



**DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE ZONAS HÚMEDAS Y
ACUÍFEROS ASOCIADOS MEDIANTE MODELOS DE FLUJO Y TRANSPORTE.
APLICACIÓN A LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL ACUÍFERO PEGO-DÉNIA
(ALICANTE)**

TOMO I: MEMORIA

Año 2007

El proyecto de investigación, cuyos resultados se exponen en este informe, ha sido realizado por el INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA en convenio con la EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE ALICANTE, y en el que han participado las siguientes entidades colaboradoras: Centro Internacional de métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNI), Compañía General de Sondeos (CGS), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Tecnología y Recursos de la Tierra (TRT) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). En su elaboración ha participado el siguiente equipo técnico:

Bruno J. Ballesteros Navarro. IGME. Dirección y supervisión
Luis Rodríguez Hernández. DPA. Dirección y supervisión

José Antonio Domínguez Sánchez. IGME. Elaboración de la memoria
Olga García Menéndez. IGME. Control hidroquímico e hidrométrico
Lucila Candela Lledó. UPC. CINM. Modelación matemática
Francisco Javier Elorza Tendeiro. UPM. Modelación matemática
Javier Heredia Díaz. IGME. Modelación matemática
Karím Tamoh. UPM. Modelación matemática
Miguel Fernández Mejuto. DPA. Redes de control
Elisabeth Díaz Losada. TRT. Control piezométrico y bombeos de ensayo
Tomás Rodríguez Mauricio. IGME. Control piezométrico y muestreo
CGS. Ejecución de sondeos
CEDEX. Determinaciones isotópicas

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2.	METODOLOGÍA.....	3
2.1.	REVISIÓN DE ANTECEDENTES.....	3
2.2.	EJECUCIÓN DE SONDEOS DE INVESTIGACIÓN.....	3
2.3.	CAMPAÑAS DE MUESTREO Y AFORO.....	3
2.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	4
2.5.	CONCLUSIONES.....	4
3.	ANTECEDENTES.....	5
3.1.	ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS.....	5
3.2.	ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	5
3.3.	ANÁLISIS DE LOS ANTECEDENTES.....	9
4.	ENCUADRE GEOGRÁFICO.....	13
5.	MARCO SOCIOECONÓMICO.....	15
6.	RESEÑA HISTÓRICA DEL MARJAL DE OLIVA-PEGO.....	17
7.	ENCUADRE TECTÓNICO.....	21
7.1.	ESTRUCTURAS LOCALES.....	24
8.	ENCUADRE GEOLÓGICO.....	27
8.1.	ESTRATIGRAFÍA.....	27
8.1.1.	<i>TRIÁSICO EN FACIES KEUPER (Tk)</i>	27
8.1.2.	<i>JURÁSICO</i>	27
8.1.2.1.	<i>DOGGER (J1)</i>	28
8.1.2.2.	<i>OXFORDIENSE – KIMMERIDGIENSE MEDIO (J2)</i>	28
8.1.2.3.	<i>KIMMERIDGIENSE SUPERIOR (J3)</i>	28
8.1.2.4.	<i>PORTLANDIENSE (J4)</i>	28
8.1.2.5.	<i>PORTLANDIENSE – BERRIASIENSE (J5)</i>	28
8.1.3.	<i>CRETÁCICO</i>	28
8.1.3.1.	<i>BERRIASIENSE – VALANGINIENSE (C1)</i>	28
8.1.3.2.	<i>VALANGINIENSE – BARREMIENSE (C2)</i>	29
8.1.3.3.	<i>BARREMIENSE – ALBIENSE (C3)</i>	29
8.1.3.4.	<i>ALBIENSE (C4)</i>	29
8.1.3.5.	<i>CENOMANIENSE – TURONIENSE (C5)</i>	29
8.1.3.6.	<i>SENONIENSE INFERIOR (C6)</i>	30
8.1.3.7.	<i>SENONIENSE SUPERIOR (C7)</i>	30

8.1.4.	TERCIARIO.....	30
8.1.4.1.	MIOCENO INFERIOR (LANGHIENSE – $Te1$).....	30
8.1.4.2.	MIOCENO MEDIO-SUPERIOR (LANGHIENSE – $Te2$).....	30
8.1.5.	CUATERNARIO	30
9.	ENCUADRE GEOMORFOLÓGICO	33
9.1.	DEPÓSITOS ALUVIALES	34
9.1.1.	ABANICOS Y CONOS ALUVIALES (ALLUVIAL FAN).....	34
9.1.1.1.	DEPÓSITOS DE PIE DE MONTE (Q_{PD}).....	34
9.1.1.2.	GLACIS DE ACUMULACIÓN (Q_{GA})	35
9.1.1.3.	ABANICOS ALUVIALES (Q_{AA}).....	35
9.2.	DEPÓSITOS FLUVIALES.....	35
9.2.1.	DEPÓSITOS DE CANAL, DEPÓSITOS ALUVIALES (Q_{Al})	35
9.2.2.	DEPÓSITOS DE LLANURA DE INUNDACIÓN.....	36
9.2.2.1.	CUENCA DE INUNDACIÓN. LIMOS DE INUNDACIÓN (Q_{LI}).....	36
9.2.2.2.	CIÉNAGAS – DEPÓSITOS DE ALBUFERA (Q_{DA}).....	36
9.3.	DEPÓSITOS PARÁLICOS	37
9.3.1.	MARJALES COSTEROS (MARSH).....	37
9.3.2.	LAGUNAS COSTERAS.....	37
9.3.3.	RESTINGA.....	38
9.3.3.1.	BACKBARRIER. LIMOS EÓLICOS (Q_{LE}).....	38
9.3.3.2.	GOLAS O BOCANAS (INLETS O OUTLETS).....	38
9.3.3.3.	DUNAS (Q_D).....	38
9.3.3.4.	PLAYA (FORESHORE) (Q_P).....	39
10.	ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO REGIONAL.....	41
10.1.	ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO LOCAL. EL SECTOR ACUÍFERO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA (MASA DE AGUA DE OLIVA-PEGO).....	46
11.	ENCUADRE CLIMÁTICO	51
11.1.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. DETERMINACIÓN DE AÑOS TIPO	52
11.2.	CÁLCULO DE LA LLUVIA ÚTIL.....	54
11.3.	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN.....	55
11.3.1.	TIPO DE SUELO.....	56
11.3.2.	CUBIERTA VEGETAL	56
11.3.3.	CONDICIÓN HIDROLÓGICA.....	57
11.3.4.	PENDIENTE.....	57
11.3.5.	APROVECHAMIENTO DEL TERRENO.....	57

