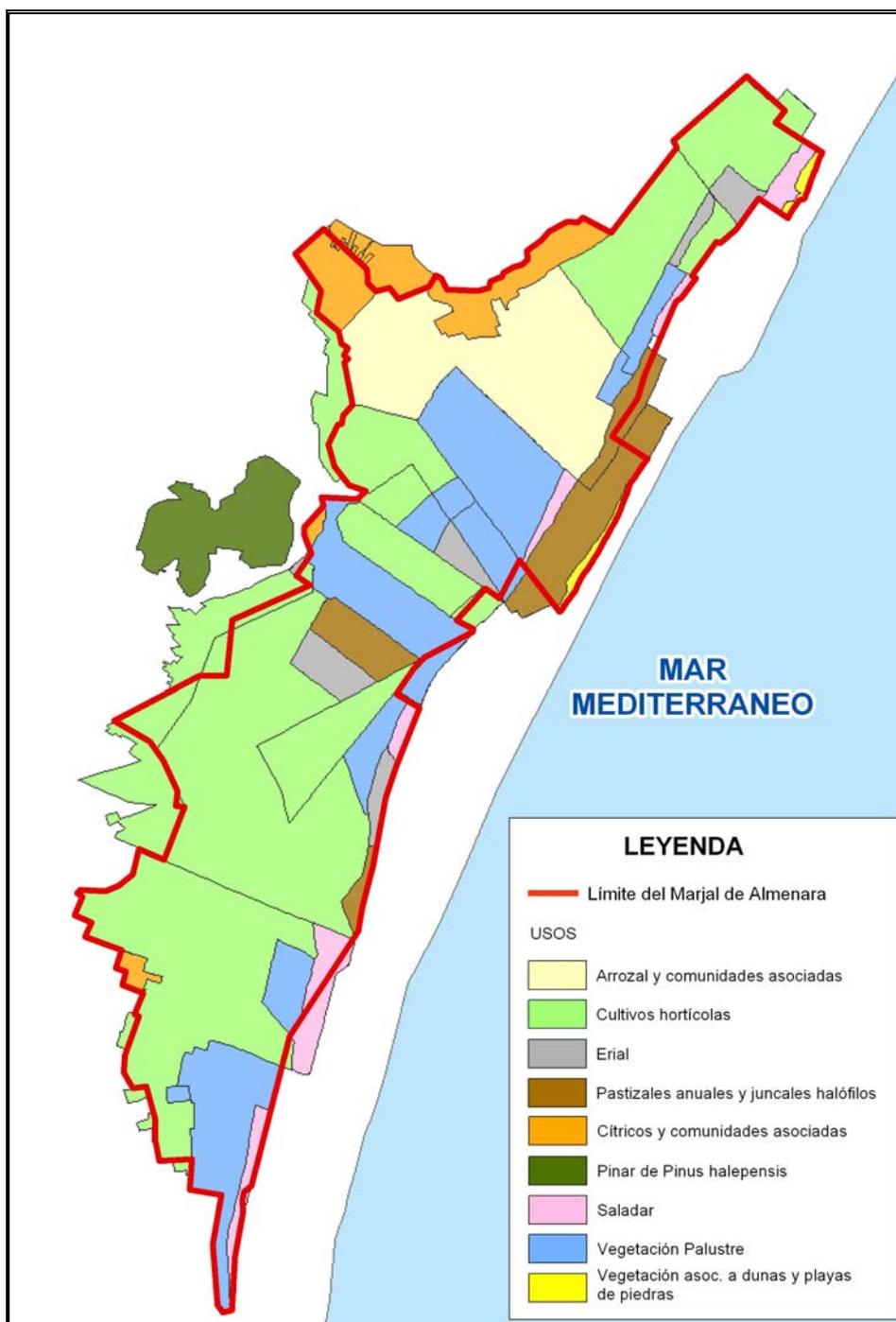


Figura 9. Mapa de la distribución de usos del suelo en el interior del marjal (año 2001).

En resumen, en los últimos 50 años la superficie ocupada por vegetación natural propia del humedal ha disminuido progresivamente hasta verse relegada a unas pocas zonas presionadas por los cultivos agrícolas y el asentamiento urbano. Igualmente, el tejido agrícola de los municipios que integran el marjal ha evolucionado hacia el cultivo de variedades más rentables, siendo los cítricos en la actualidad el predominante en la zona.

### 2.2.2 Tipología de la zona húmeda.

Es importante destacar que el ámbito del Estudio no constituye una zona húmeda homogénea, sino que bien al contrario está compuesta por varias zonas de distinta tipología debido al origen diverso del recurso hídrico.

Este origen diverso conlleva una específica calidad hidroquímica del agua en cada caso y por tanto una biocenosis particular asociada a cada tipo de agua.

Las principales zonas húmedas son:

- ❑ **Manantiales de borde.** El principal exponente de este tipo es la balsa de Almenara, cuyo nivel de encharcamiento depende casi exclusivamente de la descarga procedente del acuífero del Salto del Caballo y por tanto es independiente de las prácticas agrícolas en el marjal.
- ❑ **Marjalería.** Por el contrario, esta parte de la zona húmeda está íntimamente ligada a las modificaciones cíclicas del humedal, que en la actualidad vienen alteradas por las ya mencionadas prácticas agrícolas.
- ❑ **Explotaciones de turbas.** Las excavaciones para la explotación de turba permiten el almacenamiento temporal de las aguas constituyendo medios acuáticos de características diferenciadas dentro del humedal.

El funcionamiento hidráulico del humedal responde básicamente al siguiente esquema:

- ❑ **Entradas:**
  - Aportes directos del acuífero del salto del Caballo, dando lugar a las Balsas de Almenara.

- Aportes subterráneos de las unidades hidrogeológicas de la Plana de Castellón y Sagunto, las cuales reciben transferencias subterráneas de los acuíferos de Algart-Quart y Salto del Caballo.
  - Escorrentía superficial procedente de los cauces externos a el marjal y que desembocan en su zona de influencia.
  - Sobrantes de regadíos de los cultivos situados en la misma.
  - Recarga desde los canales principales de riego.
- **Salidas:**
- Evapotranspiración por vegetación y lámina libre del agua.
  - Drenaje mediante canales sobre todo a través de la Gola de Casablanca, que es prácticamente la única salida superficial al mar importante del marjalería.
  - Salidas subterráneas al mar.

### 2.2.3 Régimen de explotación del recurso hídrico

El aprovechamiento que se hace del agua en las explotaciones agrícolas en la zona de estudio depende básicamente del tipo de cultivo y de la estacionalidad del mismo. Como ya se ha comentado anteriormente, en el marjal predominan los cultivos de cítricos y hortalizas, frente a otros cultivos como el arroz que se han visto desplazados.

Los cítricos necesitan un aporte de agua regular, el cual se asegura mediante una red de canales que transportan el agua hasta los campos o mediante el riego localizado por goteo. Igualmente, éstos necesitan un nivel freático que permita el desarrollo de la raíz del árbol y evite su putrefacción, lo que se consigue bien elevando el nivel del terreno o bien rebajando el nivel freático del mismo. En el Marjal de Almenara se han realizado ambas modalidades.

En los últimos años se ha producido un cambio en los tipos de cultivo, se ha pasado de los cultivos hortícolas estacionales, los cuales permitían que el terreno se inundase en las épocas de otoño e invierno, a otro tipo de cultivos permanentes de cítricos, hortalizas y verduras de invierno, plantaciones de espárragos y construcción de viviendas. Todas estas actividades impiden la inundación anual de los terrenos.

Actualmente cada comunidad de regantes tiene sus propias normas de funcionamiento interno en la extracción de agua subterránea para riego. Se ha conseguido recopilar

información relativa al régimen de uso de la mayoría de comunidades de regantes del municipio de Almenara y de algunas de los municipios adyacentes.

La problemática de la extracción de agua subterránea de los acuíferos que alimentan el marjal se extiende tierra adentro hacia la Sierra de Espadán, que es donde más captaciones autorizadas existen y donde mayor volumen de agua se detrae. El disponer de información suficientemente precisa y actual de los acuíferos implicados supondría, según el estudio preliminar sobre la hidrogeología de la zona, realizar una serie de actuaciones que no tienen cabida en el trabajo que actualmente se está realizando, tanto por plazo como por coste.

El desecamiento forzado del marjal provoca unos desequilibrios importantes en diferentes áreas de la zona húmeda, ya que mientras en unos municipios se ha permitido elevar las cotas del terreno cultivable mediante la aportación de tierras en otros no se ha permitido esta acción, con lo cual el nivel que puede alcanzar el freático en unos puntos es superior a otros. En la actualidad este desecamiento provocado está prefijado en cada turbina por medio de unos niveles que son los que ponen automáticamente en marcha los motores de extracción.

### **2.2.3.1 Análisis de la piezometría**

La evolución del nivel freático en el acuífero detrítico del entorno del marjal está marcada básicamente por dos aspectos, el régimen climático, que en la última década ha presentado fuertes contrastes, alternando periodos muy secos con relativamente cortos episodios húmedos y el incremento de las extracciones de agua subterránea. Todo ello ha llevado a la observación, en ciertos puntos de control, de tendencias generales a la disminución del nivel freático medio.

El estudio de la piezometría es la forma más directa de analizar las causas y procesos asociados a la variación del nivel freático. Sin embargo, en la zona de estudio no existe una piezometría específica que abarque toda su extensión.

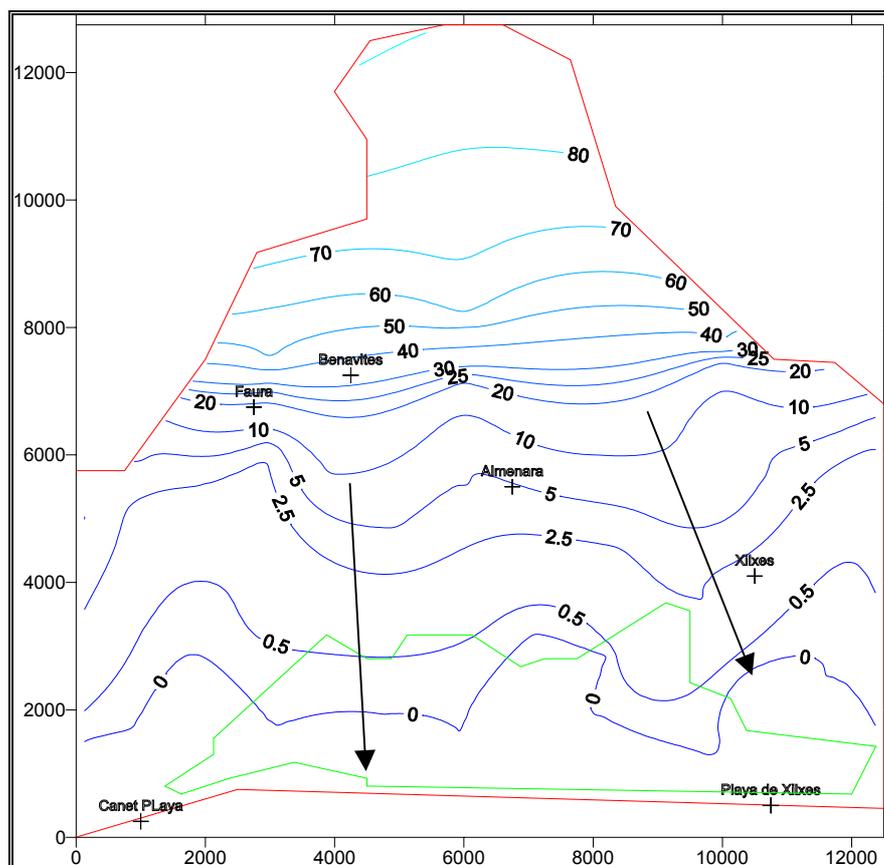
Se dispone únicamente de piezometrías reales procedentes de las siguientes fuentes:

- Estudios realizados por INTECSA (1990) en la parte Castellonense del acuífero detrítico de la Plana y del acuífero del Salto del Caballo durante 1990.

- Estudios realizados por TEYGESA (2000 y 2001) en el ámbito del acuífero del Salto de Caballo, durante 1998.
- Informes más regionales que permiten definir una geometría piezométrica general en la parte meridional del acuífero detrítico de Les Valls.

En general, en los diversos estudios se ha verificado un flujo subterráneo regional aproximadamente perpendicular a la línea de costa. Dicho flujo es localmente modificado por las diversas extracciones, especialmente en la zona de Faura. Fuera del ámbito del estudio y de la Figura, existen núcleos de extracción muy significativos en la rambleta de Vall d'Uxó-Moncófar (U.H de la Plana de Castellón) y en Petrés-Sagunto (U.H de la Plana de Sagunto).

A partir de dicha información, se ha construido una primera piezometría estimativa de los pozos que se representa en la Figura 10.



Notas: Las flechas indican las direcciones de flujo regionales.  
 Línea roja, límites del modelo. Línea verde, perímetro del marjal.

Figura 10. Piezometría tentativa de los acuíferos de la zona de estudio.

### **2.2.3.2 Evolución de la piezometría**

En la zona del acuífero de les Valls, existe un total de 8 piezómetros con datos puntuales de nivel, que abarcan el periodo 1991-2000. El rango de oscilación varía desde los + 12 msnm hasta los -4,5 msnm (metros sobre el nivel del mar).

En ninguno de dichos piezómetros se ha realizado una toma de muestras continua. El piezómetro que mayor número de datos presenta es el 08.12.020, con 43 medidas de nivel en 10 años y el que menos, el 08.21.012, con 16 medidas durante el mismo periodo. Ello provoca una cierta incertidumbre a la hora de definir evoluciones temporales de nivel y en la calibración del modelo.

Con todo, el análisis de sus tendencias generales permite agrupar el comportamiento de los piezómetros del acuífero de les Valls en dos grupos principales:

- Piezómetros que reflejan un progresivo descenso del nivel desde 1991, que se corrige parcialmente a partir de finales de 2.000, alcanzando en muchos casos cotas por debajo del nivel del mar. Son representativos de este comportamiento los puntos 08.21.014, 08.12.067 y 08.21.005. En todos los casos, se ubican en puntos de la Plana fuera de la influencia del sistema de canales del marjal.

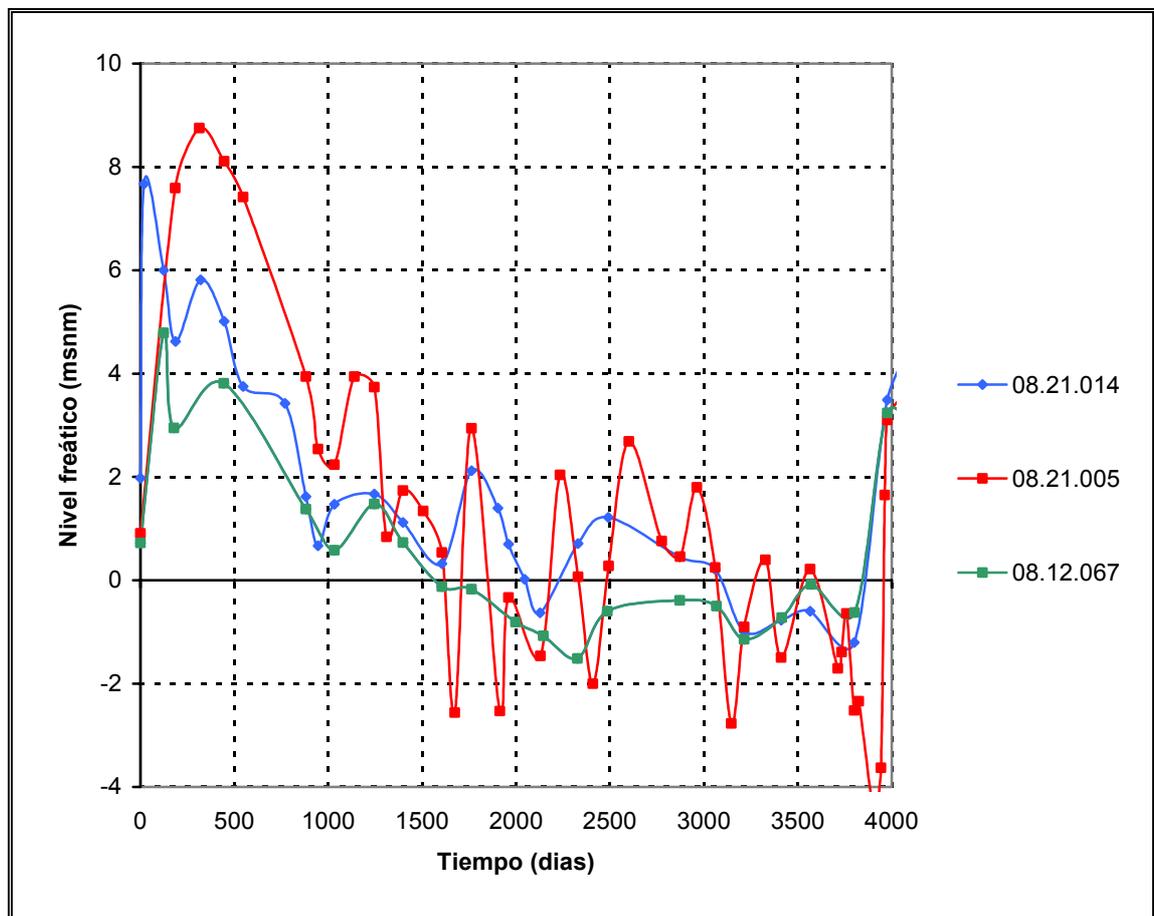


Figura 11. Evolución piezométrica, durante el periodo 1990-2000 de los puntos de control piezométricos del acuífero de les Valls, externos al marjal.

- Piezómetros que reflejan ligeras oscilaciones de nivel, estabilizándose generalmente alrededor de una cota media, que les proporciona una geometría netamente horizontal en la gráfica nivel-tiempo. En estos casos, los piezómetros se ubican en el interior o en la proximidad inmediata del marjal, muy próximos a líneas de circulación de agua superficial (ramblas o acequias). Son representativos de este grupo los piezómetros 08.12.020, 08.12.017, 08.21.011 y, en menor grado, el 08.21.012.

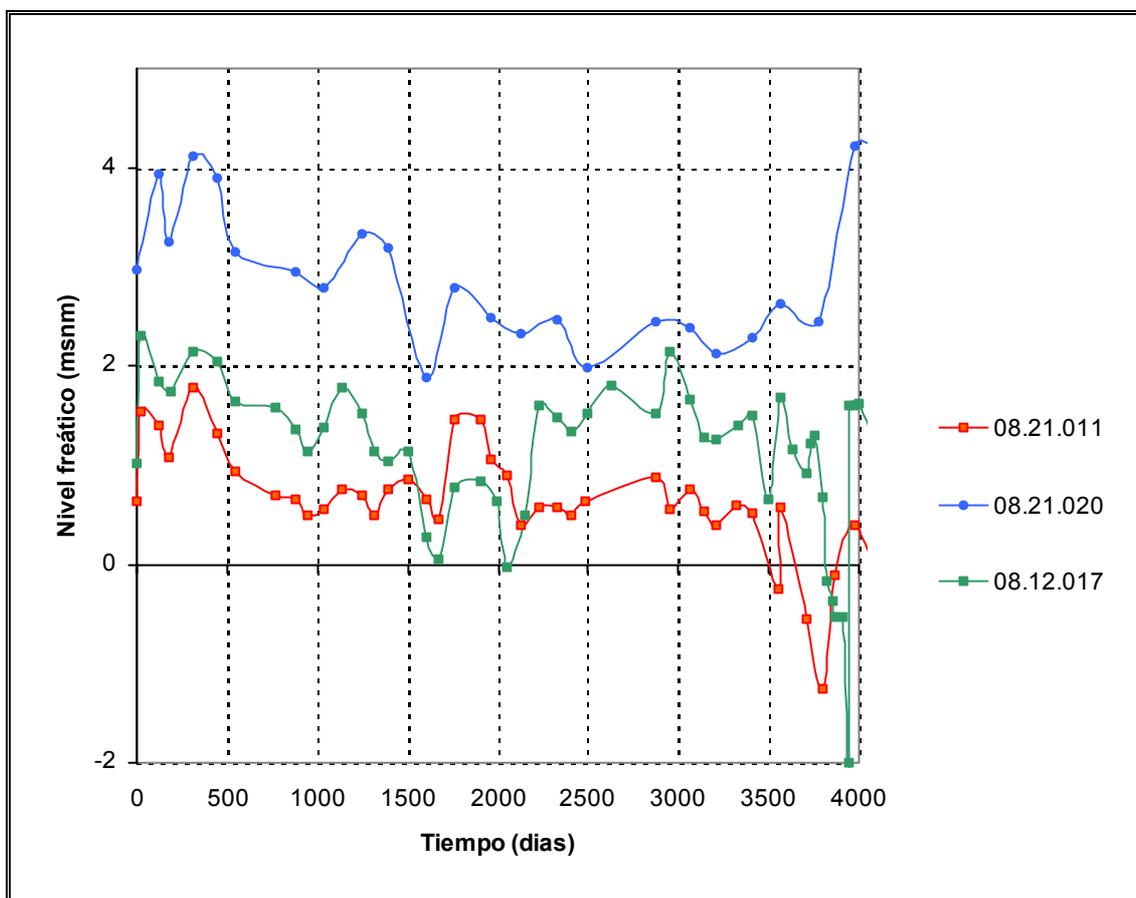


Figura 12. Evolución piezométrica, durante el periodo 1990-2000, de los puntos de control piezométricos del acuífero de les Valls, internos al marjal.

No se han considerado aquellos piezómetros que aún estando espacialmente dentro de la zona de estudio, monitorizan niveles o acuíferos que no han sido objeto de modelación, como por ejemplo, los niveles del Buntsandstein infrayacente.

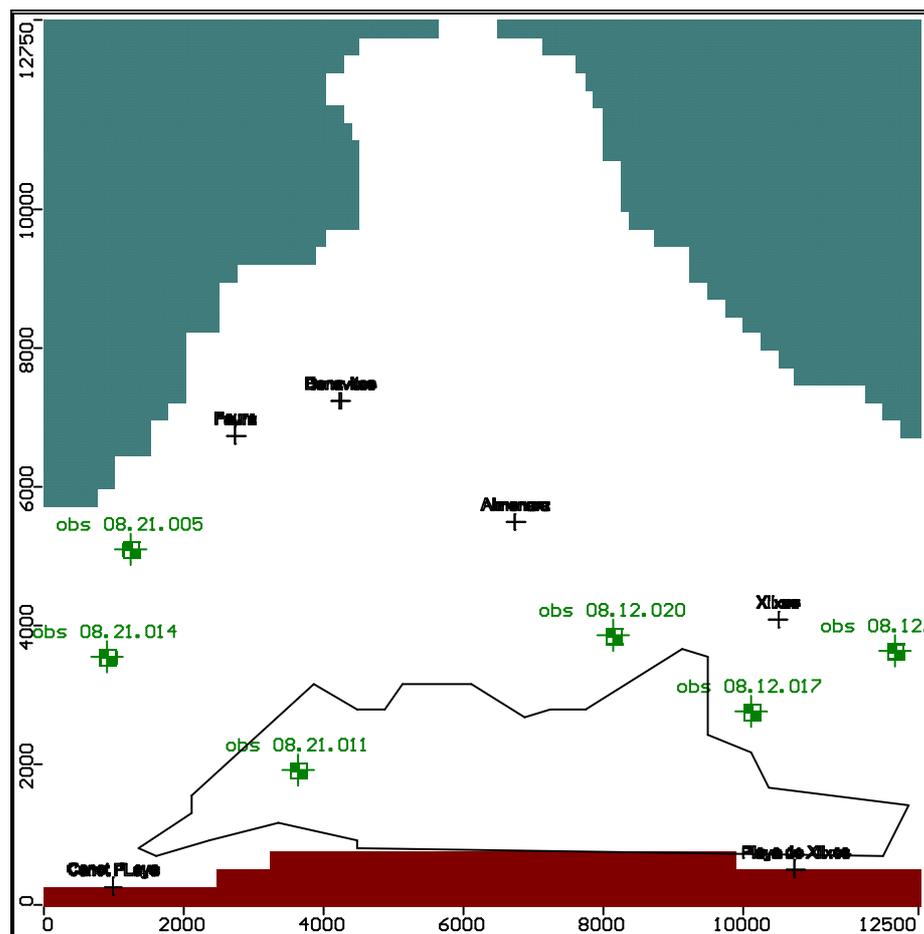
Del mismo modo, el piezómetro 08.21.012 se encuentra entre la autopista A-7 y la línea de Ferrocarril, fuera del marjal, dentro de campos de cítricos del término municipal de Almenara. Su comportamiento también difiere del resto de piezómetros externos a el marjal, con muy pocos datos registrados y numerosos periodos donde no existe dato alguno, al quedar seco el pozo.

Ello es debido a su poca profundidad, únicamente de 6,5 metros. Si se tiene en cuenta que el acuífero en esta zona supera los 80 metros de espesor, se ha considerado que su comportamiento se debe a que monitoriza, a diferencia del resto de puntos de

control, únicamente una parte del nivel más superficial del acuífero y no a una parte significativa de toda la columna. El carácter multicapa que se atribuye al acuífero de la Plana refuerza dicha hipótesis.

Otro aspecto que refuerza la idea de un comportamiento no vinculado directamente con el acuífero es su cercanía a la posición del punto de vertido de la Depuradora de Almenara, que vierte las aguas hacia las acequias que van a parar a el marjal. El piezómetro está situado entre dicho punto de vertido (200 m al norte del piezómetro) y la acequia del Cabezol (150 m al sur del mismo).

Sobre la base de lo anteriormente descrito, se muestra a continuación la ubicación esquemática de los piezómetros de control escogidos en el modelo para la fase final de calibración.



Nota: En rojo, Mar Mediterráneo. La línea negra representa el perímetro del marjal.  
Los ejes X e Y, representan la distancia en metros.

Figura 13. Ubicación de los piezómetros de control.

## 2.2.4 Especies vegetales y animales

### 2.2.4.1 Flora y vegetación

El Marjal de Almenara, desde un punto de vista biogeográfico, se encuadra dentro del sector Valenciano-Tarraconense de la provincia Valenciano-Catalano-Provenzal, subprovincia Ibero-Levantina. Fitosociológicamente. La vegetación natural del área del Marjal de Almenara está constituida por geoserias de marjales y saladares (Rivas-Martínez, 1987).

Dentro de la zona protegida, la geoserie de marjales se encuentra más o menos desarrollada en los “Estanys” de Almenara y, más al Sur, en el término municipal de Sagunto, una gran parcela dedicada a la extracción de turba junto a la Reserva del Samaruc. Por otro lado, los saladares se localizan principalmente en una franja discontinua de Norte a Sur entre las zonas palustres y la playa, así como en aquellos lugares entre la vegetación palustre en que se deseca rápidamente el terreno y aumenta la salinidad del sustrato.

La vegetación de esta geoserie se puede dividir en tres apartados:

- Comunidades palustres de agua dulce
- Comunidades palustres de saladares
- Comunidades acuáticas.

En el primer y segundo grupo se ha tratado de ofrecer una descripción de las comunidades helófitas que, si bien viven emergidas, están enraizadas en suelos húmedos o encharcados por aguas dulces y salinas, respectivamente. Dentro de este grupo, dependiendo de la salinidad del sustrato y de la cercanía del nivel freático, se desarrollan puntualmente tarayales, comunidades de sosas alacraneras de la clase *Salicornietea*, juncales de *Scirpetum compacto-littoralis*, *Spartino-Juncetum maritimi* o *Pseucedano-Sonchetum aquatilis* y matorrales halonitrófilos.



Figura 14. Imagen de comunidades de sosas alacraneras en el Marjal de Almenara



Figura 15. Imagen de juncales en el Marjal de Almenara

Así, entre las comunidades palustres de agua dulce que rodean las lagunas y cubetas más profundas se encuentran la *Typho-Scirpetum tabernaemontanii* y, a continuación, los carrizales *Typho angustifoliae-Phragmitetum maximi*, siendo la etapa de sucesión del carrizal la serie constituida por los mansiegaros *Hydrocotylo vulgaris-Cladietum marisco*. En la zona sur esta serie sucesional es sustituida por *Caricetum elatae*.

En el tercer grupo se han incluido los hidrófilos. Éstos representan formaciones vegetales que requieren del contacto permanente con el agua, distinguiendo entre las comunidades flotantes y la vegetación arraigada en los fondos. Entre las arraigadas en aguas dulces se encuentra la clase *Potametea*, representada por la asociación *Potamogeton denso-nodosi*, y, en los “Estanys”, la comunidad de *Myriophyllum verticillatum*, así como la vegetación flotante de *Lemnetum gibbae*. En las charcas salobres aparece la clase *Ruppietea*.



Figura 16. Imagen de la comunidad de *Myriophyllum verticillatum*

Además, la importancia de estas comunidades también ha quedado manifiesta al encontrar en este territorio las microrreservas de flora dels Estanys d’Almenara, de la Playa de Moncófar y, en proyecto, de Puerto Corinto o Reserva de Samaruc (Figura 17).

Las microrreservas de flora son una figura de protección para la conservación de la flora establecida por el Decreto 218/1994 del Consell de la Generalitat Valenciana. Constituyen una red de enclaves donde está representada la componente vegetal de la biodiversidad, principalmente de especies endémicas, raras o amenazadas, cuya finalidad es contribuir al desarrollo de experiencias de conservación.

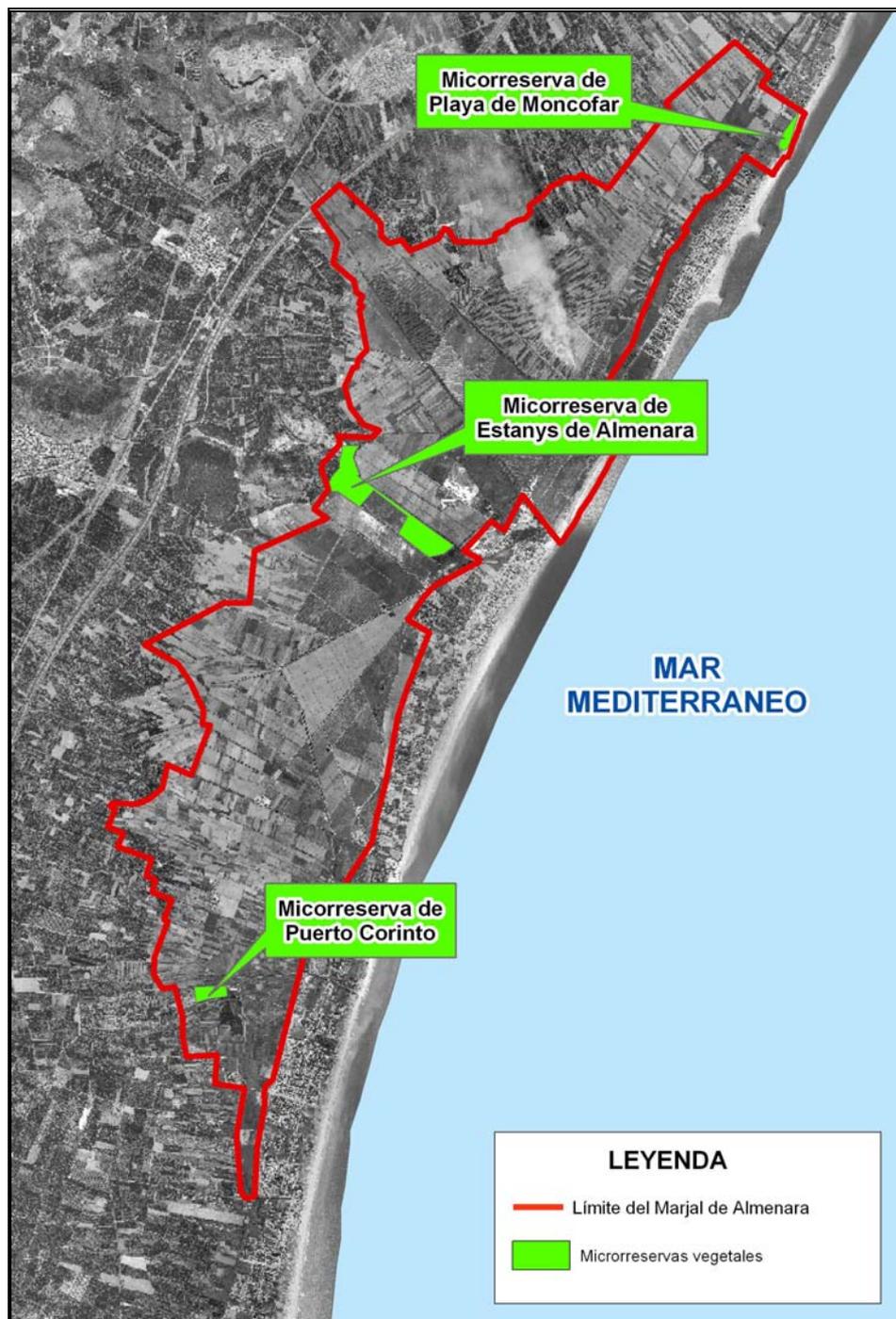


Figura 17. Mapa de localización de microrreservas vegetales en el Marjal de Almenara.

#### 2.2.4.2 Fauna

La diversidad de invertebrados es notable, destacando la quisquilla (*Palaemonetes zariquieyi*) y la gamba gabacha (*Dugastella valentina*). Destaca también la presencia de tres especies de moluscos uniónidos, siendo la mejor población valenciana de “petxinots”, *Anodonta cingea*, *Potamida littoralis* y *Unio turtoni valentinum*, siendo esta última una subespecie endémica valenciana, únicamente localizada en el Marjal de Almenara y en la Albufera de Valencia. Desgraciadamente también han sido avistados varios ejemplares de cangrejo americano.



Figura 18. Aspecto de la quisquilla o camarón (izquierda) y del molusco unionido de la especie *Anodonta cingea*. (derecha).

Entre los reptiles destaca la presencia del galápago europeo (*Emys orbicularis*) y del galápago leproso (*Mauremys caspica*). También aparece la culebra de agua (*Natrix maura*).

Algunos de los peces del marjal son lisas (*Mugil cephalus*), carpas (*Cyprinus carpio*), anguilas (*Anguilla anguilla*), gambusias (*Gambusia holbrooki*) y black-bass (*Dicentrarchus labax*). Existía fartet (*Aphanius iberus*) y samaruc (*Valencia hispanica*) pero en la actualidad ambos se encuentran extintos en casi toda la zona de estudio, estando su hábitat totalmente alterado y con gran contaminación de origen agrícola. Únicamente podemos encontrar individuos de samaruc (*Valencia hispanica*) en la Reserva del Samaruc creada en dos cubetas de extracción de turba situadas en la zona sur del marjal.

La importancia del Marjal de Almenara como área de refugio e invernada de aves es destacable; así entre las aves nidificantes hay que citar el calamón (*Porphyrio*

*porphyrio*), cigüeñuela (*Himantopus himantopus*), fumarel cariblanco (*Chlidonias hybridus*), canastera (*Glareola pratincola*), avetorillo (*Ixobrychus minutus*), zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*), el chorlitejo chico (*Charadrius dubius*), el chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*) y, ocasionalmente, la cerceta carretona (*Anas querquedula*).

Particularmente, en invierno aparecen las anátidas como el pato colorado (*Netta rufina*), focha (*Fulica atra*), polla de agua (*Gallinula chloropus*) y porrón pardo (*Aythya nyroca*), las ardeidas como las garzas reales (*Ardea cinerea*), las garcetas (*Egretta garzetta*) y garcillas buayeras (*Bubulcus ibis*), las limícolas y los láridos.



1. Martín pescador
2. Garza imperial
3. Aguilucho lagunero
4. Gaviota reidora

Figura 19. Imágenes de fauna en el Marjal de Almenara.

### **2.2.4.3 Consideraciones sobre la conservación**

El marjal de Moncófar, Almenara, Benavites, Quartell y Sagunto, junto con els Estanys d'Almenara constituyen la zona húmeda más importante en cuanto a extensión y presencia de hábitats litorales del norte de la provincia de Valencia y del sur de la provincia de Castellón.

Las trasformaciones agrarias, la extracción de agua para riego mediante bombeo y consiguiente disminución del nivel freático en el marjal, las urbanizaciones y la presión ganadera que han afectado a la zona en los últimos años, han influido negativamente sobre estos ecosistemas, con la consiguiente merma o incluso desaparición de comunidades insignia de este territorio como los matorrales de plantas crasas típicos de los saladares o la vegetación acuática. Uno de los casos más significativos ha sido la desaparición de las comunidades de *Nymphaea alba* (nenúfares) que poblaban los Estanys d'Almenara, debido a los descensos frecuentes y excesivos de la lámina de agua.

Especialmente importante resulta el control y manejo del nivel de agua de toda la zona, pues evidentemente es el factor que condiciona la existencia de unas comunidades vegetales u otras. Así, por ejemplo, la disminución del nivel de agua en los estanys, campos y acequias está provocando la reducción o desaparición de la vegetación acuática; y, por el contrario, el aumento del nivel de agua dulce en la zona de los saladares conduce a la disminución de los escasos matorrales y pastizales halófilos a favor de otros tipos de vegetación como los carrizales.

También se deberá controlar el efecto que sobre la vegetación ejerce la presión ganadera, pues a priori parecen haber aumentado las comunidades nitrófilas y halonitrófilas en las zonas pastoreadas.

También se deberán controlar los vertidos que se realizan, y así, especialmente llamativo es el vertido incontrolado de sólidos que existe en el marjal del término de Quartell.

### **3 DEFINICIÓN DE LA SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL**

#### **3.1 OBJETIVOS**

Los objetivos del estudio ambiental han sido:

- Describir y caracterizar la estructura y funcionamiento del marjal para estar en situación de predecir los cambios que se producirán en la biocenosis local en función de diferentes escenarios hídricos, proporcionados por el modelo de simulación.
- Evaluar el interés para la conservación y la importancia a partir de los criterios utilizados para designar un humedal como sitio “Ramsar”.

#### **3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL**

Para alcanzar los objetivos descritos se han realizado tres campañas intensivas de muestreo que han permitido inventariar los organismos que forman parte del ecosistema y las características físico-químicas (transparencia, temperatura, pH, conductividad, redox, salinidad-clorinidad, nutrientes, materia orgánica y clorofila a) de las aguas.

Se ha determinado que los inventarios se realizaron cuando la fenología de la mayoría de las especies permitió recopilar el máximo de información, en los siguientes periodos de muestreo intensivo:

**Tabla 6. Tareas realizadas en la fase de inventario**

PERIODO	TAREAS
De octubre a noviembre de 2.001	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Inventario de flora y vegetación.</li> <li><input type="checkbox"/> Mapa de vegetación.</li> <li><input type="checkbox"/> Primer inventario de aves.</li> </ul>
De diciembre de 2.001 a enero de 2.002	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestreo de macroinvertebrados.</li> <li><input type="checkbox"/> Muestreo de poblaciones algales y de fanerógamas:</li> <li><input type="checkbox"/> Fitoplancton</li> <li><input type="checkbox"/> Diatomeas bénticas</li> <li><input type="checkbox"/> Macroalgas bénticas</li> <li><input type="checkbox"/> Fanerógamas bénticas.</li> <li><input type="checkbox"/> Toma y análisis de muestras de agua.</li> <li><input type="checkbox"/> Estudio batimétrico de los "Estanys".</li> <li><input type="checkbox"/> Segundo inventario de aves.</li> </ul>
De marzo a abril de 2.002	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Tercer inventario de aves.</li> <li><input type="checkbox"/> Inventario de flora y vegetación.</li> <li><input type="checkbox"/> Elaboración de un mapa de especies endémicas, sensibles e indicadoras.</li> </ul>
De agosto a septiembre 2.002	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Toma y análisis de muestras de agua.</li> </ul>

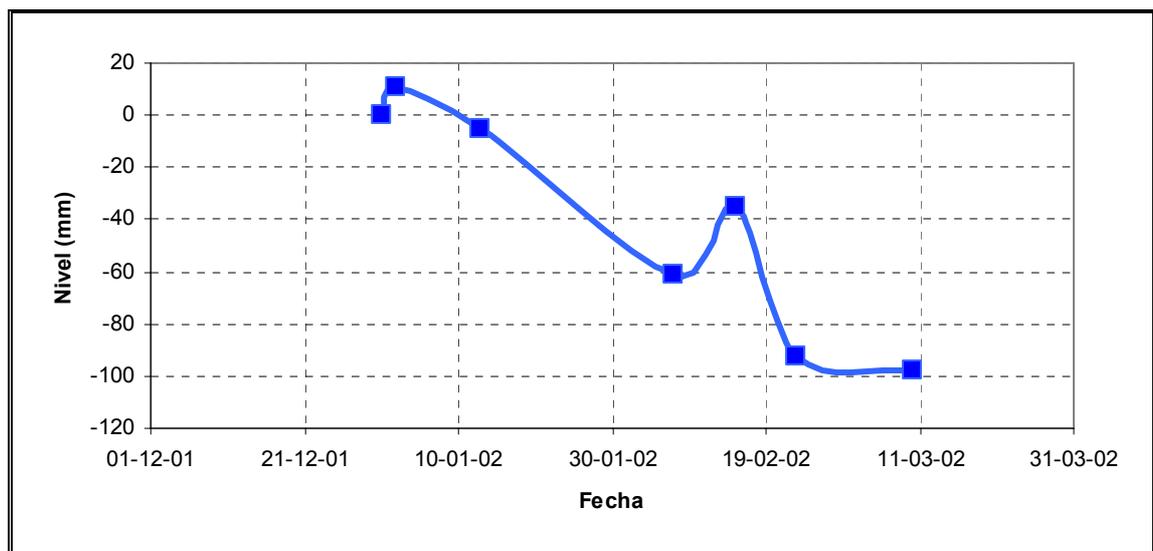
Además, el inventario florístico se completó con muestreos puntuales realizados a lo largo de todo el período de estudio.

Para poder conseguir el objetivo de predecir cambios en función de la disponibilidad de recursos hídricos es necesario conocer con detalle la topografía de la zona o en su defecto conocer los diferentes niveles de lámina de agua. De acuerdo con esto se han instalado 30 regletas que se han georreferenciado para así poder conocer con detalle las variaciones de nivel de agua en las zonas de mayor valor ambiental: Els Estanys y las microrreservas de flora de Almenara.

En concreto, las Figuras 20 a 23 muestran la variación del nivel durante la campaña de observación (diciembre 2001 - marzo 2002) en las 4 zonas siguientes:

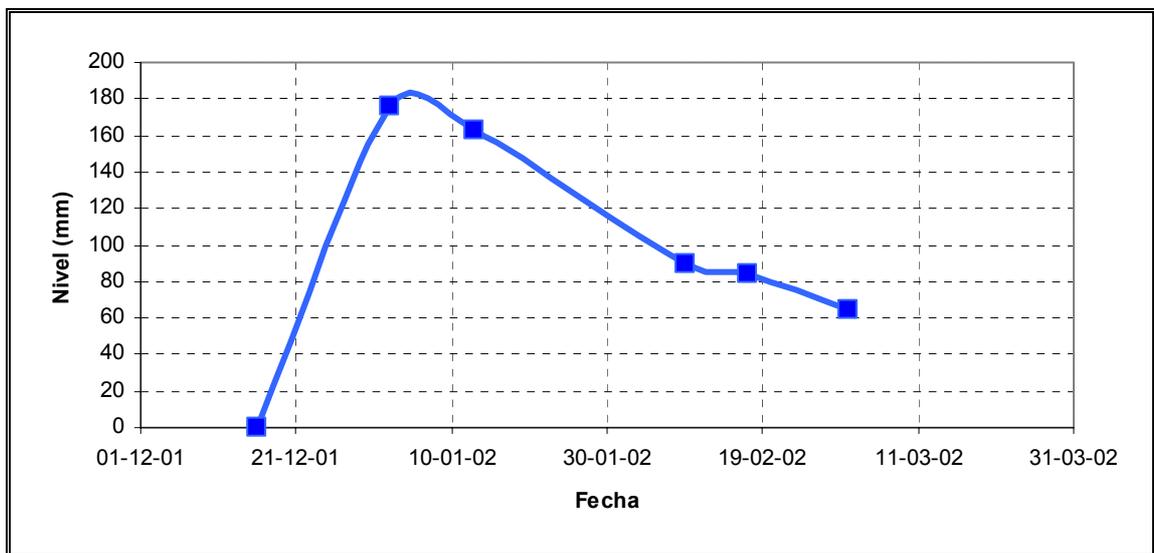
- Zona 1. Parcelas contiguas a la microrreserva de los Estanys de Almenara ubicadas al sur de la misma.
- Zona 2. Parcelas contiguas a la microrreserva de los Estanys flora de Almenara ubicadas al norte de la misma
- Zona 3. Parcelas de la microrreserva de los Estanys de Almenara
- Zona 4. Microrreserva de Puerto Corinto (Reserva de Samaruc)

La situación de las microrreservas se visualiza en el mapa de la Figura 17.



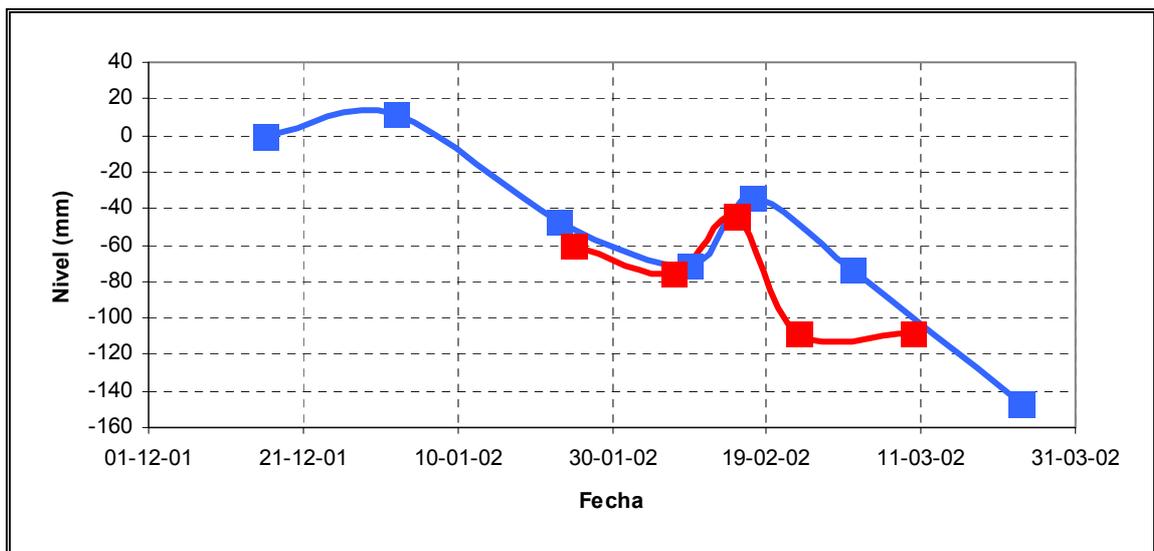
Nota: Los puntos indican los días que se realizó medición.

Figura 20. Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 1.



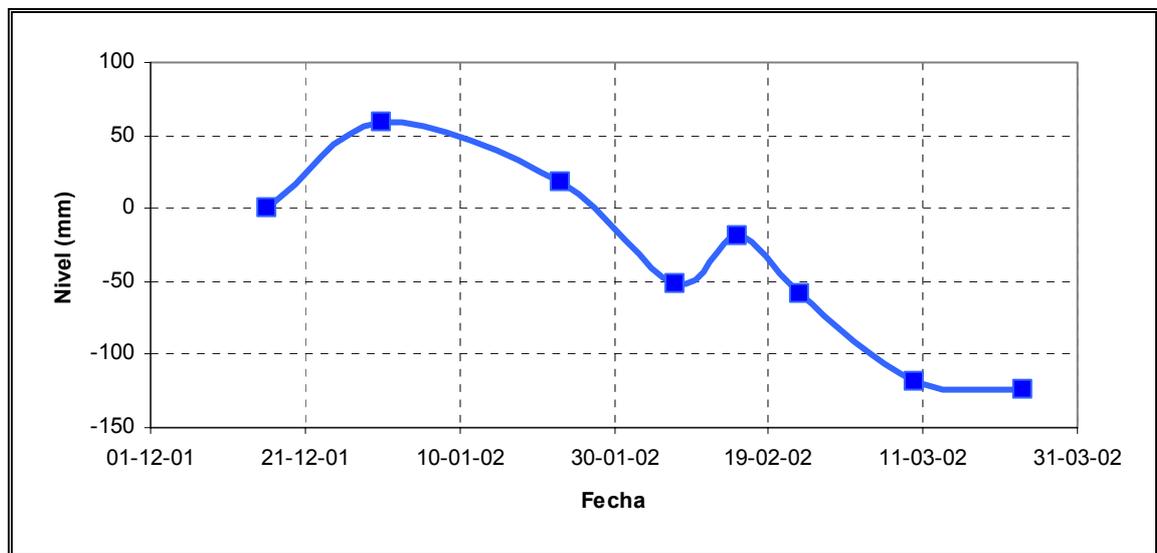
Nota: Los puntos indican los días que se realizó medición.

Figura 21. Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 2.



Nota: Las dos líneas corresponden a dos lugares de observación en la misma zona.  
Los puntos indican los días que se realizó medición.

Figura 22. Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 3.



*Nota: Los puntos indican los días que se realizó medición.*

Figura 23. Variación del nivel de la lámina de agua en la Zona 4.

De la síntesis de conjunto de estas cuatro gráficas, se observa el descenso generalizado en el mes de enero de 2002, tras un episodio lluvioso localizado en el mes de diciembre de 2001. Posteriormente, se observa un incremento en el nivel de agua debido a nuevas lluvias acontecidas a finales del mes de febrero de 2002 y el descenso brusco provocado por la puesta en marcha de los motores de drenaje, las turbinas, a fin de rebajar el nivel freático lo suficiente para poder empezar las labores propias de los cultivos agrícolas.

En la segunda campaña, se tomaron una serie de muestras de agua en aquellos puntos seleccionados para tal fin. En ellas se realizaron análisis que han permitido evaluar la calidad de las aguas. También se practicó una toma de medidas de conductividad de manera general para establecer el origen salino o no de algunas aguas y determinar fenómenos de salinización o intrusión marina.

La distribución espacial de los valores obtenidos de los indicadores más relevantes (cloruros, nitratos, salinidad...), se representan en los mapas nº 9 a 16, incluidos en el tomo III del presente estudio.

Con los datos recogidos en las tres campañas mencionadas, se han estudiado las posibles evoluciones del sistema bajo distintos escenarios de uso y/o protección.

Básicamente se han tenido en cuenta los efectos sobre la biocenosis del mantenimiento de distintos niveles freáticos en el humedal combinados con la concentración de sales presentes, que pueden afectar a la distribución y desarrollo de numerosas especies vegetales y, en consecuencia, a la nidificación y alimentación de la avifauna.

En función de los criterios Ramsar para designar un humedal como zona de importancia internacional, de otros valores excepcionales encontrados en la zona y de los datos obtenidos sobre la evolución del sistema con distintos escenarios, se ha realizado una zonificación del espacio protegido con el fin de establecer los distintos usos y/o protecciones adecuados a cada zona.

### **3.3 ESTUDIO DE LA FLORA Y DE LAS COMUNIDADES VEGETALES**

El inventario de especies de flora presentes se ha basado en la identificación de las plantas recogidas u observadas en cada una de las zonas identificadas. Para la identificación de especies se han utilizado las siguientes claves y descripciones: Flora Ibérica (Castroviejo et al., 1986-1997), Flora dels Països Catalans (Bolos & Vigo, 1990), Flora Manual dels Països Catalans (Bolos et al., 1990), Claves para la flora valenciana (Mateo & Crespo, 1990) y Flora abreviada de la Comunidad Valenciana (Mateo & Crespo, 1995). Además, se han consultado otros inventarios y trabajos bibliográficos desarrollados sobre la zona.

A partir de los inventarios de flora realizados durante las distintas visitas se ha ampliado y desarrollado el estudio de la vegetación. En este apartado se ha procedido a describir las series climatofilas y edafófilas del territorio y en cada una de ellas, se definieron las asociaciones que representan la vegetación potencial de cada serie.

Con el fin de localizar cada una de las comunidades vegetales, tanto naturales como antrópicas, existentes en la zona de estudio, se ha realizado un mapa de vegetación a escala 1:10.000 (Mapa 7). Para ello, se han utilizado fotografías aéreas en una primera aproximación que se ha contrastado mediante visitas y recorridos por la zona.

Durante la realización de los inventarios de flora se ha puesto especial énfasis en la localización de especies vegetales endémicas, amenazadas y/o protegidas. A partir de

los datos recogidos en campo se ha elaborado un mapa de distribución de estas especies que será de gran utilidad en la zonificación y valoración ambiental posterior. Este mapa se presenta en la Figura 24.

En el inventario se describen con detalle todas las especies que se han encontrado así como los datos siguientes para cada planta:

- El nombre científico y autoría.
- El nombre popular si se conoce, expresado entre guiones.
- La fitosociología donde se indica el sintaxon o sintáxones del que es característica o en los que tiene su óptimo.
- El tipo biológico, es decir, la morfología de la planta según la clasificación tipobiológica habitual basada en su consistencia, altura, modo de pasar la época desfavorable, etc.
- La corología, es decir, el área de distribución a la que pertenece la planta distinguiéndose las especies endémicas de areal iberolevantino y aquellas especies raras, se hallan precedidas del símbolo \*.

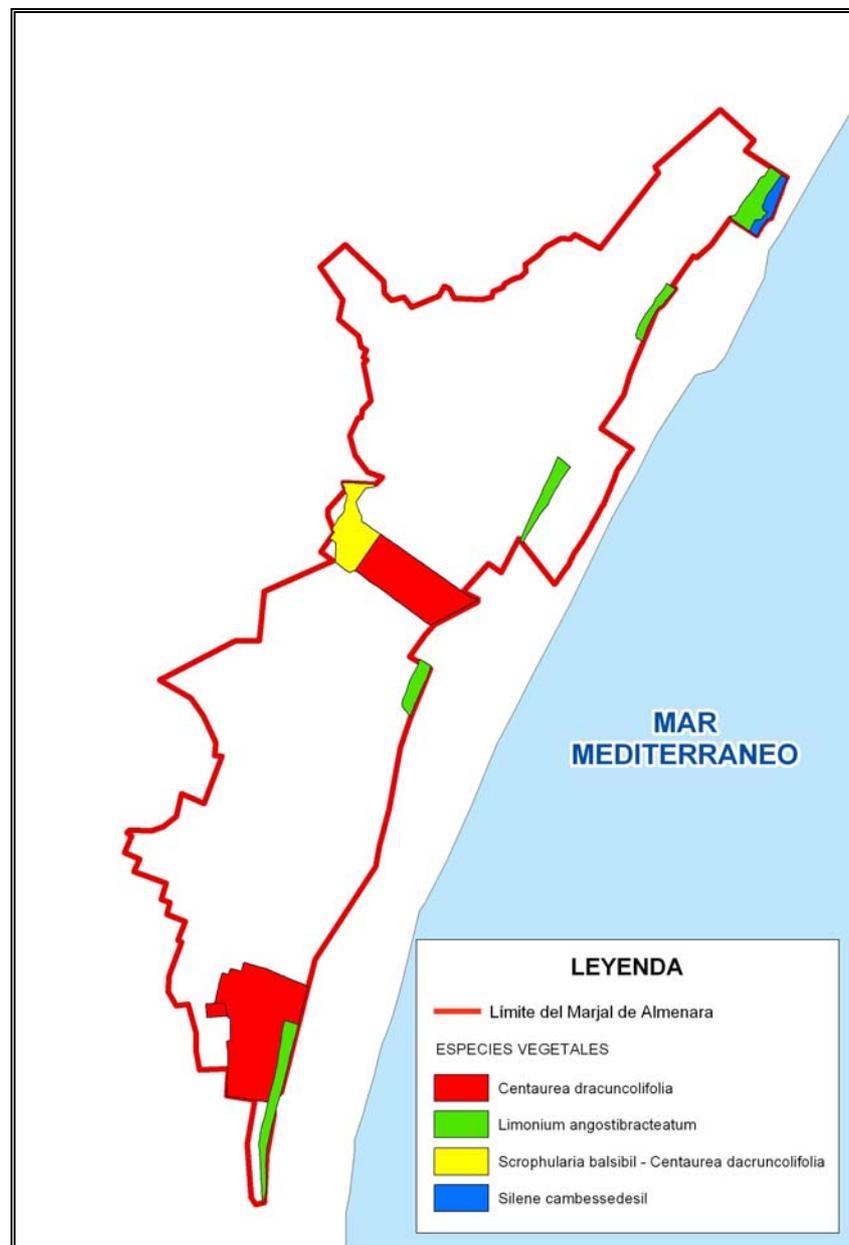


Figura 24. Mapa de localización de especies vegetales relevantes.



Figura 25. Imagen de la especie vegetal *Centaurea dracunculifolia*



Figura 26. Imagen de la especie vegetal *Limonium angostibracteatum*



Figura 27. Imagen de la especie *Scrophularia balsibil*

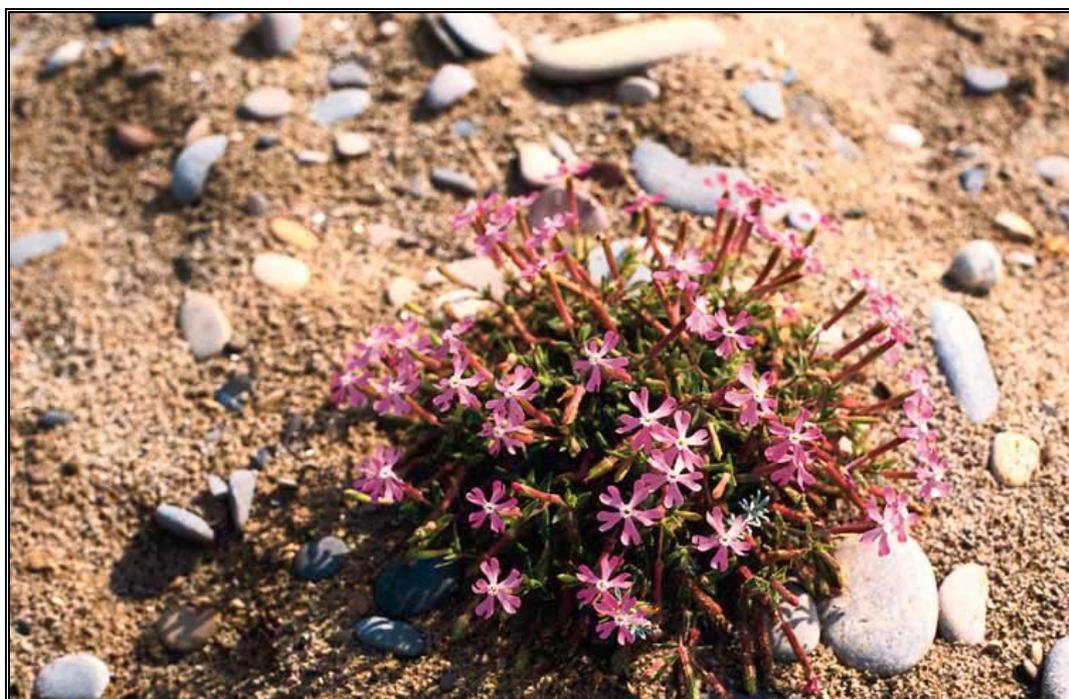


Figura 28. Imagen de la especie vegetal *Silene cambessedesii*

### 3.4 ESTUDIO DE LA AVIFAUNA E INVERTEBRADOS

La elaboración del inventario de especies de aves se ha basado principalmente en la selección de diversos puntos de observación en los que, hasta el momento, se han realizado distintas visitas para el avistamiento de especies *in situ*.

En cada punto de observación se anotó el número de individuos de las especies avistadas y su estado. En los recorridos a pie, también se aprovecharon todos los restos encontrados: animales atropellados y muertos, huellas y otras señales. Así mismo, se han consultado inventarios faunísticos y trabajos bibliográficos de la zona.

Durante la realización de los inventarios de fauna, mediante el avistamiento o la toma de muestras, se ha puesto especial énfasis en la localización de especies faunísticas endémicas, amenazadas y/o protegidas, incluyéndose la categoría de estado de conservación de cada una de ellas.

A partir de los datos recogidos en campo se ha elaborado una tabla resumen de distribución de estas especies, asociándolas a comunidades vegetales, que será de gran utilidad en la zonificación y valoración ambiental posterior.

Así, a continuación se presenta esta tabla y un gráfico de distribución resultante. En la tabla se detallan los avistamientos de las especies faunísticas en función de la vegetación asociada del lugar. Igualmente se expresa la categoría de estado de conservación de estas especies, que son:

- En peligro (E)
- Vulnerable (V)
- Rara (R)
- Indeterminada (I)
- Insuficientemente conocida (K)
- Fuera de peligro (O)
- No amenazada (NA).

**Tabla 7. Datos de distribución del estado de conservación de las especies en función de las comunidades vegetales presentes en el marjal.**

Identificador		Categorías	Palustre	Arrozal	Saladar	Hortícolas	Erial	Pinar	Pastizales	Dunas	Litoral
A1	<i>Botaurus stellaris</i>	(E)	4	2			1,3				
A2	<i>Ardeola ralloides</i>	(E)	4	2							
A3	<i>Ciconia nigra</i>	(E)	2	2							
A4	<i>Plegadis falcinellus</i>	(E)		4							
A5	<i>Marmaronetta angustirostris</i>	(E)	2	4							
A6	<i>Aythya nyroca</i>	(E)	4	2							
A7	<i>Pandion haliaetus</i>	(E)	4	2		1,3					
A8	<i>Fulica cristata</i>	(E)		4							
A9	<i>Chlidonias niger</i>	(E)	4		2						
M1	<i>Rhinolophus mehelyi</i>	(E)	4	2							
P1	<i>Aphanius iberus</i>	(E)	4								
P2	<i>Valencia hispanica</i>	(E)	4								
			36	24	2	1,3	1,3	0	0	0	0
A10	<i>Puffinus yelkouan</i>	(V)									3
A11	<i>Ardea purpurea</i>	(V)	3	1,5			1				
A12	<i>Ciconia ciconia</i>	(V)	3	1,5							
A13	<i>Platalea leucorodia</i>	(V)	3	1,5							
A14	<i>Circus aeruginosus</i>	(V)	3				1,5				
A15	<i>Circus cyaneus</i>	(V)	1,5	3			1		0,75		
A16	<i>Falco naumanni</i>	(V)	3								
A17	<i>Falco peregrinus</i>	(V)	1,5	3		1	0,6		0,75		
A18	<i>Gelochelidon nilotica</i>	(V)	1	3		1,5					
A19	<i>Chlidonias hybridus</i>	(V)	1,5	3		1					
A20	<i>Streptopelia turtur</i>	(V)	1,5					3			
A21	<i>Glareola pratincola</i>	(V)	3	1,5		1					
A22	<i>Porphiryo porphirio</i>	(V)	3	1,5			1		0,75		
A23	<i>Grus grus</i>	(V)		3							
M2	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	(V)	3	1,5							
P3	<i>Anguilla anguilla</i>	(V)	3								
			34	24	0	4,5	5,1	3	2,25	0	3
A24	<i>Podiceps nigricollis</i>	(R)	0,6	1	2						
A25	<i>Nycticorax nycticorax</i>	(R)	2	1							
A26	<i>Phoenicopterus ruber</i>	(R)			2						
A27	<i>Tadorna tadorna</i>	(R)		2	1						
A28	<i>Anas querquedula</i>	(R)	2								
A29	<i>Netta rufina</i>	(R)	2	1		0,6					
A30	<i>Recurvirostra avosetta</i>	(R)		1	2	0,6					
A31	<i>Numenius arquata</i>	(R)		2	0,6		1				
A32	<i>Larus melanocephalus</i>	(R)	0,6	2		1					0,5

Identificador		Categorías	Palustre	Arrozal	Saladar	Hortícolas	Erial	Pinar	Pastizales	Dunas	Litoral
A33	<i>Larus audouinii</i>	(R)	0,6	2		1					
A34	<i>Larus tridactyla</i>	(R)									2
A35	<i>Sterna sandvicensis</i>	(R)	0,5	0,6	2					1	
A36	<i>Sterna hirundo</i>	(R)		0,6	1						2
A37	<i>Sterna albifrons</i>	(R)		0,6	1						2
A38	<i>Asio flammeus</i>	(R)	0,6	2		1					
A39	<i>Bubo bubo</i>	(R)	2								
A40	<i>Locustella luscinioides</i>	(R)	2		1						
A41	<i>Acrocephalus melanopogon</i>	(R)	2								
			14,9	15,8	12,6	4,2	1	0	0	1	6,5
A42	<i>Ixobrychus minutus</i>	(I)	1	0,3			0,3		0,5		
A43	<i>Columba oenas</i>	(I)									
A44	<i>Riparia riparia</i>	(I)	1								
			2	0,3	0	0	0,3	0	0,5	0	0
	<b>Total</b>		<b>86,9</b>	<b>64,1</b>	<b>14,6</b>	<b>10</b>	<b>7,7</b>	<b>3</b>	<b>2,75</b>	<b>1</b>	<b>9,5</b>

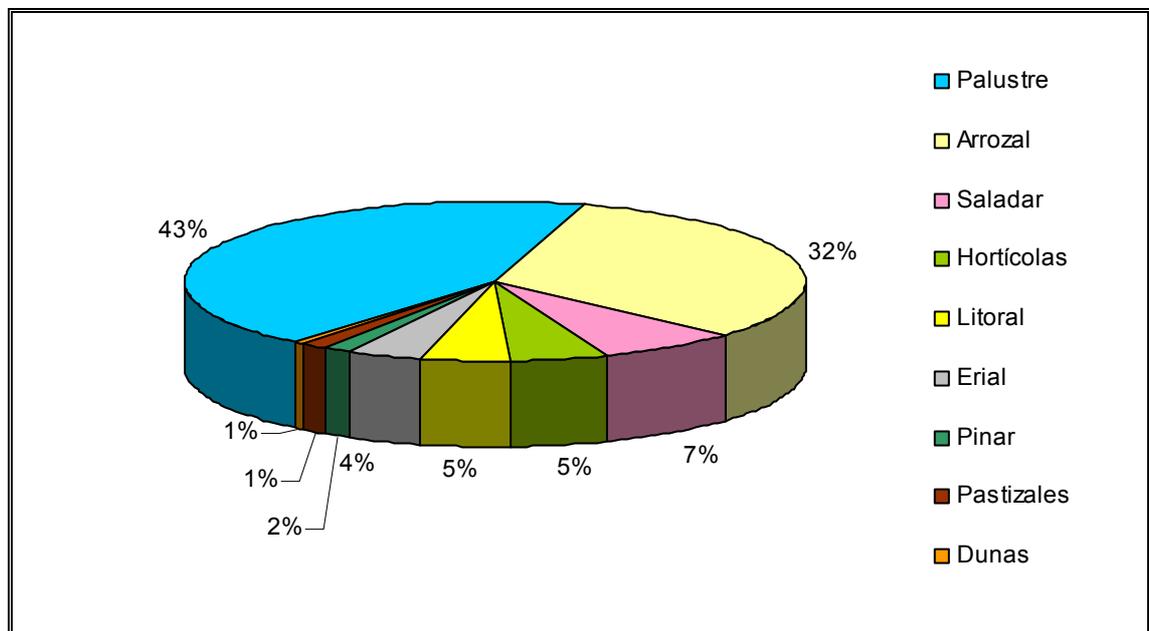


Figura 29. Proporción de presencia de especies en peligro en comunidades vegetales asociadas.

### 3.5 ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

Se han realizado dos campañas de muestreo de aguas, invierno y verano, para evaluar la calidad físico-química de las mismas determinando el alcance de los problemas de contaminación, vertidos y posible eutrofización de consecuencias nefastas para la flora y la fauna del marjal, y en particular para establecer el origen salino o no de algunas aguas subterráneas, y determinar fenómenos de salinización o intrusión marina.

#### 3.5.1 En aguas superficiales y subsuperficiales

Se ha llevado a cabo el análisis de 19 muestras de agua en el Laboratorio de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia. El análisis solicitado ha incluido la determinación de los siguientes parámetros seleccionados de acuerdo a la justificación del epígrafe 6.2.1. parámetros limitantes de la calidad:

- pH
- Conductividad
- Cloruros
- Sólidos en suspensión (SS)
- DBO<sub>5</sub>
- DQO
- Amonio
- Nitrito
- Nitrato
- Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)
- Nitrógeno Kjeldahl total (NKT)
- Fósforo soluble reactivo (PSR)
- Fósforo disuelto total (PDT)
- Fósforo total (PT)
- Ácido ortosilícico
- Clorofila *a*.

En el Anejo 4 se relacionan las técnicas analíticas empleadas, cadena de custodia y resultados analíticos numéricos obtenidos en los diferentes muestreos.

### 3.5.1.1 Identificación de los puntos de muestreo

Tal y como se ha indicado anteriormente, se ha muestreado en 19 puntos geográficos diferentes. La localización y la descripción de los lugares se representa en el mapa adjunto en la Figura 30.

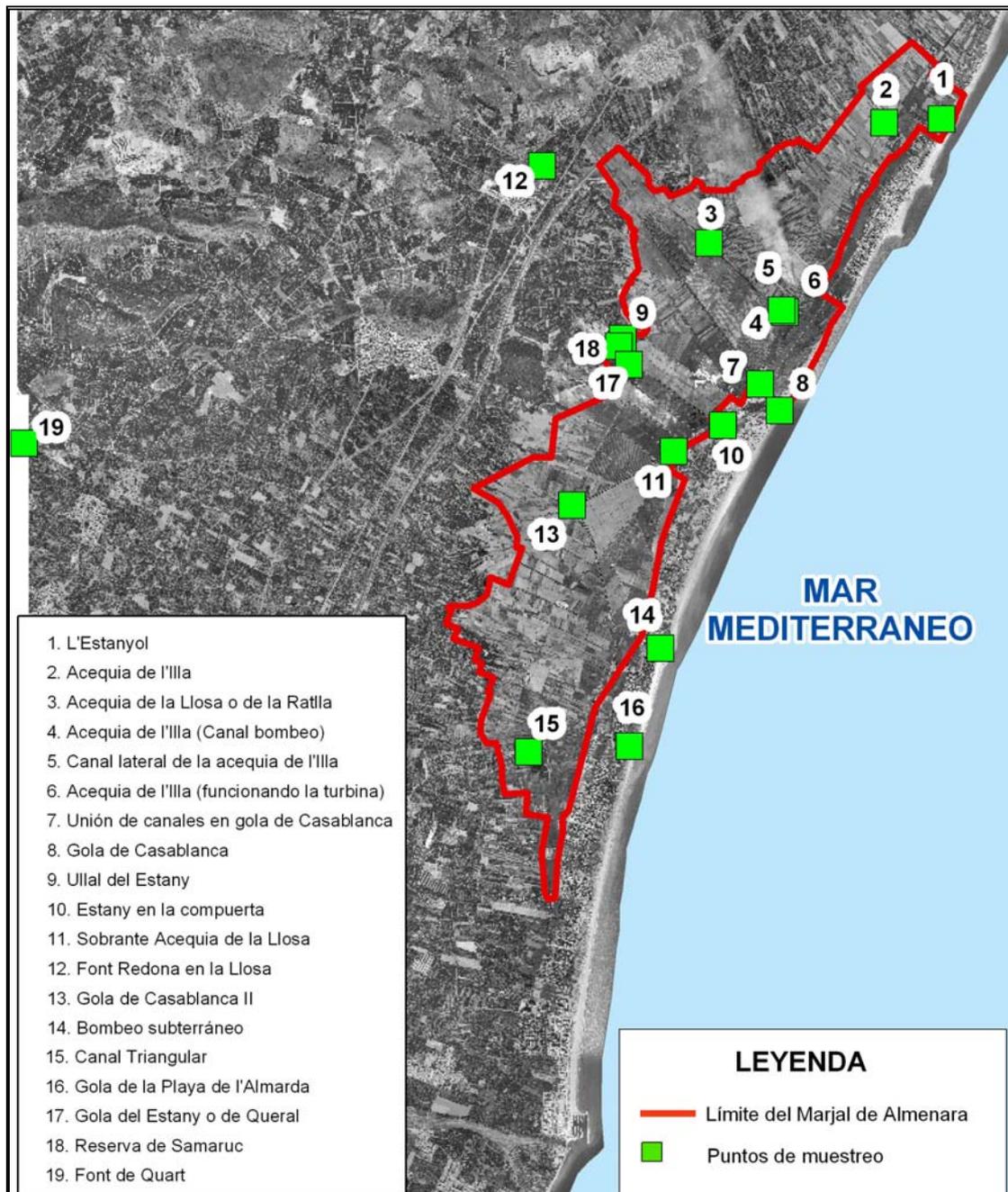


Figura 30. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.

### 3.5.1.2 Resultados analíticos

Los resultados analíticos obtenidos, cuyos valores numéricos se hallan en el Anejo 4, se han contrastado para cada parámetro con las precisiones del epígrafe 6.2. calidad mínima exigible, en cuanto a los valores máximos admisibles para riego agrícola (adecuación para la flora del marjal), consumo humano (referencia para las aguas subterráneas) y vida piscícola (fauna acuática del marjal). Dichos resultados se han resumido en la Tabla 8 presentada seguidamente, de la que se extraen las convenientes apreciaciones.

**Tabla 8. Resumen de resultados analíticos relevantes de las muestras recogidas en el Marjal de Almenara**

MUESTRA	MUESTREO 22/01/2.002	MUESTREO 26/08/2.002
1 l'Estanyol	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestra salobre</li> <li><input type="checkbox"/> La de mayor conductividad (14,27 mS/cm)</li> <li><input type="checkbox"/> La de mayor concentración de cloruros (2.698 mg/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Nitrato destacable como nutriente por su elevada concentración (128,6 mg/l).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Elevada conductividad (6,63 mS/cm)</li> <li><input type="checkbox"/> Alto nivel de cloruros (1.896 mg/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Valor de Amonio 1,3 mg/l (73,4 µmol/l) multiplicado por 12 respecto al valor medido en invierno</li> <li><input type="checkbox"/> Elevada concentración de nitratos (171,2 mg/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación con materia orgánica</li> </ul>
2 Acequia de l'Illa	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Una de las muestras más limpias</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros y nutrientes (ligeramente superior) similar a muestras 11 y 12</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación con materia orgánica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> La de mayor conductividad (6,79 mS/cm)</li> <li><input type="checkbox"/> Segunda en cuanto a concentración de cloruros (1.927 mg/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Alta proporción de nitratos (124,6 mg/l).</li> </ul>
3 Acequia de la Llosa y 4 Acequia de l'Illa, canal bombeo	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Mediana conductividad y concentración de cloruros (alrededor de 600 mg/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de carga orgánica (DQO, DBO, NKT, PT, PDT) del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de concentración de nutrientes (amonio, nitrato, nitrito, PSR) del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de SS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Mediana conductividad y concentración de cloruros (entre 300 y 1.000 mg/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de carga orgánica (muestra 3) del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de concentración de nutrientes del conjunto.</li> </ul>

MUESTRA	MUESTREO 22/01/2.002	MUESTREO 26/08/2.002
5 Canal lateral del canal de bombeo de la acequia de l'illa	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Elevada conductividad y concentración de cloruros (unos 1.500 mg/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Baja carga orgánica.</li> <li><input type="checkbox"/> Elevada concentración de amonio 1,0 mg/l (57,3 µmol/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Valor mínimo de nitratos del conjunto (0,9 mg/l), posible indicador de su asimilación preferencial por parte de la vegetación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad media.</li> <li><input type="checkbox"/> Alta concentración de cloruros (unos 1.500 mg/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Baja carga orgánica.</li> <li><input type="checkbox"/> Baja concentración de amonio 0,1 mg/l (6,2 µmol/l).</li> <li><input type="checkbox"/> La más baja concentración de nitratos del conjunto (0,6 mg/l), mismo indicador que en invierno.</li> </ul>
6 Es la 4 funcionando la turbina	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestra idéntica a la nº 4 pero después de que empieza a funcionar la bomba.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros aumenta en un 35% respecto a la nº 4 (876 frente a 651 mg/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Disminución de valores de carga orgánica y nutrientes respecto a la 4.</li> <li><input type="checkbox"/> Valor del ácido ortosilícico prácticamente igual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Valores prácticamente idénticos a los valores de la muestra 4</li> </ul>
7 Unión de canales en Gola de Casablanca	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Características similares a la nº 6 (Punto anterior en el canal de L'illa) en prácticamente todos los parámetros.</li> <li><input type="checkbox"/> Valor doblado de concentración de SS y PT respecto a muestra 6.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Valor doblado de concentración de SS (51 mg/l) respecto a muestra 6.</li> <li><input type="checkbox"/> Valor mitad de concentración de cloruros respecto a muestra 6</li> </ul>
8 Gola de Casablanca	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestra compuesta de la mezcla de las muestras 7 y 13.</li> <li><input type="checkbox"/> Similitud de valores de parámetros entre muestras 8 y 13, por lo que se deduce que la muestra 13 aporta prácticamente la totalidad del caudal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestra compuesta de la mezcla de las muestras 7 y 13.</li> <li><input type="checkbox"/> Similitud de valores de parámetros entre muestras 8 y 13, por lo que se deduce que la muestra 13 aporta prácticamente la totalidad del caudal.</li> </ul>
9 Surgencias, Ullal del Estany subterránea	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Valor de conductividad de 2,18 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 380 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Carga orgánica inapreciable (DQO &lt;50 mgO<sub>2</sub>/l y DBO<sub>5</sub>&lt; 1,0 mgO<sub>2</sub>/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de nitratos 92,9 mg/l, contaminación de las aguas subterráneas por las prácticas agrícolas.</li> <li><input type="checkbox"/> Niveles bajos del resto de parámetros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Valor de conductividad de 2,27 mS/cm.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 464 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Carga orgánica inapreciable (DQO &lt;50 mgO<sub>2</sub>/l y DBO<sub>5</sub>&lt; 1,0 mgO<sub>2</sub>/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Niveles muy bajos del resto de parámetros.</li> </ul>

MUESTRA	MUESTREO 22/01/2.002	MUESTREO 26/08/2.002
10 Estany en la compuerta	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Valor de conductividad de 2,23 mS/cm como en la muestra 9.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 408 mg/l, también como en la 9.</li> <li><input type="checkbox"/> Carga orgánica inapreciable como la muestra 9 (DQO &lt;50 mgO<sub>2</sub>/l y DBO<sub>5</sub>&lt; 1,0 mgO<sub>2</sub>/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Se deduce que el Ullal (muestra 9) alimenta las aguas del Estany (muestra 10), a pesar de que la muestra 11 (proviene de la font de la Llosa) también vierta sus aguas pero en menor caudal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Valor de conductividad de 2,15 mS/cm como en la muestra 9.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 352 mg/l, también como en la 9.</li> <li><input type="checkbox"/> Carga orgánica inapreciable como la muestra 9 (DQO &lt;50 mgO<sub>2</sub>/l y DBO<sub>5</sub>&lt; 1,0 mgO<sub>2</sub>/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Misma deducción que en invierno.</li> <li><input type="checkbox"/> Clorofila elevada de 31,23 mg/m<sup>3</sup>, por encima de 15 mg/m<sup>3</sup>, que indica riesgo de eutrofización.</li> </ul>
11 sobrante acequia de la Llosa y 12 Font Redona en la Llosa subterránea	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestras muy similares (12 es origen de la 11).</li> <li><input type="checkbox"/> Muestras limpias</li> <li><input type="checkbox"/> Muestra 12 con concentración de SS muy baja.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de nitratos por debajo de 40 mg/l (menor que en la 9).</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de PSR por debajo de 0,03 mg/l (1 µmol/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de amonio por debajo de 0,01 mg/l (1 µmol/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación con materia orgánica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestras muy similares (12 es origen de la 11).</li> <li><input type="checkbox"/> Muestras limpias</li> <li><input type="checkbox"/> Muestra 12 con concentración de SS muy baja.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de PSR por debajo de 0,03 mg/l (1 µmol/l)</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de amonio por debajo de 0,04 mg/l (3 µmol/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación con materia orgánica</li> </ul>
13 Gola de Casablanca II	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad intermedia (3,63 mS/cm).</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación orgánica (DQO &lt;50 mgO<sub>2</sub>/l y DBO<sub>5</sub>: 3,0 mgO<sub>2</sub>/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Concentraciones de nutrientes no elevadas (amonio:0,1 mg/l, PT:0,03 mg/l, nitrato: 69,8 mg/l).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad intermedia de 2,69 mS/cm.</li> <li><input type="checkbox"/> Valores intermedios de resto de parámetros.</li> <li><input type="checkbox"/> Contaminación orgánica más relevante representada por NKT 1,1 mg/l (76,8 µmol/l).</li> </ul>
14 Bombeo subterráneo subterránea	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad intermedia de 3,75 mS/cm, y cloruros de 629 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Valores intermedios de resto de parámetros.</li> <li><input type="checkbox"/> Contaminación orgánica más relevante representada por NKT 0,7 mg/l (50,8 µmol/l).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad intermedia de 2,69 mS/cm, y cloruros de 369 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Valores intermedios de resto de parámetros.</li> <li><input type="checkbox"/> Contaminación orgánica más relevante representada por NKT 1,7 mg/l (120 µmol/l).</li> </ul>
15 Canal Triangular	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad de 2,23 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de nitratos (142,8 mg/l) del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentraciones bajas del resto de parámetros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad de 2,19 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Concentraciones significativas de nitratos, cloruros y NKT.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentraciones bajas del resto de parámetros.</li> </ul>

MUESTRA	MUESTREO 22/01/2.002	MUESTREO 26/08/2.002
16 Gola de la Playa de l'Almarada	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Elevada conductividad (6,64 mS/cm)</li> <li><input type="checkbox"/> Alta concentración de cloruros (1.497 mg/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Carga orgánica significativa.</li> <li><input type="checkbox"/> Valores elevados de nutrientes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Elevada conductividad (6,42 mS/cm)</li> <li><input type="checkbox"/> Valor máximo de concentración de cloruros (2.007 mg/l) del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Elevada carga orgánica.</li> <li><input type="checkbox"/> Valores elevados de nutrientes.</li> <li><input type="checkbox"/> Clorofila elevada de 36,1 mg/m<sup>3</sup> con altos valores de nutrientes, implica un elevado riesgo de eutrofización.</li> </ul>
17 Gola del Estany o de Qeral	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad de 3,17 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 534 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Ligera carga orgánica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad de 3,52 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 690 mg/l</li> <li><input type="checkbox"/> Ligera carga orgánica</li> </ul>
18 reserva de Samaruc	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad de 5,87 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 518 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Ligera carga orgánica</li> <li><input type="checkbox"/> Valores bajos para el resto de parámetros (amonio muy bajo 0,01 mg/l, beneficioso para la vida piscícola por su elevada toxicidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conductividad de 6,57 mS/cm</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 1.869 mg/l.</li> <li><input type="checkbox"/> Carga orgánica significativa.</li> <li><input type="checkbox"/> Valores bajos para el resto de parámetros, excepto amonio 0,06 mg/l aunque es inferior a 1,0 mg/l límite máximo para la vida piscícola.</li> <li><input type="checkbox"/> Clorofila elevada de 20,44 mg/m<sup>3</sup>, superando los 15 mg/m<sup>3</sup> con riesgo de eutrofización.</li> </ul>
19 Font de Quart subterrànea	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestra más limpia del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación orgánica.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de nitratos de 20,9 mg/l cercano a los 25 mg/l valor guía en aguas potables (máximo admisible 50 mg/l).</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 59 mg/l, muy por debajo de los 200 mg/l máximo admisible para consumo humano.</li> <li><input type="checkbox"/> Resto de los parámetros analizados con valores dentro del rango aceptable para consumo humano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Muestra más limpia del conjunto.</li> <li><input type="checkbox"/> Escasa contaminación orgánica.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de nitratos de 20,7 mg/l como en invierno.</li> <li><input type="checkbox"/> Concentración de cloruros de 36 mg/l como en invierno.</li> <li><input type="checkbox"/> Resto de los parámetros analizados con valores dentro del rango aceptable para consumo humano.</li> </ul>

Sobre los parámetros estudiados, se destacan las siguientes apreciaciones:

- La salinidad (Conductividad y Cloruros) es el principal parámetro con efectos directos sobre la vegetación y la biocenosis, y que determina su adaptación y desarrollo. En la mayoría de muestras supera los 2,50 mS/cm no recomendable

para riego agrícola, a pesar de corresponder a una época de máximos recursos hídricos, por lo que son previsibles niveles más altos en verano condicionando la diversidad de especies vegetales que no lo soportarán. Posible origen por salinización.

- Los nutrientes vienen representados por el parámetro Nitratos derivado de la aplicación de fertilizantes y abonos a los cultivos (cítricos rodean todo el humedal, donde existen arrozales y hortícolas), pudiendo llegar a contaminar las aguas subterráneas inhabilitándolas para consumo humano. Se correlaciona con Fósforo, Nitritos y en su caso Amonio.
- Contaminantes ligados a vertidos de aguas residuales, principalmente Amonio, materia orgánica (DBO<sub>5</sub>, DQO) y Sólidos en suspensión, se relacionan con vertidos domésticos y ganaderos a las acequias, y con la existencia del vertedero de residuos sólidos urbanos de Almenara. Parámetros ligados pueden ser Nitritos, en su caso Nitratos, y Fósforo.
- El indicador de eutrofización es la clorofila a, de especial consideración para aguas estancadas con mayor riesgo en presencia de elevados valores de nutrientes y ácido ortosilícico (fertilizantes agrícolas y vertidos), sobretodo en verano cuando la función clorofílica fotosintética es favorecida por la mayor irradiación de luz solar.

Las muestras tomadas son representativas de las fuentes de aguas subterráneas (se comentan en su epígrafe específico), acequias alimentadas por dichas fuentes (pueden recibir vertidos) que desembocan en el mar (Golas), y microrreservas humedales influenciadas por las anteriores. Con todo son remarcables las siguientes zonas en que se han detectado peores condiciones de contaminación:

- Zona de saladar: Gola l'Estanyol (muestra 1) que recibe las aguas de la acequia de l'Illa (muestra 2), registra máximos en Conductividad-Cloruros así como en Nitratos. En invierno la extraordinaria Conductividad (14 mS/cm) se debe al contacto con agua de mar, mientras que en verano, con la actividad agrícola, el caudal circulante en la acequia muestra su influencia en la desembocadura de la Gola con la misma Conductividad en ambas muestras (7 mS/cm) y altos contenidos en Nitratos (>125 mg/l) de los fertilizantes agrícolas.

- Zona de arrozal: acequia de la Llosa (muestra 3) que vierte a la acequia de l'Illa (muestras 4, 5 y 7) con influencia de la muestra 2 (acequia de l'Illa aguas arriba). Altos niveles de amonio (>3 mg/l), nitritos, sólidos en suspensión, DBO y DQO, así como Nitratos (> 100 mg/l) y Fósforo en las muestras 3 y 4 durante el invierno, lo que denota la presencia de vertidos en las acequias, con mayor incidencia en verano por el contenido de amonio (6 mg/l), nitrito (4 mg/l) y sólidos en suspensión (264 mg/l) en la muestra 3. La muestra 5 presenta alta Conductividad (> 4 mS/cm) como la muestra 2, por vertidos incontrolados. La muestra 7 registra importantes niveles de sólidos en suspensión, DBO y DQO, así como Nitritos, también por presencia de vertidos.
  
- Zonas de microrreservas: Estany en la compuerta (muestra 10) clorofila elevada con riesgo de eutrofización, agravado por el aporte de nutrientes dado que se alimenta de las aguas del Ullal del Estany (muestra 9) con altos contenidos en nitratos (contaminación del agua subterránea por fertilizantes) e influenciado por el vertedero de residuos sólidos urbanos de Almenara en los límites del marjal. Reserva de Samaruc (muestra 18), con elevada Conductividad (6 mS/cm) y contenido en clorofila con cierto riesgo de eutrofización, derivado de los productos utilizados en el abono de los campos de cítricos próximos. Gola de l'Almarada (muestra 16) en Puerto Corinto, elevada Conductividad (>6 mS/cm) por el contacto con agua de mar, y alto contenido en clorofila con riesgo de eutrofización también agravado por la presencia de Amonio (7 mg/l) en verano y Nitratos (77 mg/l) en invierno.

Respecto a las variaciones entre invierno y verano, destaca que las diferencias no son significativas, incluso en algunos casos la conductividad de las muestras estivales es menor que la de las muestras invernales. Esta situación anómala se puede explicar por el aporte extraordinario de lluvias de este año. Respecto al resto de parámetros en general se observa un incremento en materia orgánica y nutrientes que sería consecuencia de la actividad agrícola propia del periodo estival.

En resumen, se han detectado las siguientes problemáticas:

- Cierta salinidad en el marjal, que puede comprometer la adaptación de especies vegetales.

- ❑ Presencia de vertidos y fertilizantes agrícolas en las acequias de la Llosa y l'Illa, con altos niveles de Amonio y Nitratos que llegan a contaminar las aguas subterráneas del Ullal del Estany.
- ❑ Cierta riesgo de eutrofización en las microrreservas del Estany en la compuerta, reserva de Samaruc y Puerto Corinto, agravado por la presencia de nutrientes (vertedero de residuos sólidos de Almenara, agua subterránea contaminada con Nitratos y aporte de fertilizantes agrícolas)

### 3.5.2 Aguas subterráneas

Del total de datos analizados, hay cuatro muestras que corresponden a aguas subterráneas, tres de ellas son las surgencias principales de la zona de estudio: la Font de Quart (muestra 19), la Font Redona de La Llosa (muestra 12), y el Ullal del Estany (muestra 9), siendo la cuarta la correspondiente a un pozo agrícola (muestra 14).

En todas ellas, los valores de nitrito oscilan entre 0,2 y 23 mg/l. Sin embargo, es la Font Redona (muestra 12) la que muestra la mayor concentración. Las concentraciones de nitrato oscilan entre 20 y 51 mg/l, volviendo a ser la misma fuente la que muestra los valores más elevados, salvo para el Ullal del Estany en verano.

Por el contrario, la Font de Quart (muestra 19) es la que presenta un menor grado de mineralización, con valores de  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ , respectivamente, de 0,22 y 20,7 mg/l.

Con todo, a partir de las dos campañas de muestreo realizadas, también se ha detectado una cierta variabilidad en las concentraciones de dichos compuestos nitrogenados, que en el caso de algunas de las surgencias como el Ullal del Estany, (muestra 9) que llega a doblar la concentración de nitrato hasta 92,9 mg/l y a casi desaparecer la de nitritos, indicando contaminación de las aguas subterráneas por las prácticas agrícolas. Dicho comportamiento puede estar relacionado con causas diversas, cuya identificación requeriría de un plan de muestreo y análisis de los datos mas específico y ambicioso que el presente.

Las concentraciones de cloruros de las muestras de agua subterránea obtenidas oscilan entre 36 y 450 mg/l, siendo otra vez la Font de Quart (muestra 19) la que muestra una menor salinidad y el Ullal del Estany (muestra 9), la que muestra una

mayor concentración en Cloruros. El grado de variabilidad es aquí mucho menor que en el caso del nitrato o nitrito.

En conjunto, es posible apuntar a la existencia de un cierto grado de degradación por compuestos nitrogenados, del agua aportada a partir de las fuentes. Dichas concentraciones son, de acuerdo con los datos obtenidos y hasta la fecha, generalmente inferiores al límite establecido en el Reglamento Técnico-Sanitario vigente (R.D. 1138/1990), puesto que el acuífero también es empleado para abastecimiento. Las salinidades son, sin embargo, relativamente bajas en todas las surgencias.

### **3.5.2.1 Datos de conductividad aportados por la red de observación de la intrusión (ROI).**

Se ha considerado la conductividad el parámetro más representativo de la calidad de las aguas subterráneas, y los valores procedentes de la red de piezómetros de la ROI, que se ubican en el acuífero de les Valls. La posición de los puntos de control se muestra en la tabla del epígrafe 6.3.

La variación de la conductividad muestra un comportamiento muy similar al que presentan los cloruros. En este caso, los rangos máximos de variación oscilan entre 250 y 6.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con una mayoría de valores entre 1.000 y 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Son los puntos de control más cercanos a la línea de costa y sobretodo, los ubicados en los márgenes del marjal (Figura 31), los que muestran conductividades mayores, mientras que aquellos puntos de control ubicados en la parte central del marjal y en posiciones más alejadas al mar del acuífero de Les Valls, los que ostentan una menor conductividad (Figura 32).

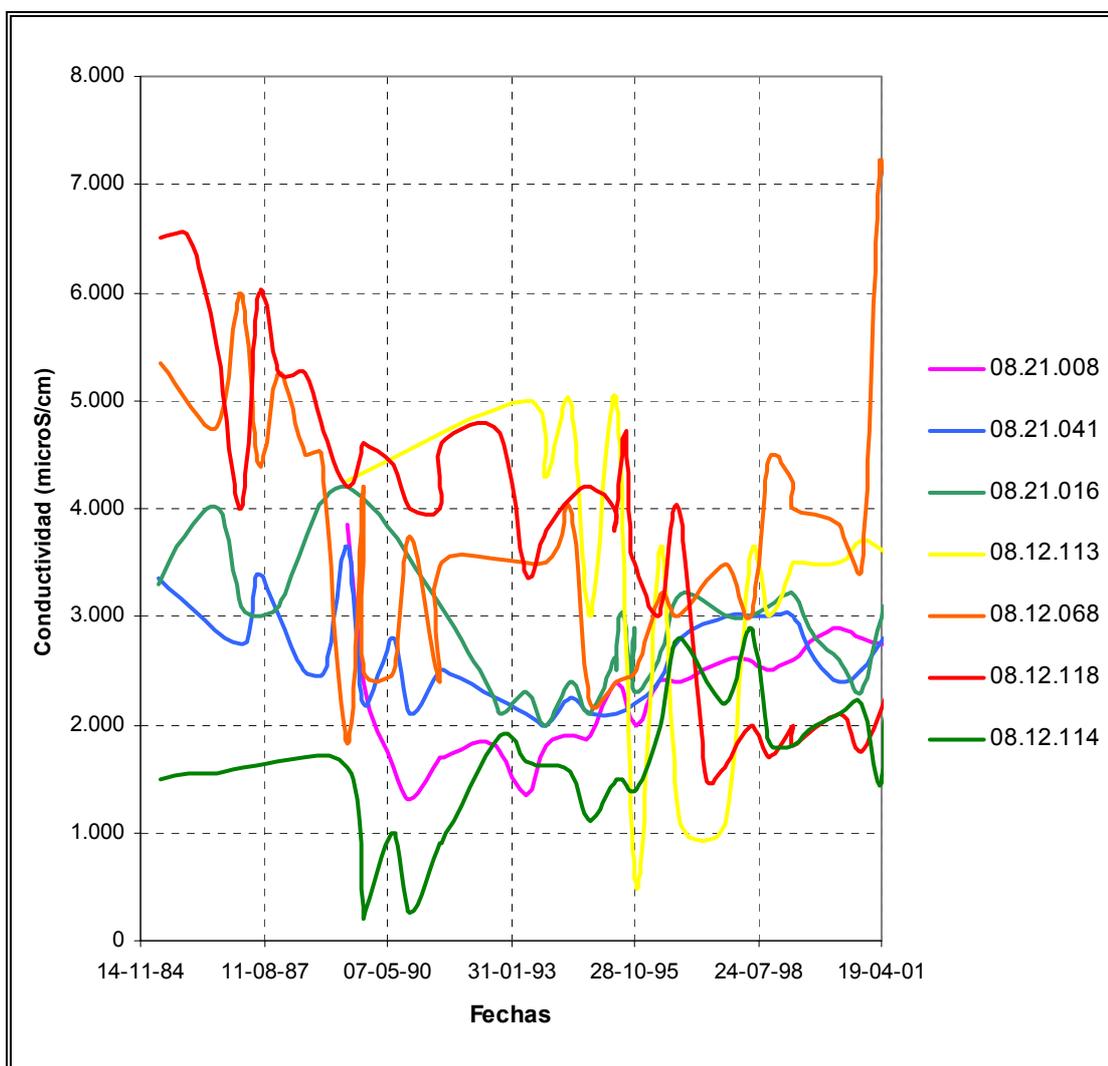


Figura 31. Evolución de la conductividad en los piezómetros de la ROI emplazados dentro de la zona de estudio, en las proximidades de la costa y en los laterales del marjal.

Dentro de las zonas de mayor conductividad se han observado algunas tendencias espaciales de dicho parámetro, de forma que, en la zona de Chilches, los puntos de control, 08.12.118, 08.12.113, 08.12.068 y 08.12.114 muestran una secuencia o “flecha” de conductividad decreciente hacia el interior. Dicha secuencia se corresponde con la tendencia espacial observada en la concentración de cloruros, procedente de la misma red de control, que se describe en el epígrafe 6.3.

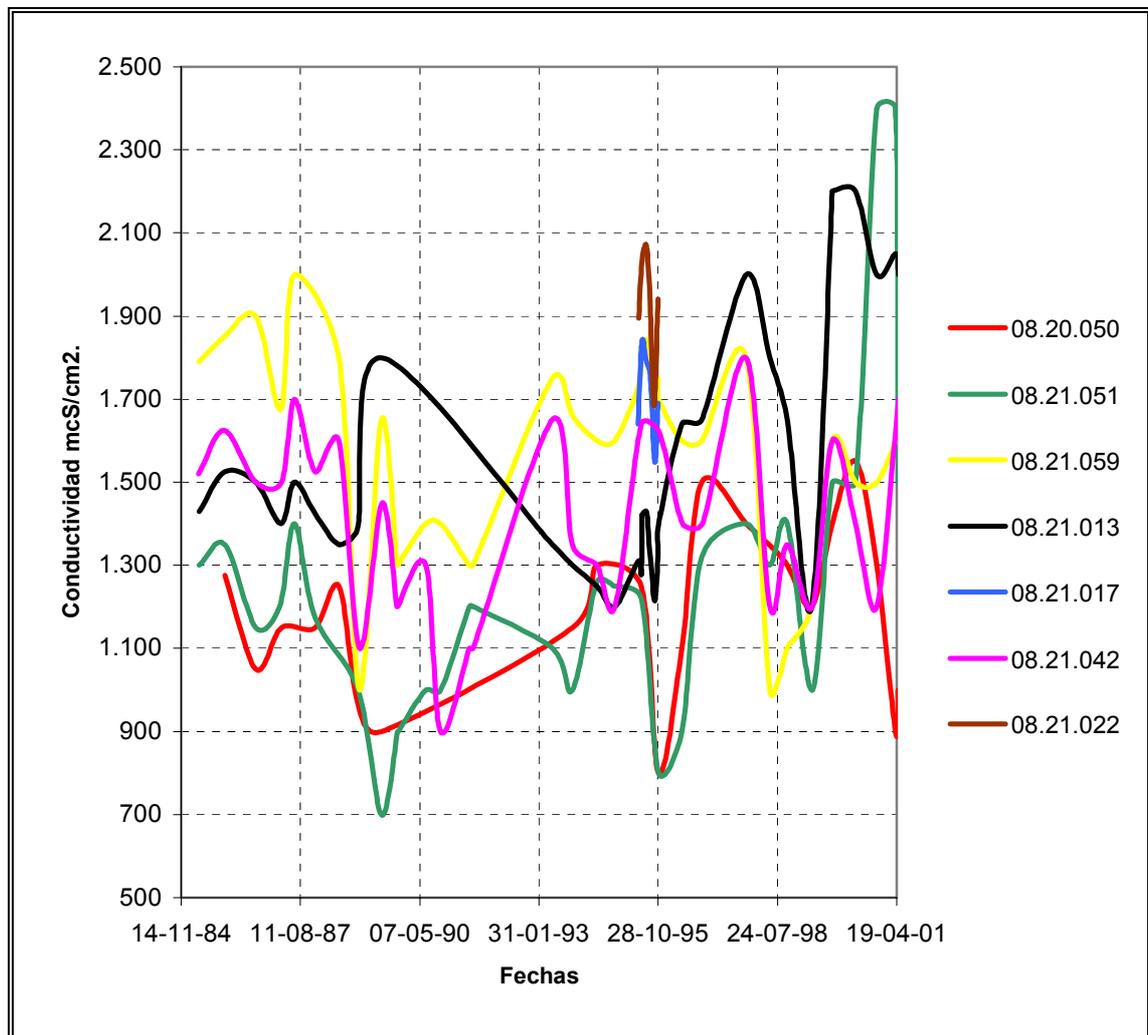


Figura 32. Evolución de la conductividad en los piezómetros de la ROI emplazados dentro de la zona de estudio, en la parte central y el interior del acuífero de Les Valls.

### **3.6 PROPUESTAS DE ESCENARIOS DESEABLES PARA LA BIOCENOSIS**

Puesto que, como parecen indicar los estudios de flora y fauna, las especies relevantes y en peligro están asociadas a determinadas comunidades vegetales y a la calidad del agua, en particular a su conductividad, la definición de escenarios deseables que persigan la máxima biodiversidad se ha realizado a través de la división

del ámbito del marjal en ocho zonas claramente diferenciadas en función de los parámetros enunciados.

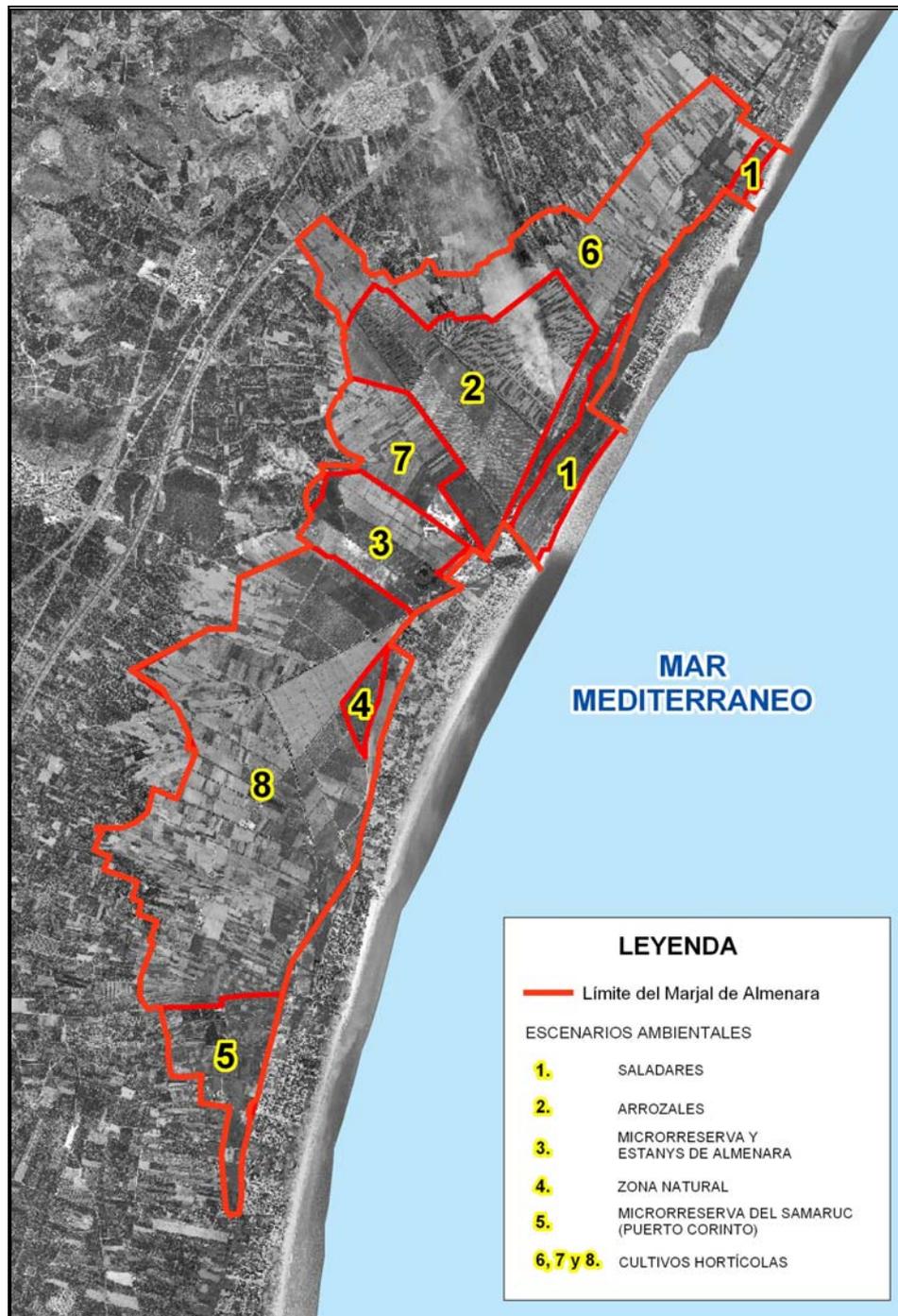


Figura 33. Escenarios deseables para la biocenosis propuestos

A continuación se procede a la descripción de la biocenosis asociada a cada una de las zonas indicadas en la Figura 33.

### 3.6.1 Zona 1: Saladares

En el Marjal de Almenara todavía quedan algunos lugares en los que se desarrolla el saladar. Estas zonas están ocupadas por distintas comunidades halófitas perfectamente adaptadas a altos niveles de salinidad en el suelo y en el agua. Se encuentran situadas entre la vegetación palustre propiamente dicha y la vegetación psamófila de los sistemas dunares que aún existen o los edificios de las zonas urbanizadas. En este caso, el desarrollo de una u otra comunidad va ligado a la existencia de un mayor o menor grado de humedad.

Por ejemplo, en el supuesto de que los terrenos permanezcan inundados gran parte del año y, por tanto, la salinidad disminuya un poco, con toda probabilidad se desarrollarán los juncuales subhalófilos (*Elymo elongati-Juncetum maritimi*). En casos extremos de inundabilidad, la vegetación halófila puede llegar a ser sustituida por vegetación helófila como puede verse actualmente en los bordes del saladar y cerca de las acequias, donde se mantiene el agua permanentemente.

En el caso contrario de excesiva explotación hídrica de la zona puede darse una cierta regresión de especies consideradas típicamente halófilas o hidrohalófilas (*Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*), mientras se ven favorecidas otras, también halófilas aunque no tan claramente como las anteriores, y más xerófilas (*Frankenia* sp., *Limonium* sp.). Estas plantas crecen en lugares donde la humedad edáfica es prácticamente imperceptible y la salinidad del terreno es máxima.

El sistema de drenaje instalado en el estanyol puede garantizar el mantenimiento de un gradiente que permite una diversidad de comunidades halófilas e hidrohalófilas elevada. Debería garantizarse que no se incrementa el drenaje de esta zona, ni que se permita la entrada de agua dulce desde los arrozales contiguos.

### 3.6.2 Zona 2: Arrozales

En el Marjal de Almenara, la superficie actual destinada al cultivo del arroz es minúscula (<20% de la superficie cultivada) y mucho menor que la de arrozal abandonado hoy en día. En el futuro cabe la posibilidad de seguir manteniéndolo o desecar la zona.

#### 3.6.2.1 *Mantenimiento del arrozal*

A pesar de la pequeña extensión del arrozal, éste proporciona diversos beneficios para la zona.

El arroz es un cultivo sumamente peculiar, el periodo de cultivo se inicia a finales de abril cuando se inundan los campos con el agua de los canales de riego, procediéndose a la siembra durante mayo y recogiendo en septiembre-octubre. Esta dinámica ocasiona una fuerte variación estacional de los campos y sus biocenosis: campos inundados durante la primavera, en verano con las labores agrícolas encontramos campos con rastros, labrados y todavía con agua, desecación progresiva en invierno y extensiones de aneas y carrizo en los arrozales abandonados. Durante la primera fase del cultivo del arroz (abril-junio), paralelamente a su crecimiento, pero con mayor rapidez, se desarrollan diferentes especies de helófitos (*Echinochloa oryzicola*, *Echinochloa oryzoides*, *Echinochloa crus-galli* subsp. *hispidula*, *Scirpus mucronatus*, *Cyperus longus*, *Cyperus difformis* y *Alisma plantago-aquatica*). A partir de mayo y junio empiezan a desarrollarse praderas de macrófitos sumergidos (*Chara* sp). En los campos con poca circulación de agua se puede desarrollar una cobertura vegetal de *Lemna gibba* y *Potamogeton nodosus* que impide el desarrollo de la vegetación sumergida. Desde julio a octubre predomina el desarrollo de una comunidad rica en especies exóticas, el *Cypero-Ammannietum coccineae*, donde aparecen extensas praderas de carófitos (*Chara* sp.), terófitos como *Ammania coccinea* y *Bergia capensis*.

El cultivo del arrozal tiene un papel básico en el control del ciclo hidrológico. La formación de una reserva freática en el suelo tiene por lo general un efecto beneficioso para los cultivos contiguos, reduciendo sus exigencias hídricas. Además, en zonas costeras como el Marjal de Almenara, el sistema arrozal sumergido desarrolla un papel importante en la prevención de la salinización de los terrenos y del acuífero. Gracias al

movimiento gravitacional continuo del agua de sumersión, contribuye a desplazar la sal hacia capas más profundas manteniendo el suelo cultivado libre de sal. Por otro lado, el agua dulce infiltrada constituye una barrera importante a la intrusión marina.

Otra función atribuida al sistema arrozal es un papel importante en la depuración de las aguas a través del proceso físico de depuración y sucesivo proceso bioquímico óxido-reducción.

La enorme variabilidad ornítica que refleja el inventario de ornitofauna del presente informe pone de manifiesto la importancia de los arrozales inundados como un medio ideal para la alimentación de numerosas aves acuáticas. Representan además un entorno favorable, durante el período de reproducción, para la nidificación y la difusión postgeneracional. Los campos inundados durante la primavera son fuente de refugio, alimentación y nidificación de gran cantidad de anátidas, limícolas, passeriformes,...

Durante el otoño los arrozales constituyen un abrigo seguro y fuente de alimentación para las poblaciones de aves migratorias en sus movimientos estacionales. Por último, en muchos otros casos los arrozales estables son utilizados por las aves sedentarias como medio de sustitución si los ambientes principales no ofrecen alimentación suficiente. Además todo esto potencia enormemente las posibilidades cinegéticas de la zona.

Sin embargo, el cultivo del arroz también tiene una serie de inconvenientes.

Los cultivadores de arroz, para aumentar la productividad y mantener la rentabilidad del cultivo en el más alto nivel posible, utilizan fertilizantes nítricos y fosfóricos. Se utilizan normalmente fertilizantes nítricos, preferentemente en forma ureica o amoniacal, en dosis elevadas que varían de 150 a más de 200 kg/ha de N en suelos con fertilidad media. Solo una pequeña parte del nitrógeno suministrado es utilizado por el cultivo, llegando una parte importante a la capa freática, y sucesivamente a las aguas superficiales hasta llegar al mar. La utilización del fósforo es generalmente más limitada, aún pudiendo contribuir al proceso de eutrofización. Aunque en muchos casos el fenómeno de eutrofización es apreciable en las mismas aguas de riego utilizadas en el arrozal. En todo caso, las aguas enriquecidas con nutrientes representan un óptimo sustrato para la proliferación de algas de diferentes especies.

Los productos fitosanitarios (herbicidas, insecticidas, alguicidas y fungicidas) representan los medios técnicos más ampliamente empleados en el arrozal, necesarios para la defensa del cultivo de los numerosos enemigos naturales. Estas sustancias pueden provocar la muerte de aves y peces y posteriormente llegar al acuífero donde constituyen un problema de contaminación de difícil solución.

### **3.6.2.2 Desecación del terreno**

La desecación y abandono del terreno llevará al desarrollo de una vegetación natural propia de eriales que, si bien proporciona un hábitat interesante para la alimentación y descanso de muchas especies de aves, no llega a alcanzar el valor de los arrozales como se puede apreciar de los censos realizados. En el caso de que estos terrenos se dediquen a los cítricos u otro cultivo que suponga la desecación permanente, sí se deteriorará en gran medida la zona pues constituyen biotopos alóctonos monoespecíficos que no tienen asociada ninguna comunidad animal ni vegetal en la zona húmeda y que poseen la menor riqueza específica de todos los biotopos integrantes del área de estudio. Estos biotopos solo son colonizados por especies muy cosmopolitas de carácter antropófilo como gorrión común, estornino, mirlo común, mosquitero común o cernícalo vulgar.

La eliminación parcial o total de la inundación de estos terrenos favorecerá su salinización. En muchos casos, donde el arrozal ha sido sustituido por cultivos secos, el proceso de salinización de los suelos ha tenido efectos desastrosos. Además, si desecamos completamente los terrenos, no se producirá la recarga del acuífero y se favorecerá el problema ya existente de intrusión marina.

Si el terreno desecado no se dedica a ningún cultivo, la zona se verá favorecida por el menor aporte de nutrientes y productos fitosanitarios, pero si se dedica a otro cultivo de regadío, los aportes pueden ser incluso mayores que en el arrozal.