12.	SONDEOS DE CONTROL DE NIVELES Y CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	61
13.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	63
13.1.	PUNTOS DE NUEVO INVENTARIO.....	64
14.	REDES DE CONTROL.....	67
14.1.	RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO.....	67
14.2.	RED DE CALIDAD.....	67
14.3.	RED DE REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA.....	67
14.4.	RED DE AFOROS EN CAUCES.....	75
14.5.	NIVELACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL.....	80
15.	INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL DE LA ZONA.....	83
15.1.	COLUMNAS LITOESTRATIGRÁFICAS.....	83
15.2.	SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	84
15.3.	TOMOGRFÍA ELÉCTRICA Y SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	86
15.4.	CORRELACIONES REALIZADAS.....	91
15.4.1.	<i>IDENTIFICACIÓN DE NIVELES PERMEABLES.....</i>	<i>102</i>
15.5.	CORTES HIDROGEOLÓGICOS.....	105
15.6.	ANÁLISIS DE LA DISPOSICIÓN DE LOS MATERIALES.....	119
15.6.1.	<i>ISOBATAS DEL CUATERNARIO.....</i>	<i>120</i>
15.6.2.	<i>ISOBATAS DEL MIOCENO.....</i>	<i>121</i>
15.6.3.	<i>ISOBATAS DEL TECHO DEL MESOZOICO.....</i>	<i>121</i>
15.7.	ESQUEMA TECTÓNICO.....	121
15.7.1.	<i>REINTERPRETACIÓN DEL ESQUEMA TECTÓNICO.....</i>	<i>121</i>
16.	ANÁLISIS HIDRODINÁMICO.....	125
16.1.	PIEZOMETRÍA DE LOS DISTINTOS NIVELES ACUÍFEROS.....	125
16.1.1.	<i>PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE MUSTALLA.....</i>	<i>125</i>
16.1.2.	<i>PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE SEGARIA.....</i>	<i>126</i>
16.1.3.	<i>PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO CRETÁCICO EN EL ENTORNO DEL MARJAL.....</i>	<i>128</i>
16.1.4.	<i>PIEZOMETRÍA DE LOS DISTINTOS NIVELES ACUÍFEROS DEL PLIOCUATERNARIO EN EL ENTORNO DEL MARJAL.....</i>	<i>129</i>
16.2.	EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA HIPERANUAL.....	133
16.3.	RELACIÓN ENTRE LA HIDRODINÁMICA Y LA ESTRUCTURA TECTÓNICA.....	135
17.	ANÁLISIS HIDROQUÍMICO.....	139
17.1.	EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL MARJAL Y ACUÍFEROS ASOCIADOS.....	139
17.2.	IMPACTOS DETECTADOS EN RELACIÓN CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS....	144

17.2.1.	<i>EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL ARENOSO SUPERFICIAL (AS)</i>	145
17.2.2.	<i>EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL MULTICAPA INTERMEDIO (MI)</i>	146
17.2.3.	<i>EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL CONGLOMERÁTICO BASAL (CB)</i>	146
17.2.4.	<i>EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL ACUÍFERO MESOZOICO (AM)</i>	147
18.	ANÁLISIS EN LA VERTICAL DE LA TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	149
18.1.	TESTIFICACIONES REALIZADAS.....	150
18.2.	CATRACTERIZACIÓN DE PERFILES GEOFÍSICOS.....	169
19.	EVOLUCIÓN DE LA INTRUSIÓN MARINA	173
19.1.	DATOS DE PARTIDA.....	174
19.1.1.	<i>DATOS DE PRECIPITACIÓN</i>	174
19.1.2.	<i>CAUDALES Y DATOS HIDROQUÍMICOS DE LOS RÍOS BULLENS Y RACONS</i> ...	175
19.1.3.	<i>DATOS PIEZOMÉTRICOS Y DE CALIDAD DE LOS ACUÍFEROS</i>	176
19.1.4.	<i>DATOS HIDROQUÍMICOS Y DE TEMPERATURA DE FONT SALADA y Balsa SINEU</i> 177	
19.1.5.	<i>CAUDALES DE FONT SALADA Y Balsa SINEU</i>	177
19.2.	ANÁLISIS DE LAS RELACIONES PARAMÉTRICAS.....	177
19.2.1.	<i>PRECIPITACIÓN - CAUDAL DE LOS RÍOS BULLENS Y RACONS</i>	178
19.2.2.	<i>CAUDAL-CALIDAD DE LOS RÍOS BULLENS Y RACONS</i>	179
19.2.3.	<i>CAUDAL DE LOS RÍOS - CALIDAD DE LOS MANANTIALES DE FONT SALADA Y Balsa SINEU</i>	180
19.2.4.	<i>PRECIPITACIÓN-PIEZOMETRÍA</i>	183
19.2.5.	<i>CLORUROS DE LOS MANANTIALES - PIEZOMETRÍA</i>	186
19.2.6.	<i>TEMPERATUA - CLORUROS DE LOS MANANTIALES</i>	192
20.	DINÁMICA DE LA INTRUSIÓN MARINA	195
20.1.	EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INTERFASE EN EL ACUÍFERO DE MUSTALLA.	197
20.2.	EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INTERFASE EN EL ACUÍFERO DE SEGARIA.....	199
21.	BALANCE HÍDRICO	201
21.1.	ANÁLISIS HISTÓRICO	201
21.2.	BALANCE HÍDRICO ACTUALIZADO	206
22.	CONCLUSIONES	211
23.	LAS VÍAS DE ACTUACIÓN FUTURAS	215

23.1.	EL MARJAL DE OLIVA-PEGO, UN ÁREA PILOTO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINAR.....	215
23.2.	LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	215
24.	BIBLIOGRAFÍA.....	219

INDICE DE FIGURAS

Figura nº 1: situación del área de estudio

Figura nº 2: mapa geológico de la Cordillera Bética. Extraído de IGME (2004) Geología de España. pp-348