### **3.6.3 Zonas 3, 4 y 5: Microrreserva, Estany de Almenara, zona natural y microrreserva del Samaruc (Puerto Corinto)**

En esta zona un nivel de agua que permitiese, en el punto más profundo del estany tener aproximadamente 7 metros sobre el nivel del mar permitiría la máxima biodiversidad. El paisaje de la zona estaría dominado por el carrizo y la enea, aunque lo más destacable sería que se podría garantizar el mantenimiento del nenúfar en las

cubetas, que permanecerían siempre inundadas tanto en els estany como en la antigua explotación de turba situada más al este. Las otras especies endémicas y/o amenazadas objetivo para la conservación en la microrreserva también se mantendrían sin problemas.

En ambientes con una baja salinidad y el nivel de agua es mayor de 30 cm, se favorece el desarrollo de *Typha* sp. frente a *Phragmites australis*. Se ha comprobado que se establece una comunidad más rica tanto vegetal como animal en espacios palustres dominados por *Typha* sp. que por *Phragmites australis* (Comín, 2000). También se ha comprobado que cuando el nivel de agua alcanza los 95 cm, las plantas de *Typha latifolia* desaparecen (Grace, 1989). En lugares con profundidad mayor de 50 cm y expuestos a la acción de las olas, se favorece el desarrollo de *Scirpus lacustris* frente a *Phragmites australis*; mientras en profundidades menores de 50 cm, *Scirpus lacustris* no puede competir con *Phragmites australis* (Coops et al., 1994). Todo esto demuestra que en periodos prologados de sequía, muchas comunidades pueden llegar a desaparecer en beneficio de otras especies más rústicas y llegar a modificarse los patrones zonales.

Por otro lado, prolongados periodos de altos niveles de agua eliminan la mayoría de especies emergentes (Van der Valk, 1981). Esto puede ser debido a que la regeneración por semillas de muchas de estas especies es importante (Moore & Keddy, 1988), necesitando ciertos periodos de desecación que permitan su germinación. La supervivencia de muchas de las especies helófitas depende de las regulares fluctuaciones en el nivel del agua del humedal pues las semillas de estas especies aparentemente no germinan bajo el agua (Nicholson & Keddy, 1983). Por tanto, en los humedales son también importantes los periodos de sequía estacional que permiten la germinación de nuevas semillas y el rejuvenecimiento de las comunidades. La proporción de expansión vegetativa mediante rizomas es limitada, mientras que las semillas pueden dispersarse fácilmente a áreas abiertas.

En cuanto a los hidrófitos, los periodos de bajos niveles de agua eliminan las especies intolerantes a la sequía que serán remplazados por especies emergentes procedentes de las semillas acumuladas en el sustrato (Van der Valk, 1981). Aunque existen algunas especies anuales adaptadas a aguas efímeras que se secan a partir de primavera como son *Zannichellia palustris* o *Ruppia maritima*, la mayoría de hidrófitos son perennes y requieren aguas relativamente persistentes (Margalef, 1981). Por ejemplo, el hidrófito radicante *Ceratophyllum demersum* es una especie que no tolera

la desecación (Castroviejo, 1993). Las especies que se reproducen vegetativamente como *Nymphaea alba* o especies del género *Potamogeton*, pueden tener mayores posibilidades de supervivencia, aunque las posibilidades de crecimiento y reproducción son prácticamente nulas. Por ejemplo, *Nymphaea alba* requiere aguas profundas, generalmente de unos 2 metros (Olivares, 1998). En general, el excesivo descenso del nivel de agua en la época en que estas plantas se desarrollan y se reproducen hará inviable su establecimiento constante en la zona.

Así, la Figura 34 muestra, sobre el plano batimétrico de los Estanys de Almenara, la situación de la lámina de agua apta para conservar e incluso aumentar la biodiversidad existente en un período medio, seco y húmedo y, en concreto, permitiría recuperar y conservar las especies hidrófitas antes citadas.

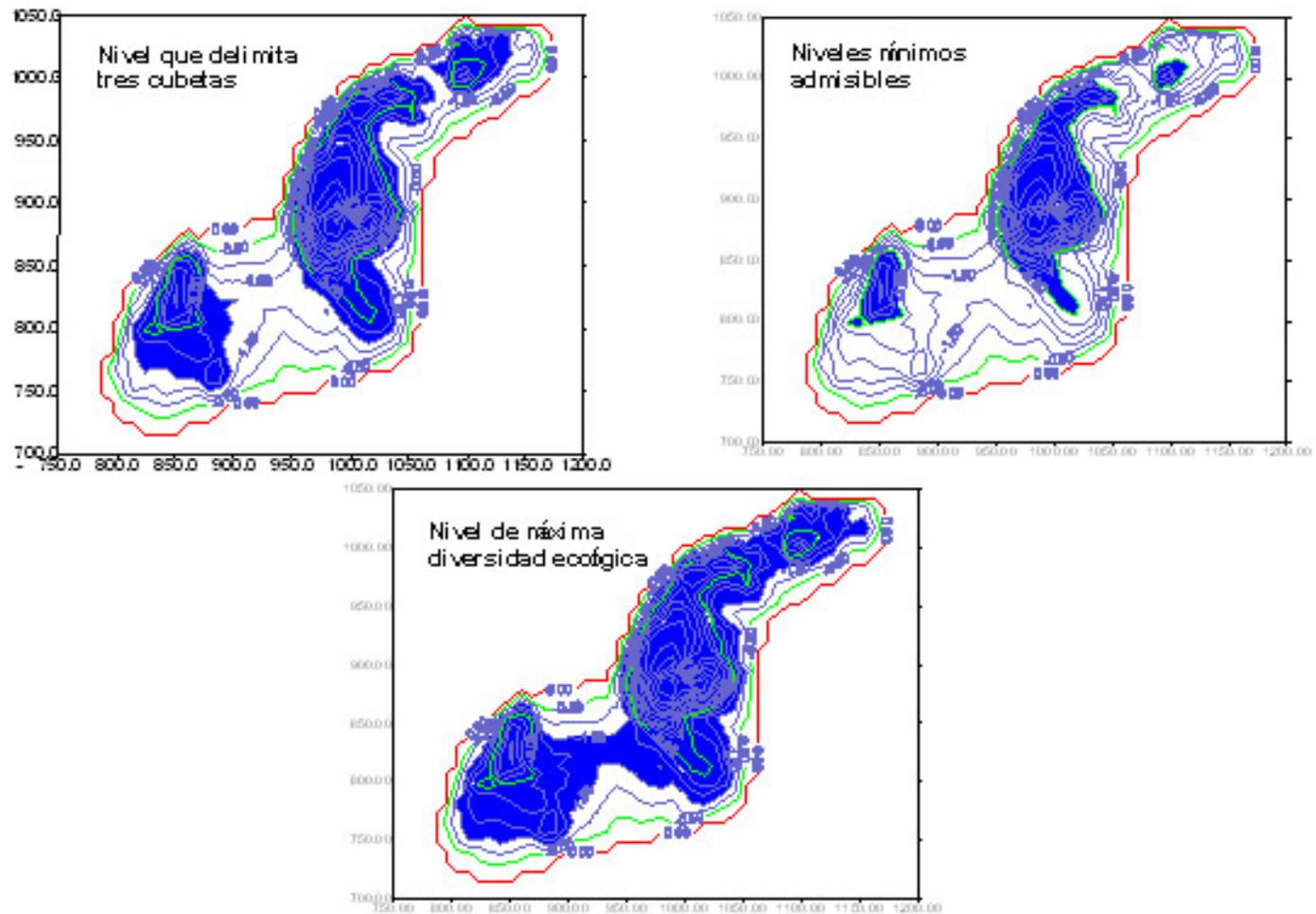


Figura 34. Niveles de agua en los Estanys de Almenara necesarios para conservar la biodiversidad

En la orla de todo este sistema encontraremos las praderas de juncos. Se desarrollan en los suelos profundos y húmedos que no llegan a encharcarse y que encuentran la capa freática a bastante profundidad. Esta comunidad será la transición entre las zonas con nivel freático superficial e inundadas y las zonas cultivadas con un nivel freático más profundo generado con los sistemas de drenaje perimetrales. La comunidad más representativa de este grupo son los mansiegares en los que se encontrará *Hydrocotyle vulgaris*, *Kosteletzkya pentacarpos*, *Lytrum salicaria*, *Galium palustre*, *Typha sp.*, *Scutellaria galericulata*.

Los ecotonos de este sistema y el de cultivos hortícolas son: el borde de canales, acequias y lagunas donde se desarrollará la asociación *Irido-Polygonetum serrulati* dominada por *Iris pseudacorus* (lirios amarillos), y la formación verde y jugosa de apio (*Helosciadietum nodiflori*) que enraíza en suelos encharcados de aguas someras en todo el litoral mediterráneo. Las plantas dominantes de esta asociación son *Apium nodiflorum* y *Rorippa nasturtium-aquaticum*. Alcanza su óptimo desarrollo en bordes de acequias cuando el agua está enriquecida en compuestos nitrogenados.

La desecación prolongada implicaría los siguientes cambios progresivos, desaparición de la enea que será sustituida por el carrizo. Sustitución del carrizo por praderas de juncos y desaparición de las especies de hidrófitos. Finalmente en la mayor parte de la superficie actual se desarrollarán los mansiegares que pueden estar muy degradados, sin formar macollas, e intercalados con vegetación nitrófila típica de bordes de camino, escombreras y campos de cultivo abandonados.

#### **3.6.4 Zonas 6, 7 y 8: Cultivos hortícolas**

Ocupan la mayor parte del marjal. Se trata de monocultivos de cítricos, hortícolas, nuevos cultivos.

Los cítricos constituyen un monocultivo de regadío cuya superficie en el humedal se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Principalmente se cultivan mandarinos de la variedad Clemenules. Este cultivo conlleva la desecación permanente de los terrenos que ocupa y, en la zona de estudio, se plantan sobre bancadas y se riegan mayoritariamente mediante riego por goteo. Esta forma de plantación es un sistema tradicional en los marjales para evitar el contacto de las raíces con la elevada capa freática y la zona de acumulación de sales. Puesto que

estos terrenos no se lavan periódicamente, existe una alta probabilidad de salinización del suelo a medio plazo.

También aparecen en la zona los cultivos hortícolas de verano. En los primeros se cultiva principalmente melones (*Cucumis melo*), sandías (*Citrullus lanatus*), pimiento (*Capsicum annuum*), tomates (*Lycopersicon esculentum*), calabacín (*Cucurbita pepo*), judía (*Phaseolus vulgaris*), patata (*Solanum tuberosum*), etc. Estos campos, durante el invierno se inundan para lavar las sales acumuladas durante el verano. Al final del invierno, a mediados de febrero, una serie de bombas extraen el agua y dejan los campos preparados para el nuevo cultivo. Esta práctica no se realiza en unos pocos terrenos dedicados a las hortícolas de invierno y espárragos (*Asparagus officinalis*) que permanecen secos todo el año. En el marjal durante el invierno se cultiva principalmente coliflor (*Brassica oleracea*) y, recientemente a comenzado a cultivarse también el espárrago que es una planta de cultivo plurianual. En estos últimos terrenos el agua es drenada en épocas de abundancia para evitar su inundación lo que puede llevar a problemas de salinización que hagan inviable su cultivo.

Al igual que ocurre con cualquier monocultivo, los cítricos y los cultivos hortícolas ofrecen una baja diversidad en las comunidades vegetales. La intervención humana en los cultivos da como resultado una vegetación herbácea anual de diferente composición en el periodo invernal respecto al estival, aunque ambas incluidas en la clase *Ruderali-Secalietae*. En invierno, en aquellos huertos con un alto grado de humedad, crece de forma abundante la asociación *Citro-Oxalidetum pedis-caprae*, que representa una comunidad herbácea dominada por el neófito de origen sudafricano *Oxalis pes-caprae*. Esta planta cubre toda la superficie del suelo formando un denso tapiz que protege de las heladas al sistema radicular de los árboles. Junto a ella se pueden desarrollar también *Diplotaxis eruroides*, *Fumaria officinalis*, *Calendula arvensis*, *Sonchus oleraceus*, *Senecio vulgaris*, *Fumaria capreolata*, *Urtica dioica*, *Euphorbia helioscopia*, *Erodium malacoides*, *Malva sylvestris*, *Papaver rhoeas*, etc.

Asociados a los terrenos hortícolas que se inundan en invierno pueden aparecer plantas acuáticas pertenecientes a las asociaciones *Lemnetum gibbae* y *Ranunculetum baudotii* representadas por las especies *Lemna gibbae* y *Ranunculus pelattus* subsp. *baudotii*, respectivamente. Las diferentes variables ambientales que imperan en verano, se reflejan en una sustitución de la vegetación anterior por otra de *Setario-Echinochloetum colonum* donde destaca un buen número de plantas características, siendo las más abundantes: *Amaranthus retroflexus*, *Setaria*

*verticillata*, *Portulaca oleracea*, *Digitaria sanguinalis*, *Cyperus rotundus*, *Echinochloa colonum*, *Echinochloa crus-galli* subsp. *crus-galli* y *Amaranthus viridis* (Pérez, 1.997; Costa, 1.999).

La importancia de esta zona radica en el papel amortiguador de cambios que tendrá sobre las zonas ambientalmente más interesantes, zonas 3, 4 y 5. La inundación de los cultivos hortícolas durante el invierno implica la minimización del riesgo de salinización del suelo y garantiza niveles freáticos altos en todo el conjunto del sistema. El cultivo de cítricos y de espárragos, que evitan la inundación temporal mediante los sistemas de drenaje dificultarán el mantenimiento del escenario ideal para las zonas 3, 4 y 5.

## 4 RÉGIMEN DE EXPLOTACIÓN Y USOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

### 4.1 ANTECEDENTES

El objetivo perseguido es conocer con el mayor detalle posible la ubicación y funcionamiento de los aprovechamientos hídricos presentes, tanto en el interior de la zona húmeda como aquellos que estando fuera del área prefijada puedan tener influencia al detraer una parte significativa de las aportaciones subterráneas que recibe el Marjal de Almenara.

En el humedal el origen del agua es fundamentalmente subterránea aunque también recibe aportaciones debidas a los retornos de riegos de las plantaciones de cítricos que se encuentran ubicadas en su perímetro exterior, siendo este uno de los cultivos más comunes que está presente en todos los municipios de la zona y que forma un cinturón que rodea el marjal por su borde occidental.

Para tratar de lograr el objetivo marcado se ha realizado una búsqueda de documentación en diferentes organismos acompañada por una labor de campo, lo cual se reseña a continuación:

□ **Consulta de expedientes de pozos en las bases de datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar.**

Se han revisado los datos de pozos disponibles en este organismo ubicados en los términos municipales en que está enclavada el marjal y que pudieran afectar a la misma. Los tipos de expedientes revisados en busca de información han sido los correspondientes a los siguientes códigos:

- CP: concesiones de pozos
- IC: inscripciones en el catálogo de pozos
- IP: inscripciones en registro y pozos según art. 52.2
- IZ: investigación en zona de policía
- PI: Investigación de aguas (mayores de 7.000 m<sup>3</sup>/año)
- RP: modificación de características de pozos.

En el anejo correspondiente se reflejan todos los expedientes arriba epigrafiados y que contenían algún dato significativo además de la ubicación, término municipal, designación o propietario; estos eran número de tomas, caudal solicitado y concedido, coordenadas UTM de localización, caudal instantáneo, etc.

□ **Consulta de las bases de datos Gescatalogo y Gesregistro de la Oficina del Plan Hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Júcar.**

De ellas se han obtenido los datos relacionados con las tres unidades hidrogeológicas implicadas, 08.12, 08.20 y 08.21. Con estos datos se ha realizado un mapa de pozos y un segundo mapa en el que se limitan las extracciones a aquellas que pueden afectar al funcionamiento hídrico del marjal y por tanto se van a incluir en el modelo y se han considerado determinantes para su calibrado y funcionamiento. Asimismo se ha evaluado con estos registros los tipos de uso y los volúmenes extraídos. El resumen de los datos se incluye en el anejo correspondiente.

□ **Consulta de expedientes de denuncias y cruce de los mismos con los expedientes de pozos en las bases de datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar.**

En este trabajo se ha intentado localizar alguna modificación de la concesión inicial bien por la ejecución de una nueva captación o por la modificación de las características de la toma o del volumen de extracción de agua autorizado por este Organismo . Los tipos de expedientes revisados en busca de información han sido los que se corresponden con los códigos siguientes:

- DP: denuncias de parte interesada
- DO: denuncias de oficio

En el anejo correspondiente se reflejan todos los expedientes revisados y una breve descripción de su contenido, se incluyen además varios expedientes relacionados con las prácticas de extracción realizadas por un particular en el municipio de La Llosa que provocaron en estaciones secas la desecación, total en algún verano, de los Estanys de Almenara con la consiguiente problemática medioambiental, evidenciada por una elevada mortandad de la fauna piscícola.

- ❑ **Solicitud de datos a los responsables del abastecimiento de agua potable de cada corporación municipal.**

Los datos solicitados han sido los referentes a caudales, consumos y ubicación de sus respectivos pozos de abastecimiento con el fin de disponer de datos fidedignos de explotaciones que afectan a los acuíferos que alimentan el marjal.

- ❑ **Solicitud de los puntos de inventario de agua disponibles en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología.**

Estos datos están basados en campañas de campo realizadas por el propio IGME y en ellos se referencian todo tipo de captaciones de agua, públicas y privadas, fuentes y manantiales, en muchos de los casos acompañados con una serie histórica de medidas. Asimismo se ha solicitado a este organismo los archivos que contienen los datos correspondientes a la evolución histórica de la red propia de piezómetros instalada en la zona de estudio. También se ha utilizado el documento en el que se reflejan las series históricas de aforos realizados en las fuentes de la zona, en particular de la Fuente de Quart, ubicada en el término municipal de Quartell.

- ❑ **Solicitud de datos a los secretarios de las comunidades de regantes.**

Los datos solicitados han sido los referentes a la correcta ubicación de sus captaciones, caudales, número de tomas, caudales instantáneos, niveles estático y dinámico de los pozos, diámetro de entubaciones, etc.

No todos han respondido al requerimiento de solicitud alegando que ya han facilitado los datos a la Confederación Hidrográfica del Júcar. Al revisar los expedientes correspondientes a las Comunidades de Regantes, se comprueba la ausencia de datos técnicos significativos.

Por otro lado la empresa INITEC, actual concesionaria para la mecanización e informatización de los expedientes de concesiones de pozos comenta que en la actualidad están en fase de requerimiento de todo tipo de datos actualizados, tanto técnicos como administrativos de todas las concesiones y en el momento en que lo reciben los van introduciendo en la base de datos de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Por lo tanto estos datos habrá que comprobarlos con periodicidad

regular a fin de actualizar los parámetros necesarios para una correcta alimentación del modelo a preparar.

Las comunidades de Regantes que han facilitado datos lo han hecho con el inconveniente de ser datos no actualizados, ya que la información suministrada tiene una antigüedad superior a cinco años, por lo cual será necesario estimar los consumos por otros medios: evapotranspiración, superficies y tipos de cultivo, consumos de energía, etc.

## 4.2 COMUNIDADES DE REGANTES

En los distintos términos municipales en cuya área se integra el marjal existen un elevado número de Sociedades de Riego, estando reflejadas la totalidad de las inscritas en el Registro de la Confederación Hidrográfica del Júcar en el anejo correspondiente, mientras que en este capítulo sólo se detallarán aquellas cuya superficie de riego, parcial o total, se encuentre integrada en el humedal.

En el municipio de Moncófar hay una sociedad única, la Comunidad General de Regantes de Moncófar, la cual tiene autorización para regar 909 Has, de las cuales Has están en el interior del marjal.

En el término municipal de Chilches comprendido entre la autopista A-7 y el mar se ubican 4 pozos de riego pertenecientes a distintas sociedades: pozo junto a la A-7, motor de la Ermita, pozo del Cristo y motor de Peris, este último enclavado en la zona de cultivo de arroz que aún permanece en el marjal.

En el municipio de La Llosa existe una sola comunidad inscrita, la Comunidad General de Regantes "Pou de Les Cloches", la cual puede regar legalmente 67 Has de cítricos y huertas. Asimismo se encuentran cercanos a la zona del marjal los siguientes pozos de extracción de agua: motor de la finca Marcelino, que riega de cítricos y dos motores (en desuso el mas cercano a los Estanys) que regaban las fincas de Ferrer Gastaldo.

En el término municipal de Almenara se agrupan 22 comunidades de riego bajo una sociedad única, la Comunidad General de Regantes de Almenara. Esta comunidad abastece de agua a una superficie regable de 1.596 Has.

Las sociedades de riego, integradas dentro de la General, que riegan terrenos del humedal son:

- ❑ San Marcelino, la cual dispone de 4 pozos: San Marcelino, San Juan Bautista, San José y Virgen de los Desamparados. El Estany, ubicada en la falda este de la Montañeta Blanca riega por goteo unas pequeñas plantaciones de cítricos.
- ❑ Pozo particular utilizado en el riego de cítricos cubiertos por tela y situados en la falda sur de la montaña.
- ❑ El Puntarró.
- ❑ Oriola, Bovar y Potró.
- ❑ El Llorenset
- ❑ EL Racó, el cual tiene sus pozos duplicados y que riega 85,3 has, todas dentro de la zona de estudio.

La lengua de terreno perteneciente al municipio de Benavites, que se adentra en el Marjal de Almenara, riega con agua procedente del pozo El Realengo. En el terreno perteneciente al municipio de Quartell la sociedad de riego Malvasur es la que extrae el agua que abastece a las parcelas que se encuentran en la zona húmeda.

En el término municipal de Sagunto se han considerado los siguientes pozos cuyas aguas pueden regar cultivos que resten aportaciones al acuífero del cual se alimenta el marjal:

- ❑ Aguas Almarda, destina el agua que extrae para consumo humano en la población de Almarda.
- ❑ Corinto, su agua es para consumo humano
- ❑ Mangrano, que riega cultivos de cítrico y puede llegar a regar hasta la franja costera.
- ❑ San Vicente, destina el agua al cítrico y riega dentro de la zona de estudio.
- ❑ El Sol, que riega cítricos.

Estos pozos y las correspondientes superficies que riega cada uno dentro del marjal se han representado en el mapa 17.

#### **4.3 USOS DEL RECURSO HÍDRICO: CONCESIONES Y ESTIMACIONES**

Para la cuantificación del volumen total extraído por pozos en los acuíferos se dispone de la información de las concesiones, obtenida de las bases de datos de la

Confederación Hidrográfica del Júcar. Posteriormente, estos datos se han contrastado con una estimación del agua extraída en base a los siguientes criterios:

- Número de hectáreas y tipo de cultivo que riega el pozo.
- Unidades de Demanda Agrícola (UDA), suministradas por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Con estos criterios se establecen a continuación los siguientes balances:

- **Volumen solicitado según las bases de datos Gesregistro y Gescatálogo**

**Tabla 9. Tabla de volumen solicitado según bases de datos de Gesregistro y Gescatálogo**

Zonas	Volumen solicitado (hm <sup>3</sup> )		
	GESCATALOGO	GESREGISTRO	Total
Algart - Quart	20.83	5.16	25.99
Salto del Caballo	0.19	4.63	4.81
Zona del estudio (Acuífero de Les Valls y del Salto del Caballo)	34.23	1.65	35.88

- **Volúmenes estimados en base a los criterios de superficie, tipo de cultivo y unidades de demanda agrícola de la zona en que se encuentra el cultivo**

La siguiente tabla (Tabla 10) sintetiza las unidades de demanda agrícola (UDA) existentes en el ámbito del marjal, así como los caudales bombeados en cada una de éstas de los acuíferos.

**Tabla 10. Valores de bombeo bruto obtenidos en las diversas UDAS dentro de la zona de estudio (acuífero Las Valls y acuífero del Salto del Caballo).**

Nombre UDA	Bombeo bruto total (hm <sup>3</sup> /año)	% de UDA dentro de la zona de estudio	Bombeo bruto en el ámbito de estudio
Fuente de Quart	21,05	55 %	11,5
Fuente de la Llosa y nuevos regadíos	41,25	60 %	24,65 (13,8)
Camp Morvedre y pequeños regadíos	12,48	100 %	12,48
Acequia Mayor de Sagunto	18,74	15 %	2,81
TOTAL	93,52		51,44 (40,6)

Nota: Entre paréntesis, valor de bombeo bruto modificado, considerando la corrección de distribución de extracciones.

El valor de bombeo bruto o solicitado obtenido a partir del método de la UDA supera en 15 hm<sup>3</sup> (30%), el valor de extracción obtenido en la zona de estudio a partir de los datos de registro y catálogo de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

La principal explicación se encuentra en el hecho de que las las extracciones no están repartidas uniformemente a lo largo de la UDA, por lo que el aplicar un factor de corrección únicamente relacionado con el área no es suficientemente preciso en aquellas UDA que no están totalmente contenidas en la zona de estudio.

Ello es especialmente importante en la UDA de la Font de la Llosa y posiblemente en la UDA de la Acequia Mayor de Sagunto. En el primer caso, básicamente por la existencia de una gran concentración de extracciones en la zona de la Rambleta-Arroyo Randero que, aunque cercanas, no se hallan dentro del ámbito del estudio y que suponen alrededor de 11 hm<sup>3</sup> anuales. En el caso de la Font de Quart, porque engloba algunas extracciones dentro del acuífero del Algar-Quart, también fuera de la zona estudiada.

Por este motivo, se ha calculado un nuevo valor modificado de bombeo bruto en la zona de estudio que no considera el núcleo de extracción citado, dando para la UDA de La Font de la Llosa, en la zona de estudio, un volumen bruto de 13,8 hm<sup>3</sup>.

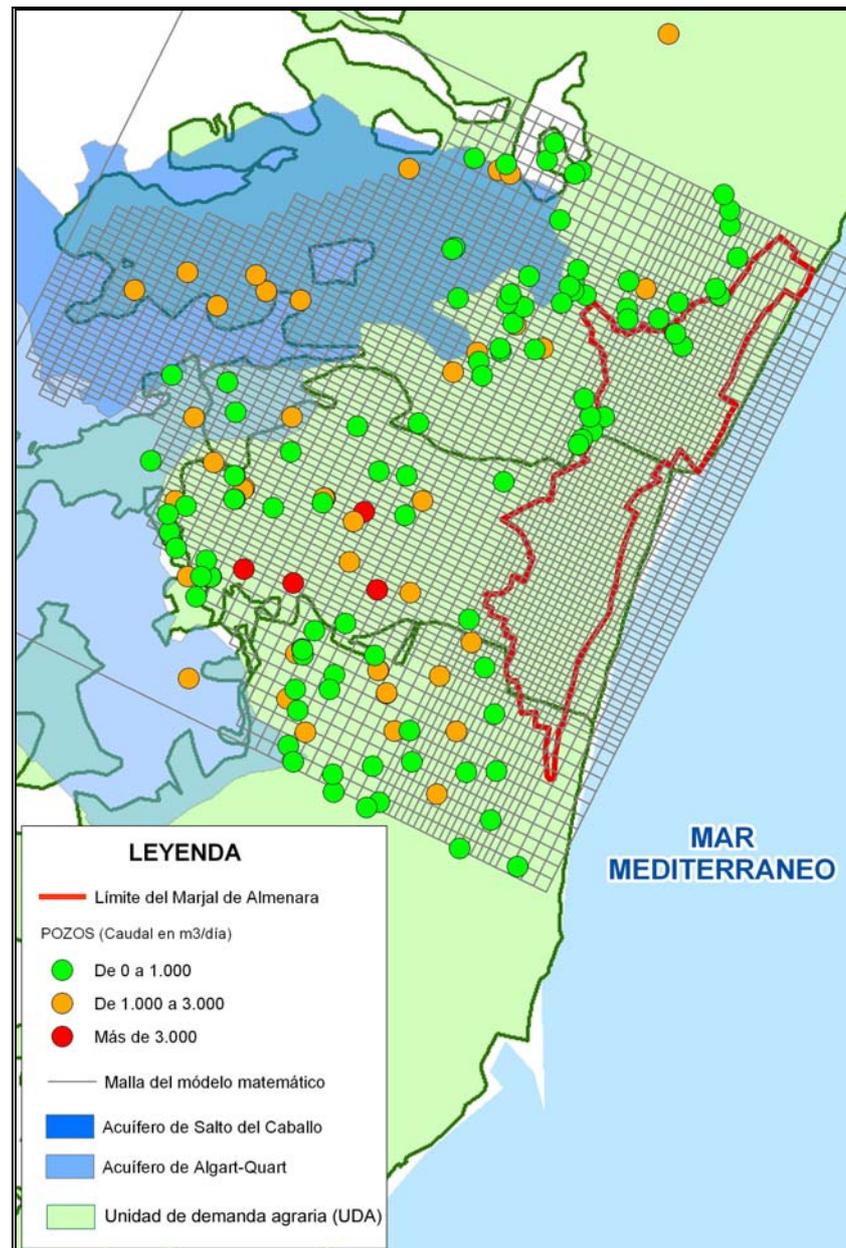


Figura 35. Representación de todos los pozos que se han utilizado en el modelo matemático del Marjal de Almenara según el caudal de extracción

#### 4.4 SALIDAS DE AGUA AL MAR: GOLAS Y DRENAJES

Para conocer el volumen de agua que sale al mar se ha realizado la estimación del caudal de agua circulante por las golas de salida de agua dulce al mar.

Así, se ha llevado a cabo una campaña de campo consistente en la determinación quincenal de los niveles de lámina de agua en 35 puntos predeterminados de canales y acequias de transporte de agua hacia las golas de la zona de estudio. Igualmente, se han tomado datos referentes a la velocidad del agua circulante en lugares de sección conocida para la determinación posterior del caudal.

Las golas controladas han sido:

- Gola de Casablanca (longitud de la gola de 12,2 metros, longitud de la compuerta de 2,2 metros).
- Gola de Qeral (longitud de la gola de 4,3 metros, longitud de la compuerta de 1,3 y 2 metros).
- Gola de Almarda (longitud de la gola 6,7 metros, longitud de la compuerta de 2,2 metros).

La estimación de caudales vertidos por las golas al mar se muestra en la tabla adjunta.

Fecha	Gola	Nº compuertas (abiertas/totales)	Nivel en metros	Caudal en m <sup>3</sup> /s
14/01/02	Casablanca	2 / 4	0,8	1,11
	Qeral	0 / 2	0,78	0
	Almarda	1 / 2	0,62	0,34
28/01/02	Casablanca	2 / 4	0,77	0,78
	Qeral	0 / 2	0,75	0
	Almarda	1 / 2	0,6	0,37
11/02/02	Casablanca	2 / 4	0,75	1,47
	Qeral	0 / 2	0,72	0
	Almarda	1 / 2	0,55	0,34
22/02/02	Casablanca	2 / 4	0,93	0
	Qeral	0 / 2	0,43	0

Fecha	Gola	Nº compuertas (abiertas/totales)	Nivel en metros	Caudal en m <sup>3</sup> /s
	Almarda	1 / 2	0,66	0,54
04/03/02	Casablanca	2 / 4	1,1	El viento impide realizar las mediciones correctamente
	Queral	0 / 2	0 6	
	Almarda	1 / 2	0 85	
21/03/02	Casablanca	1 / 4	1,1	0,24
	Queral	0 / 2	0,65	0,00
	Almarda	2 / 2	0,71	0,45
18/04/02	Casablanca	1 / 4	1,05	0,55
	Queral	0 / 2	0,53	0,00
	Almarda	1 / 2	0,6	0,00
13/05/02	Casablanca	1 / 4	0,98	0,58
	Queral	0 / 2	0,49	0,00
	Almarda	1 / 2	0,58	0,29
14/06/02	Casablanca	1 / 4	1,1	0,29
	Queral	0 / 2	0,66	0,00
	Almarda	2 / 2	0,74	0,00
28/06/02	Casablanca	1 / 4	1,02	0,21
	Queral	0 / 2	0,6	0,00
	Almarda	2 / 2	0,71	0,36

Como se puede observar, por la Gola Queral no sale agua de forma natural, ya que quedó inutilizada a causa del temporal de Noviembre 2001 y se vio obstruida la salida del agua por un acopio de gravas y guijarros.

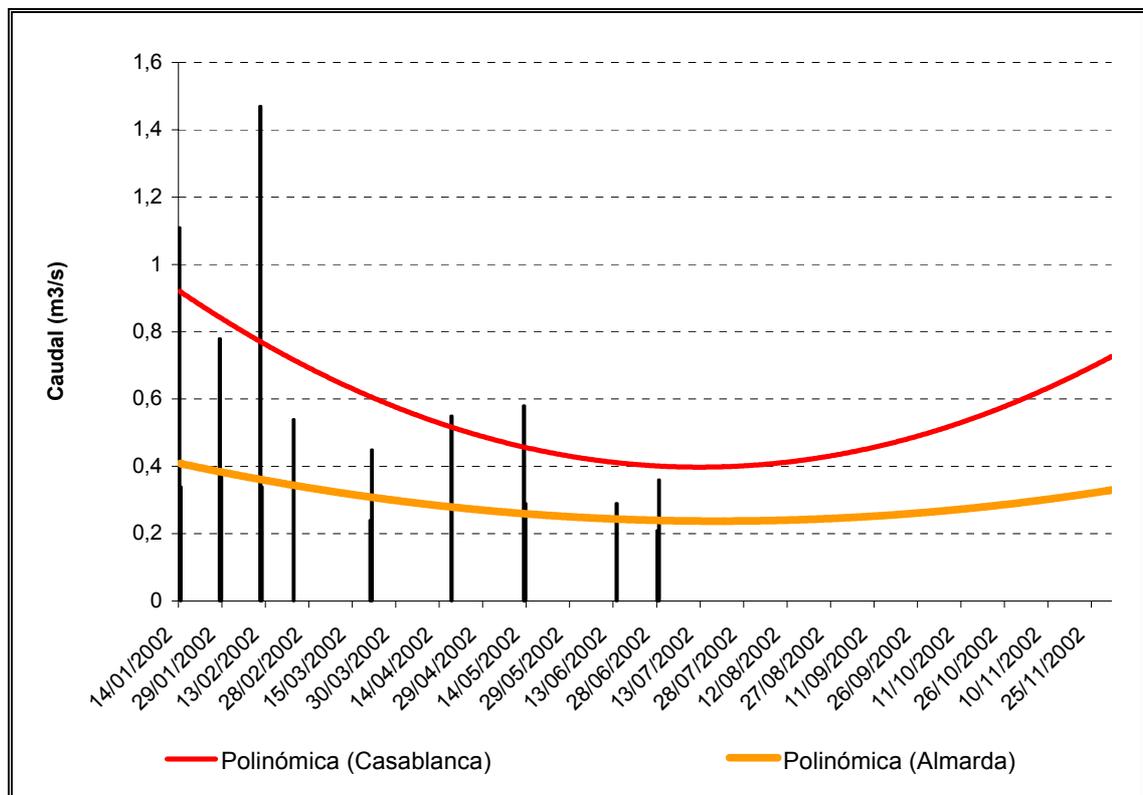


Figura 36. Propuesta de hidrogramas según estimación de caudales vertidos por las golgas al mar por integración de caudal medio anual.

## 5 ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL MEDIO HÍDRICO

### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

#### 5.1.1 Elementos naturales

Existen 3 manantiales importantes en la zona de estudio.

- **Balsas de Almenara.** En 1984, según el estudio de 2001, se aforó un caudal de 2 hm<sup>3</sup>/año.
- **Font de la Llosa:** En el estudio de INTECSA calculó en 1990 una salida por el Manantial de La Llosa de 4-5 hm<sup>3</sup>. Durante 1998, el valor aportado por TEYGESA es mucho menor, ya que únicamente brotó agua dos semanas, con un caudal entre 18 y 25 l/s.
- **Font de Quart:** Los datos procedentes de la red de control foronómico del IGME en Valencia otorga un caudal medio anual en la Font de Quart , entre 1990 y 2002, de 284 m<sup>3</sup>/d, El máximo de la década se obtuvo en septiembre de 1990, con 616 m<sup>3</sup>/d y el mínimo en abril de 1999, cuando la fuente quedó seca (ver figura 37).

Los valores aforados durante la última década contrastan con el aforo histórico realizado por el IGME en 1967, de 25.000 l/m, de forma que, actualmente, los aportes procedentes de la Fuente de Quart representan, por si solos, un volumen muy pequeño en relación al resto de términos del balance hídrico de la zona.

Independientemente del factor climático, importante en la última década, es muy posible que la causa de dicha disminución radique en un incremento de extracciones en el acuífero del Algar-Quart, ya que, dado los volúmenes históricos que aporta dicha fuente, es posible que gran parte del déficit hídrico del acuífero de la Plana, en la zona entre Quart y Faura, sería compensado con su restitución o con recargas adicionales.

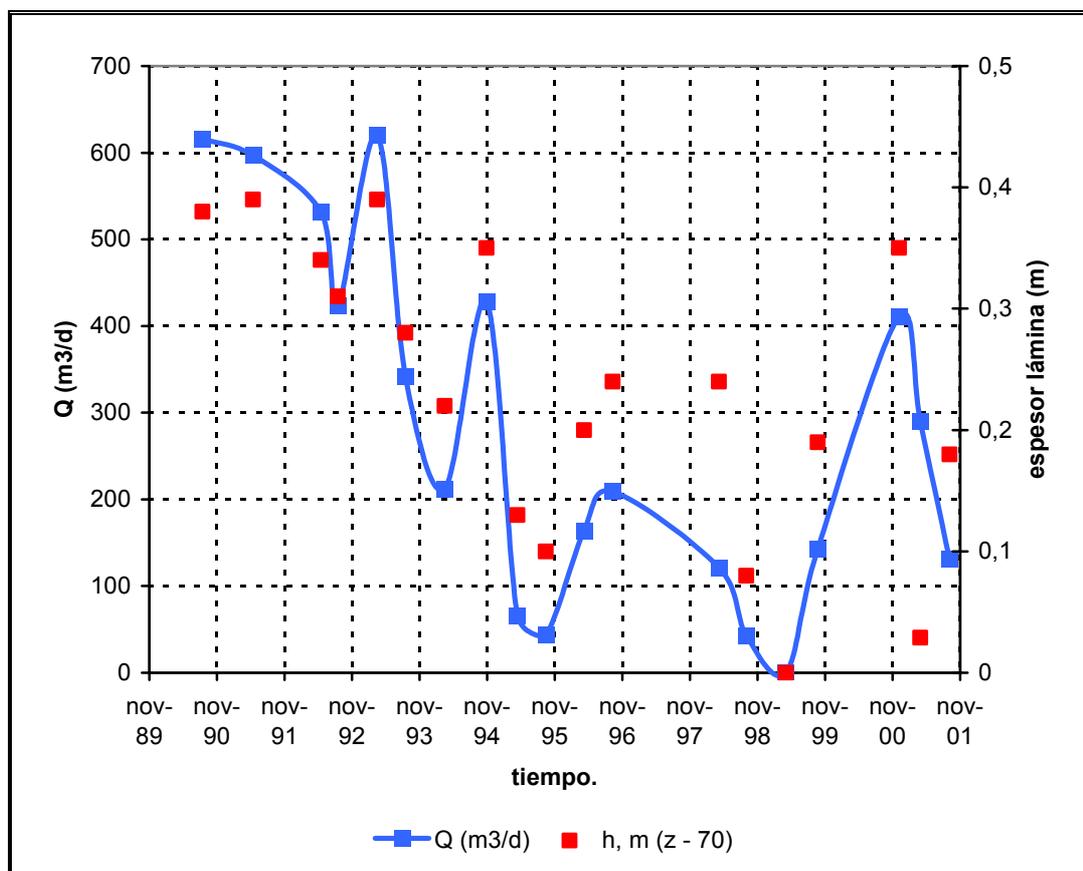


Figura 37. Evolución de caudales en la surgencia de la Font de Quart.

### 5.1.2 Infraestructura: Red de canales

Uno de los elementos clave en el Marjal de Almenara son los canales que la fragmentan. Originarios de la segunda mitad del siglo XIX, construyéndose en 1932 el canal de Torreblanca, el mayor de todos y vertebrador de la zona central, el cual desagua en dos golas, Casablanca y Queralt.

El objetivo perseguido era drenar el terreno para poder realizar la transformación agraria y conseguir que terrenos lagunares salinos pudiesen ser zonas de cultivos agrícolas.

La actual red de canales está jerarquizada de manera que los canales principales recogen y distribuyen el agua que los canales secundarios les aportan y la conducen por gravedad hacia las golas que la vierten al Mar Mediterráneo.

Los canales principales son, de Norte a Sur, los siguientes:

- ❑ **Acequia del Estañol:** recoge las aguas de la zona norte y las lleva a la gola del mismo nombre.
- ❑ **Acequia de Chilches o de la P'lla:** discurre paralela a la costa recogiendo el caudal de los canales de segundo orden de los regadíos de Chilches y parte de los de la Llosa. Tiene en su punto medio un turbina que produce una elevación del gradiente hidráulico. Se une con el canal de la Llosa y ambos desembocan en la gola Casablanca.
- ❑ **Acequia de la Llosa o de la Ratlla:** proveniente de ese municipio es perpendicular a la franja costera. Desemboca en la gola Casablanca.
- ❑ **Acequia del Bras:** conecta los Estanyes al canal de Torreblanca.
- ❑ **Canal de Torreblanca:** en forma de triángulo es el mayor de todos ellos. En su extremo norte desemboca en la gola de Casablanca y por el sur en la de Queralt. En sus márgenes se asientan hasta 6 turbinas de elevación de agua desde los canales secundarios hasta él, ya que discurre sobreelevado respecto a los campos de su entorno.
- ❑ **Acequia de Benavites:** viene desde ese término municipal perpendicularmente a la costa. En su último tramo se une al canal de Torreblanca para desaguar en la gola Queralt.
- ❑ **Acequia de Quartell y Acequia de Serratella:** discurren casi paralelas entre ellas y formando 90° con la línea de playa. Al final de su recorrido se unen a la Acequia del Rey y vierten sus aguas al mar por la gola de Almardá.
- ❑ **Acequia del Rey:** discurre de sur a norte desde la franja costera de Almardá hasta la gola del mismo nombre.

A continuación se muestran dos figuras que pretenden representar el sistema de canales existente en la zona de estudio. La Figura 38 muestra una síntesis de los canales principales, así como la ubicación de las golas de desagüe mientras que la Figura 39 muestra un detalle del entramado de canales, representando igualmente los principales motores y turbinas.

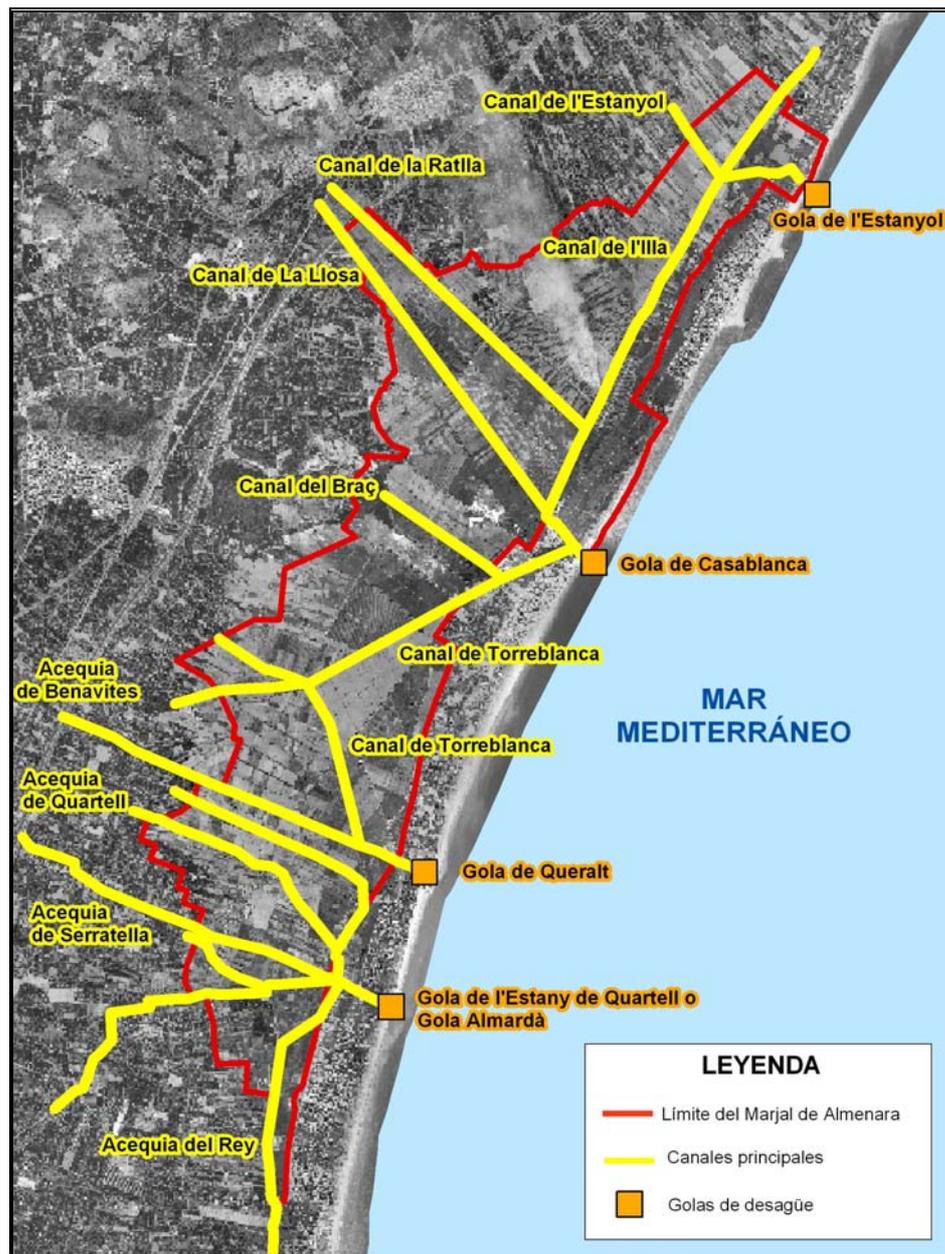


Figura 38. Mapa de canales principales y golas de desagüe en el Marjal de Almenara

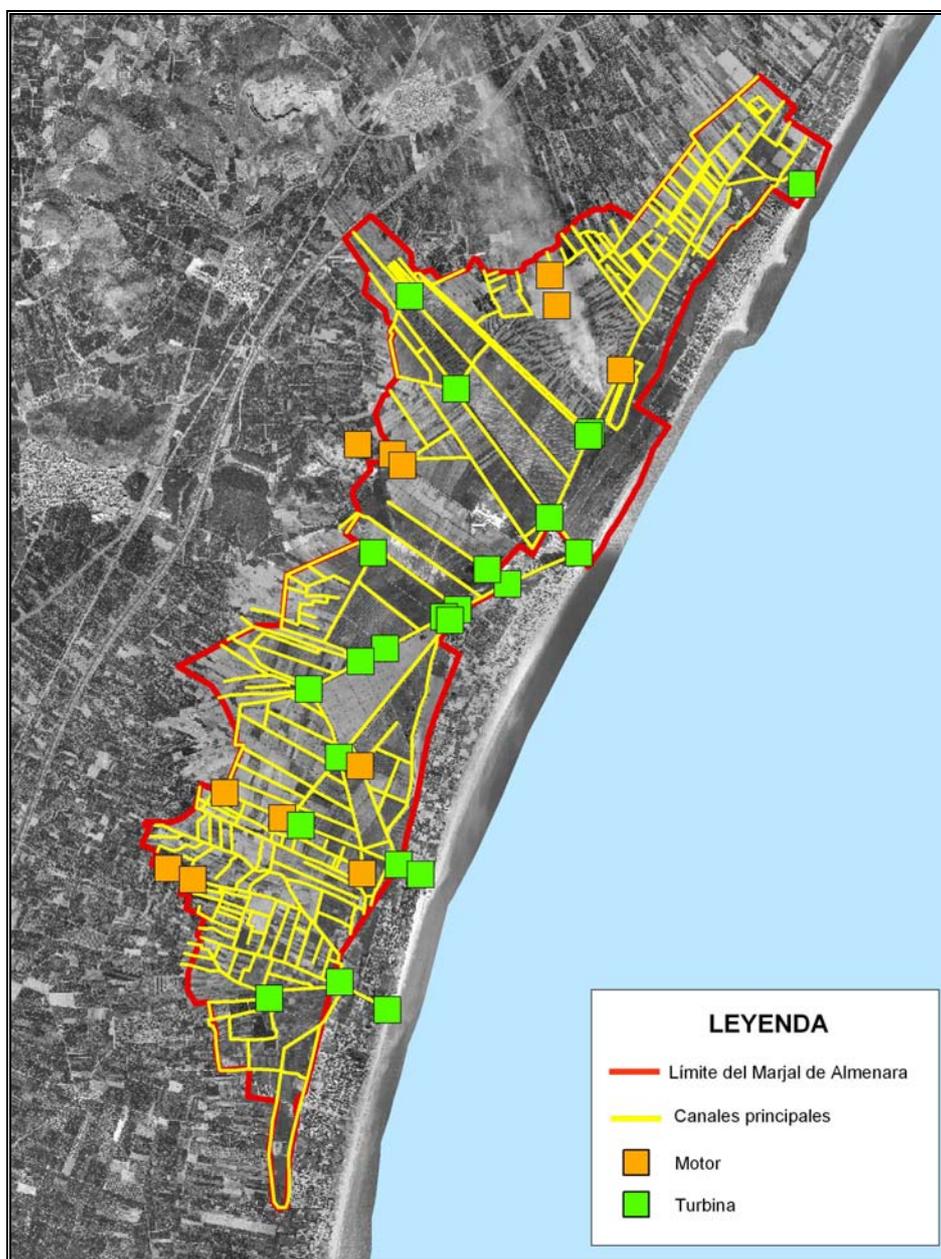


Figura 39. Mapa de canales y motores/turbinas en el Marjal de Almenara.

La red de canales muestra una cierta jerarquización en cuanto a sus dimensiones: los canales principales suelen tener anchuras superiores a los 2 metros y profundidades que superan el metro, las longitudes entre turbinas pueden superar en algunos casos, el kilómetro. En muchos casos representan la red principal que conduce directamente hacia las golas.

Existe también una red secundaria, que tributa hacia los canales principales. Las dimensiones y calado de las mismas es inferior, con anchuras cercanas o inferiores al metro y calados que raramente superan el metro.

## 5.2 BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El entorno hidrológico del marjal constituye un sistema complejo donde los diferentes factores implicados interaccionan de forma variable en el tiempo y en el espacio. Una forma de poder expresar e integrar de forma comprensible dichas interacciones es en forma de un balance, en el que estén computadas todas los factores de Entrada y de Salida de agua referidas al medio natural soporte del marjal, que es el acuífero de Les Valls.

Como todo balance, dicha integración se realiza de forma cuantificada, es decir, aportando valores numéricos a todos estos factores que, al tratarse de un balance de agua, se corresponden con volúmenes de entrada y volúmenes de salida dentro del sistema hídrico.

Ello es aún más importante si lo que se pretende es integrar todas esta información en un modelo numérico que simule el comportamiento del sistema acuífero, ya que la transformación de la información observada en la naturaleza a valores numéricos es básica para su realización y, a su vez, una vez construido y calibrado, el modelo ha permitido aportar valores a algunos de los factores del balance anteriormente menos conocidos.

Algunos de dichos factores han sido históricamente analizados en estudios anteriores (INTECSA, 1990; IGME, 1995; TEYGESA, 2002), otros son objeto de análisis en el presente estudio. Por ello, el presente apartado se estructura en base a esta diferenciación, para por último, presentar una síntesis, a modo de conclusión, de los resultados obtenidos.

## **5.2.1 Resultados obtenidos en los balances hídricos históricos del sistema acuífero en la zona de estudio**

### **5.2.1.1 Entradas de agua al sistema**

Existen diversos estudios que han abordado la cuantificación de, al menos, parte de los distintos caudales de agua involucrados en el modelo conceptual de funcionamiento del sistema. Los más significativos corresponden a los estudios de INTECSA (1991), los aportados por el ITGE (1995) y los estudios de TEYGESA (1998 y 2001), para las Unidades Hidrogeológicas de la Plana de Sagunto y la Plana de Castellón, sobre las que se sitúa el marjal, el acuífero del Salto del Caballo y el acuífero del Algar-Quart (aportes laterales hacia la Acuífero Les Valls).

Dichos valores se sintetizan en la Figura 43 que se incluye al final del presente capítulo y se justifican a continuación.

### **5.2.1.2 Entradas al acuífero de Les Valls**

Las transferencias al *acuífero* de Les Valls desde el acuífero de Algar-Quart se han cuantificado en los estudios del ITGE (1995) y se ha calculado para abril de 2002, a partir de los datos suministrados en el presente estudio. Los valores conocidos varían entre los 5.75 hm<sup>3</sup>/año en 1.993 y los 9 hm<sup>3</sup>/año, extrapolados a partir del dato de abril de 2002.

El flujo a través de este contacto se ha realizado a partir de zonas determinadas, con una sección y conductividad hidráulica determinada. La Figura 40 muestra la caracterización geológica realizada de dicho contacto. Los cálculos obtenidos para cada sección de este contacto con flujo abierto se muestran en el apéndice.

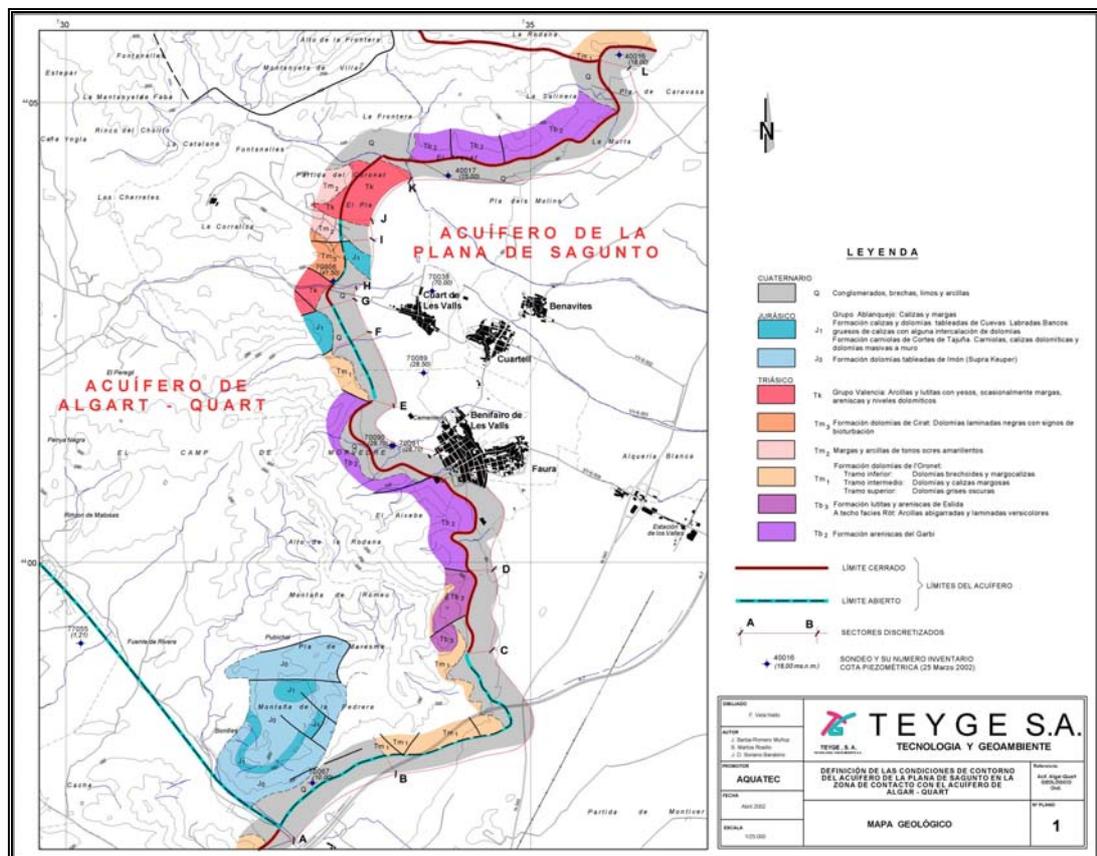


Figura 40. Ubicación de las entradas laterales entre los acuíferos del Algar-Quart y Les Valls.

La figura muestra, en color azul, la posición de las entradas laterales hacia la Plana. Todas ellas se ubican en el límite del modelo.

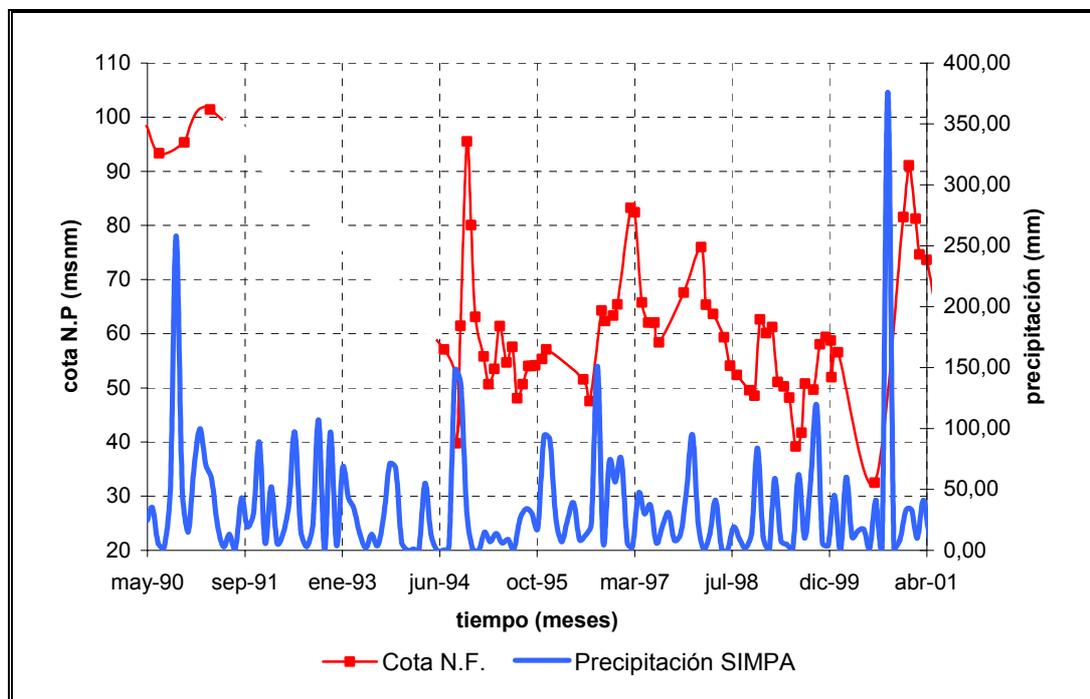
El cálculo de los aportes anuales laterales se ha elaborado, de forma conjunta con el personal técnico del Área de Planificación de la CHJ, combinando dos métodos independientes:

- Elaboración de la serie de aportes a partir de las variaciones medias anuales de la precipitación para el período 1/1990-12/1999.
- Elaboración de la serie de aportes a partir de las variaciones medias anuales del gradiente hidráulico en las cercanías del contacto entre acuíferos, para el mismo periodo temporal.

El primer método presenta la ventaja de que se dispone de una serie continua de valores mensuales, fácilmente contrastable y con un elevado número de datos que permiten ajustes estadísticos anuales correctos. Sin embargo, este método no tiene en cuenta los procesos temporales que tienen lugar en el interior del acuífero.

El segundo método guarda una relación hidrogeológica más directa con el valor que se pretende cuantificar. Sin embargo, no se dispone de datos mensuales de todo el periodo, siendo éstos discontinuos y en el caso de Les Valls, probablemente ligados a gradientes radiales, causados por bombeos, diferentes a los que presenta el flujo a través del contacto geológico.

La Figura 41 muestra la relación entre el piezómetro 08.20.048, ubicado en el Algar-Quart y la precipitación mensual incluida en el programa SIMPA, instalado y operativo en la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHJ. En el gráfico se observa una cierta correlación entre los máximos de precipitación y los ascensos de nivel piezométrico. De todas formas, dicha relación muestra también un retardo temporal entre una y otra medida, que se estima en unos 2-3 meses.

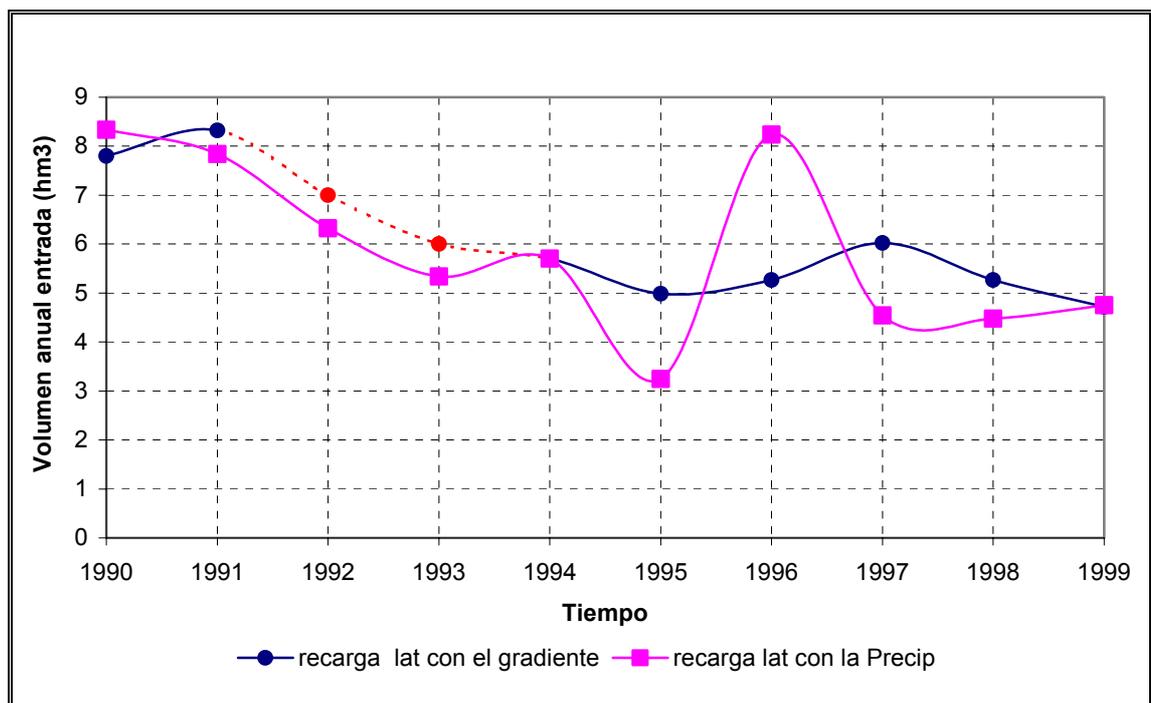


*Nota: Desde el final de 1991 y hasta mediados de 1994, no existen datos de nivel.*

Figura 41. Evolución piezométrica en la zona del Algar-Quart y de la precipitación para el período 1990-2001.

La variación de gradiente anual se ha calculado entre el piezómetro citado anteriormente y el piezómetro 08.21.005 ubicado en la plana, relativamente cerca del contacto con Algar-Quart y el mas cercano al 08.20.048. La distancia entre ambos piezómetros es de 6 km. Con los gradientes obtenidos se ha realizado el ajuste de caudales de entrada con el valor bibliográfico aportado por el ITGE, para 1994 de 5,7 hm<sup>3</sup>/año.

La Figura 42 muestra la comparación entre los datos obtenidos con dicho ajuste y con el ajuste lineal obtenido con el mismo valor bibliográfico, pero utilizando los valores de precipitación anual. En este sentido, se ha considerado que el dato de abril de 2002 no es representativo del conjunto del año y por este motivo, no ha sido empleado en el ajuste de volúmenes de entrada.



Nota: Los valores de 1.992 y 1.993 en la curva de gradientes han sido interpolados.

Figura 42. Valores de evolución anual de entradas laterales desde la unidad del Algar-Quart hacia la Plana utilizando el ajuste de gradientes o de precipitaciones.

La comparación de ambas curvas confirma que se trata de datos anuales comparables en magnitud y con una cierta relación mutua. Los valores obtenidos por el método del gradiente muestran una tendencia mucho más suavizada y con un cierto retardo

respecto a la curva de precipitaciones. De esta forma, los valores entrados finalmente en el modelo corresponden a los volúmenes anuales obtenidos con el método de los gradientes, interpolando los valores anuales desconocidos, siguiendo la tendencia que muestra en dicho tramo, la curva del método de precipitaciones.

El rango de caudales de entrada por el contacto, obtenida para el periodo 1/1.990 a 12/1.999 varia entre los 8,4 y los 4,5 hm<sup>3</sup>/año. Los valores interpolados de 1992 y 1993 representan 7 y 6 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente.

Por otra parte, las transferencias al acuífero de Les Valls desde el acuífero de Salto del Caballo se han cuantificado en los estudios del IGME (1995), obteniéndose un volumen para 1993 entre 1,66 y 2 hm<sup>3</sup>/año.

### **5.2.1.3 Aportes directos desde manantiales**

Existen 3 manantiales importantes en la zona de estudio: las balsas de Almenara o Estanys, la Font de Quart y la Font de la Llosa.

Los datos existentes son:

#### **□ Balsas o Estanys de Almenara:**

En 1984 TEYGESA (2001) cita que se aforó un caudal de 2 hm<sup>3</sup>/año en dicho punto. Por otro lado, los estudios de TEYGESA (2001) entre el periodo de sequía de 1997 y 1998 le estimaron un caudal de salida mucho menor, cercano a 0,3 hm<sup>3</sup>.

El aforo de los Estanys no es simple, debido fundamentalmente a sus contactos laterales con canales, su extensión y su profundidad. Los datos preexistentes otorgaban a las balsas una cota de surgencia de +1,7 msnm. Sin embargo, datos obtenidos en el presente estudio han revelado una cota mucho menor, con 3 puntos de surgencia sumergidos de las balsas, a cotas entre -6 a -1 msnm y un abrupto perfil de sus paredes .

El caudal de salida de la surgencia es consecuencia directa del caudal aportado en este punto por la Unidad del Salto del Caballo, presentando oscilaciones similares a la de dicha unidad carbonatada.

□ **Font de la Llosa:**

INTECSA en 1990 citó en su inventario de puntos de agua, una salida media por el Manantial de La Llosa de 4-5 hm<sup>3</sup>, aunque los datos estimados de aportes por INTECSA para riegos procedentes de esta fuente, en el mismo informe, eran únicamente de 0,325 hm<sup>3</sup>/a. Durante 1998, el agua aportada, según TEYGESA, fue mucho menor, con un volumen anual de 0,02 hm<sup>3</sup>.

No existen datos diarios de aforo de la Font de la Llosa. Los estudios preexistentes citan un comportamiento muy irregular de la surgencia, con bajos caudales que pueden durar tan solo días (entre 1997 y 1998 la fuente brotó entre 7 y 8 días). La cota de la propia surgencia, aproximadamente 7 metros por encima de Los Estany, así como la presencia cercana de pozos de abastecimiento favorecen esta hipótesis.

Asimismo, la respuesta de dicha fuente a las precipitaciones parece ser muy rápida. La correlación entre las precipitaciones mensuales halladas por el programa SIMPA y los aforos semanales de 1998 indican una respuesta inferior al mes, que algunos informes atribuyen a una cierta carstificación poco conocida.

Estos hechos complican su representación a partir del presente modelo que la simula considerándola como un dren, dentro del acuífero del Salto del Caballo.

□ **Font de Quart:**

Los datos procedentes de la red de control foronómico del IGME otorga un caudal medio anual en la Font de Quart, entre 1990 y 2002, de 284 m<sup>3</sup>/d. El máximo de la década se obtuvo en septiembre de 1990, con 616 m<sup>3</sup>/d y el mínimo en abril de 1.999, cuando la fuente quedó seca. Es importante destacar que dichos valores quedan muy lejos del aforo obtenido en los años 70 por el IGME, de 25.000 l/m (36.000 m<sup>3</sup>/d).

En este caso, los aportes de esta fuente que han sido incorporados al modelo, corresponden a los aforos realizados en el mismo periodo. Para ello, al existir tan sólo una veintena de aforos en la década, se han calculado los aportes anuales utilizando el promedio de los aforos obtenidos en cada año.

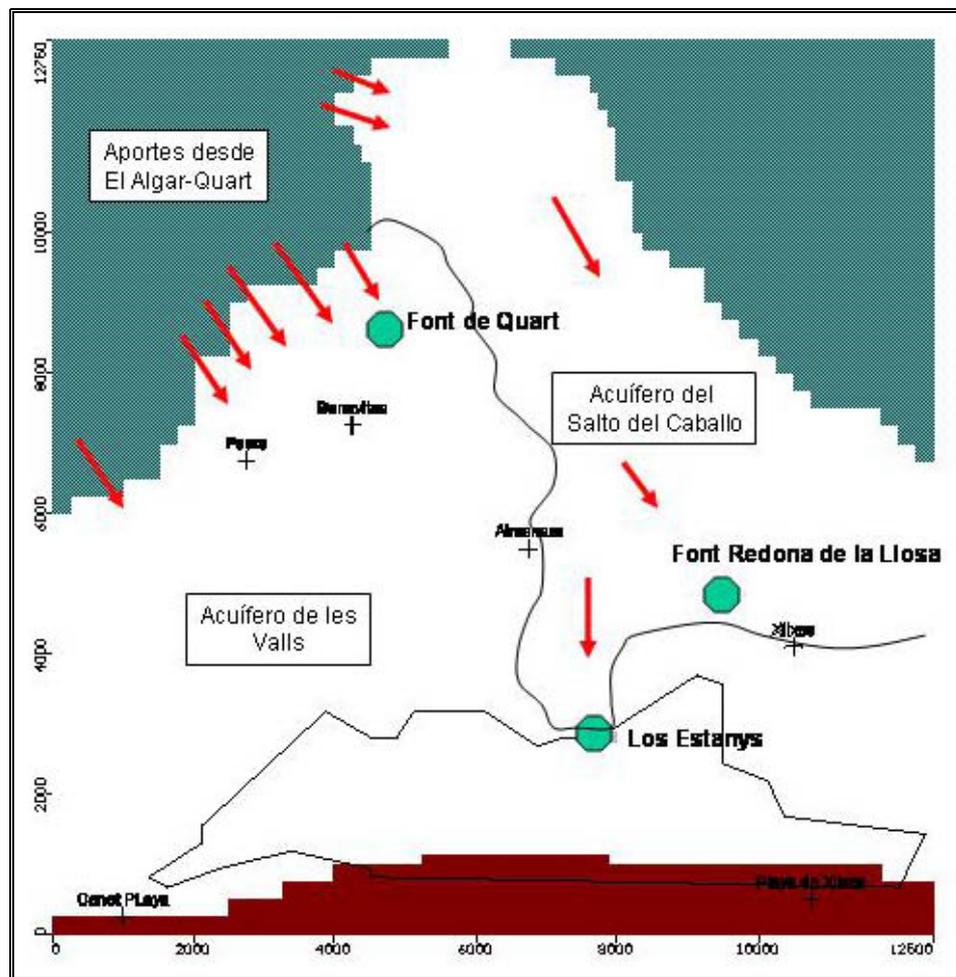


Figura 43. Ubicación de manantiales, especificando fuentes y líneas de entrada.

#### **5.2.1.4 Entradas al Acuífero del Salto del Caballo desde el Acuífero de Algar-Quart.**

En el estudio del ITGE (1995), se da la cifra de 6.67 hm<sup>3</sup>/año en 1993. En el estudio elaborado por TEYGESA, (2000), citan para 1997 y 1998, una transferencia menor, cercana a los 2,5 a 3 hm<sup>3</sup>/año.

Con los datos existentes se han realizado una serie de ajustes lineales y cuadráticos, que relacionen los aportes subterráneos con las precipitaciones. El resultado final ha

sido la elección del ajuste lineal, que ha proporcionado la serie de aportes que se muestra en la siguiente Figura 44.

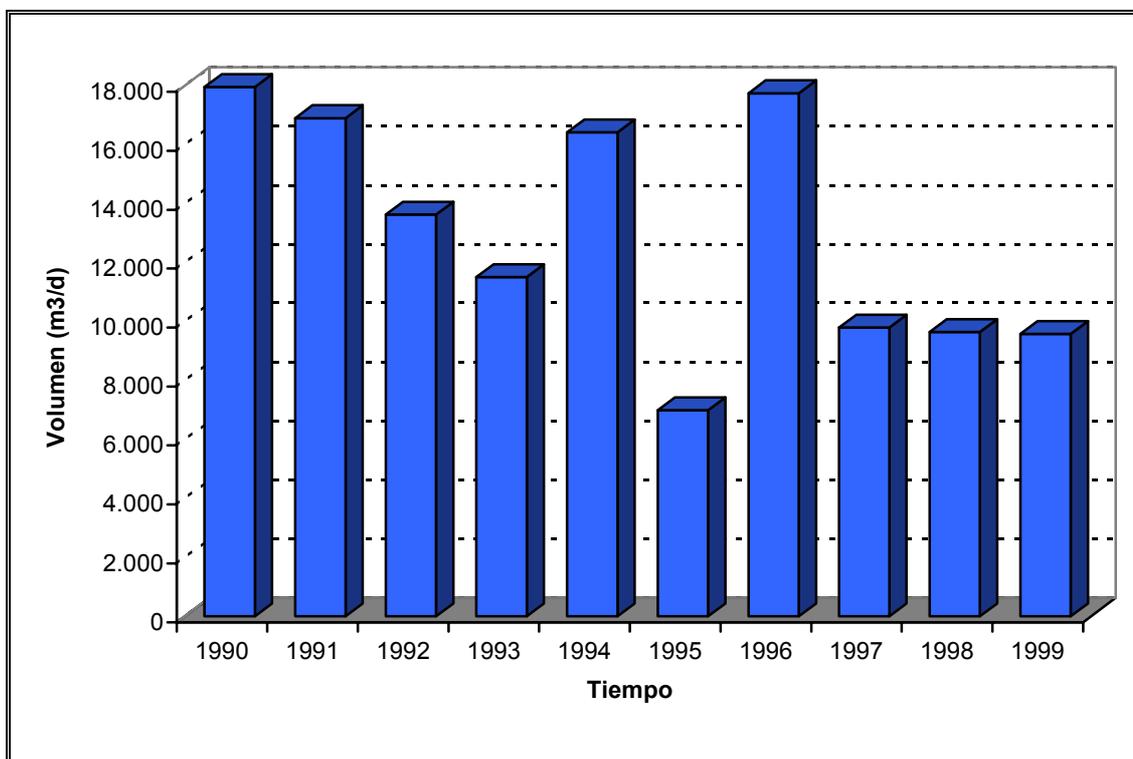


Figura 44. Serie estimativa de aportes subterráneos desde el acuífero del Algar-Quart hacia el acuífero del Salto del Caballo para el periodo 1990-1999.

La inexistencia de un piezómetro en la zona del acuífero del Salto del Caballo, cercano al contacto con el acuífero del Algar-Quart ha imposibilitado establecer las entradas a partir del cálculo de la variación del gradiente hídrico anual. En dicha estimación, los valores de aportes oscilan entre los 3 y los 6,5 hm<sup>3</sup>/año, para el periodo analizado.

#### **5.2.1.5 Recarga directa por lluvia**

En el estudio de INTECSA (1991), se cita una lluvia útil de 100-110 mm/año para la Unidad Hidrogeológica de la Plana de Castellón.

Sin embargo, los valores obtenidos de recarga en la zona de estudio a partir de SIMPA son netamente inferiores a los anteriores, con un valor medio anual, en el

periodo 1991-2000 de 50 mm/año. Dicho valor presenta además una variabilidad notable, con un rango anual que ha variado durante el mismo periodo temporal entre 1 y 10 hm<sup>3</sup>/año.

### 5.2.1.6 Recarga por retorno de riegos

En el estudio de INTECSA (1990) se consideró un valor de retorno de riego del 25% de las extracciones agrícolas. Ello supone en el periodo de estudio, un retorno subterráneo de riegos para las extracciones del sector castellonense del marjal, citadas en dicho informe, entre 6 y 7 hm<sup>3</sup>/a. Extendiendo dicho valor a toda la zona del modelo, la recarga total extrapolada sería de unos 12-14 hm<sup>3</sup>/año.

La estimación actual de recarga por retorno de riegos parte de los datos procedentes de la UDA, aportados por la CHJ, en el ámbito de la zona de estudio. Dichos datos son similares, en la zona castellonense del marjal, a las estimaciones de retorno realizadas a partir de los datos de extracciones del informe de INTECSA (1991).

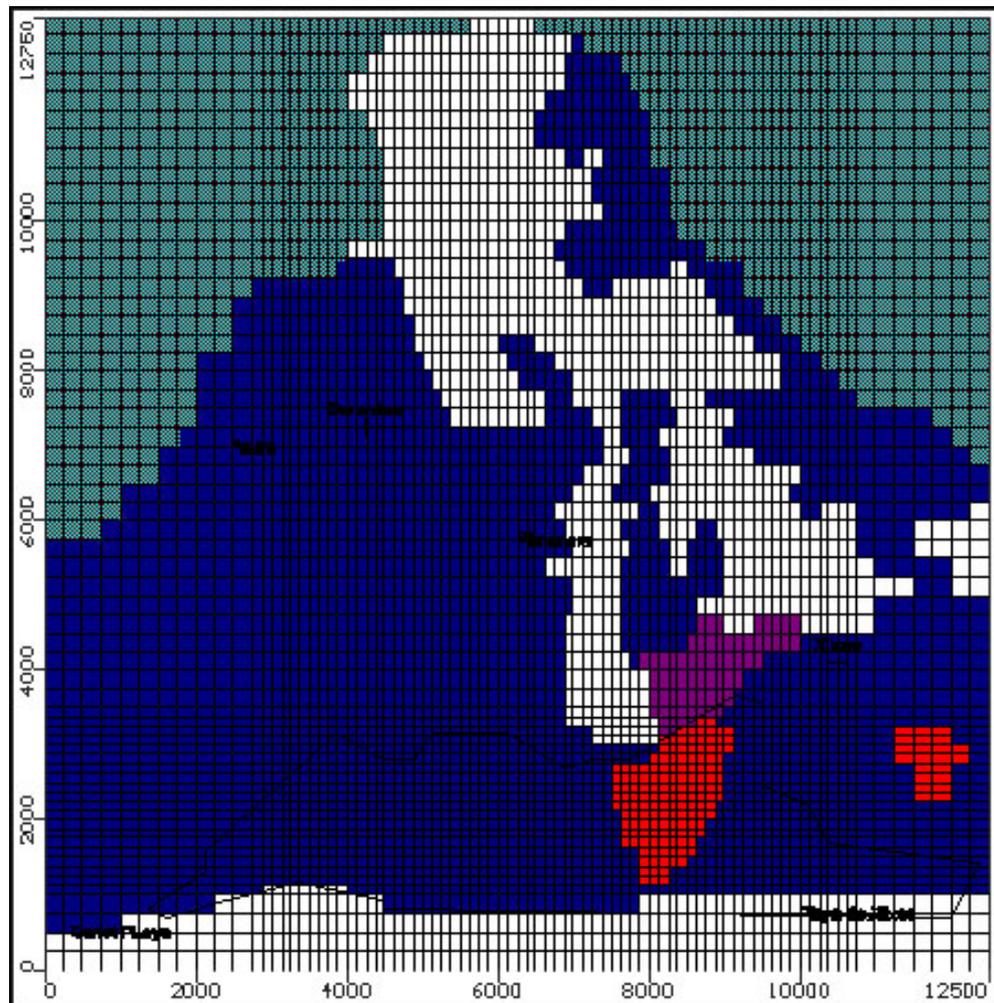
La Tabla 11 sintetiza las UDA existentes en el ámbito del marjal, así como los caudales de retorno que aporta cada una de ellas a los acuíferos.

**Tabla 11. Valores de retorno por riego mediante aguas subterráneas de las diferentes UDA existentes en el ámbito de estudio de los acuíferos Les Valls y Salto del Caballo.**

Nombre UDA	Retorno total acuífero (hm <sup>3</sup> /año)	% de UDA dentro de la zona de estudio	Retorno en el ámbito geográfico del modelo (hm <sup>3</sup> /año)
Fuente de Quart	10,52	55 %	5,7
Fuente de la Llosa y nuevos regadíos	10,31	60 %	6,1 (2.75 en Salto del Caballo y 3.35 en aq de Les Valls))
Camp Morvedre y pequeños regadíos	3,12	100 %	3,12
Acequia mayor de Sagunto	4,2	15 %	0,6

De todas formas, el valor total de recarga por retornos subterráneos asciende a 15,5 hm<sup>3</sup>/año, superior al calculado siguiendo el método de INTECSA (1991). Gran parte de la diferencia se obtiene de considerar que en la UDA de la Font de Quart, la recarga es del 50% de la extracción bruta. De conservarse el 25% en que se basó el cálculo de INTECSA (1991), el valor total de recarga sería de 12,6 hm<sup>3</sup>/año.

La Figura 45 muestra los grandes grupos de zonificación espacial de la recarga directa por precipitación y retorno de riegos que ha sido implementada al modelo.



**LEYENDA:**  
 Color blanco: Zona que únicamente presenta recarga por lluvia.  
 Zonas de riego (Recarga por lluvia + percolación de riegos)  
     Violeta < 100 mm/a  
     Azul entre 100 y 200 mm/a  
     Rojo entre 200 y 260 mm/a.  
 Verde: celdas inactivas, distancia XY en metros

Figura 45. Distribución de los valores medios anuales de recarga por retorno de riegos y lluvia (mm/año) en el ámbito del modelo.

Se ha de tener en cuenta que posiblemente la recarga directa hacia el acuífero del Salto del Caballo no tenga una distribución tan regular a lo largo de toda su área aflorante, sino que, dentro de las áreas de recarga definidas, se concentre a partir de zonas, estructuras o formaciones geológicas preferentes. Un conocimiento en detalle del modelo conceptual de funcionamiento de este acuífero podría proporcionar dicha información.

### **5.2.1.7 Salidas de agua del sistema**

Las principales salidas de agua del acuífero de Les Valls, las constituyen la evapotranspiración, las extracciones por bombeo, la salida subterránea de agua dulce al mar y, en la zona del marjal, el drenaje provocado por los canales.

#### *5.2.1.7.1 Evapotranspiración*

Únicamente se ha hallado un valor histórico estimado de la evapotranspiración del acuífero de les Valls en el perímetro del marjal, procedente del estudio del IGME (1986), evaluándolo en 5,5 hm<sup>3</sup>/año, para el periodo 1977-1980.

#### *5.2.1.7.2 Extracciones de agua subterránea*

Las extracciones de agua subterránea son probablemente uno de los factores que muestra una mayor evolución, dado que las del sector sur del marjal (el norte del T.M. de Sagunto), obtenidos a partir de los datos de caudales concedidos o demandados por los usuarios, existentes en el registro de la CHJ, varían entre 22,8 y 35,5 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente.

De este modo, partiendo de los datos anteriores, el estudio de actualización llevado a cabo en el estudio ambiental ha tasado el volumen anual de extracciones para uso agrícola en el acuífero de Les Valls, durante el periodo 1/1990-12/1999, en 25-28 hm<sup>3</sup>/año.

Las extracciones de abastecimiento a poblaciones son de magnitud muy inferior a las de uso agrícola. Los datos obtenidos les otorgan un volumen medio anual de 1,5-3 hm<sup>3</sup>. Dichos datos son además, coherentes con las estimaciones de caudal de agua

depurado procedente de las diferentes estaciones depuradoras de aguas residuales de la zona de estudio.

El abastecimiento de Almenara (0,45 hm<sup>3</sup>/año, INTECSA (1991)) procede parcialmente de la Font de Quart, estando sus pozos actualmente parados en situación de reserva, como ocurre también en las captaciones de La Llosa. Asimismo, los pozos de La Llosa han mostrado episódicamente una cierta actividad extractiva, del orden de 240 m<sup>3</sup>/día.

Por último, las extracciones industriales, dentro del ámbito del estudio no se han considerado, al situarse las principales empresas consumidoras de agua fuera del entorno del marjal y del modelo. De esta forma, en la zona de estudio se han considerado 130 núcleos de extracción activos.

Igualmente, los valores históricos que se conocen son los siguientes:

#### 5.2.1.7.2.1 Extracciones del acuífero Salto del Caballo

Los valores citados por TEYGESA (2000), anteriores a 1995, ascienden a 4,4 hm<sup>3</sup>/año a partir de datos obtenidos en una campaña de campo. Anteriormente, INTECSA (1991), a partir de datos procedentes del registro de agua les otorgaba en 1.990 un volumen cercano a los 14 hm<sup>3</sup>/año. El valor actualizado que se considera en el modelo para este acuífero será de 4,9 hm<sup>3</sup>/a.

#### 5.2.1.7.2.2 Extracciones del acuífero de Les Valls

Se disponen de datos parciales del sector castellonense del marjal a partir del inventario de extracciones de INTECSA (1991), realizado a partir de cálculos con datos procedentes de las confederaciones de regantes y con datos del registro de aguas. De este modo, en el sector norte del marjal, las extracciones agrícolas citadas en dicho informe oscilan entre los 3,8 y 11,4 hm<sup>3</sup>.

#### 5.2.1.7.3 *Salidas subterráneas al mar*

La descarga al mar se realiza a partir de toda la franja del acuífero de Les Valls, en contacto con la línea de costa. Según TEYGESA (2000), los valores anteriores a 1995 ascendían a 11,5 hm<sup>3</sup>/año, reduciéndose muy significativamente en la actualidad, debido a una combinación de factores climáticos y de grado de explotación en los acuíferos del Salto del Caballo y Algar-Quart.

El contraste del balance con la piezometría permite observar que las entradas de agua marina se verifican básicamente en los márgenes del marjal, especialmente en la zona de Chilches, al norte. La existencia de valores positivos de nivel freático en el sector central de la zona húmeda provoca una descarga permanente de agua dulce al mar. Dicha situación se corrobora con los datos procedentes de la red de control de intrusión existente.

Esta situación local en la relación agua continental/agua marina no es representativa de la del resto del acuífero, al constituir el marjal una importante zona singular de recarga de agua dulce hacia el acuífero. De hecho, al final de la década, los piezómetros dentro de la unidad detrítica, pero externos a el marjal muestran, como ya se ha citado, niveles de agua freática bajo la cota del mar.

## **5.2.2 Datos de balance obtenidos a partir del ajuste del modelo numérico**

### **5.2.2.1 Entradas de agua al sistema**

#### *5.2.2.1.1 Recarga a través de los canales de distribución de agua en el marjal*

No existen datos preexistentes sobre la recarga de agua a partir de los canales de distribución de escorrentía superficial de la Plana en la zona de estudio. Sin embargo, se ha comprobado que los valores de caudales de salida al mar son muy significativos y se ha constatado la existencia de lámina de agua permanente en los canales durante todo el año. La justificación de los caudales superficiales circulantes por los canales se encuentra en el anejo correspondiente a la elaboración del modelo matemático.

El análisis de la recarga a partir de los canales se ha obtenido a partir del presente modelo. Los valores que se obtienen varía, en función de la diferencia de cota entre el nivel freático y el canal. Considerando estos factores, y una cierta conductancia hidráulica entre el canal y acuífero (un valor medio de  $C$  de  $550 \text{ m}^2/\text{d}$ ) obtenida por calibración, de forma que se infiltran entre 8 y  $17 \text{ hm}^3/\text{a}$ , durante el periodo 1/1990-12/1999.

De todas formas, el grado de conocimiento en detalle del revestimiento o colmatación de los canales no permite un resultado más exacto. Lo que si se observa es un importante incremento del potencial de recarga, a medida que se suceden los años

más secos de la década. Dicho incremento es inversamente proporcional al grado de drenaje del sistema de canales, que se cuantifica a continuación.

### **5.2.2.2 Salidas de agua**

#### *5.2.2.2.1 Cálculo del drenaje a partir de los canales de distribución.*

De forma análoga la recarga, el análisis del drenaje a partir de los canales se ha obtenido a partir del modelo de flujo, calibrando la conductancia o relación hidrogeológica entre el canal y el acuífero, a partir de los datos piezométricos y de la relación geométrica entre la dimensión de la celda del modelo y la dimensión de los canales (ver capítulo 7). Considerando los mismos factores que en el caso de la recarga, se han drenado entre 1,5 y 8,5 hm<sup>3</sup>/a, durante el periodo 1/1990-12/1999.

#### *5.2.2.2.2 Cálculo de la ET del acuífero.*

Los valores de recarga por lluvia procedentes de balances hidrometeorológicos no contemplan en sus valores de ET, el efecto de evapotranspiración, de agua freática.

En zonas con niveles freáticos deprimidos y amplias zonas no saturadas, esto no representa un gran error, ya que la capacidad de evapotranspiración de agua procedente de la zona saturada es mínima. Sin embargo, en zonas húmedas o con niveles freáticos muy someros, dicha detracción de agua puede ser muy significativa.

Para el cálculo de la ET del acuífero en este estudio se parte de los datos meteorológicos de las estaciones existentes en la zona. En la Tabla 12 se muestran los valores históricos mensuales de la ETP media, obtenidos en las estaciones de Castellón y de Onda, representativas respectivamente de la zona costera y del interior de La Plana.

**Tabla 12. Valores de la ETP medios mensuales (mm).**

Estación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Onda	68.2	34.9	25	20.8	20.8	41.4	53.3	88.1	116.3	153	145.8	103
Castellón	71.2	39.8	25	23.4	23.2	38.2	53.3	88.1	116.3	153	142.2	106.1

Fuente: Plan Hidrológico de la CHJ, documentación básica en INTECSA, (1991), estaciones meteorológicas de Castellón (costa) y Onda (el Carmen), representativas de la zona litoral y del interior

El valor anual de la ETP en cada una de las estaciones es de 880 mm en Castellón y 870 mm en Onda. La ETP obtenida por este método suele representar un valor máximo de salida de agua del sistema hídrico.

La ET del acuífero se ajustará en el modelo considerando que ésta se produce en función de la diferencia de cotas entre la topografía y el nivel freático, siempre que ésta diferencia sea inferior a 1 metro.

De este modo, consideraremos una ET del acuífero igual a la ETP, cuando el nivel freático sea igual o superior a la cota topográfica en el marjal, para linealmente ir disminuyendo hasta hacerse 0, al superar el metro de profundidad.

Con estos condicionantes se obtiene un rango máximos de la ET en el acuífero de Les Valls entre 6.1 a 12 hm<sup>3</sup> anuales, dentro del periodo analizado, con un valor medio de 9 hm<sup>3</sup>/año.

Es importante destacar que, si se realizase un análisis de sensibilidad de dicho factor, incrementando la profundidad de influencia hasta 3 metros, el volumen evapotranspirado aumenta hasta 5 hm<sup>3</sup>.

Sin embargo, se ha escogido una profundidad de 1 metro ya que coincide con la profundidad de la zona radicular de muchas de las especies vegetales que han sido descritas en el estudio ambiental del marjal.

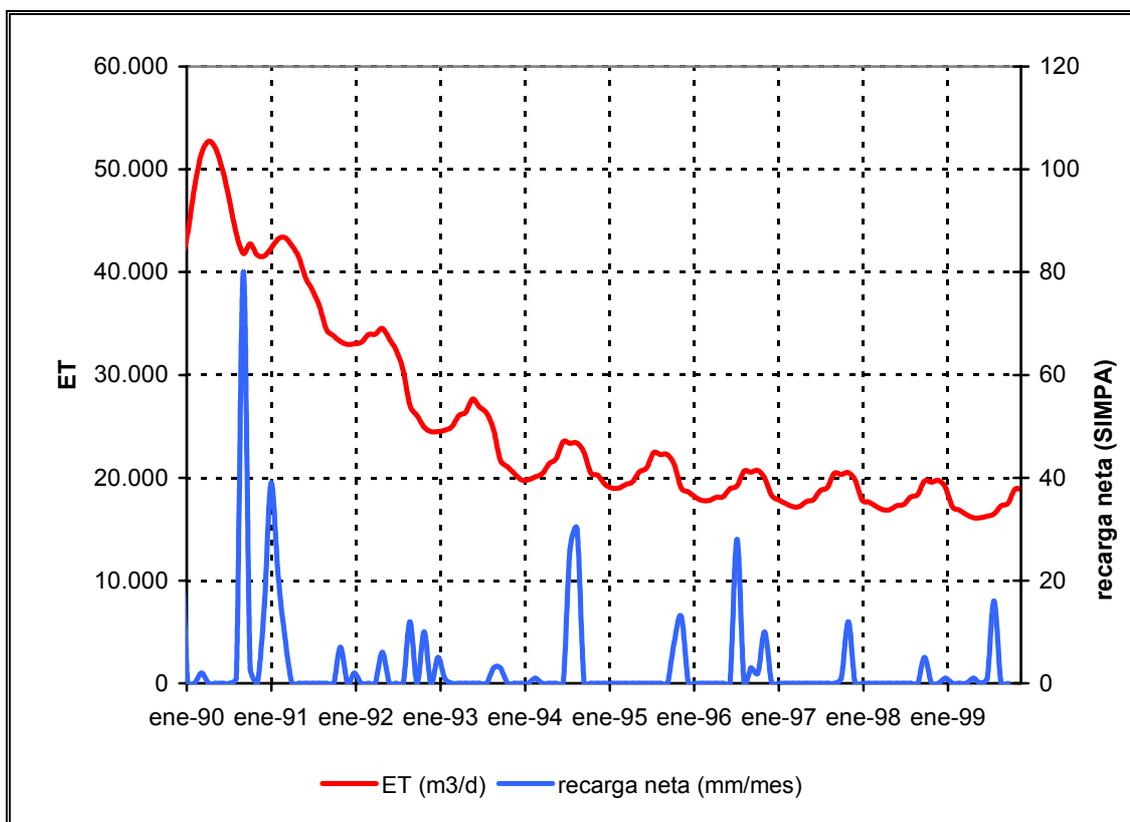


Figura 46. Evolución de la ET del acuífero a lo largo del periodo estudiado y su relación con la recarga por lluvia, obtenida a partir del programa SIMPA.

En la Figura anterior también se observa que existe una significativa correlación entre los principales picos de recarga neta y la tendencia general a la disminución de la ET a lo largo de la simulación. Ello es coherente con el aumento de niveles que experimenta el acuífero en periodos de recarga y con el hecho que es en estas situaciones de nivel freático elevado donde la ET del acuífero es mayor. Es asimismo coherente que la ET siga una tendencia a la disminución, que se marca también en las evoluciones de nivel freático, estimadas a partir de los piezómetros en la zona de estudio.

### 5.2.2.3 Volúmenes de entrada y salida de agua al mar

Los valores medios de entrada de agua desde el mar que obtienen con el modelo en el ámbito de estudio oscilan entre los 0,2 y los 1 hm<sup>3</sup>/anuales, siendo similares aunque inferiores a las descargas hacia el mismo, que rondan los 0-3,5 hm<sup>3</sup> anuales. Ello implica que, en el ámbito de influencia del humedal, no existen fenómenos intensos de

intrusión marina, tal y como sucede en otros sectores adyacentes y como corroboran los datos de conductividad y cloruros procedentes de la red de control de la Intrusión (ver apartados 6.4 y 3.4.1).

#### **5.2.2.4 Balance de aguas superficiales en el marjal**

##### *5.2.2.4.1 Análisis de los caudales circulantes por la red de canales*

La cuantificación del caudal de agua superficial circulante por la red de canales, no es un parámetro básico para la modelación del acuífero, ya que el parámetro fundamental de trabajo no es el caudal superficial, sino el nivel de agua en el canal y la cota de base del mismo. Sin embargo, su cuantificación aporta robustez a los resultados obtenidos, ya que tiene que ser consistente con los valores de caudal drenado por los canales.

Los caudales se han obtenido con dos métodos independientes, mediante un balance hídrico detallado centrado en la zona descarga final, en las golos y a partir de los aforos directos en los canales.

#### □ **Método del balance hídrico**

El agua incorporada a los canales procede de diversas fuentes, que pueden desglosarse de la siguiente forma:

- **Aportes superficiales procedentes de los retornos de riego.** TEYGESA, en su informe de 2001, estima en  $1 \text{ hm}^3/\text{año}$  el valor de la escorrentía superficial atribuida a retornos de riego procedente de las unidades de Algart-Quart y Salto del Caballo, que es canalizada hacia el marjal. Dicho valor corresponde a una extracción de  $13 \text{ hm}^3$  en ambos acuíferos. Manteniendo dicha relación, la escorrentía superficial generada en les Valls por el mismo concepto, sería de  $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Ello daría un total de  $3 \text{ hm}^3/\text{año}$ .
- **Aportes procedentes de las EDAR de la zona.** Dicho valor se ha cuantificado a partir de los datos aportados por la Entidad de saneamiento de aguas (COPUT), estimándose un caudal cercano a los  $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

- **Drenaje del marjal en el periodo 1/1990-12/1999.** El drenaje medio del marjal, obtenido para el período 1/1990-12/1999 por el modelo, asciende a  $4 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Con todo, este valor es inferior, al tratarse de una década con predominio de años secos, al valor de drenaje de un año medio desde el punto de vista de las precipitaciones, que es de  $7,0 \text{ hm}^3/\text{año}$ .
- **Escorrentía superficial de la cuenca hidrográfica ( $90 \text{ km}^2$ );** La escorrentía superficial de la cuenca se ha estimado a partir de los datos de escorrentía calculados por el programa SIMPA (Figura 47). Dando un valor medio de  $108 \text{ mm/año}$  para el periodo 1.940-2.001, considerando que la escorrentía cumple la siguiente ecuación:

$$\text{Escorrentía superficial} = \text{Precipitación} - (\text{Evaporación real} + \text{recarga})$$

Ello representaría una escorrentía superficial, para los  $90 \text{ km}^2$  de cuenca, de  $9,7 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

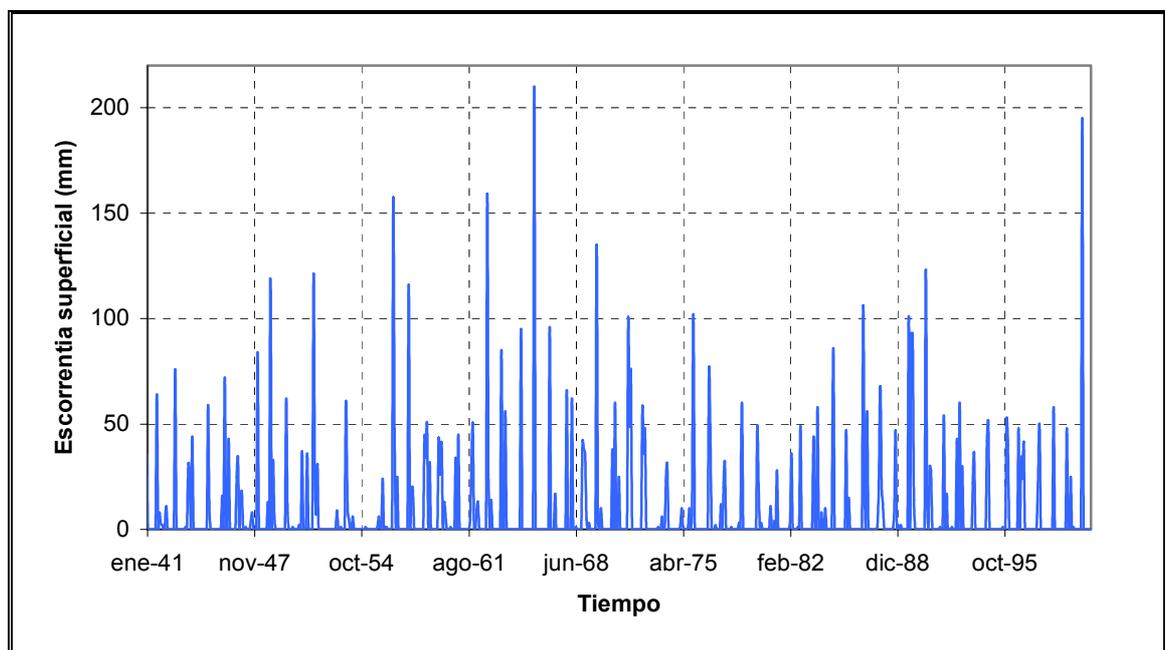


Figura 47. Evolución de la escorrentía superficial mensual, calculada a partir del programa SIMPA.

- **Aportes canalizados desde las fuentes.** La Font de la Llosa han sido históricamente canalizada hacia la red de canales del marjal, para el aprovechamiento parcial por los regantes. Los Estanys también han tenido un cierto aprovechamiento. En los últimos años, los caudales aforados en dichas fuentes han sido significativamente inferiores a los históricos. De esta forma, el dato medio histórico de aportes desde la Font de la Llosa es de unos 0,9 hm<sup>3</sup>/año (INTECSA 1991).

El conjunto de datos obtenido en el balance de entradas para un año climáticamente medio, asciende a 23 hm<sup>3</sup>.

#### □ **Datos de aforos en canales**

Los datos de aforo en canales son escasos y discontinuos. Tradicionalmente, dichas mediciones se han efectuado en la salida al mar de las 2 golas principales. De esta forma, el ITGE, en la Gola Casablanca en 1984, afora un valor medio de 11,5 hm<sup>3</sup>/año.

Con posterioridad, en 1996, la Conselleria de Medi Ambient cuantifica un valor medio en la Gola de l'Estany-Almardà, de Sagunto, situada en el sector meridional del marjal entre 0,5 m<sup>3</sup>/s en periodos de Q medio y los 2 m<sup>3</sup>/s, en caso de avenidas. Ello representa un caudal medio en dicha gola de 15 hm<sup>3</sup>/año.

En el presente estudio se han confirmado los siguientes aspectos durante el periodo enero-agosto 2002:

- Las golas del Almardá y Casablanca son las dos salidas principales, que pueden representar más del 90% de la totalidad de salida superficial al mar. Las dos golas restantes, Queralt y L'Estanyol, no presentan salida natural significativa salvo en casos excepcionales de avenida.
- Los caudales medidos en la salida de las golas son muy variables. Con todo, se puede establecer un caudal medio para cada una de las 2 golas (Casablanca y Almardà), cercano a los 11-15 hm<sup>3</sup>/año. Ello da un caudal medio total de 26 hm<sup>3</sup>/año, en un periodo climáticamente húmedo.

#### 5.2.2.4.2 *Discusión de los resultados*

La discrepancia entre los valores obtenidos a partir del balance de entrada y de los aforos se sitúa entre -1 y +7 hm<sup>3</sup>/año. El régimen de apertura y cierre de golas y motores aporta una importante incertidumbre a la extrapolación de dichos datos. Del mismo modo, crecidas puntuales del canal, debido a lluvias excepcionales, unido al efecto de laminación que generan los humedales frente a dichos fenómenos, también pueden distorsionar la extrapolación de las medidas de aforos en el sentido de incrementar puntualmente el valor medido, no siendo representativos de un periodo de tiempo mayor.

El valor calculado de recarga desde los canales es inferior al valor de entradas obtenido con los dos métodos. Del mismo modo ocurre con el valor de drenaje. La diferencia entre recarga y drenaje por los canales es en el periodo efectuado, del orden de 2:1. Esta relación se reduce a 1:1 si se considera un año climáticamente medio.

Se ha de tener en cuenta también que la recarga y el drenaje no se produce de forma simultánea en un mismo tramo de canal y que la primera suele predominar en las zonas más alejadas de las golas, con una mayor cota topográfica, mientras que el drenaje predomina en las zonas del marjal con cotas inferiores, mucho más próximo a las zonas de aforo de los canales.

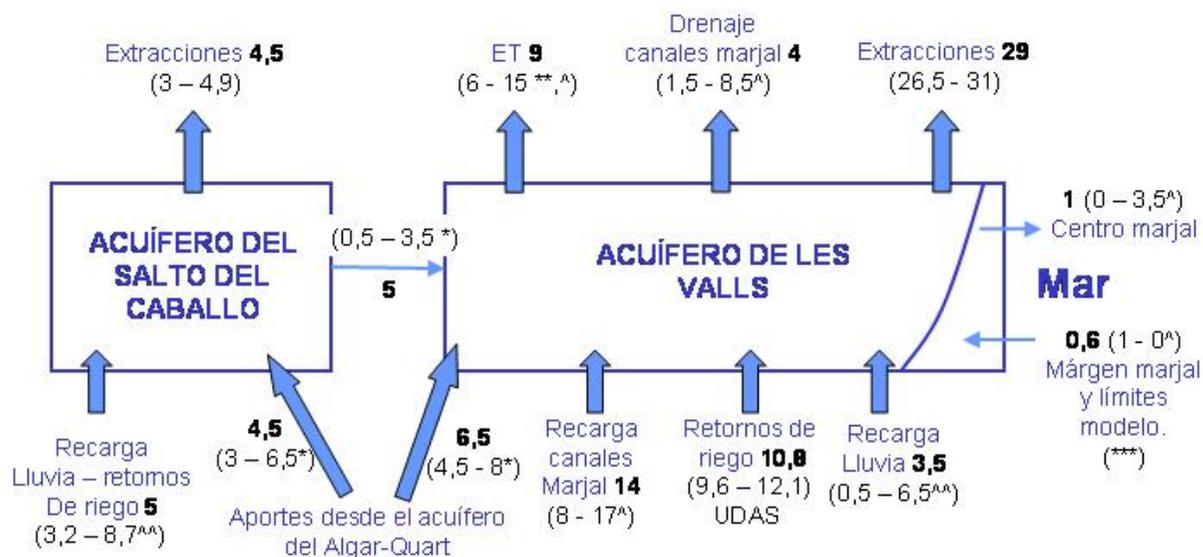
#### **5.2.3 Síntesis de la totalidad de datos de balance obtenidos**

El conjunto de datos existentes y calculados reflejan un balance hídrico cuya relación con el modelo conceptual del acuífero se muestra en la Figura 48.

**BALANCE HÍDRICO ACUÍFERO DE LES VALLS Y DEL SALTO DEL CABALLO.**

**Ámbito del modelo numérico**

PERIODO 1/1.990-12/1.999. Valores en hm<sup>3</sup>/año.



(\*) Valor bibliográfico; (+) Valor del modelo; (\*\*) Valor función de la profundidad de evapotranspiración  
 (\*\*\*) Valor modelo SIMPA  
 (\*\*\*) La diferencia existente entre entradas y salidas en el acuífero de les Valls se compensa probablemente por la entrada de agua marina en zonas limítrofes con la marjal de Almenara, en los municipios de Moncofar y Sagunto. Sin embargo, ello no se produce en el frente costero de la zona húmeda.

Figura 48. Balance hídrico del acuífero detrítico de les Valls y del Salto del Caballo en el ámbito del modelo para la década 1990-1999.

## 6 CONDICIONANTES DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL MARJAL

### 6.1 PRESIONES EN LA CUENCA VERTIENTE

El Marjal de Almenara se encuentra en la actualidad en una situación muy alejada de lo que debía ser este hábitat tiempo atrás; está fuertemente antropizada debido a la implantación de cultivos, los canales y turbinas realizados para controlar el nivel de las aguas y la propia presencia humana.

Los principales problemas que afectan a la calidad de las aguas que recibe el humedal son:

- Contaminación por productos fitosanitarios, utilizados para proteger las cosechas de cítricos, los cuales rodean en la actualidad el humedal casi en su totalidad. Estos productos (pesticidas, herbicidas, abonos, etc...) provocan un fenómeno de contaminación difusa en las aguas que llegan al humedal y que a su vez recargan el acuífero sobre el que ésta se asienta, el de la Plana.
- Contaminación ocasionada por los vertidos domésticos, industriales y ganaderos a las acequias de la zona húmeda, manifestándose estos en forma de burbujas producidas por el fenómeno de la desnitrificación y el mal olor, apreciable sobre todo en épocas estivales de mas calor y menor caudal.
- Contaminación del acuífero por la incorporación del agua depurada proveniente de los vertidos urbanos que se tratan en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) de los distintos municipios, ya que en muchos casos el vertido se realiza directamente a las acequias del humedal sin un proceso de eliminación de fósforo.
- Disminución de los caudales de agua que le llegaba desde el acuífero del Salto del Caballo, con la consiguiente problemática de descenso de los niveles de agua y aumento de la concentración de sustancias potencialmente perjudiciales para la flora y fauna.

- Relleno de tierras para poder cultivar por encima del nivel freático del humedal. Estos rellenos se han realizado en ocasiones con material de derribo y sin retirar los elementos potencialmente contaminantes que pudieran contener.
  
- A escasos metros de una zona de gran interés medioambiental como son los Estanys de Almenara, se encuentra ubicado un vertedero de residuos sólidos urbanos, el cual pertenece al término municipal de Almenara. Dicha instalación no posee ningún tipo de tratamiento de sellado ni de control de los materiales allí depositados, siendo el único elemento de control una barrera mecánica que limita el acceso.

## 6.2 CALIDAD MÍNIMA EXIGIBLE

La Ley 46/1999, de 13 de Diciembre, de modificación de la Ley 29/1985, de 2 de Agosto, de Aguas, en la línea de la Directiva 2000/60/CE marco de aguas (DMA), propugna la consecución del buen estado ecológico de las aguas, determinado a partir de indicadores de calidad biológica, físico-químicos e hidromorfológicos, inherentes a las condiciones naturales de cualquier ecosistema hídrico.

Se entiende por contaminación, a los efectos de la Ley de Aguas, la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

En la citada Ley 46/1999 se define el estado ecológico como “Una expresión de la calidad de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales”. También en la Ley se plantean como objetivos ambientales la prevención del deterioro del estado de todas las masas de agua superficial así como proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua superficial con objeto de alcanzar el buen estado de las masas de agua a lo más tardar 15 años después de la entrada en vigor de la DMA.

Para conseguir dichos objetivos es necesario llevar a cabo una serie de controles a nivel de cuenca hidrográfica, de manera que podamos determinar el estado de las masas de agua en base a una serie de parámetros que consisten en el análisis de los indicadores biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos que determinan el buen estado ecológico.

Los objetivos de calidad sobre los elementos del Dominio Público Hidráulico, de acuerdo a la Ley de Aguas, se plantean en base al mantenimiento o mejora de los actuales niveles de calidad y la ampliación de los usos posibles. En el artículo 31 del Plan Hidrológico del Júcar (RD 1664/1988) se establecen los diferentes objetivos de calidad de los tramos fluviales:

- ❑ Producción de agua potable (consumo humano)
- ❑ Aptas para la vida de los peces
- ❑ Aptas para el uso de baño
- ❑ Riego: actualmente no existe una normativa vigente que regule la calidad exigible a las aguas superficiales destinadas a riego.

En función de cada uso, la calidad requerida por las aguas superficiales viene definida por una serie de parámetros físico-químicos y microbiológicos, dividiéndose en grupos de calidad, donde, para cada uno de ellos se fijan los límites máximos de concentraciones al nivel conveniente.

### **6.2.1 Parámetros limitantes de la calidad**

En todos los medios y, sobre todo, en los humedales, el agua es un recurso natural de vital importancia. Desgraciadamente, los problemas de contaminación, los vertidos y la eutrofización, están produciendo unos cambios en la calidad de las aguas de consecuencias nefastas para la flora y la fauna que allí vive. En general, los humedales funcionan como una gran depuradora biológica que elimina las sustancias contaminantes del agua gracias a su metabolización en las distintas unidades tróficas del ecosistema. Esto lleva a una disminución de la diversidad de especies, pues se desarrollan sobre aquellas especies más tolerantes a la contaminación, mientras desaparecen las especies sensibles.

Por todo ello, es necesario un conocimiento del estado físico-químico de las aguas que permita definir su calidad. Los parámetros determinados o medidos en el presente estudio han sido:

### 6.2.1.1 Características químicas

- **Cloruros.** Sales en general muy solubles, muy estables en disolución y asociadas al ión Na. Concentraciones entre 10 y 250 mg/l en aguas dulces, aunque las aguas de consumo humano no pueden superar los 200 mg/l que tampoco son recomendables para riego agrícola. El agua de mar tiene entre 18.000 y 21.000 mg/l.
- **Nitratos.** Sales muy solubles y, aunque tienen tendencia a ser estable, pueden pasar a  $N_2$  o  $NH_4^+$  y excepcionalmente a  $NO_2$ . Normalmente se encuentran entre 0,1 y 10 mg/l, pero en aguas contaminadas puede llegar a 200 mg/l. El máximo admisible para que un agua pueda ser utilizada para el consumo humano es de 50 mg/l. Es, posiblemente, el contaminante más conocido en las zonas agrícolas, pues es consecuencia del uso frecuente de fertilizantes en la agricultura.
- **Nitritos.** No es frecuente encontrar nitritos en el agua natural. Están asociados a la existencia de materia orgánica en descomposición. El máximo admisible para que un agua pueda ser utilizada para el consumo humano es de 0,1 mg/l.
- **Amonio.** Es oxidado con gran facilidad a  $N_2$ ,  $NO_2^-$  o  $NO_3^-$  y es fácilmente retenido por el terreno por cambio de bases. En agua dulce, en general se encuentra menos de 0,1 mg/l, pero en casos excepcionales puede llegar a 400 mg/l. El agua de mar tiene entre 0,005 y 0,05 mg/l. La Comunidad Europea recomienda que el agua de consumo humano no contenga más de 0,5 a 1,5 mg/l. Para la vida piscícola, este parámetro es altamente tóxico a partir de 1,0 mg/l.
- **Fosfatos.** La mayoría de sales son muy poco solubles y en general precipitan como  $(PO_4)_2Ca_3$ . En general se encuentran valores entre 0,01 y 1 mg/l pudiendo llegar a 10 mg/l. Para el consumo humano se admite hasta 5 mg/l  $P_2O_5$  (2,2 mg/l P).
- **Clorofila a.** La clorofila a como pigmento de los vegetales, es un buen indicador del grado de eutrofización existente en un ecosistema acuático. Se entiende por eutrofización de las aguas el enriquecimiento en nutrientes (N y P) que genera un desmesurado crecimiento de especies vegetales que agotan el oxígeno disuelto, llegando a producir anoxia y procesos anaerobios de putrefacción. De acuerdo a los valores establecidos por la OCDE (1982) a partir de unos 15 mg/m<sup>3</sup> se

considera estado eutrófico sobretodo si va acompañado de altos contenidos en fósforo, nitrógeno y materia orgánica.