Figura nº 3: mapa de las Zonas Externas Béticas. La zona de estudio se encuentra dentro de la unidad morfoestructural identificada con el nº 1, de Onteniente Denia, al norte de la de Aspe-Jijona-Alicante (2) y al este de las de Hellín-Almansa (3) y Jumilla-Yecla (4). Extraído de IGME (2004) Geología de España. pp-355

Figura nº 4: esquema tectónico previo de la zona de estudio

Figura nº 5: mapa geológico del entorno del marjal de Pego-Oliva

Figura nº 6: esquema geomorfológico (de Viñals, M. J. "El marjal de Pego-Oliva. Evolución Geomorfológica" -1996)

Figura nº 7: mapa hidrogeológico regional (modificado de Pulido Bosch, A. "Contribución al conocimiento de la hidrogeología del Prebético nororiental"- 1979)

Figura nº 8: masas de agua de la zona de estudio

Figura nº 9: acuífero Albuerca-Gallinera-Mustalla (extraído de "Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase). IGME-DPA (2001)"

Figura nº 10 : acuífero Almudaina-Alfaro-Segaria (extraído de "Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase). IGME-DPA (2001)"

Figura nº 11 : acuífero Plana de Pego-Dénia (extraído de "Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase). IGME-DPA (2001)

Figura nº 12 : modelo conceptual del funcionamiento hidráulico del marjal de Pego-Oliva. Aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos asociados. Modificada de Ballesteros, B.J. (2005)

Figura nº 13: mapa de redes de control del entorno del marjal de Pego-Oliva

Figura nº 14: estudios geofísicos realizados en la zona de Pego-Oliva

Figura nº 15: perfiles de correlación litoestratigráfica

Figura nº 16: situación de los cortes hidrogeológicos

Figura nº 17: cortes hidrogeológicos A-A' y B-B'

Figura nº 18: cortes hidrogeológicos C-C' y D-D'

Figura nº 19: cortes hidrogeológicos E-E' y F-F'

Figura nº 20: comparativa entre el esquema estructural previo al estudio y el definido tras el análisis de toda la información disponible

Figura nº 21: correlación entre la disposición del basamento y la hidrodinámica general de la zona de estudio

Figura nº 22: influencia de la disposición del basamento en la circulación del flujo subterráneo

Figura nº 23: variación de la calidad química en el ac. arenoso superficial en época de aguas altas y bajas

Figura nº 24: variación de la calidad química del agua en el acuífero multicapa intermedio en época de niveles altos y bajos

Figura nº 25: variación de la calidad química del agua en el acuífero conglomerado basal en época de niveles altos y bajos

Figura nº 26: variación de la calidad química del agua en el acuífero mesozoico I en época de niveles altos y bajos

Figura nº 27: mapa de testificaciones en la vertical (C.E. y Tº)

Figura nº 28: esquema tridimensional de la cuña de intrusión marina. Variación en la vertical de la fracción másica (W) y del flujo horizontal (Vx) en una cierta sección A-A' (Extraído de M. Pool, et al. 2007)

Figura nº 29: mapa de situación de los manantiales y sondeos de toma de datos y de las secciones de aforo en los ríos Bullens y Racons

Figura nº 30: esquema de la circulación del flujo subterráneo en los periodos húmedo y seco

Figura nº 31: variaciones estacionales de la disposición de la cuña salina en el entorno del manantial de Font Salada

Figura nº 32: variaciones estacionales de la disposición de la cuña salina en el entorno del manantial de Balsa Sineu

Figura nº 33: Modelo conceptual actualizado del funcionamiento hidráulico del marjal de Pego-Oliva.

Aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos asociados. Modificada de Ballesteros, B.J. (2005)

Figura nº 34: esquema del funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos asociados al marjal de Pego-Oliva

Figura nº 35: Modelo conceptual del funcionamiento hidráulico del marjal de Pego-Oliva – datos actualizados. Aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos asociados. Modificada de Ballesteros, B.J. (2005)

INDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico nº 1: precipitación anual registrada en el observatorio de Pego Convento 8057A
- Gráfico nº 2: temperatura media anual en el observatorio de Pego Convento 8057^a
- Gráfico nº 3: lluvia útil mensual calculada a partir de los registros del observatorio de Pego Convento 8057A
- Gráfico nº 4: escorrentía mensual calculada a partir de los registros del observatorio de Pego Convento 8057
- Gráfico nº 5: recarga mensual calculada a partir de los registros del observatorio de Pego Convento 805
- Gráfico nº 6: puntos inventariados por tipos
- Gráfico nº 7: puntos de nuevo inventariados por tipos
- Gráfico 8: caudales puntuales en los ríos Bullens y Racons para el periodo dic-05 a nov-07.
- Gráfico 9: Caudales drenados por los ríos Bullens y Racons (datos de la DPA reducidos un 20%) y precipitaciones diarias registradas en el observatorio de Pego Convento 8057A.
- Gráfico nº 10: sondeos por profundidades
- Gráfico nº 11: correlación entre la piezometría en los sondeos 303160099 y 30310100 y la precipitación mensual
- Gráfico nº 12: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-90 / Ullal de Bullens
- Gráfico nº 13: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-99 / Les Mondes
- Gráfico nº 14: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-100 / SGOP-SX
- Gráfico nº 15: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-113 / PDGEST-1
- Gráfico nº 16: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-114 / PDGEST-2
- Gráfico nº 17: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-115 / PDGEST-5a
- Gráfico nº 18: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-116 / PDGEST-5b
- Gráfico nº 19: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-117 / PDGEST-6b
- Gráfico nº 20: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-118 / PDGEST-6c
- Gráfico nº 21: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-119 / PDGEST-7a
- Gráfico nº 22: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-120 / PDGEST-7b
- Gráfico nº 23: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-121 / SGOP P-7
- Gráfico nº 24: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-122 / SGOP P-5
- Gráfico nº 25: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-125 / Calpero-2
- Gráfico nº 26: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-129 / SGOP-SL
- Gráfico nº 27: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-133 / SGOP-SV
- Gráfico nº 28: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-141 / SGOP P-3
- Gráfico nº 29: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-144 / Ullal de Macareno
- Gráfico nº 30: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-145 / Desaladora de Dénia
- Gráfico nº 31: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-7-105 / Calpero-1
- Gráfico nº 32: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-7-107 / PDGEST-3
- Gráfico nº 33: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-7-108 / PDGEST-4
- Gráfico nº 34: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3032-1-27 / SGOP S-4
- Gráfico nº 35: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3032-2-110 / SGOP S-2
- Gráfico nº 36: Caudales drenados por los ríos Bullens y Racons y precipitaciones diarias registradas en el observatorio de Pego Convento 8057A
- Gráfico 37: Correlación entre el contenido en cloruros de las aguas del río Bullens y su caudal

Gráfico 38: Correlación entre el contenido en cloruros de las aguas del río Racons y su caudal

Gráficos 39: Evolución comparativa entre el caudal del Bullens y el contenido en cloruros de Font Salada

Gráficos 40: relación entre el caudal del río Bullens y el contenido en cloruros del manantial de Font Salada

Gráfico 41: Evolución comparativa entre el caudal del Racons y el contenido en cloruros de Balsa Sineu

Gráfico 42: relación entre el caudal del río Racons y el contenido en cloruros del manantial de Balsa Sineu

Gráfico 43: Precipitaciones acumuladas en los 40 días previos al dato de piezometría del sondeo 3031-5-29

Gráfico 44: Gráficos de relación precipitación acumulada (30, 40 y 60 días) y piezometría (sondeo 3031-5-29)

Gráfico 45: Precipitaciones acumuladas en los 40 y 60 días previos al dato de piezometría media de los sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100

Gráfico 46: Gráficos de relación precipitación acumulada (30, 40 y 60 días) y piezometría media (sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100)

Gráfico 47: Evolución comparativa plurianual (periodo1979-2001) de la piezometría en el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla (sondeo 3031-5-29) y salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Gráfico 48: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a septiembre-07) de la piezometría en el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla (sondeo 3031-5-29) y salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Gráfico 49: relación piezometría en Mustalla (3031-5-29) salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Gráfico 50: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a septiembre-07) de la piezometría en el acuífero carbonatado bajo el Pliocuaternario de Pego-Dénia (sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100) y salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Gráfico 51: relación piezometría en el ac. carbonatado bajo el Pliocuaternario de Pego-Dénia (3031-6-99 y 3031-6-100) salinidad (mg/L de Cl-) en Font Salada

Gráfico 52: Evolución comparativa plurianual (periodo1976-2001) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeo 3031-6-7) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

Gráfico 53: Evolución comparativa plurianual (periodo1973-2001) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeo 3031-6-8) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

Gráfico 54: Evolución comparativa plurianual (periodo1976-2001) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeo 3031-6-78) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

Gráfico 55: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a septiembre-07) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

Gráfico 56: relación piezometría en el ac. carbonatado bajo el Pliocuaternario de Pego-Dénia (3031-6-99 y 3031-6-100) salinidad (mg/L de Cl-) en Balsa Sineu

Gráfico 57: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a octubre-07) de la temperatura y la salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Gráfico 58: relación temperatura (°C) / salinidad (mg/L de Cl-) en Font Salada

Gráfico 59: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a octubre-07) de la temperatura y la salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

Gráfico 60: relación temperatura (°C) / salinidad (mg/L de Cl-) en Balsa Sineu

INDICE DE ANEXOS

Anexo nº 1: Modelo matemático del acuífero Pliocuatenario de Pego-Oliva (régimen estacionario)

Anexo nº 2: Informe final de los sondeos de investigación

Anexo nº 3: Registro en la vertical de Tº y C.E

Anexo nº 4: Fichas de nuevo inventario

Anexo nº 5: Campaña de nivelación de precisión

Anexo nº 6: Reportaje fotográfico

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objeto del Proyecto es reforzar el conocimiento generado hasta la fecha sobre el funcionamiento hidráulico del sistema acuífero - zona húmeda de Pego-Dénia, con el fin de optimizar la explotación sostenible de los recursos del sistema y establecer cuales son las necesidades ambientales para la conservación del humedal.

El principal criterio de sostenibilidad, desde un punto de vista medioambiental, ha de ser la preservación de los ecosistemas asociados al marjal de Pego, teniendo para ello en cuenta que los cambios en la calidad de los recursos del acuífero, inducidos principalmente por el grado de explotación, tienen efectos inmediatos tanto en la extensión como en la calidad ambiental del humedal.

Entre otros aspectos se procederá a realizar un modelo del acuífero que permita establecer pautas y alternativas de gestión. Con esta premisa, y para lograrlo, se contemplan los siguientes objetivos:

- 1- Caracterización de los patrones de flujo del acuífero mediante la identificación de zonas de recarga y descarga, y considerando la influencia de la variación de la densidad del mismo.
- 2- Estudio de los elementos que rigen la dinámica de la interfase agua dulce-agua salada. Modelación tridimensional del sistema hidrogeológico considerando la variación de la densidad del flujo. Se contempla el empleo de alguno de estos dos códigos: FEFLOW o SEAWAT.
- 3- Evaluación de los recursos explotables del acuífero, bajo la premisa de la calidad de los mismos.
- 4- Análisis numérico de la gestión sostenible del sistema acuífero, evaluando la repercusión de la explotación sobre el humedal de Pego-Oliva.

2. METODOLOGÍA

2.1. REVISIÓN DE ANTECEDENTES

Se ha llevado a cabo una revisión de la información hidrogeológica y de otras disciplinas, disponible de la comarca de la Marina Alta en general y del entorno del marjal de Pego-Oliva y sus acuíferos limítrofes en particular.

2.2. EJECUCIÓN DE SONDEOS DE INVESTIGACIÓN

En el proyecto se incluía la ejecución de varios sondeos de investigación litoestratigráfica y control de la calidad y piezometría de las aguas subterráneas.

Inicialmente la propuesta hacía referencia a siete perforaciones a testigo continuo (en siete emplazamientos), pero a partir del análisis de las columnas litológicas se determinó la ejecución de uno o varios sondeos por emplazamiento con el fin de poder caracterizar niveles permeables distintos. Estos sondeos se identifican con las siglas PDGEST y un cardinal que va del 1 al 7. Además, en aquellos sectores en los que para individualizar diferentes niveles acuíferos se han ejecutado varias perforaciones contiguas se añade al cardinal una letra identificativa (a, b, c).