### **6.2.1.2 Características físicas**

- **Conductividad.** La conductividad es la capacidad de un agua para conducir la electricidad y aumenta con el contenido en iones disueltos y con la temperatura. Permite evaluar la mineralización del agua y, por tanto, su salinidad. Varía entre 100 y 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 20° C para aguas dulces. El agua de mar tiene alrededor de 45.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 20° C. Las aguas para consumo humano suelen tener conductividades próximas a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Las aguas con una conductividad mayor de 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no son aptas para el consumo humano ni recomendables para el riego.
- **Sólidos suspendidos.** Es el contenido del agua en sólidos que pueden ser retenidos por un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Hasta 60-120 mg/l son aceptables en riego agrícola.

### **6.2.1.3 Características físico-químicas**

- **pH.** El pH del agua representa su acidez o alcalinidad. El agua tiene una gran capacidad para mantener este valor dentro de unos límites constantes, aunque las sustancias disueltas pueden alterarlo. El pH de las aguas naturales suele estar muy relacionada con los terrenos por donde discurre. En nuestro caso, según los terrenos calcáreos que predominan, es normal encontrar valores entre 7,2 y 8. El agua marina tiene un pH aproximado de 8.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Medida de la cantidad de oxígeno necesaria para consumir materias oxidables presentes en una determinada muestra de agua en procesos químicos. Los valores normales son de 1 a 5, hasta 15 mg  $\text{O}_2/\text{l}$  en aguas no contaminadas.
- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).** Medida de la cantidad de oxígeno necesaria para eliminar la materia orgánica contenida en un agua mediante procesos biológicos aerobios. Comúnmente se refiere a 5 días. Hasta 40-60 mg/l son aceptables en riego agrícola.

### 6.2.2 Calidad de las aguas superficiales en el marjal

No existiendo ninguna exigencia legal para los usos agrícolas (riego), el objetivo a atender consistirá en posibilitar la existencia de una calidad que permita el mantenimiento y el desarrollo de los cultivos tradicionales junto con la limitación de la presencia de elementos traza que pudieran afectar a dicho cultivo. En tanto el organismo competente no establezca normativamente dichas condiciones se consideran los criterios establecidos por la F.A.O. (Ayers, R.S. y Westcot, D.W., “Calidad del Agua para Riego”, Estudio FAO: Riego y Drenaje, nº 29 Rev. 1, Roma 1985).

- ❑ **Calidad buena:** Aguas de buena calidad para el riego, especialmente para suelos de baja permeabilidad, se aconseja prever drenaje.
- ❑ **Calidad admisible:** Aguas de calidad admisible, utilizables atendiendo a la posible acción desfavorable de su contenido global salino. No utilizar en suelo con drenaje impedido o de baja permeabilidad a menos que sea posible su drenaje de forma artificial.
- ❑ **Calidad mediocre:** Aguas de calidad mediocre, utilizables únicamente en circunstancias favorables, tales como suelos permeables, drenaje intenso y empleándose sobre cultivos de buena tolerancia salina.
- ❑ **Calidad mala:** Aguas de mala calidad, únicamente utilizables en casos extremos donde las circunstancias especiales permiten correr los riesgos que supone el empleo, tanto para los suelos como para los cultivos.

En cuanto a los valores paramétricos, se toma en cuenta la propuesta de calidad específica para las aguas superficiales destinadas al riego agrícola, planteada en el estudio de la Confederación Hidrográfica del Júcar (1995) titulado “Estudio de programas de calidad de los ríos: Júcar, Cenia, Mijares, Palencia, Serpis, Algar, Amatorio y Vinalopó, y de los vertidos de los mismos”.

**Tabla 13. Propuesta de calidad específica de aguas superficiales destinadas al riego agrícola.**

Parámetros	Unidades	CALIDAD			
		Buena	Admisible	Mediocre	Mala
SALINIDAD					
Permeabilidad (Ci+Sj)*	(i+j)	2-3	4	5-6	7-8
Cloruros	mg/l	<50	50-200	200-500	500-1100
TOXICIDAD					
Boro	mg/l	<0,7	0,7-1	1-3	>3
VARIOS					
PH	-	6-9	6-9	6-9	<6 / 9<
MES	mg/l	<20	20-60	60-120	>120
DBO <sub>5</sub>	mg/l	<20	20-40	40-60	>60

\* Consideración conjunta de Conductividad y SAR, expresada como suma de los subíndices (i+j) de las respectivas calidades (C<sub>i</sub>-S<sub>j</sub>), clasificadas según:

CONDUCTIVIDAD (μS/cm)		SAR**	
Valor	Calidad (C <sub>i</sub> )	Valor	Calidad (S <sub>j</sub> )
0-250	C1	0-10	S1
250-750	C2	10-18	S2
750-2250	C3	18-26	S3
2250-5000	C4	>26	S4
>5000	C5		

$$**SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}} \quad Na, Ca y Mg en (meq/l) = (mg/l) / X$$

$$X=23(Na), 20(Ca) y 12,2 (Mg)$$

### 6.2.3 Calidad de las aguas subterráneas en el marjal

En el ámbito de estudio, existen un reducido número de captaciones y aprovechamiento de manantiales para abastecimiento de poblaciones como Chilches, Quart de les Valls o algunas urbanizaciones de la costa.

Por dicho motivo, se considera que las aguas subterráneas deberían tener la calidad mínima exigible para ser destinadas al consumo humano de acuerdo a la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de aguas potables de consumo público (R.D. 1138/1990).

### 6.2.4 Relación biocenosis-conductividad

En los humedales litorales y concretamente en el Marjal de Almenara, la principal dificultad ambiental para la vegetación es la gran variabilidad espacial de dos importantes parámetros ecológicos: la salinidad y el régimen hídrico. Normalmente nos encontramos con una alternancia de inundación en invierno durante el cual la cantidad de sal es poco elevada y los niveles de agua son muy altos, con periodos de sequía estival, con una salinidad superior y en los que pueden llegar a disminuir por debajo de la sostenibilidad Los Estanys. Estas situaciones son un proceso natural en todos los humedales costeros mediterráneos, pero es una situación que se magnifica por la sobreexplotación de los acuíferos. Las modificaciones de las condiciones locales de drenaje suponen cambios en el régimen hidrológico del humedal con consecuencias como el abatimiento del nivel freático y la reducción del tiempo de permanencia del agua en el sistema. Paradójicamente, en la mayoría de estas zonas aumentan las demandas de agua para la agricultura y el sector turístico en una época en la que ésta es más escasa.

En todos los humedales litorales valencianos, existe una zonificación clara de la vegetación hidrófita y helófita en función de los niveles de agua. En lugares con una presencia constante de agua remansada se desarrollan las plantas flotantes, normalmente comunidades de lentejas de agua (*Lemnetea*) y, junto a estas, aparece una vegetación arraigada en los fondos (limnofitos) de la clase *Potametea* y las Caráceas, que prosperan en aguas transparentes. En el tránsito entre la lámina de agua y la zona palustre, la asociación más común es *Typho-Scirpetum tabernaemontani* (*Phragmites australis*, *Scirpus lacustris* y *Typha latifolia* y

*angustifolia*) que requieren aguas profundas y dulces aunque son capaces de tolerar algo la salinidad.

Cuando la pendiente del fondo es más suave o cuando las aguas son menos profundas o el encharcamiento superficial no es permanente, se desarrolla la asociación *Typha angustifoliae-Phragmitetum maximi* (*Phragmites maximus*, *Typha angustifolia*, *Epilobium hirsutum*, *Lycopus europaeus* y *Kosteletzkya pentacarpos* en áreas con cierta nitrificación). El cinturón más exterior lo constituyen praderas densas y juncales de pequeña talla (*Magnocaricion*) que se desarrollan sobre suelos profundos y húmedos que no llegan a encharcarse y que encuentran la capa freática a bastante profundidad y a continuación, los gramadales y juncales (*Molinio-Holoschoenion*) (Costa, 1999; Viñals, 2000).

Los patrones zonales a lo largo de las pendientes de las orillas pueden ser debidos a diferentes respuestas fisiológicas de cada especie a las variaciones, es decir, a la capacidad de adaptación y competencia de cada una de ellas (Shiple et al., 1991). Por ejemplo, la posición de *Typha angustifolia* en aguas más profundas que *Typha latifolia* se debe a que la primera no puede competir con la segunda a menor profundidad. Estos patrones de zonificación pueden alterarse si las variaciones de los niveles de agua son excesivamente grandes, llegándose a modificar la estructura de estas masas. Por ejemplo, si existe una baja salinidad y el nivel de agua es mayor de 30 cm, se favorece el desarrollo de *Typha sp.* frente a *Phragmites australis*. Se ha comprobado que se establece una comunidad más rica tanto vegetal como animal en espacios palustres dominados por *Typha sp.* que por *Phragmites australis* (Comín, 2000). También se ha comprobado que cuando el nivel de agua alcanza los 95 cm, las plantas de *Typha latifolia* desaparecen (Grace, 1989). En lugares con profundidad mayor de 50 cm y expuestos a la acción de las olas, se favorece el desarrollo de *Scirpus lacustris* frente a *Phragmites australis*; mientras en profundidades menores de 50 cm, *Scirpus lacustris* no puede competir con *Phragmites australis* (Coops et al., 1994). Todo esto demuestra que en periodos prolongados de sequía, muchas comunidades pueden llegar a desaparecer en beneficio de otras especies más rústicas y llegar a modificarse los patrones zonales.

Por otro lado, prolongados periodos de altos niveles de agua eliminan la mayoría de especies emergentes (Van der Valk, 1981). Esto puede ser debido a que la regeneración por semillas de muchas de estas especies es importante (Moore & Keddy, 1988), necesitando ciertos periodos de desecación que permitan su

germinación. La supervivencia de muchas de las especies helófitas depende de las regulares fluctuaciones en el nivel del agua del humedal pues las semillas de estas especies aparentemente no germinan bajo el agua (Nicholson & Keddy, 1983). Por tanto, en los humedales son también importantes los periodos de sequía estacional que permiten la germinación de nuevas semillas y el rejuvenecimiento de las comunidades. La proporción de expansión vegetativa mediante rizomas es limitada, mientras que las semillas pueden dispersarse fácilmente a áreas abiertas.

En cuanto a los hidrófitos, los periodos de bajos niveles de agua eliminan las especies intolerantes a la sequía que serán reemplazados por especies emergentes procedentes de las semillas acumuladas en el sustrato (Van der Valk, 1981). Aunque existen algunas especies anuales adaptadas a aguas efímeras que se secan a partir de primavera como son *Zannichellia palustris* o *Ruppia maritima*, la mayoría de hidrófitos son perennes y requieren aguas relativamente persistentes (Margalef, 1981). Por ejemplo, el hidrófito radicante *Ceratophyllum demersum* es una especie que no tolera la desecación (Castroviejo, 1993). Las especies que se reproducen vegetativamente como *Nymphaea alba* o especies del género *Potamogeton*, pueden tener mayores posibilidades de supervivencia, aunque las posibilidades de crecimiento y reproducción son prácticamente nulas. Por ejemplo, *Nymphaea alba* requiere aguas profundas, generalmente de unos 2 metros (Olivares, 1998). En general, el excesivo descenso del nivel de agua en la época en que estas plantas se desarrollan y se reproducen hará inviable su establecimiento constante en la zona.

En cuanto a los efectos de la salinidad sobre la vegetación pueden ser muy variables. El alto contenido en sales es un factor limitante para el desarrollo de las plantas, pero en algunos lugares es precisamente este hecho el que confiere singularidad a la vegetación.

**Tabla 14. Amplitud de salinidad de las aguas en las que viven las plantas acuáticas.**

Especie	Conductividad (μS/cm)	Especie	Conductividad (μS/cm)
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	175 - 1.470		
<i>Baldellia ranunculoides</i>	175 - 1.840		
<i>Callitriche obtusangula</i>	175 - 1.840		
<i>Carex hispida</i>	580 - 1.000		
<i>Carex riparia</i>	355 - 1.840		
<i>Ceratophyllum demersum</i>	300 - 7.100		
<i>Cladium mariscus</i>	248 - 15.500		
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	465 - 3.140		
<i>Iris pseudacorus</i>	465 - 10.400		
<i>Juncus maritimus</i>	3.300 - 50.000		
<i>Juncus subulatus</i>	5.500 - 50.000		
<i>Lemna gibba</i>	450 - 1.870		
<i>Lemna minor</i>	170 - 7.500		
<i>Lemna trisulca</i>	564 - 3.140		
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	20 - 66		
<i>Myriophyllum spicatum</i>	300 - 7.100		
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	710 - 2.030		
<i>Najas marina</i>	1.500 - 12.800		
<i>Nymphaea alba</i>	425 - 2.030		
<i>Potamogeton natans</i>	66 - 590		
<i>Potamogeton pectinatus</i>	248 - 25.000		
<i>Potamogeton pusillus</i>	465 - 3.860		
		<i>Potamogeton coloratus</i>	378 - 7.100
		<i>Potamogeton crispus</i>	300 - 7.100
		<i>Potamogeton gramineus</i>	66 - 590
		<i>Potamogeton lucens</i>	520 - 1.100
		<i>Ranunculus aquatilis</i>	20 - 500
		<i>Ranunculus peltatus</i>	66 - 590
		<i>Ranunculus trichophyllus</i>	120 - 670
		<i>Riccia fluitans</i>	1.500 - 1.870
		<i>Ruppia cirrhosa</i>	4.800 - 50.000
		<i>Ruppia maritima</i>	1.300 - 50.000
		<i>Scirpus lacustris</i>	248 - 3.860
		<i>Scirpus litoralis</i>	465 - 17.000
		<i>Scirpus maritimus</i>	325 - 13.900
		<i>Sparganium erectum</i>	200 - 1.500
		<i>Typha angustifolia</i>	248 - 3.140
		<i>Typha latifolia</i>	378 - 4.800
		<i>Utricularia vulgaris</i>	175 - 1.870
		<i>Zannichellia palustris</i>	300 - 10.400
		<i>Zostera noltii</i>	25.000 - 50.000

Fuente: Margalef 1981

Como se observa en la Tabla 14, algunos hidrófitos y helófitos pueden vivir dentro de un rango de conductividad bastante amplio como *Cladium mariscus*, *Iris pseudacorus* o *Potamogeton pectinatus*, pero otras plantas viven en rangos mucho más restringidos. Por ejemplo, una especie como *Zostera noltii* no puede vivir en aguas con una conductividad inferior a 25.000 μS/cm, mientras que *Myriophyllum alterniflorum* requiere valores inferiores a 66 μS/cm (Margalef, 1981). Esto nos indica que, excepto en unas pocas especies, pequeñas variaciones de la conductividad no van a tener un gran efecto sobre la estructura general de las comunidades vegetales ya existentes en esta zona húmeda. Sin embargo, las fuertes variaciones estacionales de conductividad

sí pueden afectar sustancialmente a muchas especies hidrófilas y helófilas, pudiendo llegar a desaparecer algunas y produciéndose una pérdida de biodiversidad.

Las medidas de conductividad realizadas en las aguas del Marjal de Almenara durante las visitas realizadas superan casi todas ellas los 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Teniendo en cuenta que estas medidas fueron realizadas en una época de máximos recursos hídricos en la zona, es previsible que se alcancen altos niveles de conductividad en algunos puntos durante la época estival. Este hecho va a condicionar el desarrollo de muchas especies que no soportarán estos altos niveles. Por ejemplo, en junio de 2001 fueron introducidos en el marjal 80 ejemplares de *Utricularia vulgaris* procedentes de Xeresa que no han sido localizados hasta el momento. Si tenemos en cuenta que esta especie vive en aguas con una conductividad comprendida entre 175 y 1.870  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Margalef, 1981), es posible que los individuos introducidos no soportasen la rigurosidad del periodo estival. Es importante por tanto, tener en cuenta este aspecto a la hora de realizar nuevas reintroducciones.

En el Marjal de Almenara todavía quedan algunos lugares en los que se desarrolla el saladar. Estas zonas están ocupadas por distintas comunidades halófitas perfectamente adaptadas a altos niveles de salinidad en el suelo y en el agua. Se encuentran situadas entre la vegetación palustre propiamente dicha y la vegetación psamófila de los sistemas dunares que aún existen o los edificios de las zonas urbanizadas. En este caso, el desarrollo de una u otra comunidad va ligado a la existencia de un mayor o menor grado de humedad. Por ejemplo, entre las comunidades de sosa (*Arthrocnemum fruticosum*) se desarrollará la asociación *Spheropogon divaricati-Arthrocnemum macrostachyi* en saladares con suelos frecuentemente encharcados, mientras que aparecerá la asociación *Puccinellia festuciformis-Arthrocnemum fruticosum* en zonas de encharcamiento accidental (Llobera & Valladares, 1989). En puntos del saladar donde la salinidad disminuye un poco y permanecen inundados durante gran parte del año se desarrollan los juncales subhalófilos (*Elymus elongati-Juncetum maritimi*). En los saladares del Marjal de Almenara se pueden localizar distintas especies del género *Limonium* desarrollándose entre las comunidades de sosas o en los bordes. Estas plantas crecen en lugares donde la humedad edáfica es prácticamente imperceptible y la salinidad del terreno es máxima. Como podemos observar, el régimen hídrico y la salinidad son factores importantes para el desarrollo de las comunidades halófitas que determinarán la instauración de una u otra.

Después de analizar los efectos sobre la vegetación del humedal de factores ambientales tan importantes como el régimen hídrico y la salinidad, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En la zona de estudio se ha observado un retroceso de la vegetación de ambientes salobres frente a otras comunidades menos tolerantes a elevadas concentraciones en sales. Dicha dulcificación de las aguas, coherente con los actuales usos agrícolas de gran parte del marjal provoca que los ecosistemas de aguas salobres sean en el marjal cada vez más singulares y se restrinjan a los márgenes de la zona protegida, a mayor distancia de la zona de influencia canales o donde éstos, por causas diversas, pierden eficiencia.
- Existen otras comunidades (ejemplo de asociación *Spheropo divaricati-Arthocnemetum macrostachyi*), valiosas desde el punto de vista ambiental que, sin embargo, han aprovechado el actual contexto de explotación hídrica del marjal para desarrollar ecosistemas viables y de interés.
- Para el mantenimiento constante de una cobertura vegetal palustre en el marjal será necesario mantener unos niveles mínimos de agua durante la época estival que permitan la supervivencia de la mayoría de plantas acuáticas (hidrófitos y helófitos). Además, manteniendo una lámina de agua importante, evitaremos que aumente excesivamente la salinidad durante el verano.
- Sin embargo, se favorecerá una cierta variación de los niveles de agua que permita la regeneración por semilla de las especies helófitas. En cualquier humedal las variaciones estacionales del nivel de agua son un proceso natural necesario para el adecuado desarrollo de la vegetación, aunque no se deben alcanzar mínimos que pongan en peligro su supervivencia.
- A la hora de introducir especies desaparecidas en el humedal es necesario tener un conocimiento exhaustivo de las condiciones existentes en el mismo. El conocimiento de la salinidad existente en las aguas será necesario para la reintroducción de las especies adecuadas, perfectamente adaptadas a las condiciones reinantes.

### 6.3 INTRUSIÓN SALINA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

La relación entre el agua dulce y el agua marina en las aguas subterráneas es un fenómeno que está básicamente controlado por la diferente densidad de las aguas y por el balance hídrico que se establece en la zona. La conductividad hidráulica del medio acuífero y su distribución espacial será, en los casos en que el acuífero está poco eutrofizado, el factor que más contribuya a la velocidad de movimiento de ambas masas de agua.

Las extracciones de agua subterránea serán los factores de balance que más influirán en el movimiento de agua marina tierra adentro. Dicha influencia se concreta en dos efectos fundamentales:

- Disminución del caudal de flujo de agua dulce hacia el mar, que facilita el lento movimiento de la interfase agua dulce-agua marina tierra adentro.
- Aparición de conos, inicialmente esporádicos, de agua marina bajo la zona de captación, que salinizan el agua captada.

En el ámbito hidrogeológico de influencia del marjal, la red de control de salinidad (ROI) tiene 16 puntos de control, que se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 15. Localización de los puntos de control de salinidad en el ámbito hidrogeológico de influencia del marjal.**

HOJA	Octante	PUNTO	X	Y	COTA (msnm)	PROFUNDIDAD (m)
2926	4	0017	734119	4404138	70	80,00
2926	8	0005	738313	4396102	15,85	18,30
2926	8	0022	739403	4400954	3	32,47
2926	8	0060	735789	4403077	30	35,53
2926	8	0080	736893	4397037	23,29	48,00
2926	8	0082	738953	4397876	5,59	24,30
2926	8	0083	738881	4398328	5,05	11,50
2926	8	0088	735442	4400325	19,5	33,50
2926	8	0096	737403	4401366	6,23	44,10
2926	8	0137	739173	4403609	9	66,00
3026	1	0003	741672	4406240	4	6,13
3026	1	0009	741890	4408467	4	15,17
3026	1	0012	743009	4407458	9	24,07
3026	1	0014	742802	4406608	4	7,06
3026	1	0015	742021	4405962	8	8,67
3026	1	0075	743234	4407457	4	19,30

Igualmente, se muestra la disposición geográfica de estos puntos respecto a el marjal en la figura siguiente.

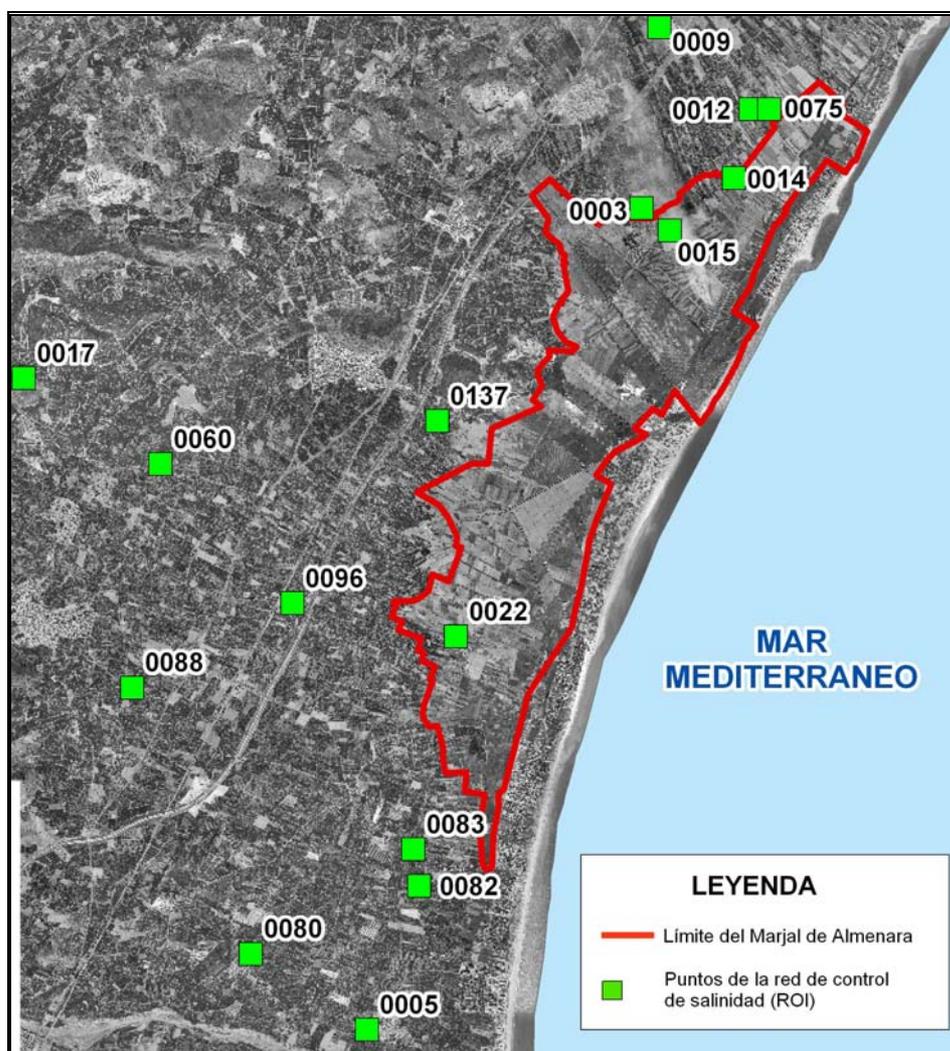


Figura 49. Mapa de distribución geográfica de los puntos de la red de control de salinidad ubicados en torno al marjal.

La evolución de la salinización en los puntos de control muestra un rango máximo de variación en el periodo 1985-2001 entre 150 y 700 mg/l de cloruros, con una mayoría de valores ubicados entre los 100 y los 500 mg/l (Figura 50).

La evolución espacial de la salinización, en los años 1985, 1990, 1995 y 2000, en los distintos puntos de la ROI, en el entorno del marjal de Almenara, se muestra en la Figura 50.

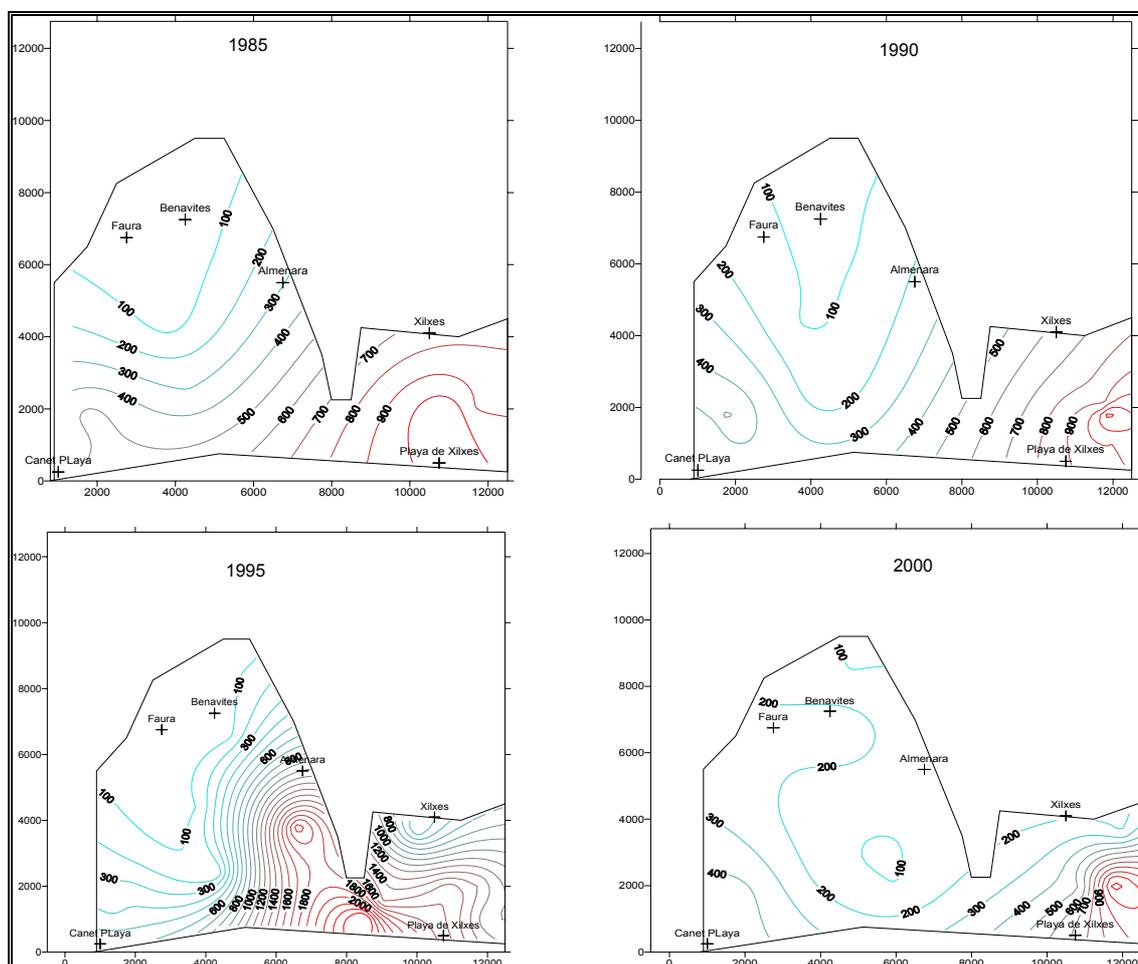


Figura 50. Distribución espacial de la salinidad máxima del acuífero de Les Valls.

En los distintos mapas de observa que existe un frente de salinización que desde la línea de costa, entre playa de Chilches y Moncófar avanza hacia el límite norte del marjal. En 1995, dicho frente muestra un comportamiento más complejo, con la presencia de una segunda zona con valores de Cl anormalmente elevados ( $> 2.000$  mg/l Cl), en uno de los puntos de control fuera del marjal, frente a la localidad de Almenara, que desaparece en la situación del año 2000.

Paralelamente, aunque con un carácter mucho menos intenso (200-400 mg/l de Cl), aparece un segundo frente en el límite sur, desde la Playa de Canet hacia Sagunto.

Como también se observa en la Figura 45, el agua de recarga lateral al acuífero de Les Valls desde las unidades carbonatadas muestra bajas concentraciones en cloruros, que progresivamente se van incrementado al aproximarse a la línea de costa. Sin embargo, en los últimos 5 años, parece existir un proceso secundario de salinización, que afecta a algunos puntos de control alejados del mar, entre Faura y Benavites, que pueden tener un origen diverso, no marino.

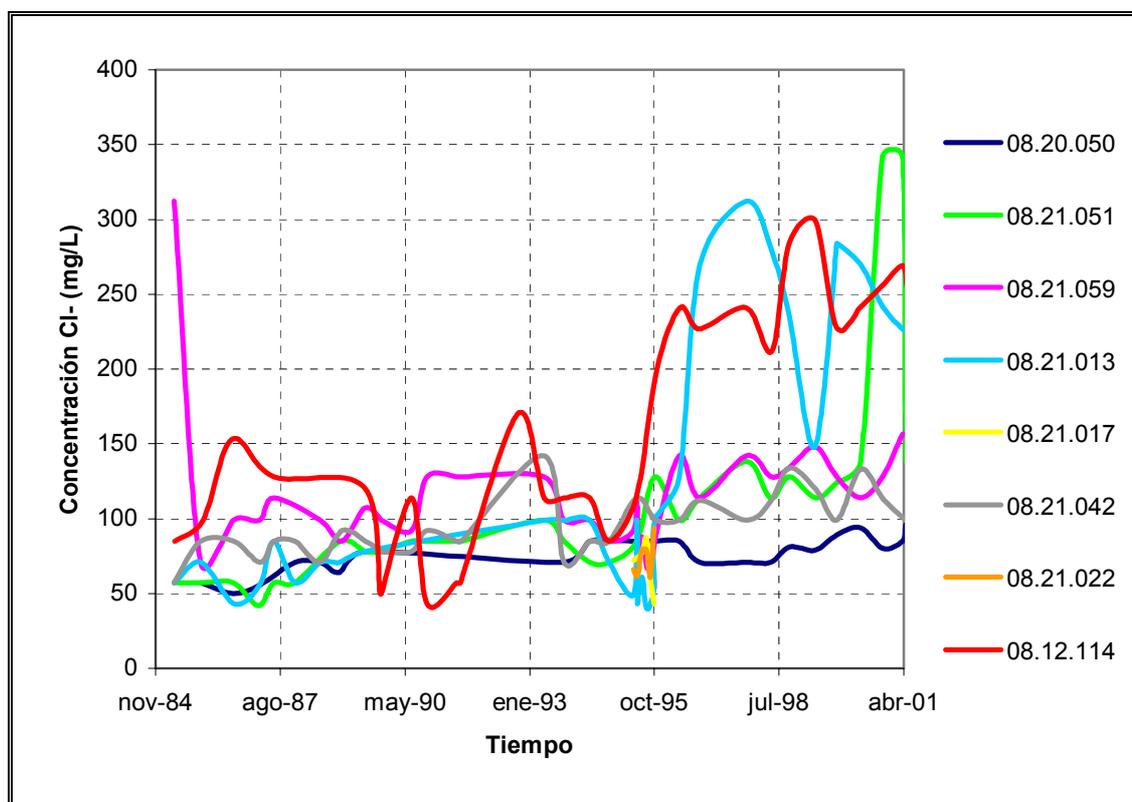


Figura 51. Evolución temporal del contenido en Cloruros durante el periodo 1985-2001, en el acuífero de Les Valls, sector interno y central.

La evolución del contenido en cloruros en diferentes piezómetros de la ROI en los sectores interno y central del marjal (Figura 51) muestra que en la zona central del marjal no existe intrusión marina significativa en el acuífero, siendo probablemente los contenidos de cloruros y de salinidad, hallados en las aguas superficiales, productos de aportes de agua procedentes de EDAR o de actividades agrícolas con una relativa mineralización. Los penachos de intrusión se ubican en sus límites, fuera de la zona

de influencia de los canales o en zonas donde esta influencia está muy limitada (zona del marjal de la Playa de Chilches-Moncófar).

Esta distribución de salinidad es también coherente con los mapas de vegetación expuestos en la presente memoria, donde se muestra una regresión de las comunidades de aguas salobres, quedando restringidas a los límites de la zona protegida, donde la influencia de la salinidad es mayor y donde menor influencia tienen los canales.

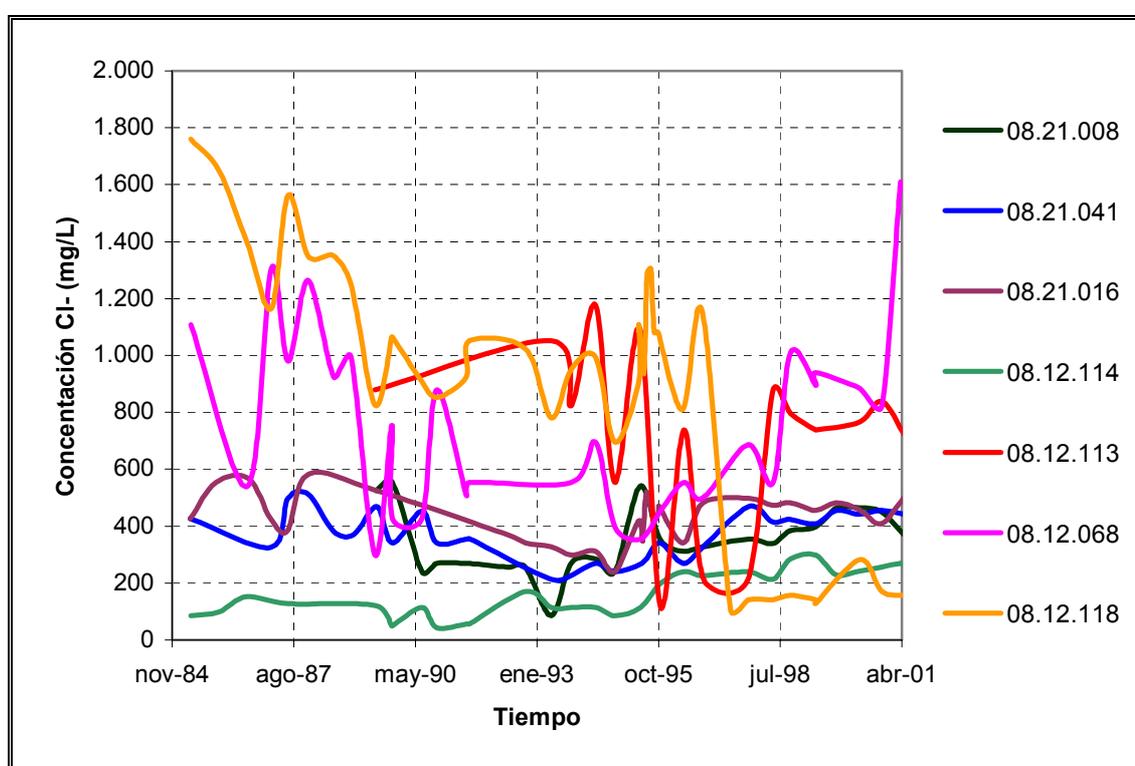


Figura 52. Evolución temporal del contenido en Cloruros durante el periodo 1985-2001, sector costero.

Por último, dentro del análisis temporal (Figuras 51 y 52), se observa un cierto incremento de los valores de salinidad a partir de 1995, donde de valores máximos de 250-300 mg/l se pasa a valores que superan episódicamente los 700 mg/l de Cl únicamente en los puntos de control más cercanos a la línea de costa.

Dicha evolución es coherente con el contexto climático de dicho período, que genera un descenso de las aportaciones subterráneas y, por tanto, una disminución de la salida de agua dulce hacia el mar, provocando una ligera modificación de la interfase agua dulce-agua marina, incrementando las concentraciones de cloruros en los piezómetros de los límites externos del marjal, más cercanos al mar.

## **7 MODELIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL MARJAL**

El uso de herramientas informáticas en la cuantificación de los principales parámetros de control de las aguas subterráneas y superficiales es uno de los elementos claves para comprender la evolución sufrida por la hidrología subterránea en las últimas décadas. El código que se utiliza en el presente proyecto es el de McDonald-Harbaugh del U.S. Geological Survey, conocido popularmente como MODFLOW, con los códigos pre- y postprocesadores comerciales VISUAL MODFLOW, de Waterloo Hydrogeologics. MODFLOW es un código tridimensional, en diferencias finitas, modular, escrito en lenguaje FORTRAN, y compilado ya por el propio USGS para su uso con procesadores Intel en un entorno Windows de 32 bits. Puede ejecutarse perfectamente en PCs corrientes. La amplia aceptación de este programa, a nivel internacional avala la fiabilidad de sus resultados. El paquete de pre- y postprocesadores utilizados corresponde a programa comercial Visual MODFLOW, de Waterloo Software, concretamente su versión 2.8.2.

### **7.1 ESTRUCTURA HIDROGEOLÓGICA**

Los acuíferos implicados en la modelación son el Salto del Caballo y el acuífero detrítico entre las Unidades Hidrogeológicas de la Plana de Sagunto y de Castellón, que en esta zona ha sido citado por diversos autores como acuífero de Les Valls. Los límites del modelo se muestran en la Figura 53.

El acuífero de Les Valls, al menos en su sector más superficial, es un acuífero detrítico con un comportamiento libre. Los espesores son significativos, pudiendo alcanzar en algunas zonas más de 100 metros de espesor saturado.

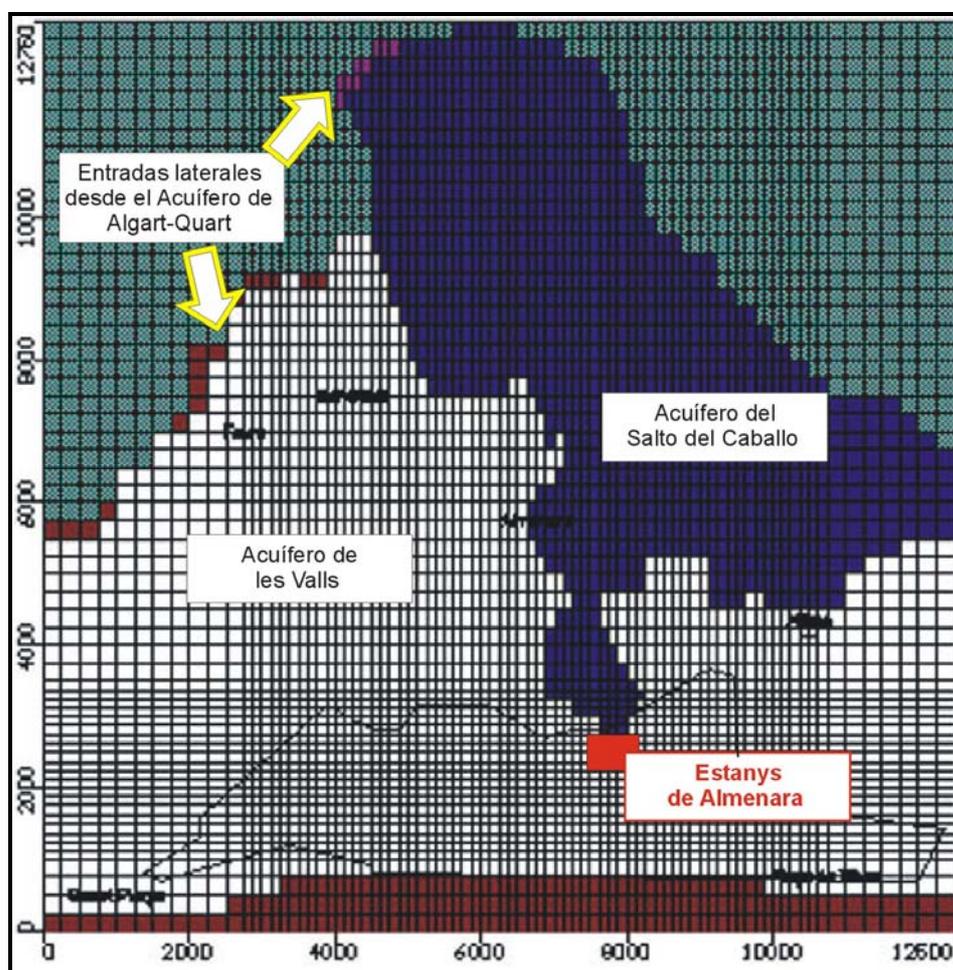
Su funcionamiento hidrogeológico es asimilable al de un acuífero multicapa, de potencial creciente en profundidad, en el que la morfología de la superficie

piezométrica pone de manifiesto dos tendencias piezométricas. En el sector de Les Valls, se caracteriza por la existencia de un flujo NO-SE, con una piezometría que varía entre los +50 en su parte más occidental, con un gradiente elevado, superior a 1%, que produce que al este de Faura o Benavites, las cotas del nivel no sobrepasen los +2-3 msnm. En el resto de la zona de estudio, hacia la línea de costa, la cota piezométrica rara vez sobrepasa los 3 msnm. Dichos gradientes pueden reflejar una menor transmisividad del acuífero detrítico en la zona cercana a la sierra.

En la vertical, diversos autores consideran que existe un predominio de las facies detríticas gruesas en los tramos superiores de la serie, para ir aumentando la arcillosidad en profundidad. Según los mismos autores, ello no es óbice para que existan en profundidad niveles muy transmisivos intercalados entre los paquetes detríticos finos.

El acuífero del Salto del Caballo es una unidad básicamente carbonatada, con una apreciable permeabilidad por fisuración o carstificación y un cierto grado de confinamiento, sobretodo en su sector más próximo a la línea de costa, con valores de coeficiente de almacenamiento de 0,002-0,003, obtenidos en ensayos de bombeo. Su comportamiento hidrogeológico de detalle es bastante mas complejo que en el acuífero de les Valls.

Las unidades carbonatadas acuíferas se encuentran en algunas zonas compartimentadas por niveles de arcillas con yesos o niveles de areniscas rojas del Buntsandstein, que afloran en posiciones mecánicas o estratigráficas, separando los bloques calizos.



(Escala XY en metros.)

Figura 53. Acuíferos incorporados en el modelo, con la posición de las entradas laterales subterráneas incorporadas.

Por último, sin haber sido modelado, pero considerando sus aportes subterráneos tanto al acuífero de les Valls como al del Salto del Caballo, se encuentra el acuífero carbonatado del Algart-Quart (U.H. del Medio Palancia).

## **7.2 SÍNTESIS DEL MODELO GENERAL DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO**

El funcionamiento hidráulico general del marjal está íntimamente relacionado con el funcionamiento del acuífero detrítico pliocuaternario de les Valls, que a su vez, está

alimentado de forma significativa por los acuíferos carbonatados del Salto del Caballo y de L'Algar-Quart. El acuífero de les Valls forma parte parcialmente de 2 Unidades Hidrogeológicas diferenciadas; el límite sur de la Plana de Castellón y el límite Norte de la Plana de Sagunto.

Estos aportes de agua puede ser subterráneos, partir de transferencias laterales entre los acuíferos, o mediante agua aflorante en surgencias del acuífero carbonatado, que posteriormente es parcialmente reinfiltrada en el acuífero detrítico, a favor de la red de drenaje superficial, artificial o natural.

La posibilidad de aportes verticales al acuífero de les Valls, a partir del acuífero carbonatado infrayacente no está suficientemente documentada como para aventurar una hipótesis definitiva. Sin embargo, la existencia en la vertical del marjal de un nivel mioceno, presumiblemente poco permeable, intercalado entre la unidad detrítica cuaternaria y el zócalo mesozoico, permite suponer una baja conexión hidráulica entre ambas unidades, y por tanto, ausencia de flujos significativos.

Del mismo modo, se desconoce la existencia de flujo de agua dulce hacia el mar, procedente de los macizos mesozoicos de la Sierra o su cuantificación. En este sentido, la estructura geológica de dichas unidades bajo el mar, así como su relación con los paquetes sedimentarios suprayacentes, es determinante para aventurar cualquier hipótesis razonada.

Sin embargo, si se conocen fuentes en el límite de estas unidades carbonatadas con el acuífero de les Valls (los Estany de Almenara, la Font de La Llosa, La Font de Quart), que influyen en el quimismo local de las aguas superficiales del humedal y que constituyen puntos preferenciales de descarga del acuífero carbonatado.

El resto de entradas de agua dulce en el sistema lo constituye los retornos de riego, la recarga a través de los canales de distribución de agua superficial y la infiltración directa por lluvia.

El acuífero de les Valls está conectado directamente con el Mar Mediterráneo, por lo que existe una zona de interfase entre el agua dulce y el agua marina que, según diversos estudios hidrogeológicos y geofísicos previos, ha tenido un cierto grado de penetración tierra adentro en los límites externos del marjal y casi nula en su perímetro interno.

El comportamiento hidrogeológico del acuífero detrítico de les Valls en el marjal, presenta una serie de características fundamentales que son:

- La infiltración del agua de lluvia, dependiendo de las condiciones litológicas y los suelos presentes, así como de la vegetación existente, considerado como la recarga natural, que para la década de estudio presenta la evolución de la Figura 54, calculada a partir del programa SIMPA.

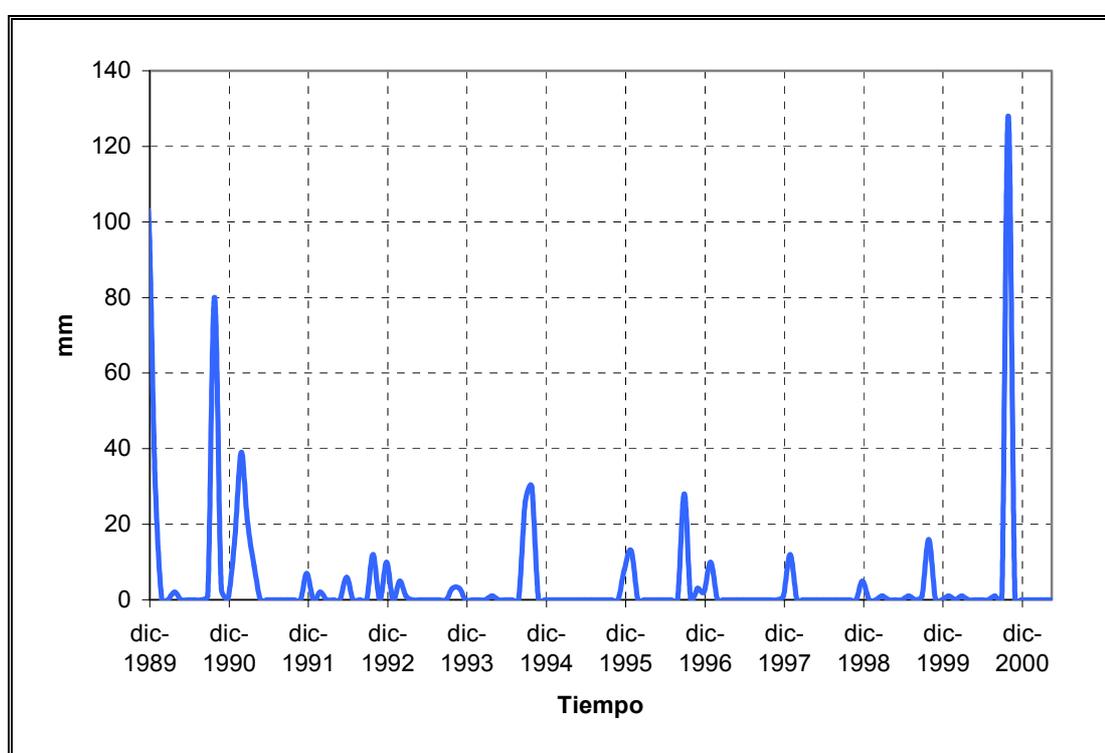


Figura 54. Valores de recarga del acuífero, calculados por el programa SIMPA para la zona de estudio, correspondiente al periodo 1990-1999.

- La existencia de canales y acequias que pueden aportar o distraer agua del acuífero y que operan en función de sus características constructivas, estado de conservación y altura respecto a la superficie piezométrica del mismo (es decir, en la práctica, pueden actuar o no como drenes).

- La existencia de vegetación freatofítica (aquella cuyas raíces se encuentran bajo el nivel del agua) junto con niveles freáticos altos, puede favorecer una intensa evapotranspiración, lo cual en determinadas condiciones puede conllevar a un efecto de drenaje del propio acuífero que será cuantificado a partir del modelo matemático.
- Las transformaciones realizadas en la forma y régimen de riego pueden provocar variaciones importantes en las extracciones. En la zona de estudio, el agua de riego para cítricos se aporta fundamentalmente mediante pozos en la zona central de la plana y en su límite con la sierra. El sobrante de los riegos se infiltra directamente al acuífero detrítico de les Valls o es recogido por la red de canales existente. Del mismo modo, las explotaciones de mayor tamaño tienden a reemplazar el cultivo mediante acequias por riegos más localizados, que conllevan un descenso de las extracciones, si no se aumenta el área cultivada.
- En las zonas más cercanas al humedal, los campos de cultivos deben de ser episódicamente drenados y el agua sobrante en los canales es mayoritariamente evacuada al mar. Según la bibliografía consultada, dicho drenaje se realiza básicamente mediante zanjás y puntualmente se ha favorecido con captaciones verticales someras. En todos los casos, el agua sobrante se dirige mediante un sistema de acequias principales, hacia el mar, donde vierte en las diferentes golás. Algunas de ellas consisten únicamente en un sistema de compuertas, que evacuan únicamente en periodos climáticos anormalmente húmedos o en avenidas. En otros casos, se han incorporado bombas para los periodos en que se requiera acelerar el proceso de vaciado de los canales.

Las zanjás y canales, no parecen presentar revestimiento alguno, ni en sus laterales ni en su fondo, excepto en algunos casos, donde se han observado muros discontinuos de contención laterales.

Es importante destacar que, mientras que se ha observado que algunas zanjás de drenaje secundarias y periféricas se secan de forma progresiva durante la época de siembra y cosecha, los canales de mayor entidad y de la zona central del marjal, mantienen una cierta lámina de agua, a lo largo de todo el año.

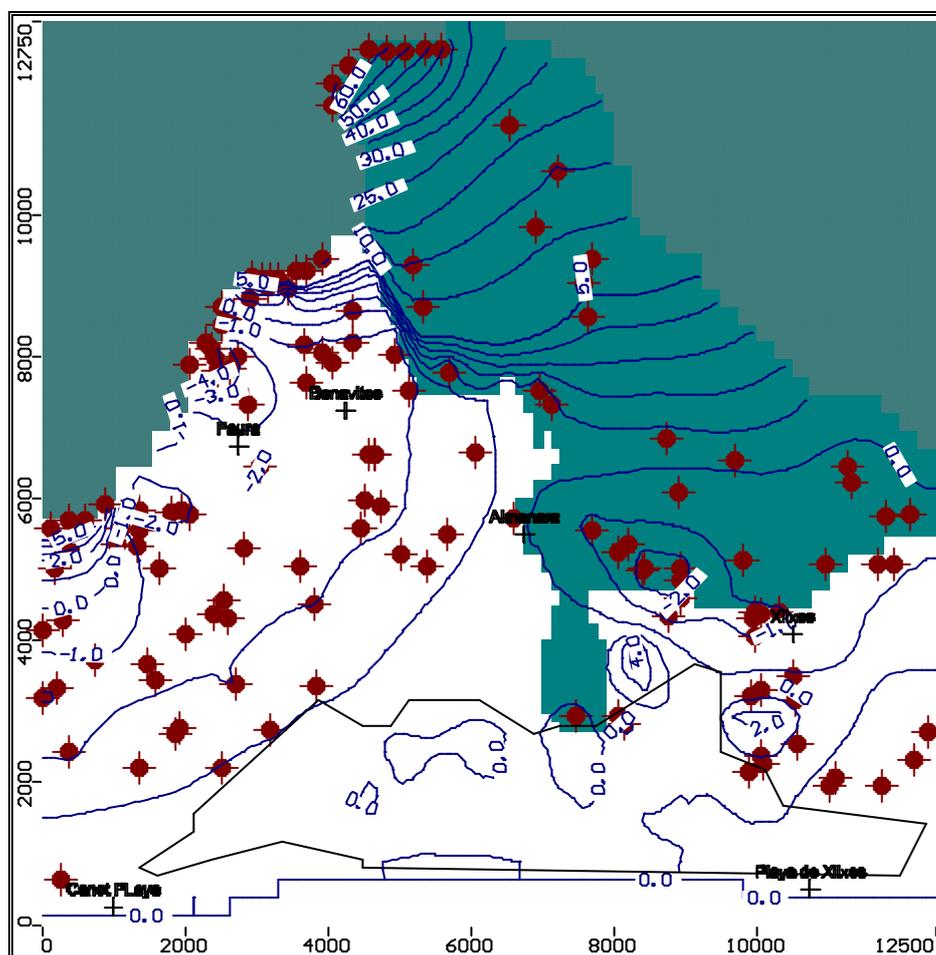
- La influencia que tienen los aportes superficiales de todo tipo procedentes de resto de la subcuenca hidrográfica, de mayor extensión que el área ocupada por el marjal, que es finalmente canalizado hacia la red de canales existente.

Tal y como se cita en el informe de TEYGESA (2001), el acuífero detrítico de les Valls en el ámbito del marjal recibe aportes laterales que proceden de los acuíferos del Algar-Quart (fundamentalmente en el ámbito sur del marjal) y del Salto del Caballo (básicamente en el ámbito norte). A su vez, una parte significativa de los aportes de la unidad del Salto del Caballo, la recibe por transferencia lateral, desde el acuífero del Algar-Quart.

Por otro lado, las surgencias de los Estanys y de La Llosa dependen de los caudales aportados por el acuífero del Salto del Caballo, mientras que la posición de la Font de Quart, sugiere unos caudales mixtos, provenientes de la descarga subterránea del acuífero del Algar-Quart, sin que se descarte una cierta contribución de parte del sector más proximal del acuífero detrítico.

La geometría general de las piezometrías históricas en el acuífero de les Valls, entre el río Palancia y el río Belcaire, paralelos a la línea de costa, indican que los aportes laterales subterráneos en régimen no influenciado, hacia o desde la zona del marjal, son de baja magnitud. Sin embargo, en periodos del año de intenso bombeo, los conos generados en el entorno del marjal provocan inflexiones de las isopiezas que modifican la geometría anterior, sobretudo en el sector este de Faura y sur de Chilches. Debido a la elevada transmisividad del acuífero, la profundidad de los conos no suele superar, sin embargo, los 2-4 metros de descenso.