2.3. CAMPAÑAS DE MUESTREO Y AFORO

La investigación se ha basado en la toma periódica de muestras de agua, control de niveles y aforos directos en tres redes de control:

- piezometría: en los sondeos de investigación realizados y en otros de la zona
- calidad de las aguas subterráneas en sondeos, manantiales y aguas de cauces superficiales
- campaña de aforos directos en los ríos Bullens y Racons

Además se ha realizado:

- nivelación de precisión de los puntos de las redes de control
- ensayos de bombeo en los sondeos de investigación
- testificación geofísica en los sondeos de investigación
- campañas ocasionales de registro continuo en la vertical de conductividad y temperatura en varios sondeos de la red de control
- instalación de sensores fijos de control de piezometría y temperatura en los sondeos de investigación PDGEST.

2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El trabajo de gabinete ha consistido en la recopilación de toda la información, previa y actual y el análisis y valoración de la misma.

2.5. CONCLUSIONES

El resultado final del trabajo ha permitido alcanzar los objetivos planteados en el apartado 1, de forma que se ha mejorado notablemente el conocimiento sobre el funcionamiento hidráulico del sistema acuífero - zona húmeda de Pego-Dénia, ya no con el único fin de optimizar la explotación sostenible de los recursos del sistema para preservar la zona húmeda, sino para integrar en este ámbito medioambiental los otros sectores que interactúan con el mismo y entre ellos, agricultura, industria, turismo y servicios.

3. ANTECEDENTES

3.1. ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS

Los trabajos a desarrollar continúan e inciden en la labor técnica y de investigación que el IGME ha venido realizando en esta área geográfica, tanto en proyectos propios del Organismo, como en proyectos realizados en colaboración con otras entidades de la Administración Estatal, Autonómica y Local desde principios de la década de 1970. En esta línea de I+D, el presente Proyecto responde a una iniciativa para la mejora general del conocimiento del marco hidrogeológico de la provincia de Alicante, siguiendo las directrices establecidas por la Directiva Marco del Agua.

Desde el punto de vista administrativo, el Proyecto queda contemplado dentro de los estudios de investigación de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas, y en los trabajos que el IGME y la Diputación Provincial de Alicante llevan realizando desde hace más de 20 años, a través de los sucesivos Convenios Específicos suscritos anualmente entre ambos Organismos. En cuanto a su marco legal, dicha colaboración queda al amparo de la Disposición Adicional Cuarta del texto refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001 de julio modificado por la Ley 62/2003 de 30 de diciembre), en la que se establece que el IGME formulará y desarrollará planes de investigación tendentes al mejor conocimiento y protección de los acuíferos y prestará asesoramiento técnico a la Administración Pública en materias relacionadas con aguas subterráneas.

3.2. ANTECEDENTES TÉCNICOS

El acuífero de Pego-Dénia, situado en el sector oriental de la comarca alicantina de la Marina Alta, se define como de tipo detrítico litoral, y está constituido, en sentido amplio, por sedimentos cuaternarios dispuestos sobre un impermeable de base formado por margas miocenas y en ciertos sectores por formaciones carbonatadas de edad cretácica. Desde un punto de vista medioambiental su principal interés reside en ser el acuífero asociado basal de la zona húmeda litoral de Pego (marjal de Pego), que presenta una íntima relación con las variaciones de calidad y cantidad de los recursos del mismo. La proximidad del mar hace que el humedal pueda ser afectado por procesos de salinización causados por la intrusión marina del acuífero, a causa de las extracciones que se llevan a cabo en él. Aunque en el sector del marjal la piezometría tiende a mantenerse estable (en torno a 0,5 a 1,5 m s.n.m.), en periodos secos como el año 1984/85, la cota piezométrica llega a situarse bajo el nivel del mar. Una situación similar se produce en los sectores sujetos a fuertes bombeos, como es el caso de la finca del Rosario, y que tiene como consecuencia un incremento de la salinidad, puesta de manifiesto por conductividades eléctricas de hasta 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La evidente relación que existe entre la explotación del acuífero y la calidad de los recursos, unido a la relación hidráulica entre el acuífero y el humedal hace imprescindible disponer de un modelo de gestión sostenible con

vistas a preservar el ecosistema asociado al marjal de Pegó en el que también se contemplen las aportaciones que realizan a la zona húmeda los acuíferos asociados laterales de Albuera-Gallinera-Mustalla y Almudaina-Alfaro-Segaria.

Son numerosos los trabajos de índole geológica e hidrogeológica llevados a cabo en esta zona en particular y en el área de la comarca de la Marina Alta en general.

A continuación se realiza un análisis de aquellos que resultan de mayor interés para este estudio:

- Entre los trabajos centrados en el análisis geológico de la zona destacan los mapas de la serie MAGNA, tales como las hojas de Gandía (796), Benisa (822) y Jávea (823).
- Los principales estudios centrados en la hidrogeología son los realizados por el IGME y/o la Diputación Provincial de Alicante, entre los que destacan:
 - GME-IRYDA (1977). PIAS. Investigación hidrogeológica de la cuenca media y baja del río Júcar. Tomo X. Sistema 50.1. Zona Sur.
 - DPA-IGME (1982). Las aguas subterráneas en la provincia de Alicante.
 - IGME (1986). Proyecto para el inventario de focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas y evaluación de la situación en calidad de los mismos, en las cuencas media y baja del Júcar. Sistema 50.1. Zona Sur.
 - IGME (1986). Proyecto para la preparación de un informe actualizado de los recursos hídricos subterráneos disponibles en el área de Oliva-Pego (Comunidad Valenciana).
 - IGME (1987). Campañas de aforos para el control del acuífero de Albuera-Gallinera-Mustalla.
 - IGME (1988). Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización.
 - DGOH-IGME (1988). Delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características.
 - ITGE (1989). Las aguas subterráneas en España.
 - ITGE (1990). Estudio actualizado de los recursos hídricos subterráneos de la Marina Alta (Alicante)
 - DPA (1992). "Mapa del Agua. Provincia de Alicante".
 - ITGE-DPA (1992). "Actualización y control de explotaciones. Acuífero Serrella-Aixorta y acuífero Montgó-Dénia".
 - MOPTMA-ITGE (1993). Inventario de recursos de agua subterránea en España. 1ª Fase.
 - DGOHCA-ITGE (1994). Libro blanco de las aguas subterráneas.
 - ITGE (1995). Proyecto para el control piezométrico, hidrométrico y de calidad de las cuencas media y baja del Júcar. Análisis de la situación y estado de la red de control hidrométrico.

- MOPTMA (1995). Sobre los sondeos, medidas piezométricas y aforos realizados en el marjal de Oliva-Pego (Alicante).
- ITGE-Generalitat Valenciana (1996). Los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana.
- ITGE (1997). Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, período 1982-1993. Cuenca del Júcar.
- DGOHCA-ITGE (1997). Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización. Predefinición del programa de actuación (convenio DGOHCA-ITGE).
- DGOHCA-ITGE (1998). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas. Propuestas de protección.
- DGOHCA-ITGE (1998). Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados / salinizados. Formulación de estudios y actuaciones.
- ITGE-DPA (1998). Modelo de intrusión marina en el acuífero de El Verger. Evaluación de los efectos de la recarga artificial. Optimización de las operaciones de recarga.
- ITGE-DGOHCA (1999). Programa de actualización del inventario hidrogeológico (P.A.I.H.). Análisis del conocimiento actual. Evaluación y programación de estudios en las cuencas intercomunitarias.
- ITGE-DPA (2000). Determinación de las descargas naturales de los acuíferos de la sierra de Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, de la sierra Albuerca-Gallinera-Mustalla hacia el Parque Natural del Marjal de Oliva-Pego en la Marina Alta (Alicante). Campaña de aforos y piezometría de diciembre de 2000.
- ITGE-DPA (2001). Determinación de las descargas naturales de los acuíferos de la sierra de Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, de la sierra Albuerca-Gallinera-Mustalla hacia el Parque Natural del Marjal de Oliva-Pego en la Marina Alta (Alicante). Campaña de aforos y piezometría de enero de 2001.
- DPA-IGT (2001). Estudios Geofísicos mediante Tomografía Eléctrica y SEDT en Parcent y Tárben.
- ITGE-DPA (2001). Determinación de las descargas naturales de los acuíferos de la sierra de Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, de la sierra Albuerca-Gallinera-Mustalla hacia el Parque Natural del Marjal de Oliva-Pego en la Marina Alta (Alicante). Campaña de aforos y piezometría de febrero de 2001.
- ITGE-DPA (2001). Evaluación y ordenación de recursos hídricos en la Marina Alta (Alicante). Alternativas y Directrices (1ª Fase).
- IGME-DPA (2002). Evaluación y ordenación de recursos hídricos en la Marina Alta (Alicante). Alternativas y Directrices (2ª Fase). Caracterización isotópica e hidroquímica de los acuíferos existentes en el entorno del marjal de Pego-Oliva. Marina Alta (Alicante).
- IGME (2003): Modelo matemático del acuífero de Mustalla, unidad hidrogeológica 08.34 Almirante-Mustalla.

- IGME (2005). Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos.
 - IGME-DPA (2005). Caracterización isotópica de la línea meteórica local y de los acuíferos de la Marina Alta (Alicante).
 - IGME-DPA (2005). Establecimiento del marco geológico para protección de alternativas de gestión de recursos hídricos subterráneos. Aplicación a la comarca de la Marina Alta (Alicante). Revisión y actualización del modelo de flujo del acuífero Almudaina-Alfaro-Segaria (Alicante).
 - IGME-DPA (2005). Establecimiento del marco geológico para protección de alternativas de gestión de recursos hídricos subterráneos. Aplicación a la comarca de la Marina Alta (Alicante). Fase final.
 - DPA (2005). Prospección geofísica mediante tomografía eléctrica y sondeos electromagnéticos en el término municipal de Pego (Provincia de Alicante).
 - DPA (2005). Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas.
 - DPA (2007). Los manantiales provinciales. Segunda parte.
 - IGME-DPA (2008). Síntesis hidrogeológica y propuestas para la optimización de la gestión de los recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante).
- Otro estudios de entidades públicas como la CHJ o la COPUT son:
 - CHJ (1982). Estudio de recursos hídricos de la zona litoral comprendida entre las cuencas de los ríos Serpis y Algar.
 - SGOP (1990). Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000. Informaciones y Estudios nº 52.
 - COPUT (1990). Estudio integral de las cuencas de los ríos Girona y Gorgos y el posible incremento de sus disponibilidades hídricas mediante métodos de corrección y recarga.
 - CHJ (1995). Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar.
- Estudios de otras entidades o particulares:
 - PULIDO A. (1979). Contribución al conocimiento de la hidrogeología del Prebético Nororiental (Provincias de Alicante y Valencia). Tesis doctoral. Memoria del Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de publicaciones Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
 - PULIDO, A., MORELL, I., BENAVENTE, J., PADILLA, A., CALAFORRA, J. M. (1986). Universidad de Granada. Dpto. Hidrogeología de la Facultad de Ciencias. Hidrogeología del marjal de Pego y su entorno.
 - BOX AMOROS, M. (1987). Humedales y áreas lacustres de la provincia de Alicante. (Publicaciones de la Universidad de Alicante).

- VIÑALS, M. J. (1996): El marjal de Oliva-Pego (Valencia). Geomorfología y evolución de un humedal costero mediterráneo. Generalitat Valenciana – Consellería de Agricultura y Medio Ambiente.
- BALLESTEROS, B; OCAÑA, L; LÓPEZ, J; RODRÍGUEZ, L. – Contribución de las técnicas isotópicas y de las relaciones hidroquímicas al conocimiento de los mecanismos que rigen los procesos de salinización en un acuífero kárstico litoral de la provincia de Alicante, España. – Alicante, 4-8 octubre de 2005.
- POOL, M.; ABARCA, E.; HIDALGO, J.; CARRERA, J. (2007): Simulación bidimensional en planta de la intrusión marina: integración vertical. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas (23), pp 459-470. Madrid

3.3. ANÁLISIS DE LOS ANTECEDENTES

- En el estudio “Hidrogeología del marjal de Pego y su entorno”, realizado por Pulido, A., et al. en 1986. para la Universidad de Granada se pretendía básicamente determinar el origen de la anomalía térmica positiva en algunos de los principales puntos acuíferos del entorno así como establecer la procedencia de la elevada concentración salina en algunos de estos puntos. Para ello se realizó un inventario de puntos acuíferos, la nivelación de precisión del río Bullens, una campaña de geofísica eléctrica resistiva y un registro de conductividad y temperatura en diversos sondeos y manantiales.