En el acuífero del Salto del Caballo, las isopiezas muestran un gradiente mucho más elevado, producto de la menor conductividad hidráulica general y local de la unidad (Figura 55). Su geometría en régimen no influenciado marca un sentido de las líneas de flujo hacia la línea de costa, hasta su contacto con el acuífero de les Valls. Las extracciones tienen un gran efecto de dicha piezometría, existiendo dos conos de bombeo fundamentales, en el sector del Pla del Pinar y en los pozos Cerverola. La profundidad de los conos de bombeo es muy significativa, superándose descensos decimétricos en situaciones climáticas secas y periodos punta de extracción (TEYGESA, 2001)



Notas: Escala xy en metros. En verde, acuífero del Salto del Caballo, en blanco, acuífero de Les Valls.  
 Los círculos marrones representan los grupos de extracciones.

Figura 55. Rasgos piezométricos generales de la zona de estudio.

La recarga directa por lluvia es un factor significativo de entrada de agua al sistema, aunque es especialmente importante en las unidades del Salto del Caballo y del Algar-Quart. De hecho, gran parte del descenso de los niveles cabe atribuirlo a un contexto climático muy seco en el periodo 1991-1999.

Los retornos de riegos son significativos en la Unidad de la Plana, aunque siempre están ligados a la previa extracción de agua subterránea, por lo que su volumen nunca podrá compensar el de los bombeos.

El funcionamiento de la red de distribución de agua superficial del marjal también es básica para mantener una lámina de agua en aquellos puntos de interés ecológico que lo requieran, así como, actualmente, para la recarga local del acuífero.

El Marjal de Almenara tiene un origen muy similar al del resto de albuferas y marjales de la Comunidad Valenciana. Se ubica en la zona límite entre las Sierras Mesozoicas, con los depósitos de piedemonte y aluviales asociados, y la franja litoral, marcada por barras de arenas y cantos que delimitan a la misma por el este. La existencia de una topografía cercana o inferior a la del mar propicia además la presencia de encharcamientos o lagunas, con un quimismo final de las aguas que responde al equilibrio entre el quimismo de las masas de agua que convergen en la misma, así como a la composición sedimentológica de los materiales que constituyen el sustrato de la misma.

A mediados del siglo XIX, se realiza en la zona del marjal, una importante transformación agraria con el objeto de convertir terrenos lagunares marcadamente salinos a zonas de cultivos agrícolas, principalmente, arrozales y huertas. Durante dicha fase deben construirse un importante sistema de canales y acequias, con el objeto principal de drenar el terreno, topográficamente deprimido respecto al nivel del mar, con un nivel freático marcado por el acuífero detrítico de les Valls y las surgencias naturales de los acuíferos carbonatados, que en dicho período, muestran un grado de explotación muy inferior al actual.

Es importante destacar que en muchos casos, la red de canales de drenaje recoge también el agua procedente de las pequeñas cuencas hidrográficas preexistentes, teniendo un ámbito de distribución de agua mucho mayor que el de la propia marjal.

Progresivamente, el incremento de las extracciones en los acuíferos provoca que sus respectivos niveles piezométricos inicien un descenso cada vez más acusado, hasta situarse con cotas por debajo del nivel del mar. Sin embargo, ello no produce el secado de los canales.

Al contrario, los excedentes de riego, el agua usada para consumo urbano, las lluvias del otoño y otros aportes, unido al régimen de funcionamiento de las turbinas existentes provocan que durante todo el año exista agua en muchos de los canales, con un espesor actual que varía entre los 50 cm y 100 cm y en muchas ocasiones, con más espesor en época de estiaje que en otoño-invierno. En la actualidad, el

secado de los canales sólo se observa de forma frecuente, en el sector del marjal más cercano a Chilches.

La combinación actual del incremento de la explotación de los acuíferos y del peculiar sistema de agua superficial provoca que en amplios periodos del año, los niveles de los canales se sitúen a cotas superiores a la del acuífero, constituyendo entonces líneas preferentes de recarga del acuífero detrítico en la vertical del marjal, que, de otro modo seguiría la misma tendencia que en el resto de sectores. La función de drenaje de los canales se limita actualmente, a aquellos períodos de años donde el nivel de agua en los canales está a cotas inferiores a las del acuífero.

Todo ello configura un escenario en que las piezas fundamentales de conservación hidrogeológica del entorno del marjal pasan por la conservación de los aportes subterráneos o que procedan de los manantiales y por el control del régimen de funcionamiento de la red de distribución de agua superficial.

## **7.3 MODELO MATEMÁTICO**

### **7.3.1 Descripción del proceso de modelación**

En este capítulo se presenta la implementación del modelo numérico, cuyo objetivo es reproducir los niveles piezométricos observados en el acuífero, empleando unos parámetros hidráulicos que sean coherentes con los procedentes de la bibliografía y con las observaciones realizadas en el presente proyecto. A su vez, este modelo se podrá emplear en el futuro para simular la evolución de dichos niveles, suponiendo nuevos escenarios provocados por actuaciones en su entorno.

El uso de herramientas informáticas en la cuantificación de los principales parámetros de control de las aguas subterráneas y superficiales es uno de los elementos claves para comprender la evolución sufrida por la hidrología subterránea en las últimas décadas.

El código que se utilizará en el presente proyecto es el de McDonald-Harbaugh del U.S. Geological Survey, conocido popularmente como MODFLOW, con los códigos pre y post procesadores comerciales marca VISUAL MODFLOW, de Waterloo Hydrogeologics. MODFLOW es un código tridimensional, en diferencias finitas,

modular, escrito en lenguaje FORTRAN, y compilado ya por el propio USGS para su uso con procesadores Intel en un entorno Windows de 32 bits. Puede ejecutarse perfectamente en PCs corrientes. La amplia aceptación de este programa, a nivel internacional avalan la fiabilidad de sus resultados. El paquete de pre y post procesadores utilizado corresponde a programa comercial Visual MODFLOW, de Waterloo Software, concretamente su versión 2.8.2.

### **7.3.1.1 Tratamiento temporal**

Todo modelo numérico pretende reproducir el comportamiento hidrogeológico de un sistema del modo más adecuado posible. Para ello, en general deberán realizarse una serie de simplificaciones que deben justificarse metodológicamente. Cualquier sistema real presenta variaciones temporales de los niveles piezométricos por lo que el tratamiento más adecuado supone considerar un régimen de flujo transitorio.

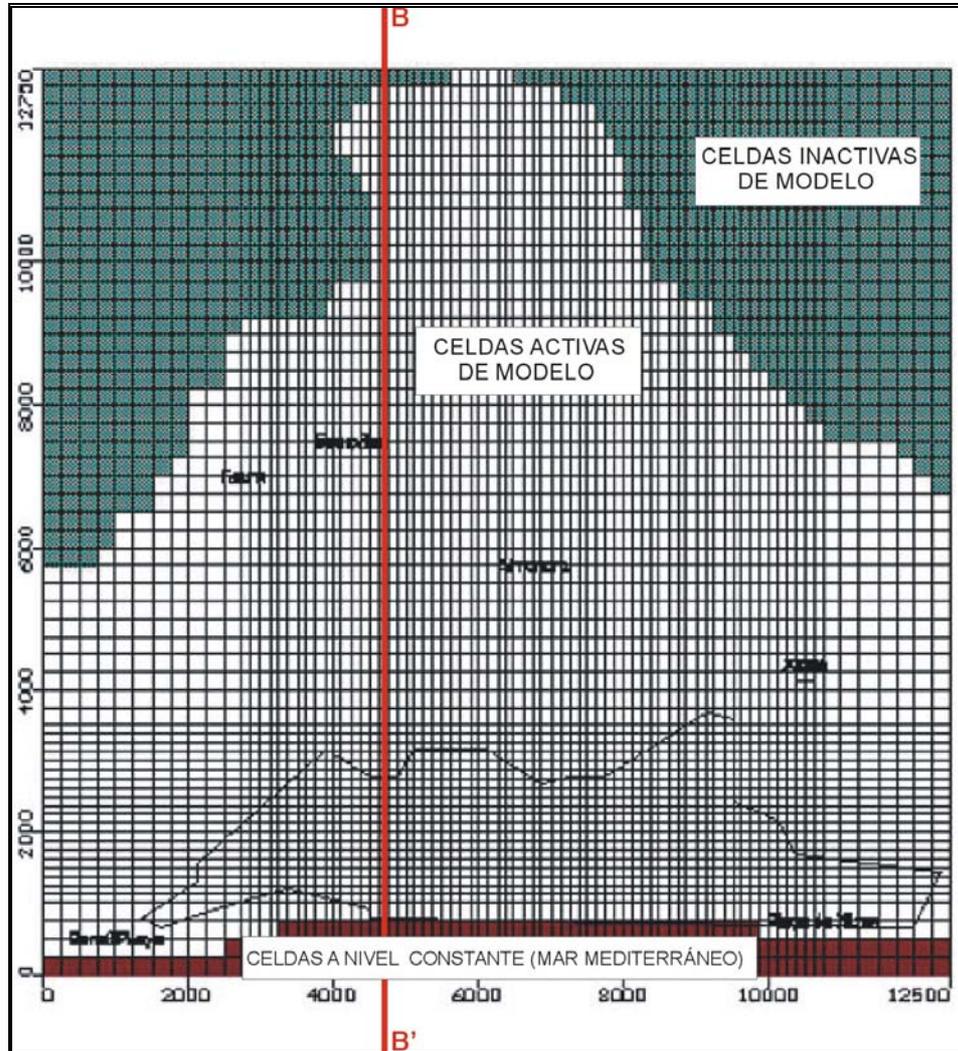
El modelo expresa los resultados en unidades temporales diarias, expresadas en intervalos mensuales. La serie de calibración corresponde a 10 años, entre 1990 y 2000.

Con todo, la ausencia de datos ha forzado, en algunos parámetros, como el caso de los aportes laterales, a introducir la variación de caudales en intervalos anuales, de 365 días, y a la construcción de series sintéticas de evolución temporal.

### **7.3.1.2 Discretización espacial**

La discretización espacial supone subdividir el dominio en una serie de celdas que lo recubren sin solaparse. El error que se comete en cualquier punto es pequeño si el tamaño de la celda es también pequeña en relación con la variabilidad de la función interpolada. Por otro lado, tampoco es conveniente que el número de celdas sea demasiado grande, puesto que los tiempos de cálculo de ordenador aumentan con este número.

Dos reglas básicas para una buena discretización son que el tamaño de las celdas sea menor en las zonas de interés y que la malla se adapte en lo posible a la geometría de las zonas singulares (actuales y futuras), incluyendo aquí los canales de riego y drenaje, y en la medida de lo posible, incluso a las zonas de parámetros hidráulicos inicialmente definidos.



Notas: Distancia ejes XY en metros. Línea quebrada; límite del marjal. Líneas gruesas de color; ubicación en el modelo del corte de la Figura 51.

Figura 56. Mallado del modelo.

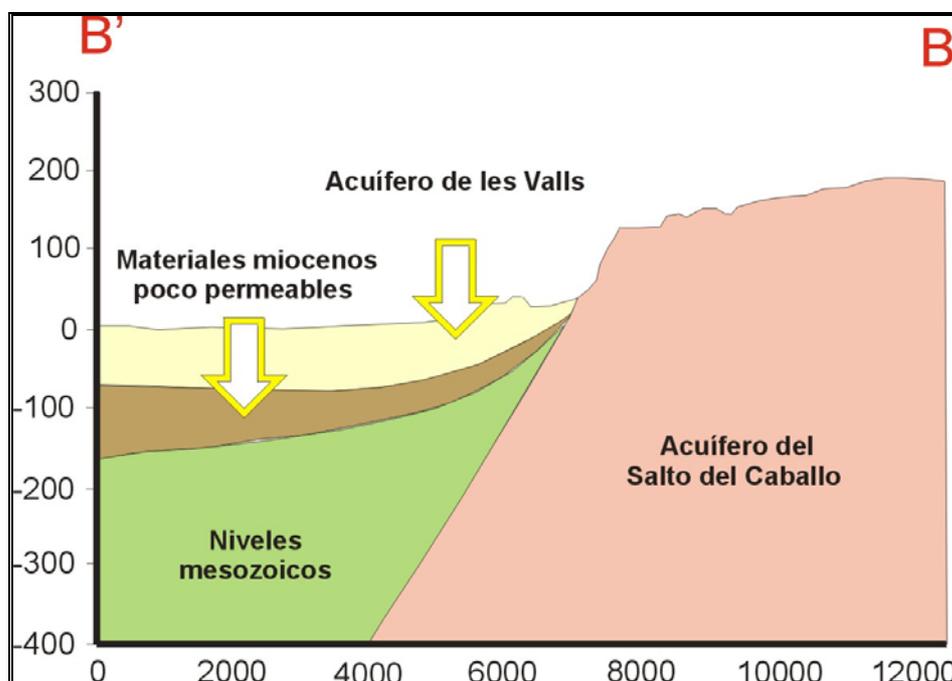


Figura 57. Perfil transversal de la zona modelada, en un corte B-B' desde la Unidad Algar-Quart, hacia el mar

El área de simulación contiene 12.500 x 12.750 metros, englobando tanto el marjal, como los acuíferos implicados directamente en su funcionamiento, el acuífero de les Valls y el acuífero del Salto del Caballo.

La malla que finalmente se ha obtenido se muestra en la Figura 56. Contiene un total de 61 filas y 82 columnas, con una distribución irregular, de forma que la malla se afina en la zona del marjal. La celda base tiene unas dimensiones de 250x250 m, que se reduce a 125x125 m en el marjal.

El modelo es monocapa, considerando que entre el acuífero del Salto del Caballo y el de Les Valls, existe únicamente contacto lateral.

En este sentido, la hipotética existencia de relación hidráulica entre la unidad cuaternaria y la serie mesozoica infrayacente no ha podido ser verificada en la vertical del marjal, en base a ningún par de piezómetros. Por el contrario, los datos geológicos disponibles apuntan mas a la existencia entre ambas unidades de un paquete detrítico

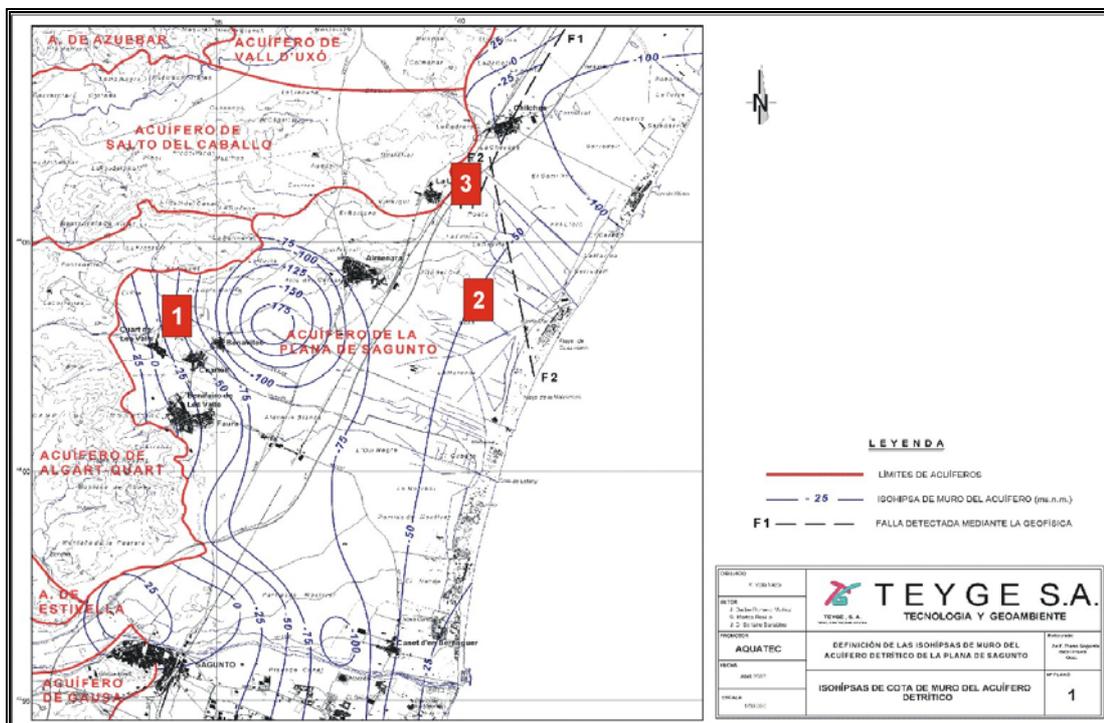
fino de materiales miocenos, que actuaría posiblemente como barrera de baja permeabilidad, dificultando la interconexión entre acuíferos.

Tampoco se conocen informes que describan la existencia y, en su caso, geometría, de contacto entre las unidades mesozoicas y el mar, así como su relación hidrogeológica. De hecho, en el resto de la costa mediterránea española se hallan ejemplos tanto de conexión clara como de inexistencia de la misma. Es importante destacar en este sentido, que la elección de una estructura monocapa provoca que el modelo no considere la salida del acuífero del Salto del Caballo hacia el mar.

Por el contrario, la relación de aportes establecida en el modelo entre el acuífero de Algart-Quart y les Valls, a partir de variaciones de gradiente a uno y otro lado del contacto, no está afectada por la existencia o no de salida al mar desde el acuífero mesozoico.

### **7.3.1.3 Incorporación de la geometría**

La geometría del acuífero implicada en el marjal es uno de los aspectos más significativos del proceso de construcción del modelo. Para la modelación de la base de la capa 1 en la zona de les Valls se ha contado con el mapa de isohipsas de dicha unidad, aportado por TEYGESA (Figura 58).



Notas: Los círculos numerados indican la posición de las fuentes principales.  
 1: Font de Quart, 2: Los Estanys, 3: Font de La Llosa.

Figura 58. Mapa de isohipsas de muro del acuífero detrítico en la zona de modelación.

La misma base, en la zona del Salto del Caballo es más compleja de reproducir, habiéndose realizado en base a los datos aportados en las columnas de los sondeos y pozos preexistentes.

Los límites laterales del modelo corresponden a los límites geológicos aflorantes entre el acuífero de Algar-Quart y les Valls, y entre el acuífero del Salto del Caballo y el acuífero de San José (Éste último, conjuntamente con la fuente del mismo nombre, fuera de los límites del modelo y del estudio).

La topografía de superficie se ha interpolado en base a las cotas niveladas de los pozos existentes en el modelo y de los mapas 1:10.000 disponibles. Del mismo modo, durante la realización de las campañas de campo, se ha realizado una nivelación topográfica propia, con 29 puntos adicionales, todos dentro del perímetro del marjal.

El resultado de la incorporación de la información geométrica al modelo conceptual permite diferenciar zonas con espesores acuíferos diversos, sobretodo en la unidad de les Valls, que facilitarán la posterior calibración de la transmisividad real del acuífero y la precisión de las simulaciones.

#### **7.3.1.4 Tratamiento de los parámetros hidráulicos**

Es uno de los aspectos fundamentales del modelo y lo que en realidad va a condicionar la representatividad de sus resultados respecto a la realidad física que se pretende simular. La manera como se plasma el modelo conceptual de la zona de estudio en un modelo numérico consta de diversas etapas. La primera consiste en, para cada uno de los parámetros hidráulicos considerados, subdividir el dominio en una serie de zonas en las que se considerará constante el valor de dicho parámetro.

Los parámetros que deben de recalibrarse en la ecuación de flujo en régimen transitorio son la transmisividad ( $T$ , función de la conductividad hidráulica y del espesor saturado), el coeficiente de almacenamiento y la conductancia de los canales.

La permeabilidad o conductividad hidráulica se tratará en el modelo como constante por zonas. Aunque la heterogeneidad del parámetro es bien conocida, este tipo de tratamiento permite reproducir las características básicas de la piezometría con unos parámetros de baja incertidumbre. Este tipo de tratamiento se considera adecuado para un modelo como el que se presenta.

La conductividad hidráulica inicial o de partida se dividirá en diversas zonas, en función, inicialmente de los parámetros hidráulicos obtenidos en los ensayos de bombeo y utilizando como apoyo, los datos de caudales específicos disponibles.

Los valores de coeficiente de almacenamiento utilizados se hallan en el rango de los conocidos a partir de los ensayos de campo que se conocen. Para su cálculo en cada celda, Visual Modflow parte de un parámetro propio que denomina Almacenamiento Específico, o  $S_s$  (Waterloo Hydraulics, 2000, User's Manual), que es considerado el valor de  $S$  para un prisma de longitud unidad para capas consideradas como acuíferos libres. El programa obliga para sus cálculos, el incluir un valor de  $S_y$ , que se considera la porosidad eficaz.

El Coeficiente de Almacenamiento en cada punto se calcula a partir del producto entre la  $S_s$  y el espesor de la celda. De este modo, los valores de  $S$  oscilan (de acuerdo con los datos bibliográficos conocidos) en el caso del acuífero del Salto del Caballo, entre 0.1 y 0.001 en su parte superior y la más cercana al acuífero de les Valls, respectivamente. Cuando el Coeficiente de almacenamiento calculado por VModflow supera el valor de  $S_y$ , el código numérico adopta éste último valor como  $S$ . Ello permite simular en una capa considerada como libre, sectores con un cierto confinamiento, sin que aparezca un valor de  $S$ , anómalo, extremadamente elevado.

Los datos recopilados sobre ensayos hidráulicos, existentes en la zona de modelación indican transmisividades ( $T$ ) entre 200 y 500  $m^2/d$  en los acuíferos del acuífero del Salto del Caballo. Los coeficientes de almacenamiento ( $S$ ) conocidos en este acuífero oscilan entre 0,003 y 0,004, en ensayos de bombeo en los pozos cercanos a La Llosa, indicando características de cierto confinamiento. Es posible suponer que, aunque la lámina de agua se halla a unas profundidades de 50 a 100 m en la zona superior de este acuífero, los valores de  $S$  en dicho tramo sean superiores a los anteriores.

Del mismo modo, los rangos de  $T$  hallados en la parte meridional de la U.H de la Plana de Castellón oscilan entre los 3.000 y 6.000  $m^2/d$ , del aluvial en el sector de La Rambleta (1 km al norte del límite del Modelo) y los 500  $m^2/d$ , de un ensayo situado en la zona norte del marjal, entre Chilches y el mar.

En base a la granulometría y al tipo de acuífero, es probable encontrar, en el acuífero de Les Valls, valores de coeficiente de almacenamiento ( $S$ ), asimilables a la porosidad eficaz, al menos en los tramos superiores de la unidad. Ello se traducirá a valores en el modelo de  $S_y$  entre 0,1 a 0,03.

### **7.3.1.5 Tratamiento de la recarga directa por lluvia**

Los datos de la infiltración directa por lluvia, en forma de recarga neta, es aportada por la Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Júcar, a partir de programa SIMPA, para el área de estudio.

Dicho programa permite calcular la infiltración mensual del periodo solicitado, con una celda de dimensiones 1 km x 1 km.

### **7.3.1.6 Tratamiento de la recarga por retorno de riegos**

La recarga por retorno de riegos en las distintas celdas se ha obtenido a partir de los datos estimados para las Unidades de Demanda Agraria (UDAs) en los trabajos de seguimiento del Plan de cuenca. Estos datos se definieron en el capítulo 4 y se han añadido, con la misma periodicidad, a los valores de recarga por lluvia mensuales, obtenidos mediante el programa SIMPA.

### **7.3.1.7 Condiciones de contorno y niveles iniciales**

Los límites norte y sur del modelo (contactos laterales con el resto del acuífero de la Plana de Castellón y de Sagunto) se considerarían nulos, al hacerlos coincidir con la dirección general de las líneas de flujo regionales. Ello es posible de justificar en base a los datos aportados por las piezometrías históricas realizadas con anterioridad.

La existencia de algunas captaciones cercanas a los límites del modelo podrían sugerir flujos locales radiales que podrían distorsionar puntualmente la dirección regional de dicho flujo. Sin embargo, la elevada transmisividad del sector implicado permite limitar en gran manera sus efectos y considerar que se mantiene de forma general dicha condición de paralelismo.

El límite occidental se marca por el contacto lateral subterráneo con los acuíferos del Salto del Caballo-La Llosa y de L'Algar- Quart. Este límite se le atribuirá inicialmente una entrada de caudal distribuida, respecto a la global, que está establecida en los diferentes balances hídricos preexistentes.

El mar, contemplado como límite abierto a nivel fijo, cierra el modelo en su sector oriental, a cota 0,0 msnm.

La base del acuífero detrítico la constituyen los niveles del mioceno, con un espesor inferido a partir del mapa de isohipsas (Figura 58). La base del acuífero del Salto del Caballo, se ha ajustado en base fundamentalmente a la profundidad de la captaciones en las que se dispone de dicho dato.

### **7.3.1.8 Tratamiento de la red de distribución de agua superficial**

La red de distribución de agua superficial del marjal tiene un papel fundamental en su funcionamiento hidrogeológico, siendo a su vez, uno de los puntos menos analizados del mismo hasta la fecha.

Los datos procedentes de los piezómetros indican que la red de canales tiene un comportamiento de dren o de recarga, en función de la diferencia de cotas entre el nivel freático del acuífero de les Valls y la de la lámina de agua en el canal.

Las turbinas son el principal elemento regulador del nivel de agua en los canales y campos del marjal, mientras que el régimen de extracciones por pozos, ubicados básicamente fuera del marjal, condicionan de forma significativa, conjuntamente con la variabilidad climática, el nivel regional del acuífero.

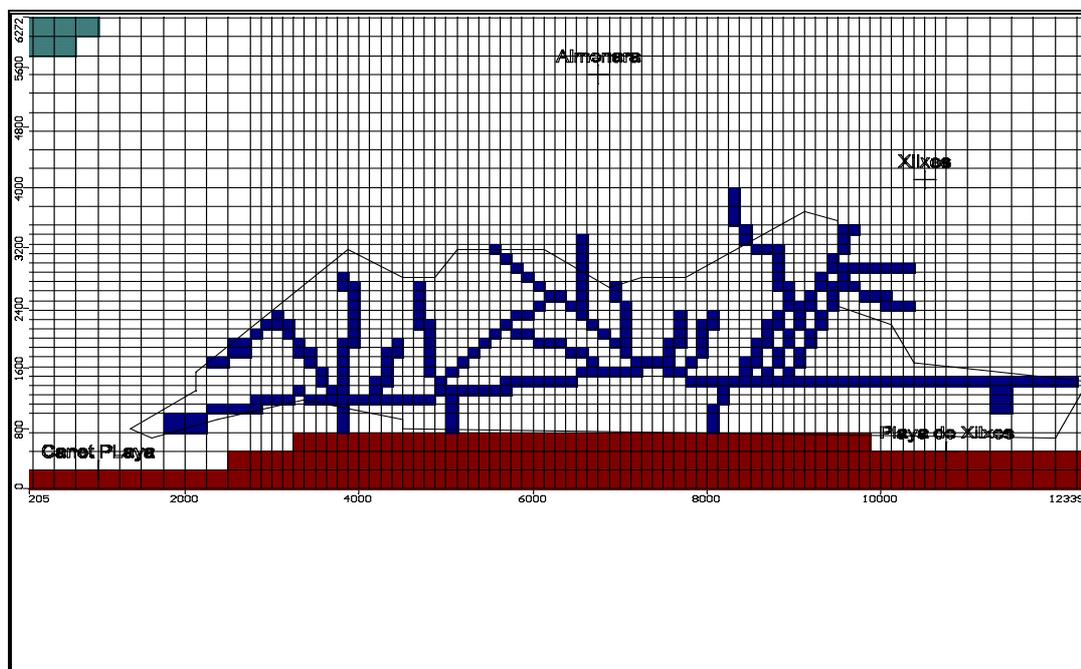
El régimen de funcionamiento de los canales es el responsable del secado o inundación selectivo de los campos, así como del actual mantenimiento de un nivel permanente de agua en las acequias principales, que favorece la recarga hacia el acuífero. La existencia de mayores espesores de agua en los canales en verano, cuando los riegos en todo el acuífero provocan una mayor extracción de agua subterránea, favorece esta infiltración.

Por el contrario, en periodos húmedos con el nivel freático regional elevado, en invierno, o cuando los campos se hallan encharcados por ausencia de cultivos o periodos de descanso del terreno, un arranque del sistema de turbinas en los canales provoca el drenaje de la parte superficial del acuífero en la vertical del marjal.

Para intentar simular este efecto, el modelo tiene actualmente introducidos los principales ejes de distribución de agua en el marjal con una condición de tipo río, en la que el canal recarga cuando su nivel es más elevado que el del acuífero y a la inversa, recibe aportes subterráneos cuando se invierte esta relación de niveles.

Para ello, ha sido necesario, además de recopilar información de cotas del terreno y canales, obtener desde noviembre de 2001 información temporal sobre la oscilación y el espesor de la lámina de agua de los canales. La gran densidad de canales existente en el marjal ha provocado la necesidad de representar los más significativos, desde la

escala de trabajo de la representación del funcionamiento hidráulico de todo el perímetro de protección.



Nota: En rojo, el Mar Mediterráneo, la línea negra marca el perímetro del marjal.

Figura 59. Distribución de las zonas de canales principales introducidos en el modelo, en el ámbito del marjal.

La distribución de los principales canales con condición de tipo río en el marjal, incorporados al modelo se muestra en la Figura 59. Todas ellas en la zona del modelo con celdas de 125 x 125 metros. El introducir la totalidad de la red de drenaje existente habría requerido, en la práctica, una celda de dimensiones inferiores al metro en el modelo existente en el marjal. Dicha selección habría imposibilitado ampliar el área del modelo al resto del acuífero de les Valls y al acuífero del Salto de Caballo.

Por otro lado, el forzar un polígono o polígonos de condición “río” en toda el marjal, que representasen los diferentes campos de cultivo, equivale a fijar el nivel en todo su extensión, lo que imposibilitaría el realizar las simulaciones a las que está enfocado el mismo.

De este modo, se han incorporando en el modelo únicamente los principales canales. Si en otros proyectos se considerase necesaria la realización de simulaciones en

parcelas de menos de 5-10 ha, sería recomendable la elaboración de submodelos, con un mallado más fino, que construyese sus límites de acuerdo con las condiciones del presente modelo matemático, y se incorporase la información de detalle de cotas del terreno, cotas de base de los canales existentes y de lámina de agua en los mismos.

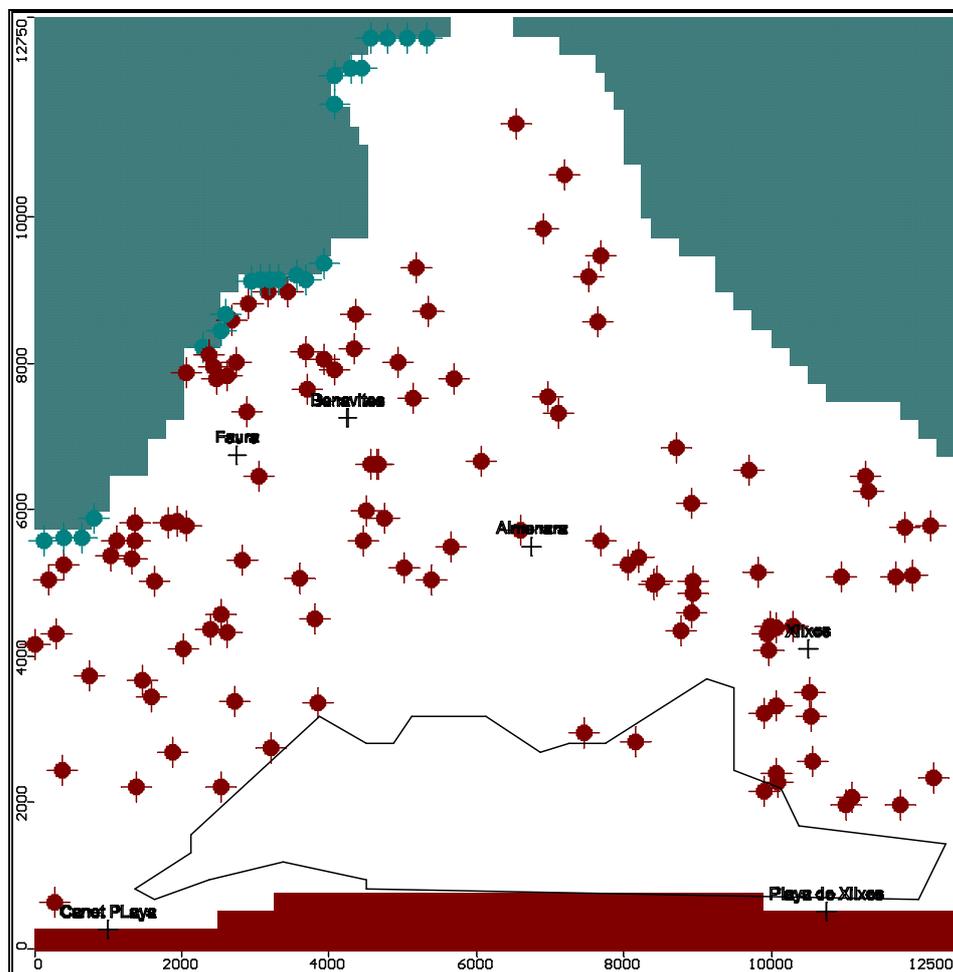
La calibración de la conductancia de los canales ha tenido en cuenta la relación entre las dimensiones de la celda en el presente modelo y las dimensiones reales de la acequia (longitud, anchura y calado).

Por otro lado, dicha calibración se ha realizado a partir de la información piezométrica disponible en aquellos puntos representativos del acuífero, que a su vez, reflejaban una significativa influencia con las oscilaciones del calado de la lámina de agua en los canales.

#### **7.3.1.9 Tratamiento de los pozos de bombeo**

Los pozos de bombeo se atribuyen a una celda en concreto de la malla del modelo y a una capa, o mediante la posición de las rejillas, proporcionalmente a varias capas. En este caso, al tratarse de un modelo monocapa, todas las captaciones tienen su zona de admisión en la capa 1. Los caudales de cada captación se muestran en el apéndice 1 del Anejo 9. Su distribución la muestra la Figura 59.

Es importante destacar que el descenso que el modelo calcula en la celda donde se encuentra la captación no corresponde con el descenso del agua en el propio pozo, ya que la celda tiene unas dimensiones que no son la del radio del pozo. Con todo, los conos de bombeo generados por las captaciones sí tienen su expresión en la piezometría, distribuidos de acuerdo con la malla escogida.



Notas: En color azul, pozos de inyección simulando las entradas laterales subterráneas.  
 En marrón, pozos de bombeo de la zona. Ejes XY en metros.

Figura 60. Núcleos de extracciones definidos en el modelo.

La transposición de las coordenadas UTM a las coordenadas del modelo de las captaciones, y de todos los puntos susceptibles de ser expresados en coordenadas UTM, puede realizarse mediante una modificación de coordenadas que tiene en cuenta la dimensión de las celdas y la rotación que la malla del modelo tiene respecto a los ejes N-S y E-O de las UTM. En el caso del presente modelo, las ecuaciones son:

$$X \text{ modelo} = X \text{ UTM} - 739650 * (\text{COS } 63.7 \text{ phi}/180) + (Y \text{ UTM} - 4396000) * (\text{SEN } 63.7 * \text{phi}/180).$$

$X \text{ modelo} = X \text{ UTM} - 739650 * (\text{SEN } 63.7 \text{ phi}/180) + ( Y \text{ UTM} - 4396000) * (\text{COS } 63.7 * \text{phi}/180).$

### **7.3.1.10 Tratamiento de los manantiales**

Las fuentes principales se muestran en la Figura 60. El tipo de tratamiento dado a las mismas será diferente en cada caso.

- La surgencia de La Llosa se sitúa fuera del acuífero de les Valls y, mediante 2 canalizaciones principales sirve para regar campos de la Comunidad de regantes nº 1 (Sociedad de Riegos de la Font), ya dentro de la Unidad detrítica. En ausencia de datos fiables de aportes aforados desde dicha fuente, se ha optado por considerar los posibles aportes como parte de caudal que circula por los canales. De este modo, la calibración de los canales de acuerdo con los datos piezométricos existentes en la zona están incluidos en el espesor de la lámina de agua de los canales de su entorno.
- En el caso de la Font de Quart, los valores que se incorporan al acuífero de Les Valls, se consideran el caudal total aforado durante el periodo 1.990-2.001. Los aportes de la década, muy bajos en relación con el resto de términos de balance, se han incluido en el modelo, en la celda correspondiente a la fuente, mediante un pozo de inyección.
- La salida desde los Estany de Almenara se ha considerado como un caso especial, dentro del contacto hidrogeológico entre el Salto del Caballo y Les Valls. Desde el punto de vista del valor del nivel freático, el modelo considera dicho punto como brusco un cambio de conductividad hidráulica y modifica la distancia entre isopieza a uno y otro lado del mismo.

Sin embargo, los únicos datos fiables relacionados con los Estany no son niveles, sino caudales aforados de salida. Para comprobar que la piezometría existente en dicha zona es coherente con los caudales conocidos se ha realizado una simulación preliminar con el modelo.

Ésta ha consistido en forzar que el programa obtenga una serie temporal de caudales de salida, considerando los Estany como un dren, que ocupa 3 celdas del modelo en la zona, del acuífero del Salto del Caballo.

Las cotas medias de base del dren en cada celda se hallan entre la cota -1 en los extremos y la -4 en la celda central, de acuerdo con los datos obtenidos de la batimetría de los Estanys realizada en el estudio ambiental. Con estos condicionantes, se han generado los caudales de salida en los Estanys, para el periodo enero 1990-diciembre 1999., que se representa en la Figura 61.

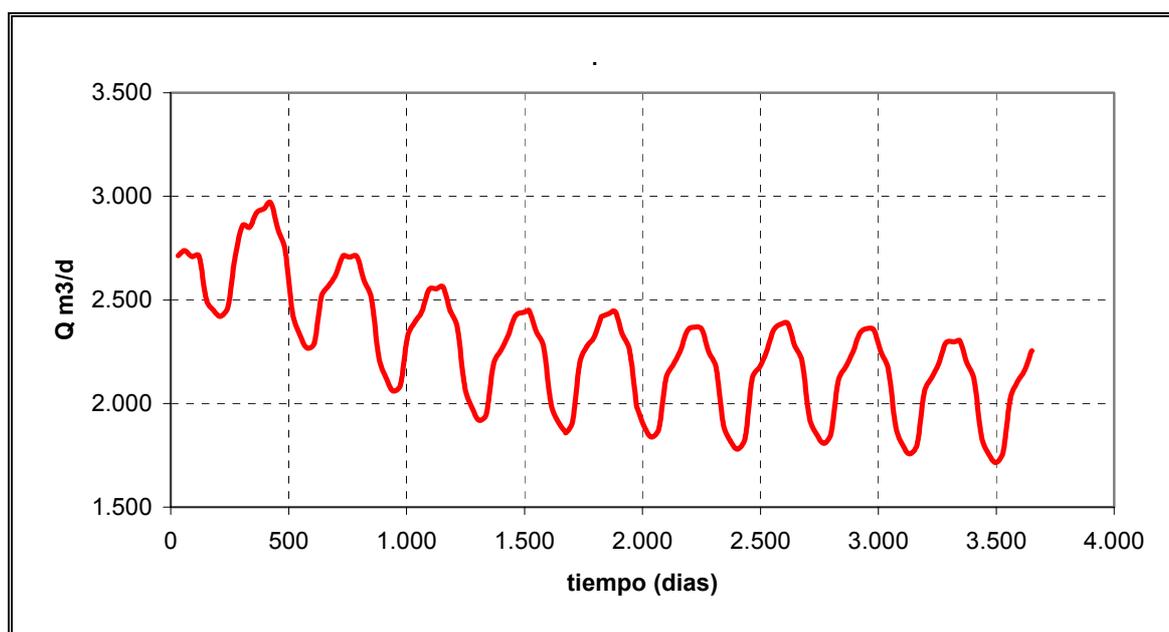


Figura 61. Evolución simulada de caudales de salida en la zona de surgencia de Los Estanys (periodo comprendido entre enero 1990 y diciembre 1999).

En dicha simulación, los caudales oscilan entre los 2.900 y los 1.700 m<sup>3</sup>/día, con una tendencia temporal al descenso. Dichos valores se incluyen dentro del rango de los valores históricos registrados, que varían entre los 0,3 y los 1,5 hm<sup>3</sup> anuales.

#### 7.3.1.10.1 Consideraciones respecto al balance de agua en los Estanys

Este apartado tiene por objeto realizar un análisis de las distintas componentes de la ecuación de balance hídrico en los Estanys, con objeto de comprender mejor la magnitud y relaciones entre las mismas. Para ello, y a pesar de la incertidumbre

existente en la determinación de alguna de las componentes, se ha planteado el análisis en términos de la ecuación de balance, asumiéndose que se cumple:

$$V_e - (V_{ev} + V_{sp} + V_{\text{superficial aportado a los canales}}) = V_{\text{Estanys}}$$

Donde:

$V_e$  = Volumen de entrada desde el acuífero carbonatado (valor obtenido con el modelo numérico).

$V_{ev}$  = Volumen de salida por evaporación (en función del valor de evaporación y de área de la lámina de agua libre).

$V_{sp}$  = Volumen de salida subterránea hacia el acuífero (en función de la conductancia entre las lagunas y el acuífero, el gradiente hidráulico y la sección mojada de las lagunas).

El volumen diario de aportes subterráneo a Los Estanys oscila entre 1.700 y 2.900 m<sup>3</sup>, mientras que el volumen de agua evaporada, considerando un valor medio anual de 3 mm/día, oscila para las áreas de lámina libre entre 108 y 39 m<sup>3</sup>/ día.

Por último, el caudal subterráneo saliente desde el humedal es función de su sección mojada, por su gradiente (0,00015) y por la conductividad hidráulica del medio (8 m/d). La sección, a su vez, será considerada como el producto de su longitud media (400 metros) con la altura media de la lámina de agua que como máximo se considera de 8 metros, con un valor medio de acuerdo con la geometría de la base de 4 m. Con estos valores, el valor de caudal subterráneo saliente es tan sólo de 4 m<sup>3</sup>/d, que puede alcanzar los 8 m<sup>3</sup>/d, en momentos de gradiente hidráulico máximo.

El valor de caudal superficial que aportan Los Estanys hacia los canales no se conoce al no existir aforos históricos de los canales que lo distribuyen. Dicho valor es crítico, tanto en magnitud, como en distribución, para poder establecer con precisión la altura de la lámina de agua en el humedal. A partir de los datos obtenidos en la campaña realizada durante el 2002 se ha intentado establecer cual puede ser la salida superficial al resto del marjal. El tener los canales de distribución cercanos a los Estanys inundados durante el periodo de muestreo no ha permitido realizar los aforos oportunos.

La aproximación a la descarga realizada durante dicho periodo se ha calculado a partir de la superficie inundada que ha producido en las fincas frente al humedal. De esta forma, con una extensión inundada de 460.000 m<sup>2</sup> y una altura de lámina que oscila entre los 60 y los 20 cm, obtenida a partir de los piezómetros medidos por el equipo ambiental del presente proyecto, se alcanza un volumen de lámina de agua de 290.000-90.000 m<sup>3</sup>.

Para un periodo de inundación de 3 meses, se obtiene un caudal de salida, sin contemplar la infiltración de los campos, entre 3.200 y 750 m<sup>3</sup>/d. Dicho rango de valores es comparable con los calculados por el modelo y el valor medio sería entonces de 1.900 m<sup>3</sup>/d.

Si considerásemos que los valores de calado definidos como medios en el estudio ambiental, son los que corresponden al valor medio de los aportes, éstos definirían 3 cubetas independientes, de sur a norte, dentro de los Estanys con calados de 1,5 m, 6,5 m y 1 m, respectivamente.

Con esta hipótesis, los valores de cada uno de los términos de aporte serían los valores medios:

- Aportes subterráneos medios a los Estanys (1990-1999) : 2.300 m<sup>3</sup>/d.
- Salidas medias por evapotranspiración : 75 m<sup>3</sup>/d.
- Salidas superficiales medias : 2.000 m<sup>3</sup>/d.
- Salidas subterráneas desde los Estanys : 8 m<sup>3</sup>/d (gradiente de 0,00015).

A continuación se presenta la curva que relaciona la cota batimétrica con el volumen almacenado en los Estanys. El volumen total almacenado de los Estanys para la cota 0 es de 119.249,25 m<sup>3</sup>.

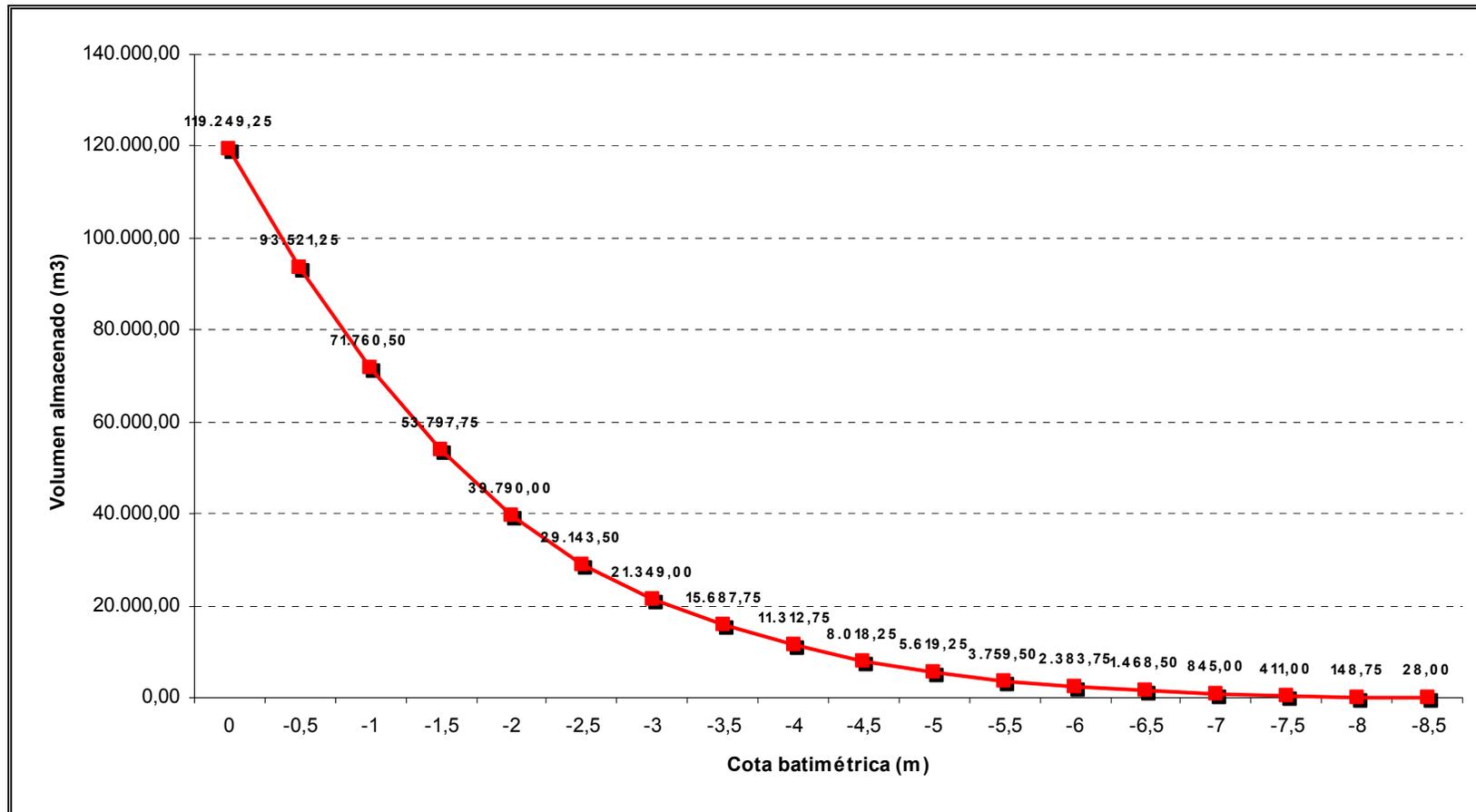


Figura 62. Curva cota-volumen de los Estanys de Almenara

Los valores de variación en el volumen almacenado, planteados en términos de balance mes a mes o año a año, no han sido reflejados debido a la insuficiencia de datos.

La diferencia de cierre de este balance sería de + 217 m<sup>3</sup>/d. Muy probablemente este valor se debe al ajuste que representaría los aportes superficiales que han sido infiltrados en los campos.

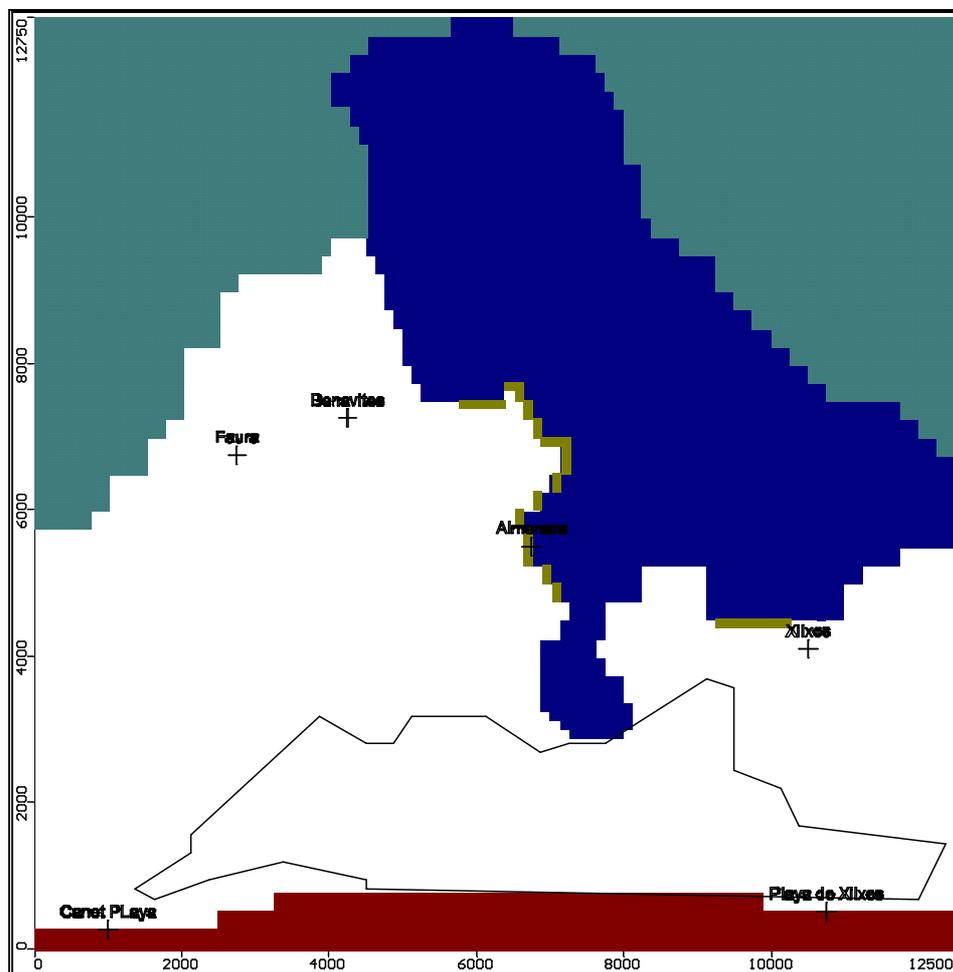
Los datos del balance realizado son indicativos de la reducida capacidad de almacenamiento de los Estanys y su rápida velocidad de renovación del agua almacenada. En consecuencia, el exceso de agua aportada por la surgencia (que es la parte más significativa) desborda el vaso de los Estanys lo que provoca la inundación de los campos vecinos, siendo esta agua parcialmente evacuada por la red de canales.

#### **7.3.1.11 Condiciones de muro**

En los casos donde se ha comprobado que la piezometría existente no verifica una continuidad hidráulica clara, o en zonas donde existe flujo cerrado entre acuíferos y no aparece un nivel o unidad poco permeable de espesor superior a las dimensiones de una celda del modelo, que justifique su entrada como zona de k diferenciada, se ha empleado la condición de contorno muro (“wall boundary”, en VMODFLOW).

Dicha opción permite simular barreras horizontales de baja permeabilidad normales al flujo con un espesor y una conductividad hidráulica a especificar. Dicha opción es especialmente útil para simular zonas de fracturación poco permeables o cambios sedimentológicos bruscos entre unidades, capaces de modificar la piezometría.

La Figura 63 muestra la distribución de este tipo de condición en el modelo. En todos los casos se les han atribuido conductividades hidráulicas de 0,00001 o inferiores y espesores de 20 a 50 metros.



Notas: en color marrón verdoso de las celdas con condiciones de tipo muro, conjuntamente con las condiciones de tipo mar (rojo) y la situación del acuífero del Salto del Caballo (azul).

Figura 63. Distribución de las condiciones de muro en el modelo.

En este caso, se han incluido condiciones de este tipo, de acuerdo con las piezometrías históricas existentes y los diferentes informes estudiados, el sector del contacto geológico entre el salto del Caballo y Les Valls, entre Benavites y Almenara, así como el sector de la Fuente de La Llosa, donde la ausencia de dicha condición no permite simular salidas desde esta fuente, con una base de dren ubicada a una cota superior a los +7 msnm.

### 7.3.2 Calibración del modelo

El siguiente paso en el proceso de modelación será la calibración. Calibrar un modelo consiste en estimar el conjunto de valores de los parámetros que permiten un mejor ajuste de los datos piezométricos, pero de manera que se respete lo más rigurosamente posible el resto de valores de información real suministrados.

La calibración asegura que el modelo reproduce los niveles observados en el acuífero, empleando unos parámetros hidráulicos coherentes con los procedentes de la bibliografía y otras fuentes. Los parámetros a calibrar serán los siguientes:

- **Conductividad hidráulica:** La permeabilidad será objeto de calibración, en función de los datos piezométricos existentes; piezometrías y evolución temporal en puntos concretos del acuífero. La transmisividad en el acuífero libre será el producto de dicha conductividad con el espesor saturado que exista en cada caso.
- **Factor de goteo o conductancia.** Ha de relacionar el nivel de agua en los canales con el nivel freático.

#### 7.3.2.1 Calibración en régimen permanente

La calibración del modelo se ha realizado en dos fases. La primera realiza la calibración en régimen permanente, es decir, el resultado del balance hídrico, considerado como la diferencia entre entradas y salidas de agua, para un mismo intervalo de tiempo, tiene que ser igual a cero.

La calibración en estacionario presenta, en las fases iniciales de construcción del modelo, una mayor sencillez y velocidad de ejecución, así una más fácil comparación entre los datos reales del balance del acuífero y los obtenidos por el modelo. El resultado final de esta fase es un modelo con una situación estacionaria en cuanto a niveles y caudales, que facilita la definitiva calibración en régimen transitorio.

La calibración en régimen permanente se ha realizado siempre para el período 1/1990-12/1999, considerando las extracciones medias de los pozos y su correspondiente retorno de riego, así como la recarga media del periodo para cada acuífero, según el valor medio de la década, calculado a partir de los datos mensuales aportados por el programa SIMPA.

Los valores piezométricos iniciales en la zona del modelo se han tenido que construir en base a las piezometrías históricas preexistentes, que únicamente abarcaban el sector castellonense del marjal y el acuífero del Salto del Caballo.

El resto del área se ha tenido que reconstruir siguiendo las pautas marcadas por la piezometría de la zona norte, teniendo en cuenta los datos conocidos de extracciones, datos semicuantitativos procedentes de informes del IGME en dicho sector, y los valores medios de nivel de los piezómetros existentes en la zona.

Para la convergencia de los datos introducidos se ha utilizado el algoritmo SIP, existente en el paquete básico del VMODFLOW. El resultado del ajuste del régimen permanente se expresa en la relación entre niveles observados y simulados en los diferentes piezómetros, y se muestra en la Figura 64 y la Tabla 16.

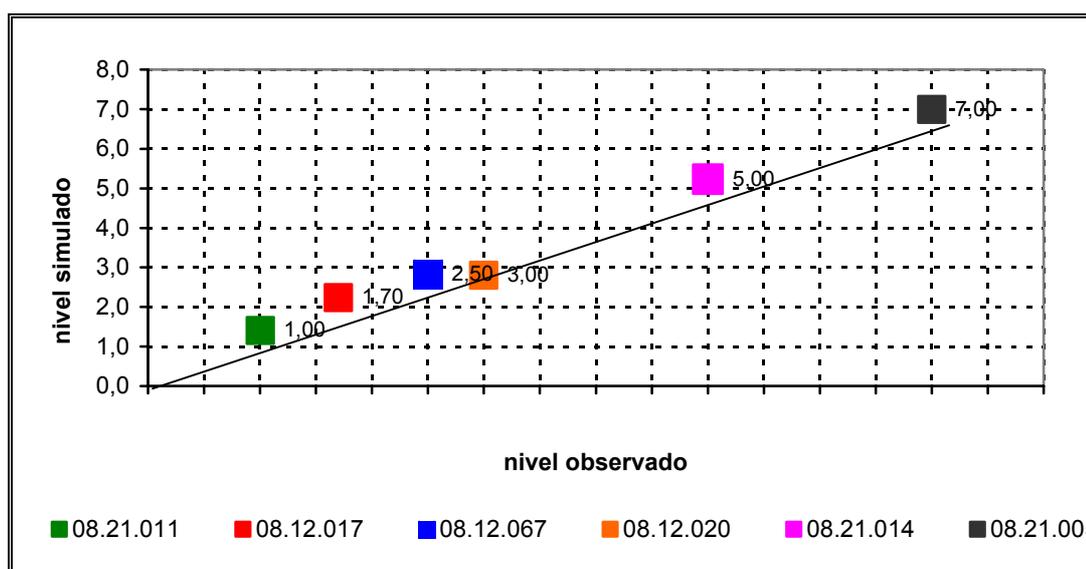
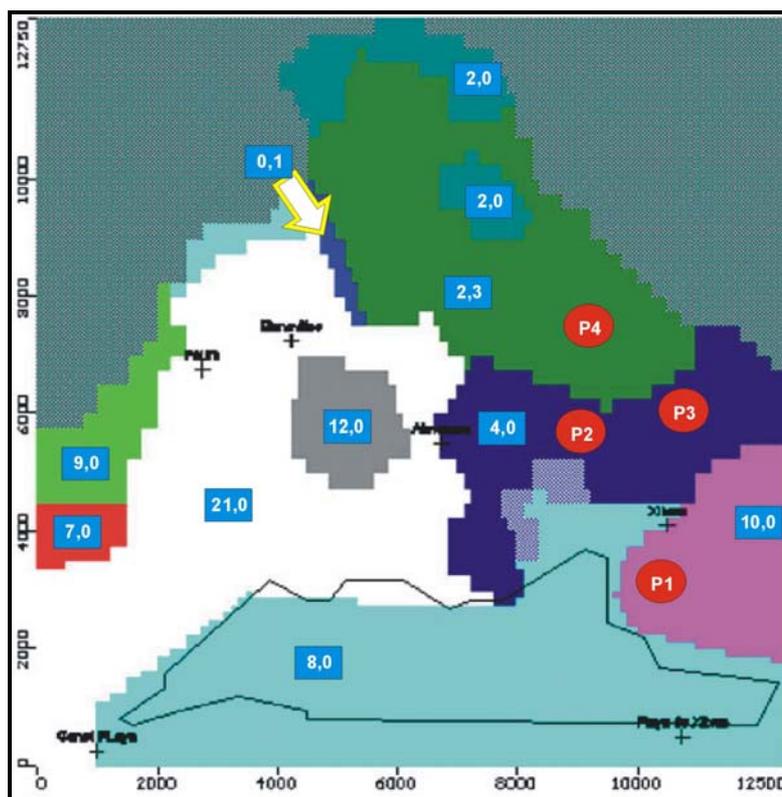


Figura 64. Gráfico de ajuste del régimen permanente en los diferentes piezómetros empleados en la modelación.

**Tabla 16. Datos de ajuste del régimen permanente en los diferentes piezómetros empleados en la modelación.**

Piezómetro	Nivel freático, obtenido a partir de la información procedente de piezometrías históricas y la evolución piezométrica del punto de observación, utilizado en la calibración del régimen permanente (msnm)	Nivel simulado obtenido (msnm).
08.21.011	1	1,4
08.12.017	1,7	2,2
08.12.067	2,5	2,8
08.12.020	3	2,8
08.21.014	5	5,2
08.21.005	7	6,9



Notas: Valores de conductividad: cuadrados azules, en m/d. Los círculos rojos marcan los puntos donde se han de calibración. realizado ensayos de bombeo P1= 480 m<sup>2</sup>/d (Intecsa, 1991), P2=395 m<sup>2</sup>/d (Intecsa, 1991), P3= 450 m<sup>2</sup>/d (Intecsa, 1.991);P4 = 250 m<sup>2</sup>/d (Teygesa, 2001).

Figura 65. Valores de la conductividad hidráulica obtenidos al final de la fase de calibración.

Los valores de conductividad (Figura 65) calibrados muestran variaciones entre los 0,1 m/d de los materiales del Buntsandstein que limitan al norte el acuífero de Les Valls, del acuífero del salto del Caballo, los 2-4 m/d del acuífero carbonatado del Salto del Caballo y los 8-21 m/d del acuífero de Les Valls.

Los resultados del balance hídrico para la fase de régimen permanente se muestran en la Figura 66. Todos los valores obtenidos, excepto el dato de ET se hayan en posiciones intermedias con respecto los datos de balance citados en otros informes, obtenidos de forma independiente.

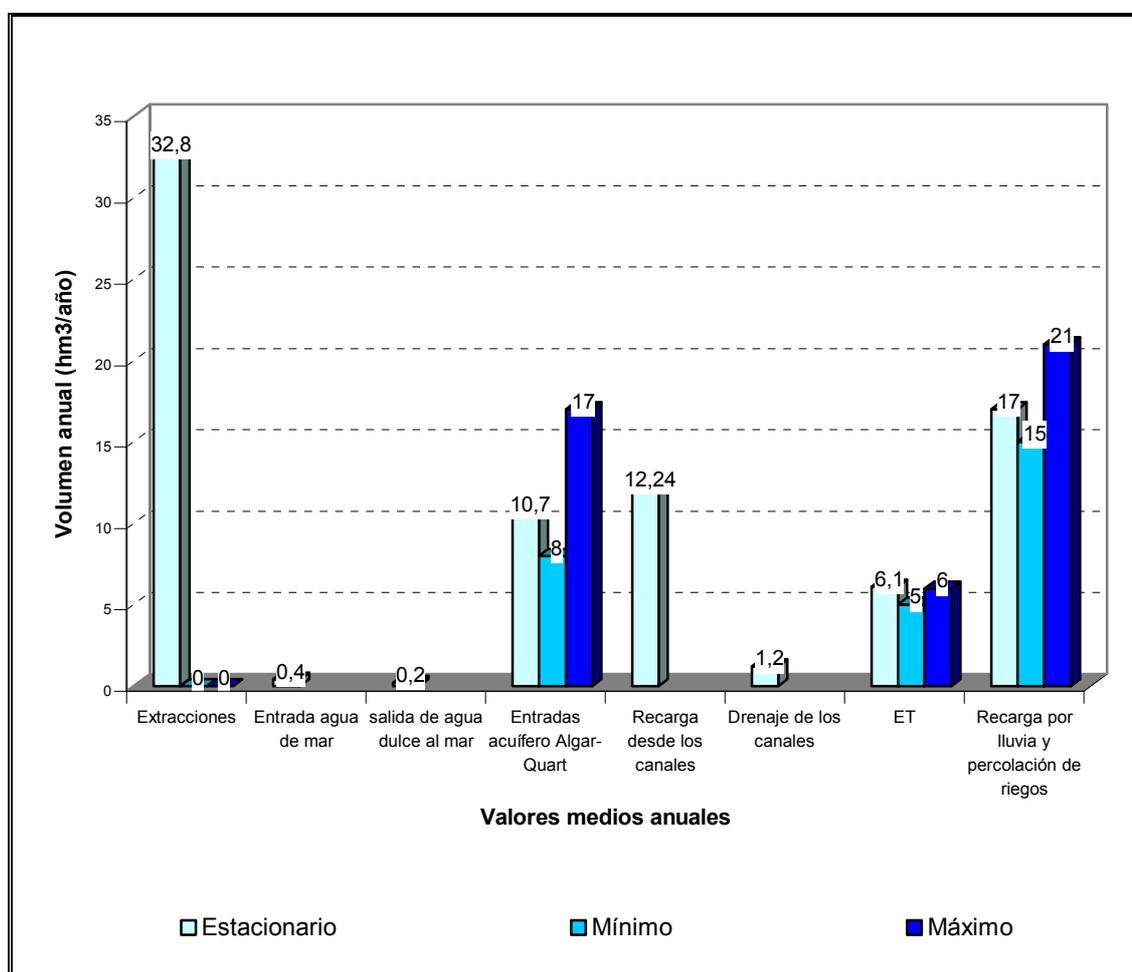


Figura 66. Resultado del balance obtenido al final de la calibración en régimen permanente

**Tabla 17. Datos de resultado del balance obtenido al final de la calibración en régimen permanente del acuífero**

		Estacionario	Datos de balance (Máximo) hm <sup>3</sup> /año	Datos de balance (Mínimo) hm <sup>3</sup> /año
<b>Entradas</b>	Algart-Quart	10,7	8	17
	Recarga canales	12,2		
	Recarga lluvia y aportes de riego	17	15	21
	Entrada agua de mar	0,4	15	21
<b>Salidas</b>	Extracciones	32,8	34,5	29,5
	Drenaje de los canales	1,2		
	ET	6,1	5	6
	Salida agua dulce al mar	0,2		

Cabe señalar que los datos de salida o entrada de agua desde o hacia el mar y los valores de recarga o dren, desde o hacia los canales de drenaje, se han obtenido del modelo, puesto que no se han encontrado datos históricos.

El dato medio de ET, es similar aunque puede llegar a triplicar el valor histórico del IGME para el marjal (6 hm<sup>3</sup>/a), según se consideren 1 ó 3 metros de influencia de dicho parámetro en profundidad.

### **7.3.2.2 Calibración en régimen transitorio**

La calibración en régimen permanente consigue reproducir el comportamiento general del acuífero, tanto en términos de nivel como de balance. Con todo, la calibración en régimen transitorio permite conocer con mucha mayor precisión como es el comportamiento real del acuífero y su evolución.

Por ello, existen incorporaciones importantes en esta fase, que modifican el resultado de la calibración en régimen permanente. Las más significativas son:

- Incorporación del coeficiente de almacenamiento como parámetro de calibración (Figura 67), teniendo en cuenta los datos hidrogeológicos disponibles y el ajuste piezométrico.
- Incorporación de la recarga directa por lluvia a partir de series de evolución mensual aportados por el código SIMPA para el período 1/1990-12/1999.
- Incorporación de las extracciones, a partir de la construcción de series de evolución mensual, del período 1/1990-12/1999.
- Incorporación de los valores anuales del período 1/1990-12/1999, de los aportes subterráneos, procedentes del acuífero del Algar-Quart, hacia el acuífero del Salto del Caballo y Les Valls, calculados a partir de la metodología descrita en el capítulo 3.

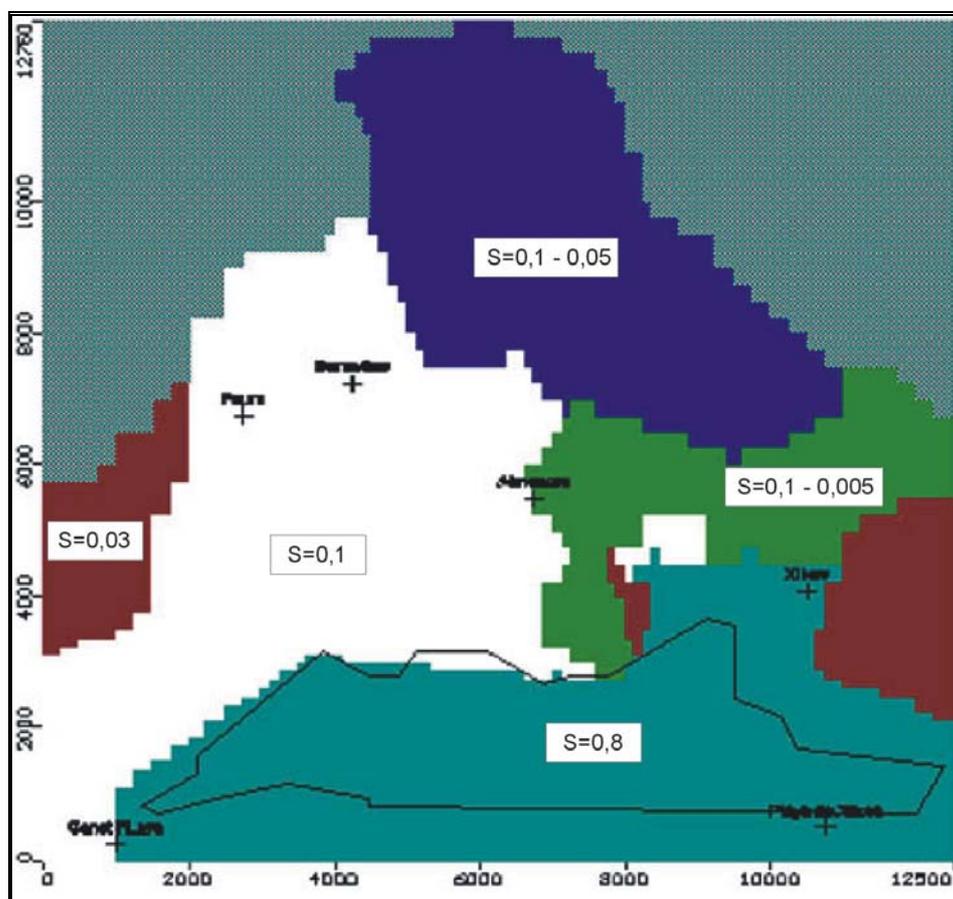


Figura 67. Rango de valores de coeficiente de almacenamiento S, calibrado e incorporado al modelo.

También son esperables divergencias en los periodos iniciales de simulación si se han considerado los niveles resultantes del ajuste en régimen permanente como niveles iniciales de régimen transitorio. Dicha divergencia es mayor, cuanto mayor diferencia exista entre los valores medios y los valores reales del inicio del periodo transitorio y disminuye a medida que avanza el proceso de cálculo, como muestra la Figura 67.

### 7.3.2.3 Comparación del ajuste entre niveles simulados y observaciones reales obtenidas de la red de piezómetros

#### 7.3.2.3.1 Ajuste de la calibración

El ajuste de la calibración en estado transitorio lo expresa fundamentalmente la relación porcentual entre los niveles reales y los calculados, que están medidos en metros. En el proyecto, no se dispone de series temporales continuas sino de únicamente una serie de observaciones repartidas en el periodo 1/1990-12/1999.

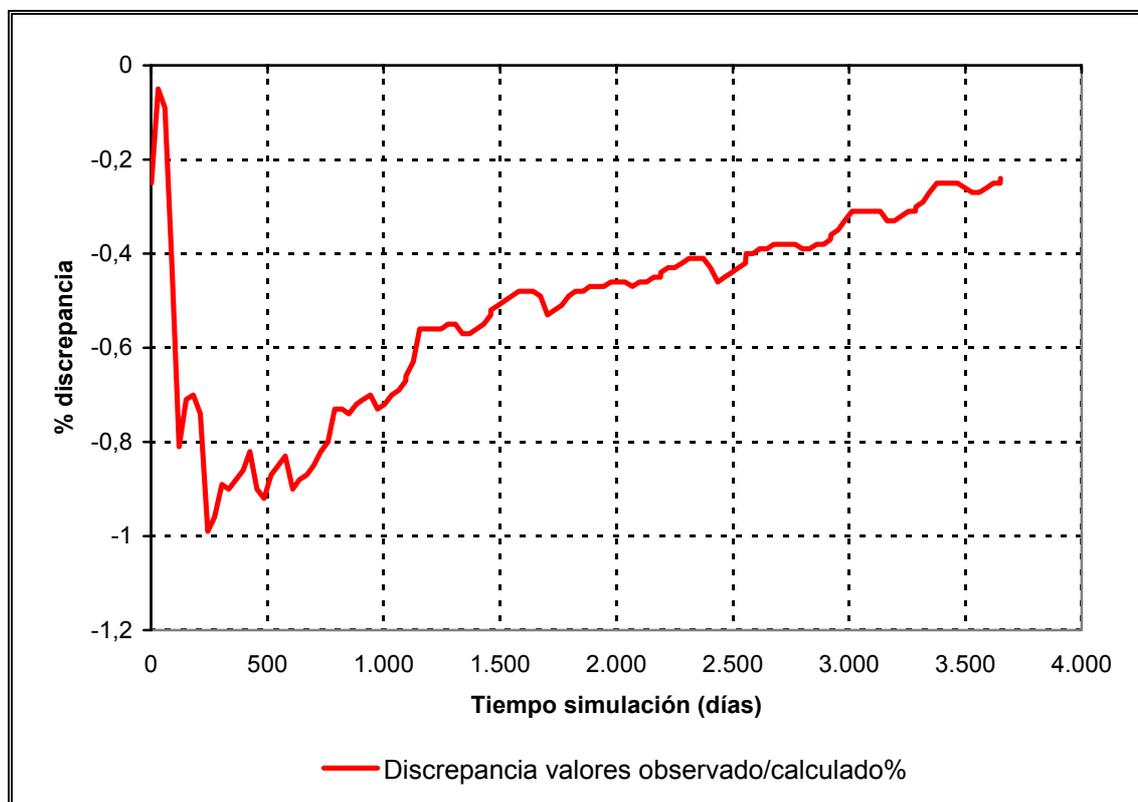


Figura 68. Representación del error residual en %

La Figura 68 muestra la evolución del error total residual del modelo en el periodo temporal analizado (10 años). Los mayores porcentajes de error se sitúan al inicio del proceso de cálculo, siendo en todo caso inferiores al 1% y relacionados básicamente con los procesos de ajuste entre los niveles iniciales impuestos al modelo y los

algoritmos numéricos. A partir de los 6 primeros meses de simulación, el error residual tiende a disminuir, hasta alcanzar valores inferiores al 0,3%.

Las diferencias medias entre los valores medidos y simulados varían en cada punto de control. La Tabla 18 indica el valor de error absoluto y el error residual de calibración, por piezómetro.

**Tabla 18. Valores medios de la diferencia entre los datos observados en los piezómetros y los calculados, al final de la fase de calibración del régimen transitorio.**

Piezómetro	Error absoluto (m)	Error residual de calibración (m)
08.12.067	0.6	0.05
08.12.020	0.3	0.02
08.21.005	1.5	0.08
08.21.014	1.0	0.07
<b>08.21.011</b>	0.2	0.01
<b>08.12.017</b>	0.3	0.03

Nota: Se diferencia entre piezómetros externos a la misma, dentro del acuífero de La Plana y piezómetros internos del marjal (en negrita).

El ajuste piezométrico se considera adecuado a los datos disponibles en cada caso. En todos los casos se comprueba que el error medio por piezómetro dentro del marjal es inferior a 0,35 metros. El valor de desviación residual está en todos los piezómetros es inferior a 8 cm.

Se ha de remarcar que en todos los casos un ajuste más preciso habría requerido de un mayor número de datos reales.

Los bajos valores de error residual se traducen en el ajuste entre los valores reales y calculados en los diferentes piezómetros de control, que se muestran en las figuras siguientes.

### 7.3.2.3.2 Piezómetros internos del marjal

Los piezómetros internos del marjal reflejan claramente el control ejercido por la red de canales, que condicionan sus niveles en función del espesor de la lámina de agua que contienen, de la relación entre dicho nivel y el nivel freático y de la conductancia entre el acuífero y el canal. Dichos parámetros varían en función del tiempo.

Los momentos de avenidas pueden producir, en determinadas zonas del canal, un incremento temporal de la conductancia entre canal y acuífero, al arrastrar el sedimento fino del fondo. Ello parece haber ocurrido en el sector del piezómetro 08.21.011 (Figura 69) entre el intervalo temporal 1.500-1.800 días.

Un efecto idéntico lo podría producir un dragado o limpieza del canal. En los momentos de avenida, el arrastre de finos sería sincrónico con un aumento del nivel de agua en el canal.

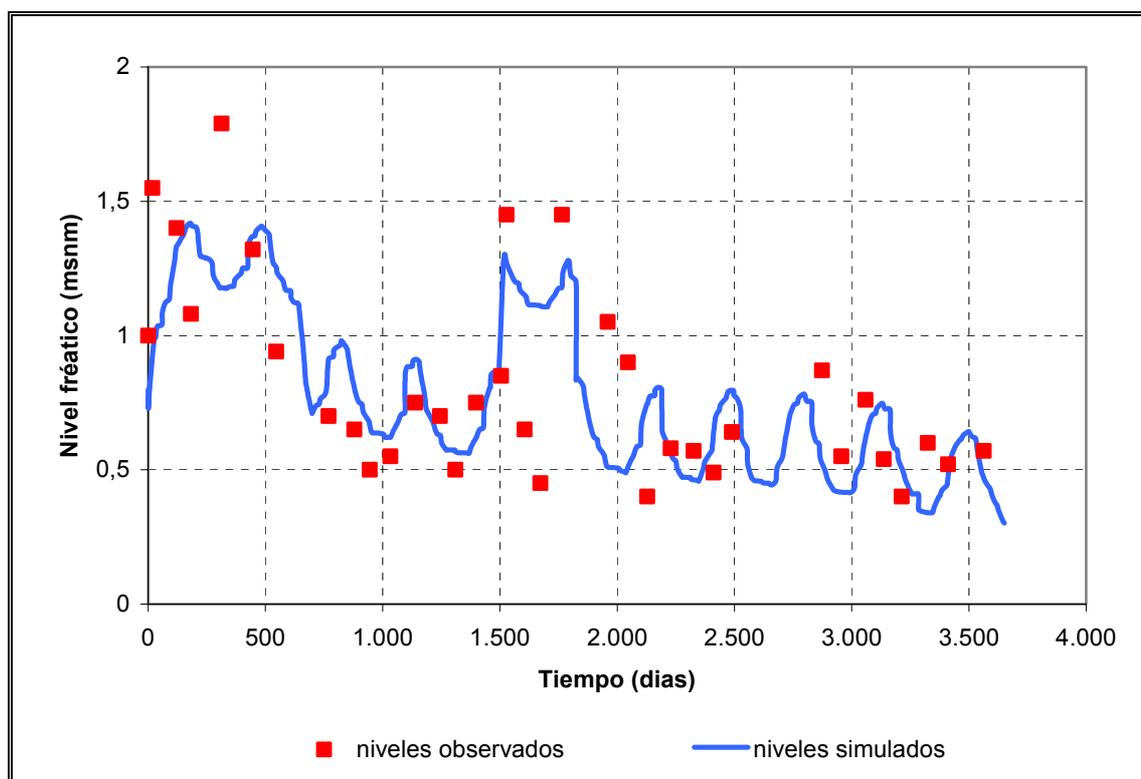


Figura 69. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.21.011.

Por el contrario, un descenso brusco del nivel del canal, causado por un aterramiento temporal, cerrado o bombeo cercano genera un descenso puntual significativo, como es el caso del episodio entre los tiempos 1.700 y 2.200 que muestra el piezómetro 08.12.017-

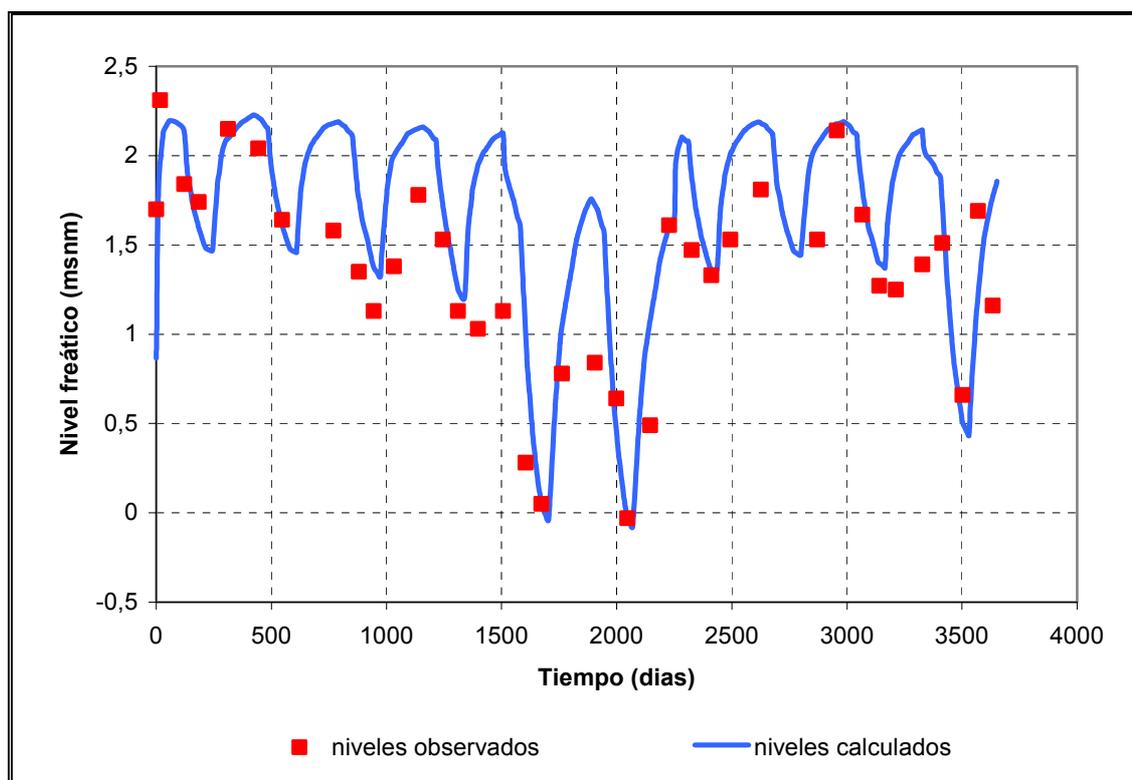


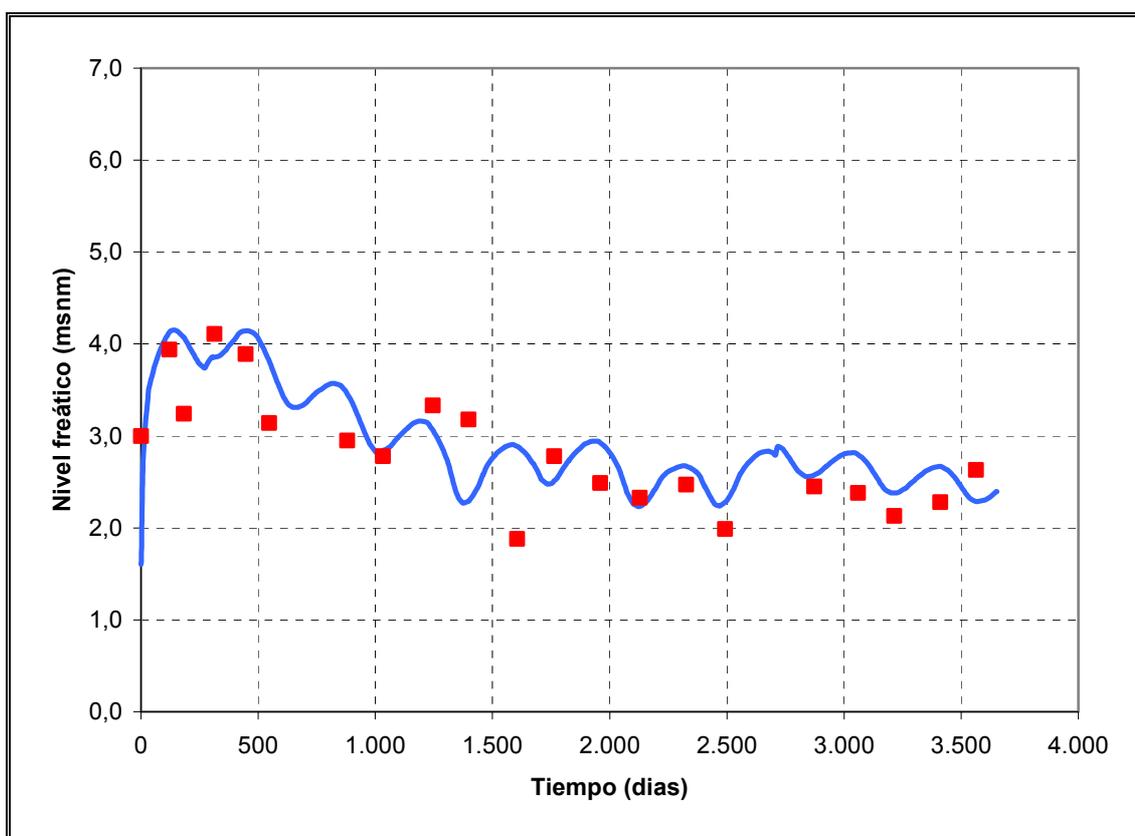
Figura 70. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.12.017.

### 7.3.2.3.3 Piezómetros externos al marjal

Los piezómetros externos a el marjal muestran, a diferencia de los anteriores, una marcada influencia de los bombeos por pozo de la zona de cítricos. Asimismo, 3 de ellos se sitúan en los límites del modelo, lo que produce un cierto desajuste en ajuste inicial, al no ser perfectamente cumplida las condiciones de borde paralelo a las líneas de flujo regional, considerada como hipótesis de partida. Ello es especialmente

significativo en el caso del piezómetro 08.21.014 y en menor grado, del 08.21.005 y 08.12.067.

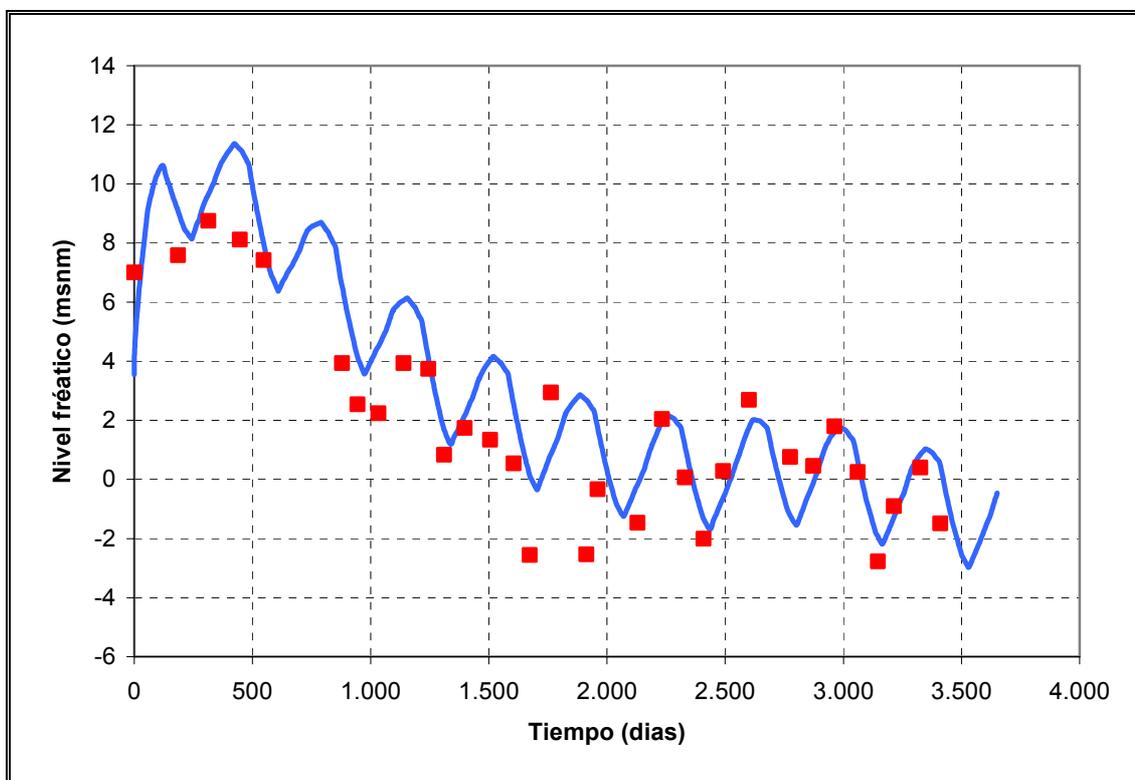
El piezómetro 08.12.020, ubicado en una zona central del modelo, muestra diferencias siempre inferiores al metro. Desafortunadamente, únicamente cuenta con 21 medidas puntuales durante los 10 años de calibración.



Nota: valores observados (rojo) y niveles simulados (azul)

Figura 71. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.12.020

La influencia de las captaciones puede verse por ejemplo, en el piezómetro 08.21.005, donde es probable que un ajuste más preciso de las mismas (los puntos situados entre el intervalo 1.600 y 1.900 días) se hubiera producido conociendo el caudal de bombeo real durante dicho periodo, sin haber tenido que recurrir a series temporales estimativas.

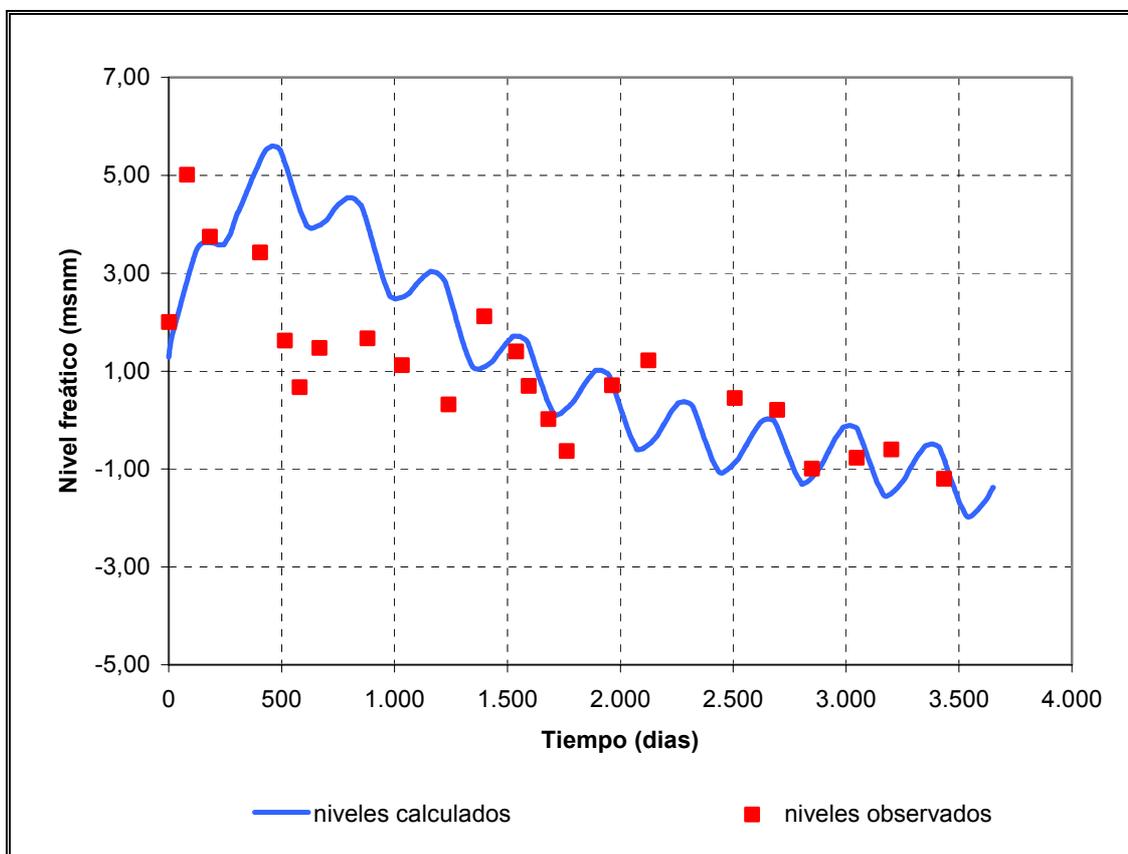


Nota: valores observados (rojo) y niveles simulados (azul).

Figura 72. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.21.005

En el caso del 08.21.014, los peores ajustes del periodo inicial combinan probablemente un efecto combinado de la imposición de una periodicidad anual de los aportes laterales (debido a la ausencia de datos reales con una periodicidad menor) y de un grado de extracción real, superior, en dicho periodo (1990-1992) al que se estima con los datos de extracciones conocidos.

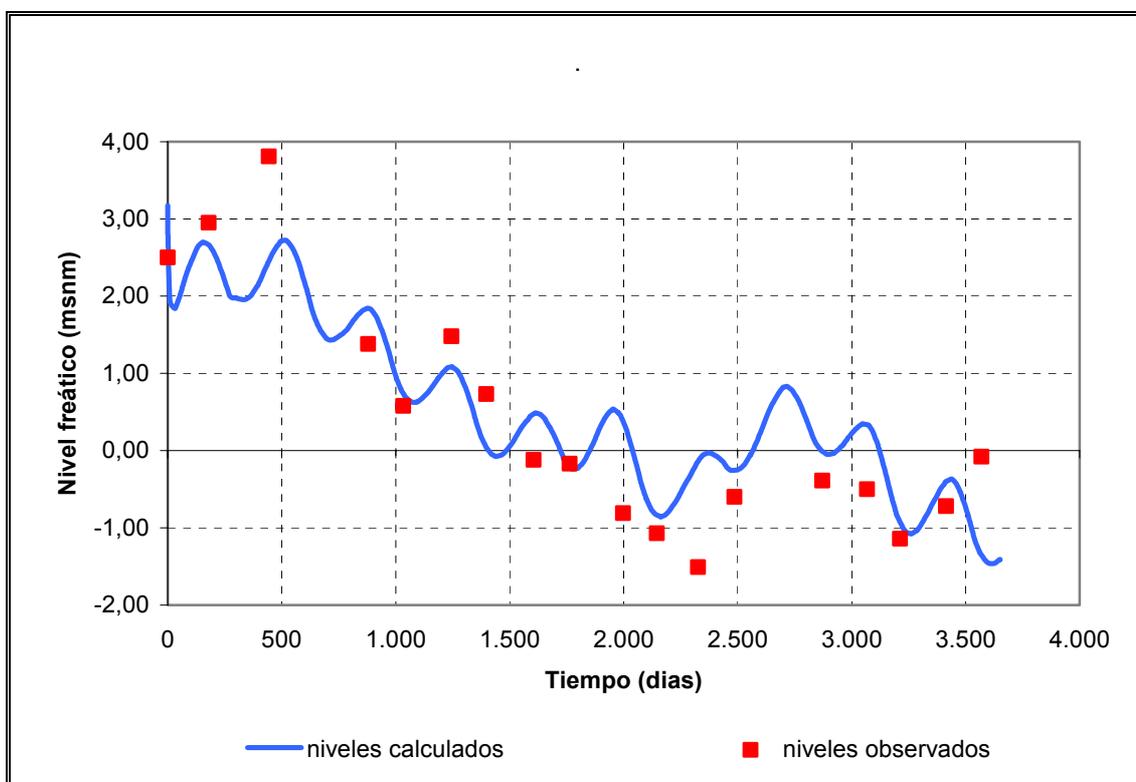
A partir de dicho periodo, los ajustes las series de extracciones y de entrada lateral procedente del acuífero del Algar-Quart, si permiten ajustar la simulaciones con los datos observados en el piezómetro. La existencia de sólo 24 datos reales medidos durante 10 años, no permite tampoco precisar más las causas del desajuste inicial.



Nota: valores observados (rojo) y niveles simulados (azul)

Figura 73. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.21.014

Algo muy similar puede decirse para el piezómetro 08.12.067, entre el intervalo 2.100 y 2.300 días.



Nota: valores observados (rojo) y niveles simulados (azul).

Figura 74. Comparación entre valores observados y niveles simulados en el piezómetro 08.12.067

El objeto final de la elaboración del modelo es su uso para analizar y simular diversos escenarios hidrológicos de apoyo a la gestión del recurso hídrico en la zona. En el anejo correspondiente al modelo matemático se encuentran desarrolladas las diversas simulaciones realizadas, con su correspondiente análisis y discusión.

## 7.4 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS CON EL MODELO

En este apartado se muestran los resultados de la simulación de diversos escenarios de gestión del marjal.

### 7.4.1 Análisis de la influencia de la proximidad de las captaciones en el entorno de la zona de los Estanys

La existencia de bombeos en el acuífero de les Valls provocan un efecto de depresión del nivel freático en la zona, que es parcialmente neutralizado por el efecto de recarga de los canales. En paralelo, las captaciones situadas en el acuífero del Salto del Caballo, detraen caudales a la surgencia de los Estanys, modificando por consiguiente, los niveles de agua.

La evaluación del efecto de recuperación del nivel por parada definitiva de pozos en el acuífero de les Valls sobre los Estanys, se realizará ubicando un punto de observación ficticio de niveles en la celda (f45,c53). Asimismo, el punto de control del nivel de la surgencia para la simulación en pozos del Salto del Caballo, se ubica en la celda (f43,c52).

En estos puntos, las simulaciones se compararán con la serie de niveles correspondiente a los 10 años de calibración del modelo (situación de base), actuando la totalidad de los pozos.

De este modo, se tendrá una evolución en el tiempo basada en datos conocidos y, por tanto, representativos del área de estudio.

Se han estudiado los siguientes escenarios de actuación sobre los pozos más cercanos a Los Estanys, ubicados en el acuífero de Les Valls:

- **Simulación 1.1:** parada del Pozo 668-4-0019 (P-019); con 887 m<sup>3</sup>/d de caudal de extracción medio, que se encuentra a una distancia de los Estanys de 150 metros.
- **Simulación 1.2:** parada del Pozo 668-4-0016 (P-016); con 1.183 m<sup>3</sup>/d, que se encuentra a una distancia de los Estanys de 270 metros.
- **Simulación 1.3:** parada del Pozo 669-1-0012 (P-012); con 1.080 m<sup>3</sup>/d, que se encuentra a una distancia de los Estanys de 2.100 metros.



Figura 75. Ubicación geográfica de los pozos anteriores

En el resto de las extracciones contempladas en cada una de estas simulaciones se utilizan las mismas leyes de extracción interanuales e intraanuales (en este caso, de periodicidad mensual), que en la fase de calibración del modelo.

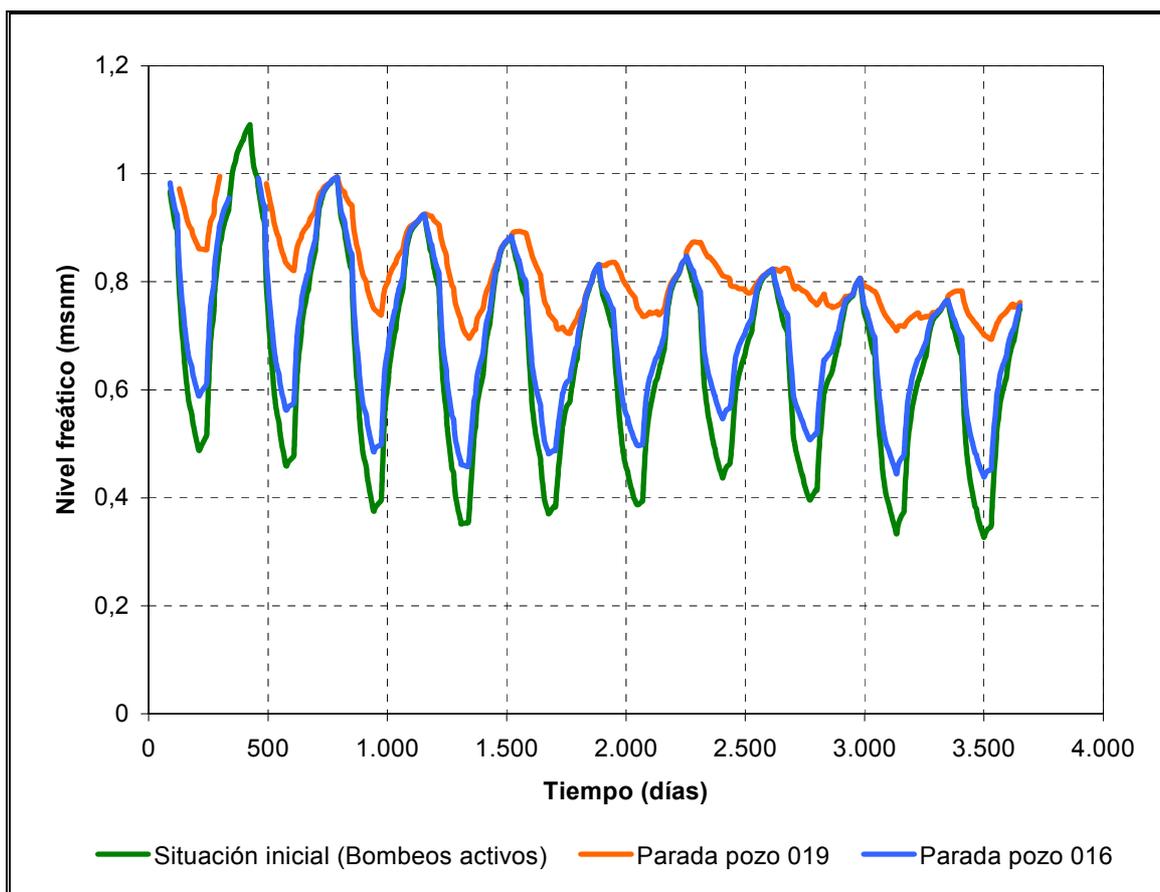


Figura 76. Evolución de los niveles en el punto de observación de los Estanys en el acuífero de les Valls, frente a la parada individual de las extracciones más cercanas en su entorno.

La evolución de niveles confirma que la proximidad es la causa principal que controla los descensos en la zona de los Estanys en el acuífero de les Valls, dado que los caudales de extracción son bastante similares.

La parada del pozo más cercano, P-019 (color de línea naranja en la Figura 76), es el que muestra un mayor efecto sobre la situación inicial (línea verde de la figura). Su

parada permite ascensos máximos, durante el periodo de riegos, de entre 30 y 50 cm, en el punto de control de Los Estanys.

El pozo P-016 (línea azul en la Figura 76), algo mas lejano, solamente consigue ascensos de 10-20 cm respecto a la situación inicial.

Por último, el pozo P-012 no se ha incluido en la figura 76 dado que, a pesar de tener un caudal medio apreciable superior a 1000 m<sup>3</sup>/d, su parada no produce efectos significativos, respecto a la simulación de base, al hallarse a algo más de 2 kilómetros de distancia. Por este motivo, su representación en la figura habría causado un solapamiento perfectamente con la línea de la situación inicial.

Por otro lado, también se ha simulado el efecto que tendría la parada de una serie de pozos en el acuífero del salto del Caballo. Se han realizado las siguientes simulaciones:

- **Simulación 1.4:** Parada de los Pozos de la Sociedad de Riegos Cerverola , Pla del Pinar y Maquial 1, en el sector de la sierra.
- **Simulación 1.5:** Parada de los pozos sector costero: Pozos Canelles, Pozo La Llosa, y pozos de riego: 668-4-101, 668-4-099, 668-04-031, 668-4-113 y 668-4-114.

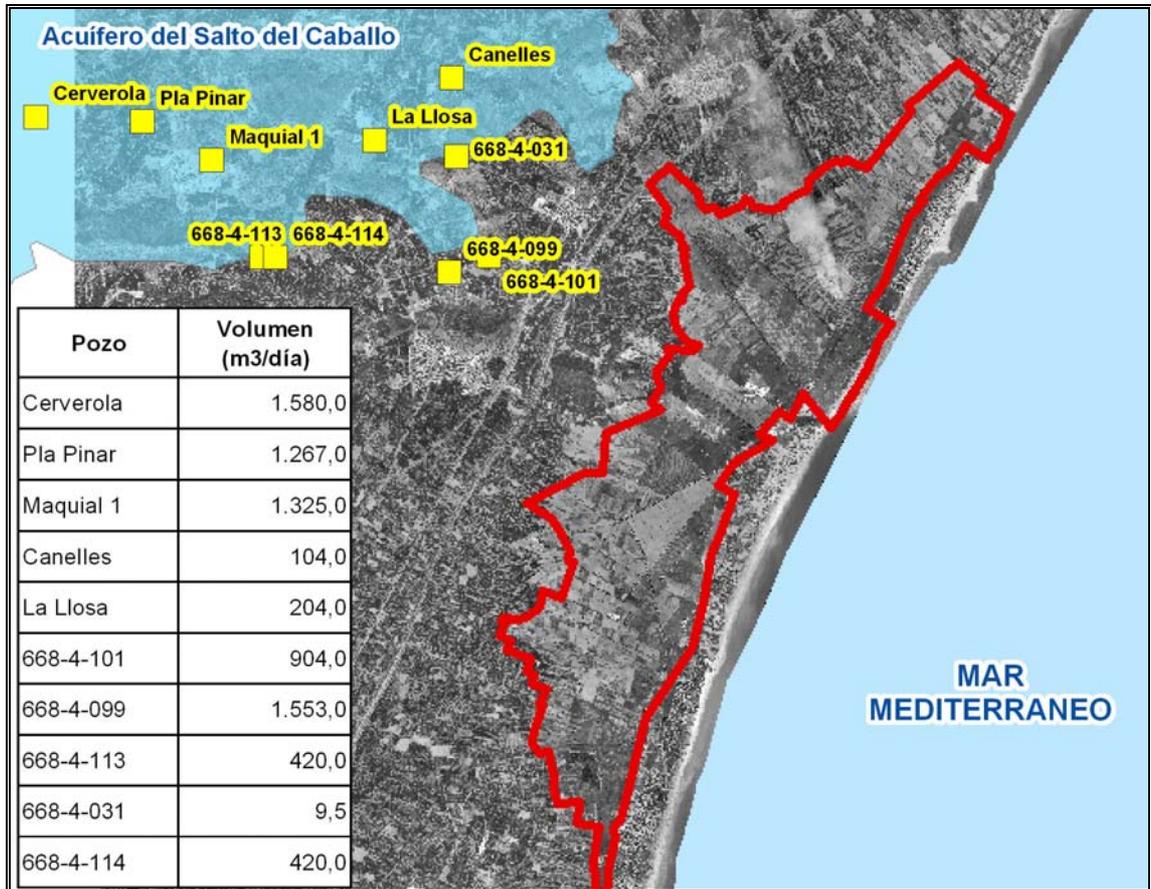


Figura 77. Ubicación geográfica de los pozos anteriores, indicando volumen de extracción

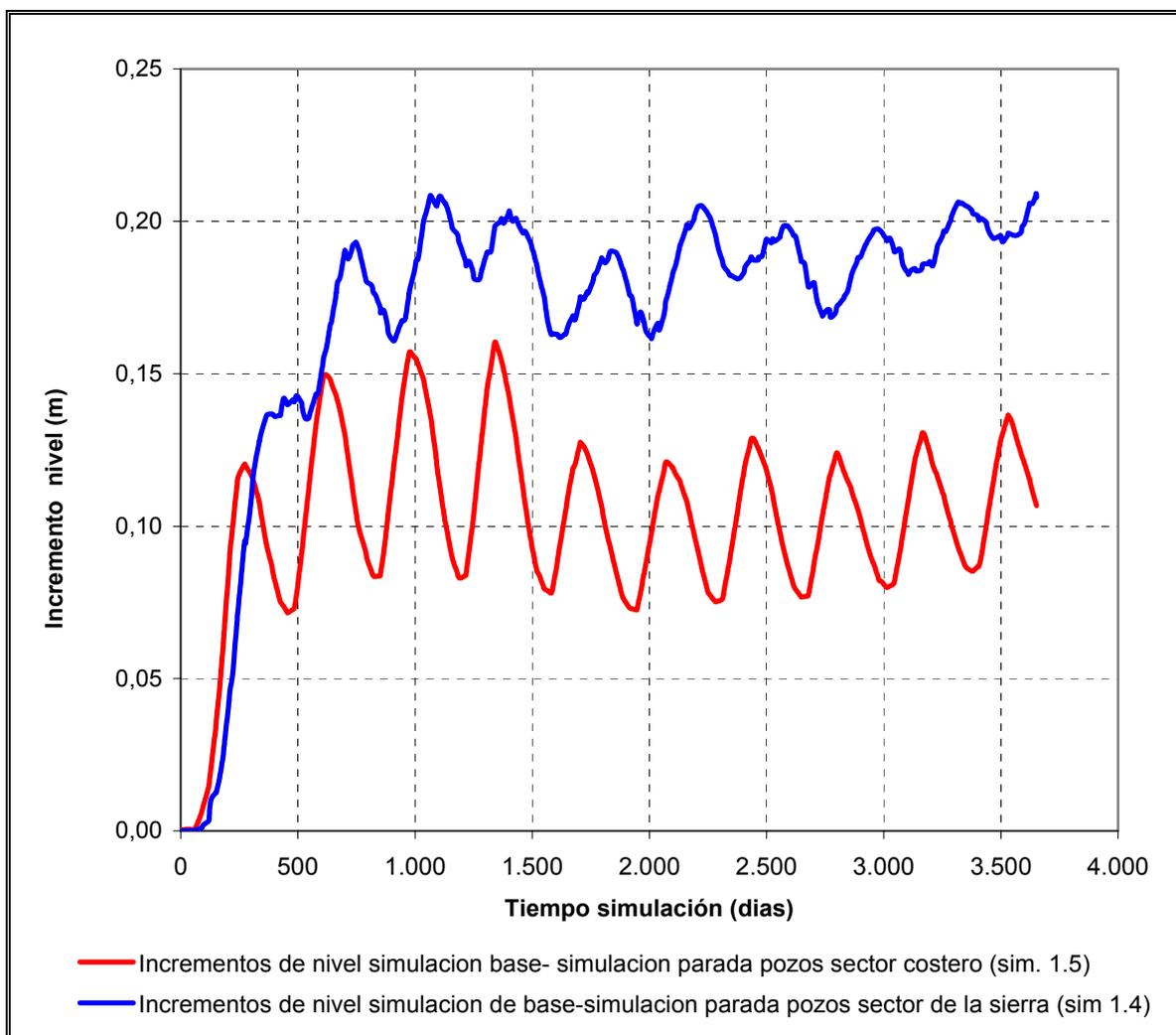


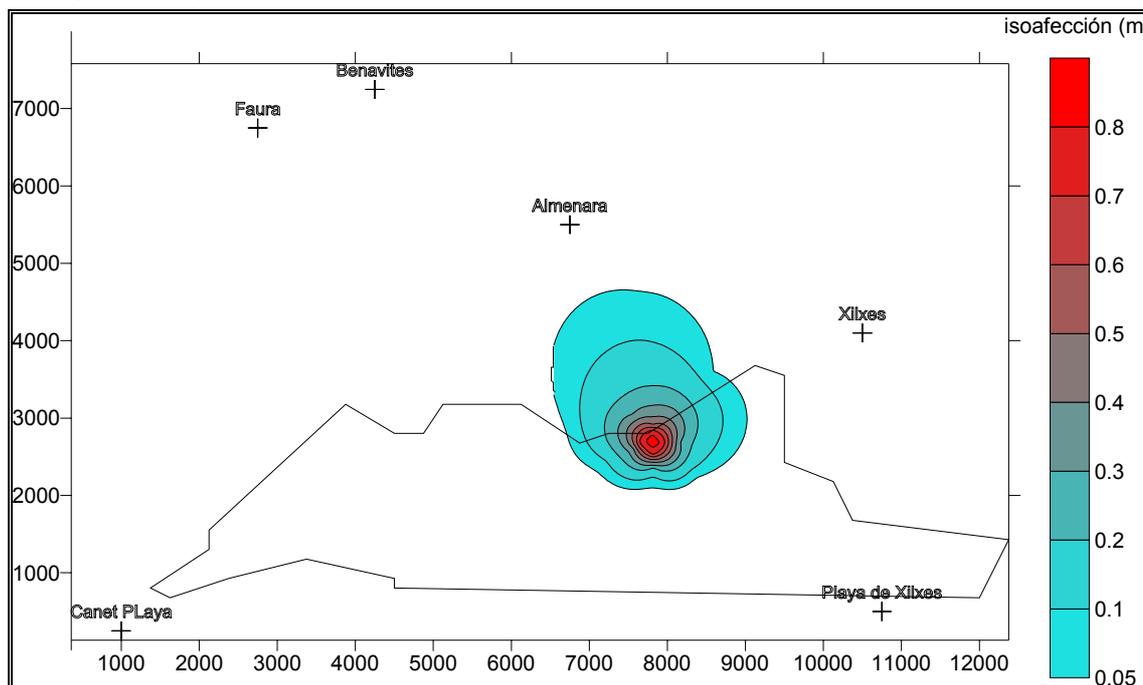
Figura 78. Evolución de la variación del nivel freático en el punto de surgencia de los Estanys, frente a la parada de grupos de captaciones en el acuífero del Salto del Caballo.

El resultado de la parada de extracciones en dicho acuífero provoca un ascenso del nivel piezométrico en el punto de surgencia de los Estanys, respecto a la situación inicial, entre 8 y 22 cm a 10 años de simulación. El caudal total recuperado es la causa principal que los ascensos de nivel sean superiores en la simulación 1.4 (sector sierra) que en la 1.5 (sector costero).