Las conclusiones más destacadas son las siguientes:

- Las aguas del acuífero de la sierra de Mustalla presentan un incremento de la temperatura y la conductividad hacia el mar.
- El acuífero detrítico cuaternario presenta también una anomalía térmica positiva hacia el mar que se interpreta como consecuencia de un flujo regional y dos áreas de máximos de conductividad que se relacionan con áreas de fuertes bombeos (Rincón del Rosario, área del Manantial Salado) que provocan intrusión marina. También se diferencia un sector de mínimos, coincidente con el cordón dunar litoral.
- No llegan a establecerse conclusiones sobre variaciones de temperatura o conductividad en la vertical debido a la escasa profundidad de los sondeos analizados.
- Dentro del Proyecto para la preparación de un informe actualizado de los recursos hídricos subterráneos disponibles en el área de Oliva-Pego (Comunidad Valenciana), realizado por el IGME en 1986, se recopila una importante información hidrogeológica, geofísica, hidroquímica y climática del marjal de Oliva-Pego y de los acuíferos asociados al mismo. También se describe la serie litológica a partir de perforaciones realizadas por el IRYDA, pero indicando que por su escasa profundidad se desconoce

qué tipo de materiales conforma el sustrato de los depósitos cuaternarios del marjal. Con todo ello se ejecuta un modelo matemático que pretende simular el comportamiento hidráulico del marjal, discretizado en celdas cuadradas de 1 km².

- Dña. Margarita Box Amorós, en su tesis doctoral de 1985 “Humedales y áreas lacustres de la provincia de Alicante” publicada en 1987 por la Universidad de Alicante, describe morfogenéticamente el marjal de Pego-Oliva y realiza una clara diferenciación entre la alimentación hídrica del marjal proveniente de la cuenca vertiente (aguas superficiales) y los aportes subterráneos, describiendo de forma general la hidrología del marjal, su evolución histórica y las modificaciones antrópicas realizadas.
- En el informe realizado por el IGME en 1987 sobre campañas de aforos para el control del acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla se recopilan datos de aforos realizados en el río Serpis y Bullens los años 1986 y 1987.
- En la publicación de 1996 de la Consellería de Agricultura y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana “El marjal de Oliva-Pego (Valencia). Geomorfología y evolución de un humedal costero mediterráneo” que recopila la mayor parte de la tesis doctoral de Dña. María José Viñals, se realiza un análisis detallado de la evolución durante el Cuaternario de esta zona húmeda a partir de numerosos datos obtenidos tanto de bibliografía como de trabajos de campo. Entre los segundos destaca la realización de diversos cortes subaéreos, sondeos manuales, mecánicos y eléctricos y la toma de numerosas muestras, tanto superficiales como de los mencionados sondeos, que permiten tras su correlación y análisis, físico y paleontológico, establecer las facies características de la zona, la morfología de la cuenca y determinar las distintas fases evolutivas desde el Pleistoceno hasta la actualidad.
- Dentro de “Proyecto para el control piezométrico, hidrométrico y de calidad de las cuencas media y baja del Júcar. Análisis de la situación y estado de la red de control hidrométrico” realizado por el ITGE (1995), se recopilan, entre otros, los datos correspondientes a las estaciones de aforo E-21 (río Bullens-Vedat), E-22 (río Racons-Regalatxo) y E-23 (río Barranquet) de los años 1988 a 1994.
- El estudio realizado en 1995 por el MOPTMA referente a los resultados de varios sondeos y aforos realizados en el marjal de Oliva-Pego (Alicante), constituye una primera aproximación para establecer las relaciones entre los acuíferos de Almirante-Gallinera-Mustalla, Alfaro-Mediodía-Segaria y la Plana de Gandía-Dénia.
- En el estudio realizado por el ITGE y la Diputación de Alicante en 2001, con objeto de determinar las descargas naturales de los acuíferos de las sierras de Segaria y de Mustalla al marjal de Oliva-Pego, se realizaron tres campañas de aforo en los ríos Bullens y Racons, en los principales manantiales de la zona, así como la toma de medidas de piezometría en diversos sondeos.
- De entre los estudios hidroquímicos destaca el realizado recientemente por el IGME y la DPA (2005). En él se pretende caracterizar isotópicamente la línea meteórica local y

de los acuíferos de la Marina Alta (Alicante) a fin de determinar el origen de las aguas de elevada mineralización que provenientes de los acuíferos de Albuerca-Gallinera-Mustalla y Almudaina-Alfaro-Segaría descargan en el marjal de Pego-Oliva. En este estudio se concluye que el origen de la salinidad de estos manantiales es consecuencia de la conexión de los mismos con la zona de interfase actual agua dulce-agua salada, es decir, tienen un origen marino actual, y no están relacionadas con aguas fósiles o con el lavado de depósitos evaporíticos.

- Entre los estudios más recientes destaca el realizado por Ballesteros, B et al. – Contribución de las técnicas isotópicas y de las relaciones hidroquímicas al conocimiento de los mecanismos que rigen los procesos de salinización en un acuífero kárstico litoral de la provincia de Alicante, España. – Alicante, 4-8 octubre de 2005. En el que se analiza la procedencia de la salinidad de los manantiales del entorno del marjal de Oliva-Pego relacionados con los acuíferos carbonáticos de las sierras de Mustalla y Segaría. El quimismo de estos manantiales, situados entre 1,5 y 4,4 Km. de la línea de costa y con cotas entre 1 y 3 m s.n.m., ha sido estudiado en diversas ocasiones a fin de dilucidar la posible influencia sobre sus aguas de formaciones geológicas salinas y/o procesos de intrusión marina actual, o incluso la existencia de aguas relictas. En este estudio se aplican diversas determinaciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, Deuterio, Tritio y $\delta^{34}\text{S}$), junto con el estudio de los perfiles hidroquímicos de las muestras y sus relaciones iónicas (especialmente $r\text{Cl}^-/r\text{Br}^-$), lo que permite proponer un modelo de funcionamiento hidrodinámico en la zona de mezcla agua dulce-agua salada para este tipo de acuíferos.
- El trabajo realizado por la Diputación Provincial de Alicante en julio de 2005, basado en la ejecución de perfiles de tomografía eléctrica y sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (SEDT), pretende caracterizar las distintas litologías en el entorno del marjal de Pego-Oliva y su posible conexión con el acuífero carbonatado de la sierra de Segaría. Se concluye que existe un nivel arenoso superficial de entre 5 y 10 m de espesor superpuesto a un conjunto margoso, alternante con capas arenosas, mientras que por debajo se encontraría el estrato resistivo formado por las calizas del Cretácico.