Con todo, el efecto de la parada de dichas extracciones no parece ser tan significativo como cabría esperarse, de acuerdo con sus caudales de extracción. Ello puede atribuirse a que la descarga del acuífero del Salto del Caballo hacia les Valls no es únicamente a través de los Estanys, sino que se distribuye en una serie de puntos o zonas concretas a lo largo de todo el contacto, repartiéndose asimismo los efectos piezométricos.

A partir de los análisis anteriores, con el objeto de cuantificar cual sería el efecto en el acuífero detrítico en la vertical de Los Estanys de un incremento de las extracciones, se ha realizado un mapa de isoafecciones, referidas a descensos en dicho punto, causado por una extracción constante de 1.000 m<sup>3</sup>/d, que se añade al actual contexto de explotación definido en la simulación de base del acuífero. Para su elaboración se ha realizado un total de 24 simulaciones en régimen permanente, reubicando, en cada caso, el punto de la nueva extracción.

La siguiente figura muestra el resultado de dicho análisis.



Nota: En trazo negro, perímetro protegido del marjal. La escala de colores marca los isodescensos, en metros.

Figura 79. Mapa de isoafecciones, en m de descenso, sobre el acuífero referidos a la vertical de los Estanys, causada por un bombeo constante de 1000 m<sup>3</sup>/d.

Como se puede comprobar, de acuerdo con la zonación establecida de los parámetros hidráulicos, el cono de isoafecciones es irregular, con una marcada elongación hacia el acuífero del Salto del Caballo. Del mismo modo se aprecia que, para dicho caudal de extracción, la distancia máxima de afección ( $s < 5$  cm) se sitúa en unos 2.000 metros hacia el Salto de Caballo y unos 800 metros hacia el acuífero de les Valls.

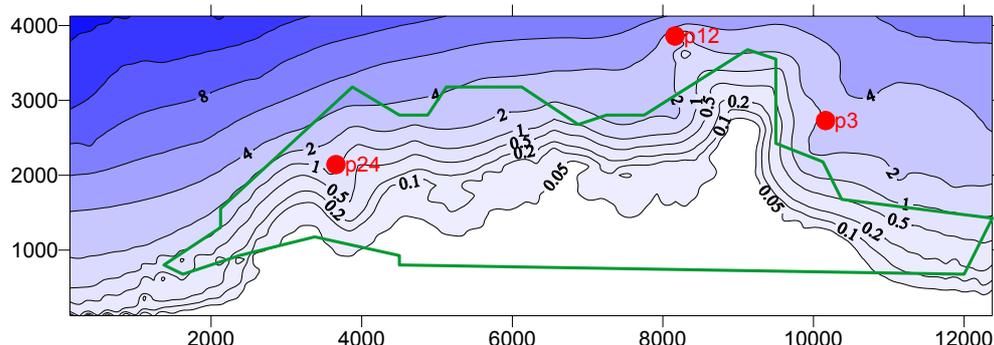
#### **7.4.2 Análisis de las diferencias piezométricas correspondiente al máximo húmedo y seco de la década, bajo las actuales condiciones de distribución de agua en los canales**

La presente simulación muestra el mapa de diferencia de niveles piezométricos correspondiente a una situación húmeda y a una seca, las correspondientes, respectivamente, a los máximos y mínimos niveles piezométricos simulados dentro del periodo 1990-2000. Este mapa proporciona una idea del rango de variabilidad temporal existente en la piezometría del acuífero (Figura 80).

La simulación también se ha realizado con el condicionante que los niveles de agua en los canales principales del marjal varían entre 60 y 90 cm, según las diferentes zonas del canal. Dichos valores superan los conocidos en invierno, pero son similares a los que se pueden obtener en verano.

Es importante destacar que de los niveles piezométricos simulados y del modelo digital del terreno no es posible inferir la distribución de zonas secas y encharcadas, dado que el modelo digital del terreno no tiene la precisión que para ello se requeriría.

Tal y como se observa en la figura 80, el marjal muestra diferencias altimétricas máximas no superiores a los 2 metros, con la mayoría de valores entre +0,5 y -0,5 msnm. La topografía 1:10.000 disponible es claramente insuficiente para realizar dicho estudio con precisión y la campaña de nivelación topográfica realizada en una treintena de puntos adicionales es poco densa, para conseguir una interpolación de cotas que tenga una precisión cercana a los 10-20 cm en las zonas protegidas del marjal y como mínimo de 50 cm en los límites externos de la misma.



Nota: Puntos de control en rojo: P24 = 08.21.011, P3 = 08.12.017 y P12 = 08.12.020.

Figura 80. Distribución espacial de la variación máxima de nivel freático ( en metros), correspondiente a la situación seca y húmeda del periodo 1990-2000.

### **7.4.3 Efecto del incremento de extracciones para el riego del arroz en pozos actualmente inactivos en el entorno de los Estanys**

Uno de las causas parcialmente documentadas de la disminución de agua en los Estanys ha sido su detracción directa de agua para riego de los campos colindantes. La mas reciente conocida tuvo lugar para riego de los arrozales cercanos a la zona húmeda, a partir de conducciones temporales que detraían (según los datos recogidos por Aquatec) agua superficial procedente de la zona húmeda, a partir de su punto más septentrional.

Por otro lado, es conocido que las extracciones de los pozos verticales influyen en los aportes acumulados superficialmente en los Estanys y en su nivel. Con el fin de evaluar su magnitud se ha simulado el efecto de la nueva puesta en funcionamiento del pozo 668-4-018, inactivo en la actualidad y que, según el inventario de INTECSA (1.990), extraía un caudal medio de 2.060 m<sup>3</sup>/d, para riego de arrozales.

Dicho pozo se halla en el acuífero del Salto del Caballo, muy cerca de su límite con el acuífero de les Valls y a unos 150 metros de los Estanys. En la presente simulación,

se ha supuesto una distribución intra-anual del caudal medio anual que corresponde con el régimen de extracciones para este tipo de cultivo.

El efecto del nuevo bombeo se ha comparado con la simulación inicial sin el mismo en la Figura 73. En este caso, se ha considerado que la extracción comienza a partir del tercer año de simulación. El punto de control de nivel freático representado se halla en el modelo en la vertical de los Estanys.

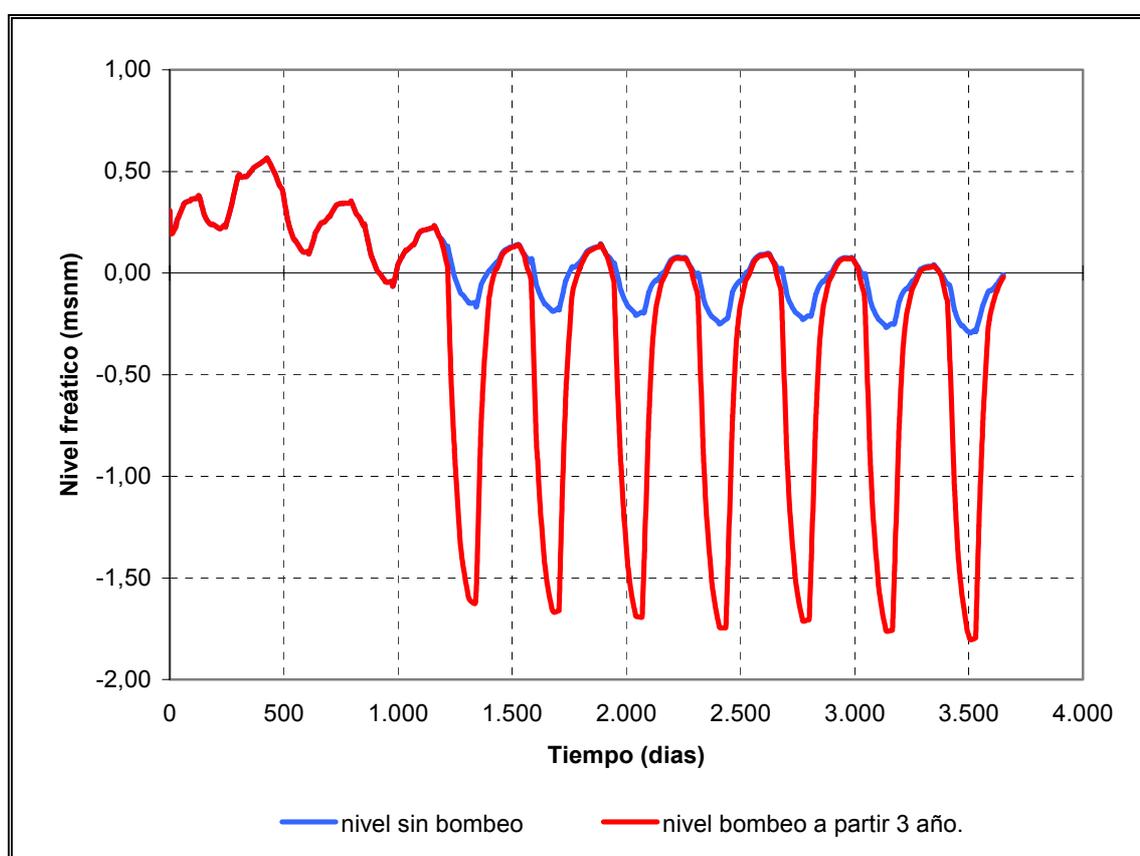


Figura 81. Simulación de la extracción de agua subterránea para riego de arrozales en el pozo 668-4-018, actualmente inactivo, en el nivel freático en la vertical de los Estanys.

Como se puede apreciar en la figura, el efecto de la extracción en un punto tan cercano al humedal provoca un descenso, relativo, respecto a la situación sin bombeo, de entre 1,5 y 2 metros. Ello, dada la topografía de la zona húmeda, provocaría, la

delimitación del humedal en tres cubetas sin conexión superficial, acercándose al nivel mínimo admisible en los Estanyes.

#### **7.4.4 Análisis del efecto de la eliminación de las actuales zonas de huerta en el interior del perímetro de protección del marjal**

Uno de los aspectos más singulares de la actual estructura de funcionamiento del marjal, es la influencia que los canales de distribución de agua superficial y las zonas de huerta tienen sobre la preservación de las características de nivel de agua y de calidad de las zonas húmedas permanentes y los campos encharcados.

Con esta simulación se pretende representar el efecto que en las condiciones actuales de explotación del acuífero detrítico de les Valls, representaría la eliminación de las zonas de huerta, dentro del perímetro de delimitación del marjal.

Para ello, se ha simulado cual sería la situación dentro un contexto climático igual al de los últimos 10 años y en un escenario de gestión que contemplara los siguientes condicionantes:

- La red de canales y acequias asociada al drenaje de los campos dedicados a huerta desaparece, manteniendo únicamente la red de canales en la actual zona de arrozales.
- Se inactivan las captaciones dedicadas al riego de parcelas de huerta. Se mantienen las extracciones para riego de cítricos externas a el marjal.
- La recarga actual de la zona de huerta se modifica y substituye por una nueva distribución de recarga que depende únicamente de la lluvia. Los retornos de riego en esta zona desaparecen.
- La escorrentía superficial, los retornos superficiales externos al marjal, así como las aguas depuradas se suponen que circulan hacia las golas y el mar, a través de las ramblas naturales originales. Para ello, se supone que dicho trazado en el marjal corresponde con determinados cursos como la acequia del Rey, y la rambleta-acequia Cabeçol. En dichos tramos, se mantiene una condición de tipo

río como base de la simulación. El calado de agua de dichos tramos oscila entre 40 y 60 cm, que corresponde con el espesor que se verifica en los actuales canales en invierno, en ausencia de riegos o bombeos agrícolas

La Figura 82, compara la situación actual (azul) con el escenario simulado en el punto de control 08.21.11, conservando las extracciones por pozos en el resto del acuífero, así como el mismo contexto climático de la última década.

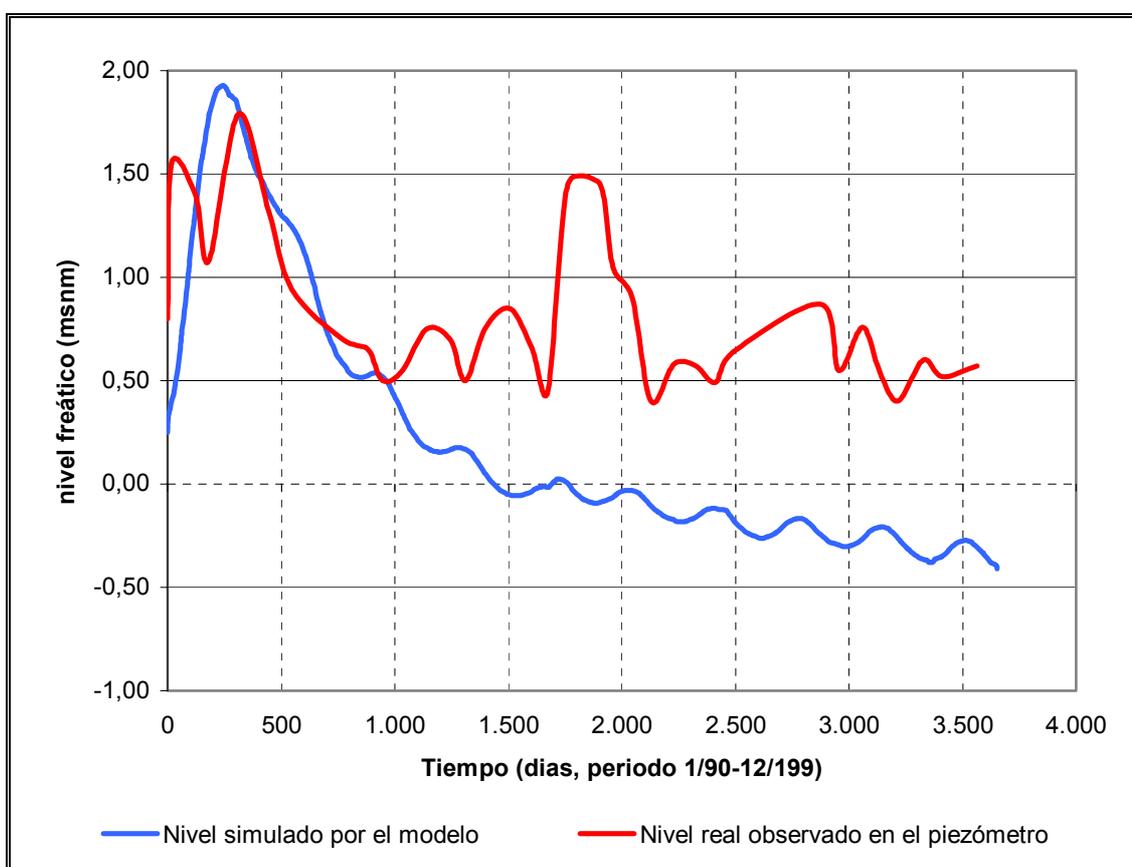


Figura 82. Evolución del nivel freático del acuífero en ausencia de huertas en el interior del perímetro del marjal

Como se observa, el efecto resultante fundamental es un descenso de los niveles, respecto a la situación actual. Esos niveles resultantes tienden a estabilizarse, a cotas negativas, aunque cercanas al nivel del mar, transcurridos 10 años de simulación.

El mapa de isodiferencias de niveles muestra un descenso generalizado respecto a la situación piezométrica inicial (Figura 83).

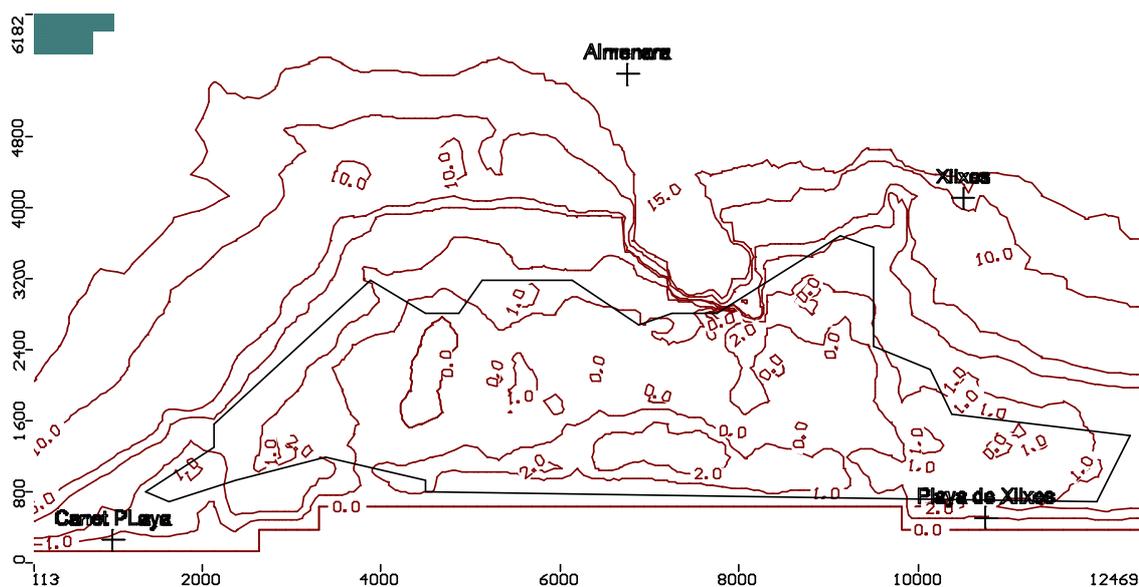


Figura 83. Mapa de isodiferencias correspondiente al final de la simulación 7.4.4 ( 10 años). Los descensos respecto a la situación inicial se representan en metros, con valor positivo. En negro, perímetro de la marjal.

El gráfico de los términos fundamentales del balance muestra que la reducción de extracciones propuesta, no es capaz de equilibrar la disminución de los retornos de riego y la recarga por los canales (escenario 744, Figura A).

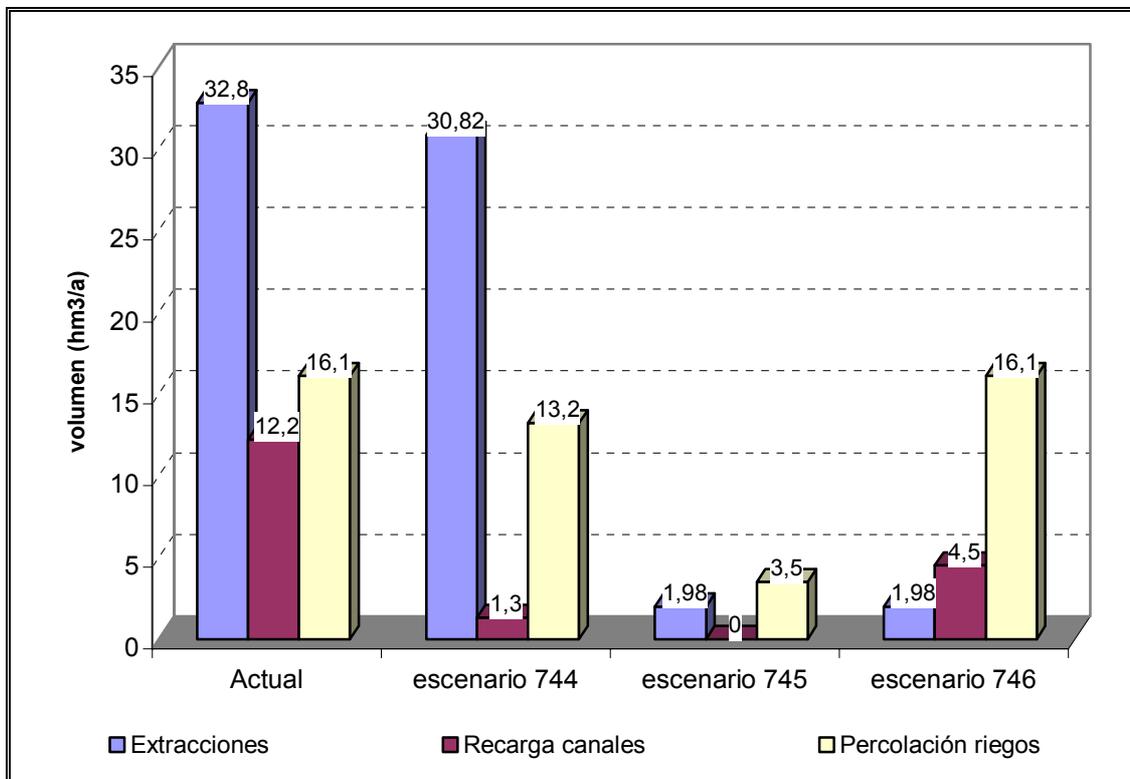


Figura 84. Términos fundamentales del balance hídrico en las respectivas simulaciones efectuadas.

Los valores obtenidos refuerzan la idea del decisivo papel que actualmente tiene la red de canales preexistente para el mantenimiento de los niveles en el interior del marjal y el carácter local de zona de recarga y barrera de protección hidráulica que tiene la zona, respecto a otros sectores del acuífero de les Valls, con valores netamente por debajo de la cota del mar.

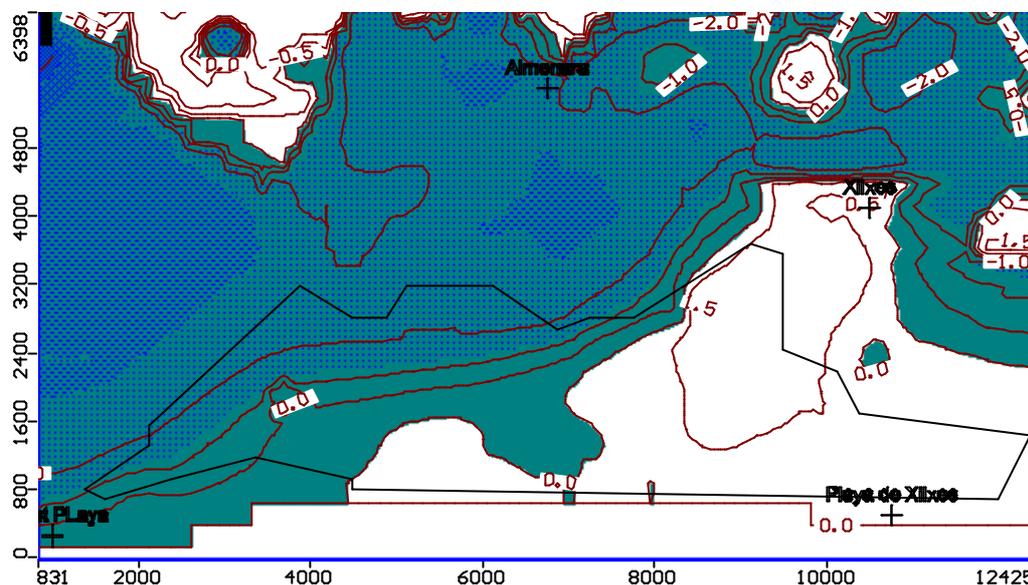
Ello refuerza la idea del decisivo papel que tiene actualmente la red de canales preexistente para el mantenimiento de los niveles en el interior del marjal y el carácter local de zona de recarga y barrera de protección hidráulica que tiene la zona, respecto a otros sectores del acuífero de les Valls, con valores netamente por debajo de la cota del mar.

#### **7.4.5 Análisis del efecto de la disminución de extracciones en los acuíferos externos al marjal, manteniendo las actuales zonas de regadío en el interior del perímetro de protección del marjal.**

El análisis de los escenarios anteriores plantea la necesidad de abordar el efecto sobre la marjal de una actuación de reducción de extracciones en el acuífero de les Valls sin aportar volúmenes de agua por los canales. Para ello, se ha considerado una disminución total de extracciones para el regadío de terrenos externos al marjal, ya que los internos deberían preservarse, según se ha visto en el apartado anterior.

El mapa de isodiferencias de niveles muestra un descenso generalizado respecto a la situación piezométrica inicial concentrados en la parte valenciana de la Marjal, mientras que la parte correspondiente a la parte castellanense muestra ascensos máximos de 1 metro en la zona de Xilxes-La Llosa, con un valor medio de 50 cm. (Figura 85).

El análisis piezométrico y del gráfico de los términos fundamentales del balance muestra que la reducción de extracciones propuesta, con ser una medida eficaz para reducir el déficit hídrico del acuífero de les Valls no es capaz, a corto plazo, de equilibrar totalmente la disminución que se produce en la percolación del riego y la recarga por los canales (escenario 745; Figura 85).



Nota: En negro, perímetro de la marjal, El fondo blanco representa la zona de la marjal con descensos respecto al nivel inicial (signo negativo) y la coloreada con descensos (signo positivo, en metros).

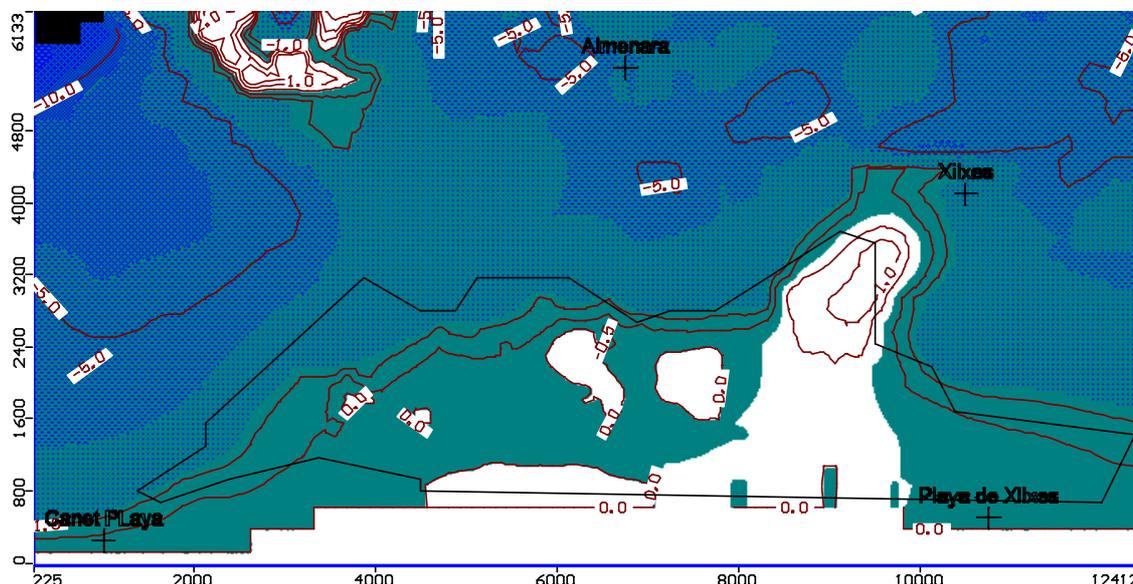
Figura 85. Mapa de isodiferencias correspondiente al final de la simulación 7.4.5 (10 años).

#### **7.4.6 Análisis del efecto de la sustitución de extracciones en los acuíferos externos al marjal por aportes superficiales, manteniendo las actuales zonas de regadío en el interior del perímetro de protección del marjal.**

Por último, se analiza el efecto en el flujo subterráneo de una reducción total de extracciones fuera de la marjal, conjuntamente con el mantenimiento de la recarga en la zona de la marjal a partir de aportes externos al acuífero.

Debe de tenerse en cuenta que dicho supuesto debe de ser compatible con que dicha aportación externa se realice con agua de características fisico-químicas iguales a la de la marjal.

El mapa de isodiferencias de niveles muestra un ascenso generalizado respecto a la situación piezométrica inicial que provoca un ascenso generalizado del nivel en aproximadamente 2/3 de toda la marjal, con un núcleo en Xilxes que todavía muestra un cierto descenso respecto a la situación inicial, generalmente inferior a 50 cm (Figura 86).



Nota: La zona coloreada muestra los sectores donde se produce un ascenso respecto al nivel inicial, mientras que las zonas en blanco muestran descensos (signo positivo, en metros).

Figura 86. Mapa de isodiferencias correspondiente a la simulación 7.4.6. En color negro, el perímetro de la Marjal.

El gráfico de los términos fundamentales del balance, conjuntamente con el análisis piezométrico muestra que la reducción de extracciones propuesta, conjuntamente con el mantenimiento del agua de recarga en los canales, es capaz de aumentar muy

significativamente la salida subterráneas de agua a la mar y , por tanto, el aumento del nivel piezométrico del acuífero de Les Valls en toda su extensión, incluyendo a la marjal (escenario 746, Figura 86).

#### **7.4.7 Análisis de las líneas de flujo de un lixiviado situado en el vertedero.**

La generación de lixiviados en un vertedero urbano, procedente de los residuos depositados constituye un riesgo de contaminación de captaciones y manantiales que está en función del régimen piezométrico que existe en el acuífero infrayacente y de su posición geográfica.

En el caso del vertedero situado sobre la surgencia de Los Estanys de Almenara, el riesgo sobre la zona húmeda protegida (a favor de l flujo natural) o sobre las captaciones de abastecimiento cercanas (a favor de un flujo inducido por los propios bombeos) puede ser significativo.

Para su análisis se ha simulado a partir del modelo el efecto de la circulación sobre medio saturado de un trazador conservativo que se vierte de forma constante desde la vertical del vertedero, con una concentración 400 veces la del acuífero (considerada como concentración =1). Dicha relación de concentraciones es puramente metodológica y no responde a relaciones hidroquímicas reales o comprobadas.

Las Figuras siguientes (números 87 y 88) muestran el efecto, después de 10 años de vertido, del movimiento del trazador. Como se puede observar, existen dos plumas de contaminación significativas, una de ellas, directamente hacia los Estanys, a su punto de surgencia y una segunda, más penetrativa que, respondiendo al flujo inducido por los bombeos, remonta el flujo natural y se dirige hacia captaciones registradas como agrícolas y de abastecimiento.

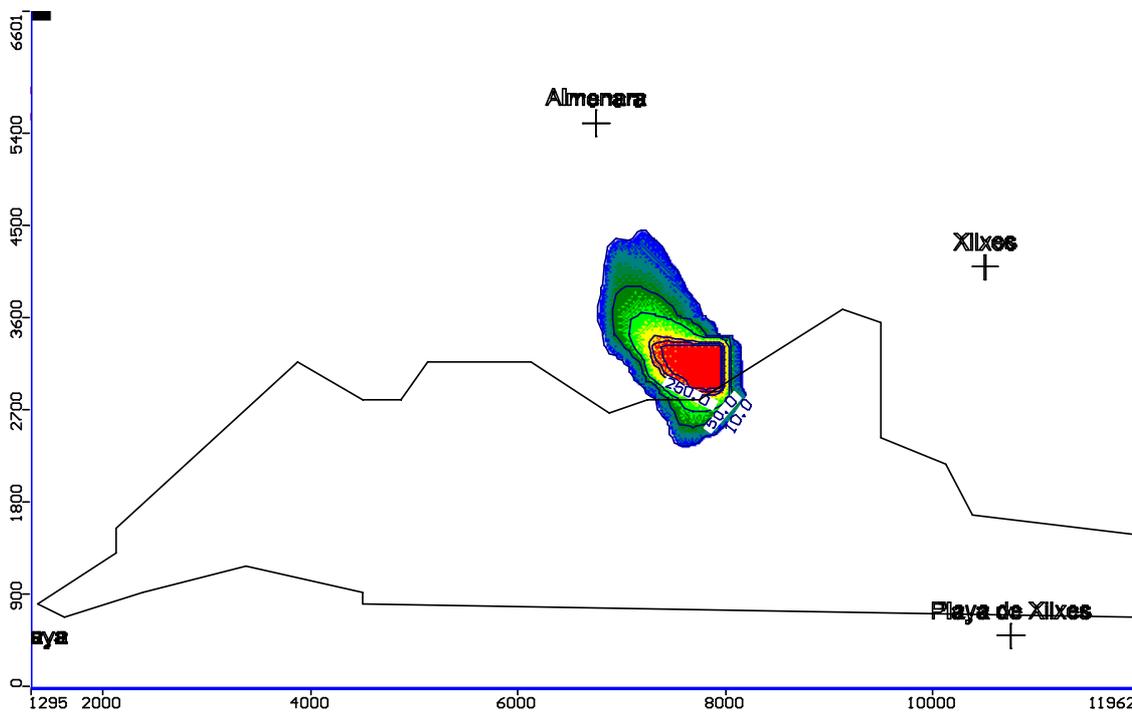
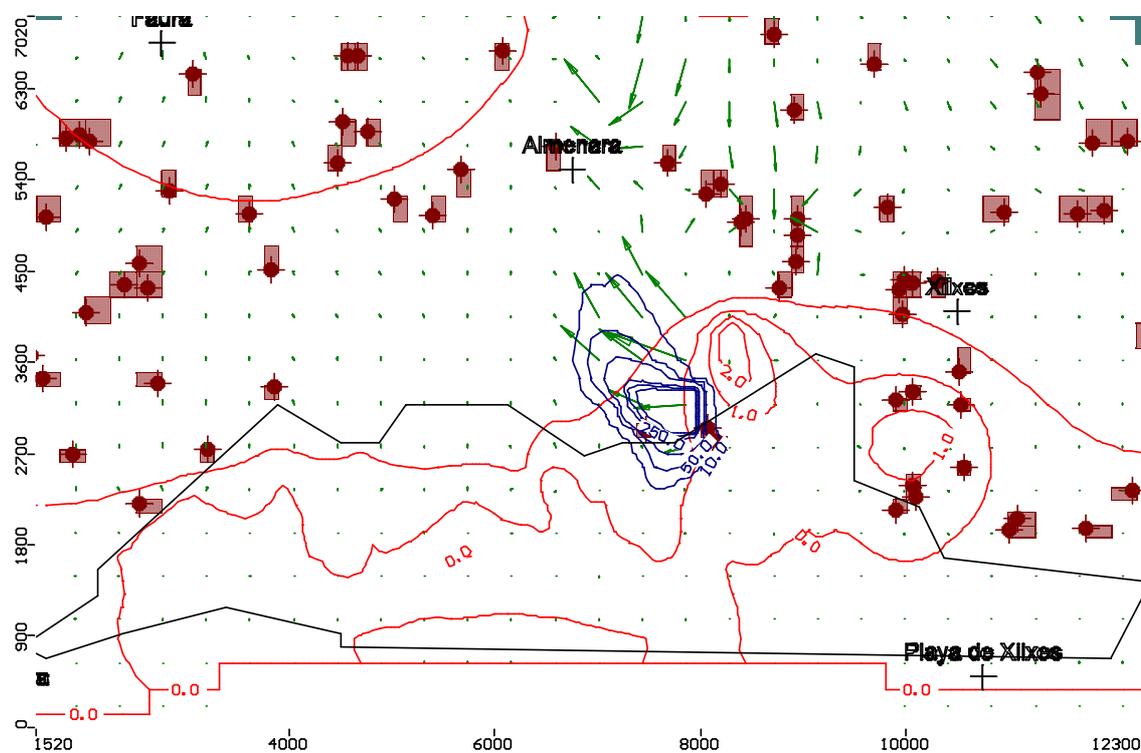


Figura 87. Aspecto de la pluma de trazador registradas a 10 años de vertido constante. En negro, perímetro de la marjal.



Nota: En rojo, piezometría, en marrón, posición de captaciones y en negro perímetro de la zona

Figura 88. Relación entre la pluma de contaminante y las líneas de flujo.

## **8 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTAS DE ACTUACIÓN**

### **8.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Para la elaboración del presente Plan de protección de recursos hídricos de la zona húmeda de Almenara, se ha llevado a cabo una caracterización pormenorizada de la situación medioambiental y del régimen de explotación del marjal y se han realizado una serie de análisis de carácter ambiental, hidrológico e hidrogeológico. Dichos análisis han permitido evaluar el valor ambiental del marjal y comprender mejor su comportamiento hidrogeológico e hidráulico.

A modo de resumen y conclusiones de estos estudios, se incluye a continuación un diagnóstico de la situación actual del marjal y de su problemática:

- El Marjal de Almenara constituye una zona húmeda de gran interés natural, con una importante biodiversidad ambiental, incluida en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana. Asimismo, representa un enclave singular desde el punto de vista hidrogeológico, en la zona de unión entre las unidades hidrogeológicas de la Plana de Sagunto y la Plana de Castellón (denominado Acuífero de Las Valls), constituyendo una de las pocas zonas costeras que no está afectada de forma significativa por procesos de intrusión marina.
- En los últimos 50 años, la superficie ocupada por la vegetación propia del humedal ha disminuido progresivamente hasta verse relegada a unas cuantas zonas de interés especial (denominadas “microrreservas”) presionadas por los cultivos agrícolas y el asentamiento urbano. Tres de ellas, la microrreserva de la Playa de Moncófar, la microrreserva de los Estanys de Almenara y la microrreserva de Puerto Corinto son catalogadas como microrreservas de flora por la Generalitat Valenciana. Al mismo tiempo, el Marjal de Almenara constituye un área de refugio e invernada de aves destacable. Cabe deducir, por tanto, que en las zonas indicadas radica, fundamentalmente, el valor actual

de la zona húmeda, ya que de acuerdo con el inventario realizado en éstas reside la mayor parte de las especies relevantes y en peligro.

- Por lo que se refiere a la calidad de las aguas, la conductividad es relativamente elevada (más de 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las aguas superficiales de casi toda la zona del estudio. Dicha salinidad, que procede de los vertidos y de las prácticas de cultivo, es susceptible de impedir la adaptación y desarrollo de ciertas especies vegetales y comprometer la diversidad de la flora y de la fauna relacionada. Al mismo tiempo, las aguas subterráneas presentan salinidades relativamente bajas, al no haber riesgo significativo de intrusión marina generalizada. Por otra parte, la presencia de nutrientes en las acequias, principalmente nitratos y amonio, provenientes de fertilizantes y de los vertidos de aguas residuales es especialmente significativa en la zona de arrozales. La zonas de microrreserva de los Estanys de Almenara y de Puerto Corinto (Reserva de Samaruc) registran riesgo de eutrofización como consecuencia del aporte de nutrientes en el agua subterránea (nitratos y fosfatos).
- Tradicionalmente los usos agrícolas existentes en el interior del marjal han propiciado la construcción, uso y mantenimiento de una red de canales o acequias. Dicha red fue inicialmente concebida para el drenaje del marjal y la evacuación del agua superficial de las ramblas de su cuenca tributaria pero actualmente se constituye también, en determinadas épocas del año, en líneas de recarga del acuífero del marjal.
- Esta función de recarga de la red de canales está relacionada con la diferente evolución piezométrica observada en los puntos de control existentes, dentro y fuera del perímetro de el marjal. En el exterior, el resto del acuífero de Les Valls muestra descensos acumulados de hasta 8 metros en la década de los años noventa, en estrecha relación con la climatología de esos años. En la zona interna de el marjal, los mayores descensos acumulados no superan el metro en el mismo período. Del mismo modo, los datos de la red de observación de la intrusión existentes destacan la ausencia de concentraciones de cloruro significativas en el acuífero, en la vertical del marjal.
- Por otra parte, las microrreservas mencionadas y, en particular, el humedal de los Estanys de Almenara y de Puerto Corinto (Reserva de Samaruc) constituyen zonas especialmente singulares dentro de la zona de protección,

donde deben arbitrarse medidas más rigurosas de protección, desde el punto de vista de la conservación de un mínimo calado de agua permanente.

Partiendo del diagnóstico de la situación actual del marjal y de su problemática, a continuación se recogen una serie de propuestas de actuación para la conservación de los valores ambientales del Marjal de Almenara. Dichas propuestas se basan, principalmente, en los resultados de las simulaciones de distintos escenarios con el modelo matemático, recopilados en el apartado 7.3.

## **8.2 PROPUESTAS ENCAMINADAS A LA CONSERVACIÓN DE LOS VALORES AMBIENTALES EXISTENTES EN EL MARJAL**

Para la conservación de los valores ambientales existentes en el Marjal de Almenara, se deberían analizar las siguientes propuestas de actuación:

- El mantenimiento y limitación dentro del marjal de los usos agrícolas actuales, sin incrementar su producción o sin modificar los actuales cultivos, parece revelarse como una buena medida de protección, siempre que se limite al máximo el uso de productos agroquímicos. Hay que tener en cuenta que el agua aplicada para el regadío del marjal se extrae de acuíferos externos, y por tanto sus retornos suponen un aporte neto en el marjal.
- Un programa de gestión que propiciase la reducción del regadío en el acuífero de Las Valls, en la zona externa al marjal, podría afectar incluso negativamente a los niveles piezométricos en el marjal. De hecho, y paradójicamente, al constituir el marjal una zona de recarga local dentro de un acuífero muy intensamente explotado, en el caso de adoptar medidas que disminuyesen el caudal circulante por los canales a través del marjal (en parte generado por los retornos de regadío en zonas externas al marjal), se podría provocar, al menos de forma transitoria, una activación de los procesos de intrusión marina bajo el marjal por la existencia prolongada de un nivel freático por debajo del nivel del mar.
- Por otra parte, tampoco es conveniente extender el regadío en el acuífero de Las Valls, dados los descensos de niveles piezométricos en él observados. Se

debería seguir aplicando el criterio actual de no permitir nuevas extracciones de aguas subterráneas en el acuífero de Las Valls y en los de Algar-Quart y Salto del Caballo, para el regadío de nuevas transformaciones agrícolas. Se considera básico que no se amplíe el periodo de extracción para uso agrícola a todo el año, con cultivos de verano y de invierno.

- Las extracciones por pozos existentes en las proximidades de los Estanys de Almenara y de Puerto Corinto (Reserva de Samaruc) deberían limitarse en todo caso al actual caudal concedido. Una opción válida sería la realización de un programa de gestión, que manteniendo el regadío consolidado existente, propiciase la reducción de las extracciones en el acuífero de Las Valls más próximas a las zonas mencionadas, mediante su sustitución por aguas superficiales, que podrían proceder, en un futuro próximo, del trasvase del Ebro. Esta sustitución podría aumentar muy significativamente la salida subterránea de agua a la mar y, por tanto, provocar el aumento del nivel piezométrico del acuífero de Les Valls en toda su extensión, incluyendo el marjal, tal y como se ha expresado en el apartado 7.4.6 relativo a la simulación del escenario correspondiente en el modelo matemático.
- El establecimiento de un perímetro de protección del agua subterránea alrededor de las microreservas podría revelarse como una herramienta de gestión adecuada. Así, los datos obtenidos en el actual estudio indican que, en el caso de los Estanys, una zona de protección y exclusión de nuevas captaciones y actividades o usos potencialmente contaminantes que abarcase 1 kilómetro en el acuífero de los Valls y 2 km hacia el acuífero del Salto del Caballo, medido radialmente desde el centro del humedal, sería una distancia apropiada para su protección.
- Debe prestarse especial atención al sellado e impermeabilización del vertedero de residuos sólidos de Almenara adyacente a los Estanys, cuyo lixiviado podría afectar a la calidad de las aguas en el acuífero, tal y como se desprende de la simulación realizada con el modelo matemático, en la que se ha constatado la existencia de dos plumas de contaminación significativas. Una de ellas apunta directamente hacia los Estanys, a su punto de surgencia y una segunda, más penetrativa que, respondiendo al flujo inducido por los bombeos, remonta el flujo natural y se dirige hacia captaciones registradas como agrícolas y de abastecimiento.

- Sería conveniente mantener un régimen de explotación de los pozos y turbinas en los terrenos próximos a los Estanys, que de forma coordinada asegurase una lámina de agua suficiente para la preservación de la fauna y flora existente, y una recirculación de los flujos de agua que evitase el deterioro de su calidad. Para asegurar esta gestión podría estudiarse la posibilidad de compra de terrenos con propósitos ambientales en la zona.
- Otra medida de gestión adecuada consistiría en el control de los sistemas de apertura y cierre de las golas, con objeto de mantener un máximo nivel de agua en los canales durante la mayor parte del año, con espesores variables, entre 60 y 90 cm, que corresponden al calado óptimo necesario para mantener un nivel de la lámina de agua suficiente en las zonas de mayor interés medioambiental.
- Debería propiciarse el control de la calidad química de los distintos tipos de aguas que van a parar al sistema de canales en el marjal y el control de vertidos en los cauces de las ramblas cuyos cauces son captados finalmente por la red de drenaje.
- En cuanto a las prácticas de cultivo, debería desarrollarse un Plan específico de gestión, control y minimización de la introducción de abonos (nitratos y amonio) y agroquímicos en general (aporte de sales) en las zonas de arrozales, huerta y cítricos del acuífero de Las Valls y del Salto del Caballo. El control de la salinidad preservaría la diversidad de especies vegetales en el marjal, y el de nutrientes minimizaría la contaminación del agua subterránea del Ullal del Estany y evitaría el riesgo de eutrofización detectado en las microrreservas de los Estanys de Almenara y Samaruc-Puerto Corinto.

### 8.3 ACTUACIONES COMPLEMENTARIAS

Para un mejor conocimiento del comportamiento del marjal y de su evolución, se cree recomendable realizar una serie de actuaciones complementarias que a continuación se enumeran:

- Levantamiento topográfico de mayor precisión del toda la zona protegida del marjal, a una escala mínima de 1:2.000 (recomendable 1:1.000) y equidistancia de curvas de nivel de 0,2 m, con el objeto de disponer de una herramienta necesaria para la planificación y control de futuras actuaciones.
- Realización de una nivelación topográfica de detalle de la finca frente a los Estanys (microtopografía), con el objeto de precisar el espesor de la lámina de agua libre y su evolución temporal.
- Realización de un estudio hidrogeológico de actualización del acuífero del Algar-Quart, para su incorporación en el modelo desarrollado en este estudio.
- Realización de una serie de sondeos mecánicos verticales para la obtención de un perfil estratégico longitudinal y transversal del acuífero detrítico en el ámbito del marjal. Equipamiento de dichos sondeos como piezómetros, con una periodicidad de registro mensual.
- Realización de ensayos de bombeo en los siguientes sectores: Sector sur de la marjalería, Zona Canet y zona pozos Montiver VII, sector sur de la unidad de La Plana, zona de Faura-Benifairó y sector central de la unidad de La Plana, zona de Benicalop.
- Sistematización de los aforos en las fuentes principales, en especial, en los Estanys con la ejecución paralela de un piezómetro de control de niveles en el acuífero del Salto del Caballo, justo antes del punto de surgencia.

El interés medioambiental del marjal, la complejidad de las interrelaciones entre las variables hidrogeológicas, hidráulicas y medioambientales, la necesidad de su seguimiento y control, así como la conveniencia de un mejor conocimiento y de una adecuada difusión a la sociedad, podrían aconsejar la creación de aulas o centros de interpretación en el territorio de la propia marjal.

## 9 REFERENCIAS

### ESTUDIO AMBIENTAL: CALIDAD DE LAS AGUAS

- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. (1985), Calidad del Agua para riego, Estudio FAO: Riego y Drenaje, nº 29 Rev. 1.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR (1995), Estudio de programas de calidad de los ríos: Júcar, Cenia, Mijares, Palancia, Serpis, Algar, Amadorio y Vinalopó, y de los vertidos de aguas residuales a los mismos.
- OCDE (1982), Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évolution et de lutte.
- R.D. 1138/1990 (1990), Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de aguas potables de consumo público.

### ESTUDIO AMBIENTAL: VEGETACIÓN

- ALONSO, M., AMAT, J. A. Y MONTES, C. (1985), Aspectos ecológicos de las zonas palustres en España, Información Ambiental, 8:1-XV.
- BOLÓS, O. (1967), Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral situadas entre los ríos Llobregat y Segura. Mem. Real Acad. Ci. Barcelona 38(1): 1-269.
- COMÍN, F.A. (2000) Deltas.  
([www.mma.es/docs/conservnat/naturalia/naturalia\\_hispanica/MedHum/43ram.htm](http://www.mma.es/docs/conservnat/naturalia/naturalia_hispanica/MedHum/43ram.htm)).
- COOPS, H., GEILEN, N., VAN DER VELDE, G. (1994), Distribution and growth of the helophyte species *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris* in water depth gradients in relation to wave exposure, Aquatic Botany, 48: 273-284.
- COSTA, M. & H. BOIRA (1981), La vegetación costera valenciana: los saladares, Anales Jard. Bot. Madrid 38(1): 235-243.
- COSTA, M., H. BOIRA, J.B. PERIS & G. STUBING (1985), La vegetación acuática y palustre valenciana. Ecol. Medit. (Marseille) 12 (1-2): 83-100.
- COSTA, M., J.B. PERIS & G. STÜBING (1986), Ecosistemas vegetales del litoral mediterráneo español. Monogr. Dirección Gral. Medio Ambiente, MOPU, 270 p. Madrid.
- DAVIS, T.J., BLASCO Y CARBONELL D. (1996), Manual de la Convención Ramsar, Ministerio de Medio Ambiente, España.

- DEN HARTOG, C. & S. SEGAL (1964), A new classification of the water plants communities, *Acta Bot. Neerlandica* 13: 367-393.
- EUROPEAN COMMISSION (1992), Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora, O.J. L206, 22.07.1992.
- FERRER, X., MARTINEZ, A. y MUNTANER, J. (1986). *Història Natural dels Països Catalans*, Vol. 12, Ocells, Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- FIGUEROLA, S. LÓPEZ, J.J. HERRERO-BORGOÑÓN, G. MATEO & L. SERRA (1998), *Flora endémica, rara o amenazada de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, 443 pp.
- GEHU, J.M. & E. BIONDI (1994), *La végétation du littoral de la Corse. Essai de synthèse phytosociologique*, 149 pp, Camerino.
- GOSALBEZ, J. ET ALTRES. (1994), *Els sistemes naturals dels aiguamolls de l'Empordà*, Institució Catalana d'Història Natural Treballs, 13, Barcelona.
- GRACE, J.B. (1989), Effects of water depth on *Typha latifolia* and *Typha domingensis*, *Amer. J. Bot.* 76 (5): 762-768.
- HOLLIS, G. ET ALTRES. (1988), *Explotación racional de los humedales. La naturaleza y sus recursos*.
- LLOBERA, F. & F. VALLADARES (1989), *El litoral mediterráneo español. Introducción a la ecología de sus biocenosis terrestres*, Tomo I, Penthalon ediciones, Madrid.
- MARGALEF, R. (1981), *Distribución de los macrófitos de las aguas dulces y salobres del E y NE de España y dependencia de la composición química del medio*, Fundación Juan March, Madrid.
- MARGALEF, R. (1987), *Teoría y modelado de los sistemas fluctuantes. Bases científicas para la protección de los humedales en España*: 31-41. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
- MOLINA ABRIL, J. A. (1996), *Sobre la vegetación de los humedales de la Península Ibérica (1. Phragmiti-Magnocaricetea)*, *Lazaroa* 16: 27-88.
- MOORE, D.R.J. & P. A. KEDDY (1988), Effects of water-depth gradient on the germination of lakeshore plants, *Can. J. Bot.*, 66: 548-552.
- NICHOLSON, A. & P. A. KEDDY (1983), The depth profile of a shoreline seed bank in Matchedash Lake, Ontario, *Can. J. Bot.*, 61: 3293-3296.
- OLIVARES, A. (1998), *Guía de Macrófitos Dulceacuícolas de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, Conselleria de Medio Ambiente, Valencia.

- SHIPLEY, B., KEDDY, P.A., LEFKOVITCH, L.P. (1991), Mechanisms producing plant zonation along a water depth gradient: a comparison with the exposure gradient, *Can. J. Bot.* 69: 1420-1424.
- VAN DER VALK, A.G. (1981), Succession in wetlands: a Gleasonian approach, *Ecology*, 62: 688-696.

### ESTUDIO AMBIENTAL: AVIFAUNA

- AMAT, J. A. (1981), Descripción de la comunidad de patos del Parque Nacional de Doñana, *Doñana Acta Vertebrata*, 8: 125-158.
- AMAT & GARCÍA (1980), Distribución y fluctuaciones mensuales de aves acuáticas en Andalucía Occidental. Invierno 1977/78, *Doñana Acta Vertebrata*, 6: 77-90.
- AMAT, J. A. ET AL. (1985), Criterios de valoración de zonas húmedas de importancia nacional y regional en función de las aves acuáticas, *ICONA Monografías*, 35. Madrid.
- BLANCO, J.C.& GONZÁLEZ, J.L. (1992), Libro rojo de los vertebrados de España, *ICONA*. Madrid.
- CALVO & IBORRA (1986), Estudio ecológico de la laguna de La Mata, Instituto de Estudios Juan Gil Albert. Alicante.
- DIES, J. y DIES, B. (Eds.). (1990), Anuario Ornitológico 1989, Comunidad Valenciana, *Estació ornitológica L'Albufera*, Valencia.
- DOCAVO, I. (1979), *La Albufera de Valencia, sus peces y sus aves*, Institución Alfonso el Magnánimo, Valencia.
- GALARZA, A. (1984), Fenología de las aves acuáticas en el Estuario de Guernica (Golfo de Vizcaya), *Ardeola*, 31: 17-25.
- HARRISON, C. (1991), *Guía de campo de los nidos, huevos y polluelos de las aves de España y de Europa*, Omega, Barcelona.
- HERRERA, C. (1981), Organización temporal en las comunidades de aves, *Doñana, Acta Vertebrata*, 8:79-101.
- LARS JONSSON. (1993), *Aves de Europa*. Omega, Barcelona.
- LLOBERA, F. Y VALLADARES, F. (1989), *El litoral mediterráneo español. Introducción a la ecología de sus biocenosis terrestres*, Penthalon Ediciones, Madrid.
- LLORENTE, G., MONTORI, A. ET AL. (1995), *Atlas dels amfibis i rèptils de Catalunya i Andorra*, BRAU, Figueres.

- MARTÍNEZ, A. Y MOTIS, A.(1991), Els ocells del Delta de L'Ebre, Lynx Edicions, Barcelona.
- PETERSON, R., MOUNTFORT, G. & HOLLOW, P. (1995), Guía de campo de la aves de España y de Europa, Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- PORTER, R. ET AL. (1994), Rapaces Europeas, guía para identificarlas en vuelo, Perfils, Lleida.
- RAMOS, A., SARMIENTO, L. (1999), Las aves de los humedales del sur de Alicante y su entorno, Editorial Club Universitario, Alicante.
- ROBLEDANO, F. ET AL. (1992), Relaciones ambientales y conservación de las comunidades de aves acuáticas en la gestión de los humedales del sudeste español, Universidad de Murcia, Murcia.
- RODRIGUEZ DE LA FUENTE, F. (1996). Enciclopedia de la Fauna Ibérica y Europea, El Hombre y la Tierra. Salvat, Barcelona.
- TELLERÍA, J.L. (1986), Manual para el censo de los vertebrados terrestres, Ed. Raíces, Madrid.
- TELLERÍA, J.L. Y CANTOS, F.J. (1990), Los conteos de los grupos de aves, Testudo, 1: 25-35.
- URIOS, V., ESCOBAR, J., PARDO, R., GOMEZ, J. (1991), Atlas de las aves nidificantes de la Comunidad Valenciana, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Valencia.
- VIADA, C. (1999), Areas importantes para las aves en España, SEO/BirdLife Monografías, 5, Madrid.

## **ESTUDIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

- CHJ (2000), Definición y seguimiento de una red de control de las aguas subterráneas en los acuíferos utilizados en el municipio de Vall de Uxó (Castellón).
- CIHS (1989), Hidrología e hidrogeología de la región del Maestrazgo, Informe interno.
- COMUNIDAD DE REGANTES DE ALMENARA (1994), Propuesta de reordenación de extracciones y cambio de sistemas de riegos, Informe Interno.
- CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO (1996), Generalitat Valenciana. Inventario de las infraestructuras de abastecimiento de agua para consumo humano de la Comunidad Valenciana.
- FERRER POLO, J., RAMOS, F. (1983), La Plana de Castelló, Modelo de Calidad, En: Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, UPV.

- GV-DGCA (1996), Construcción de un sistema de tratamiento primario por eliminación de sólidos gruesos del vertido de agua al mar a través de la Gola del Estany (Sagunto).
- IGME (1984), Proyecto para la preparación de un informe actualizado de los recursos hidráulicos subterráneos y su uso presente y futuro, en la cuenca media y baja del Júcar. Informe MIE-SERM.
- IGME (1986 a), Proyecto para la puesta a punto de soluciones para la optimización del aprovechamiento hidráulico de los acuíferos de la comarca de Sagunto. Informe MIE-SERM.
- IGME (1986 b), Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, Calidad y perspectivas de utilización. Colección Informe.
- INTECSA (1991), Estudio para la actualización de la explotación y posibilidades de gestión de los recursos hidráulicos del sector Almenara-Vall d'Uxó-Moncófar.
- TEYGESA, (2001), Informe preliminar sobre los trabajos necesarios para la definición del modelo conceptual, de funcionamiento hidráulico del marjal de Almenara.
- TEYGESA, (2002a), Definición de las condiciones de contorno del acuífero de la Plana de Sagunto en la zona de contacto con el acuífero de Algar-Quart.
- TEYGESA, (2002b), Definición de las isohipsas de muro del acuífero detrítico de la Plana de Sagunto.
- VARELA, M. (1983), La Plana de Castelló. Modelo Subterráneo. En: Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, UPV.