Aunque los estudios y trabajos parciales que se han llevado a cabo en este sector han contribuido a esbozar el esquema general del funcionamiento hidráulico del acuífero, han puesto también de manifiesto la necesidad de estudiar algunos aspectos de forma más detallada, utilizando herramientas específicas (hidrogeoquímicas, modelación de flujo y de transporte de masas) que permitan resolver las incertidumbres existentes relacionadas con la caracterización hidrogeológica, la recarga del sistema y el fenómeno de la intrusión marina.

4. ENCUADRE GEOGRÁFICO

La zona de estudio se ubica al sur de la provincia de Valencia y norte de la de Alicante, en el margen oriental de la comarca de La Marina Alta. Comprende parte de los términos municipales de Oliva, en la provincia de Valencia, Pego, El Verger y Dénia en la provincia de Alicante.

Las dos únicas poblaciones dentro del área de estudio son Pego en el vértice occidental y El Verger en el extremo suroriental. Existen además numerosas urbanizaciones que se ubican a lo largo de la línea de costa y en las laderas de las sierras de Mustalla y Segaria.

Las principales vías de comunicación las constituyen la Autopista A-7 Valencia-Alicante y la Carretera Nacional N-332 cuyos trazados se disponen paralelos a la línea de costa, entre ésta y el marjal.

La topografía del área se caracteriza por una zona central en forma de cuña abierta por el este al mar, donde se asienta el marjal, que queda flanqueada al norte por la sierra de Mustalla y por el sur por la de Segaria.

La sierra de Mustalla, con dirección SW-NE presenta elevaciones que van desde los 252,7 m s.n.m. de la “Penya Bascoms” en el extremo oeste, los 366,9 m s.n.m. de la “Creu de Mustalla” en el centro de la sierra o los 154,9 m s.n.m. de “El Castellar”, en el vértice oriental de la misma.

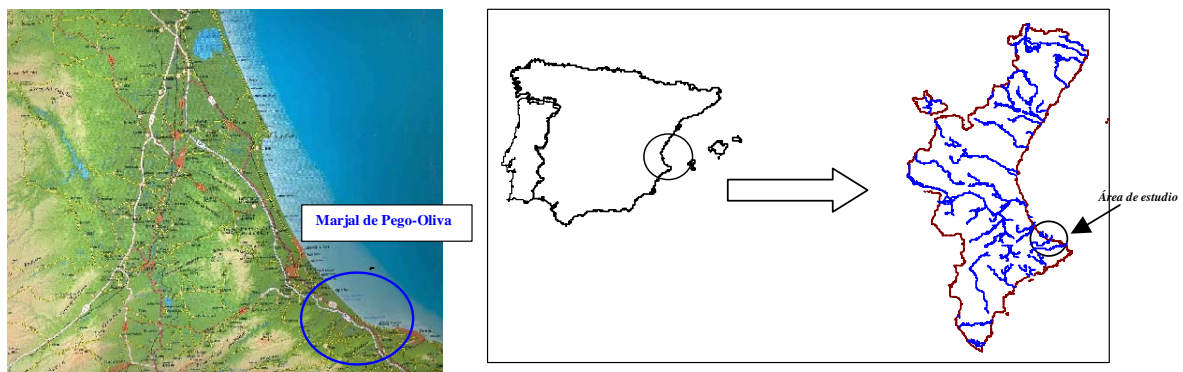


Figura nº 1: situación del área de estudio

Por su parte, la Sierra de Segaria alcanza cotas de entre 400 y 500 m s.n.m. en su eje central siendo “Penya Roja” con 251,2 m s.n.m. el pico más destacado en su extremo occidental.

Hidrológicamente esta zona es atravesada por diversos cauces fluviales perennes, además de confluir en la misma numerosos barrancos que drenan las elevaciones montañosas ya referidas que bordean el marjal.

Entre los primeros destacan el río Bullens, que limita la zona de marjal por el norte y que alcanza el mar tras atravesar la restinga costera donde cambia de nombre para denominarse río Vedat. Por el margen sur se encuentra el río Racons, al que confluyen además varios canales de drenaje del marjal como son los de Regalatxo, Barranquet y Riu Clar. Este último es el canal central de drenaje de la finca Rincón del Rosario. Esta explotación agrícola (Finca Oriol o Rincón del Rosario) es el resultado de un proyecto de desecación y desalinización de 1959, en el que tras desviar un tramo del río Racons se realizó un aislamiento hidráulico del terreno mediante un canal que rodea la finca y una red de colectores que confluyen a un canal principal (riu Clar) y mediante una estación de bombeo vierten las aguas recogidas al río Racons. Toda esta infraestructura tiene por objeto rebajar el nivel freático por debajo de la cota radicular de los cultivos. En su tramo final el río Racons recibe el nombre de Molinell.

De entre los barrancos, los de Mustalla y l'Horta son significativos en el extremo occidental de la sierra de Mustalla, mientras que los de Rupais, Benigánim y del Rell, drenan el flanco norte de la sierra de Segaria.

5. MARCO SOCIOECONÓMICO

La principal actividad económica de la zona es la agricultura de cítricos y de arroz, que ocupa prácticamente la mitad de la zona de estudio.

Otra de las fuentes fundamentales de ingreso es la actividad turística, con una notable proliferación de segundas residencias, tanto en las proximidades de la costa, como en urbanizaciones asentadas básicamente en las faldas septentrionales de la sierra de Segaria.

Todo ello ha contribuido a la realización de campos de golf o centros de ocio como el “Safari-Park” de El Verger, o de descanso como los numerosos campings situados a lo largo de la Playa de Santa Ana.

La declaración en 1994 del marjal de Oliva-Pego como Parque Natural, constituye además otro aliciente de interés turístico en cuanto al papel protector del medio que esta figura constituye.

Existe también cierta actividad industrial centrada en los polígonos de Pego, Oliva y El Verger y actividades extractivas (calizas de machaqueo y para cementeras), situadas en la falda sur de la sierra de Mustalla.

6. RESEÑA HISTÓRICA DEL MARJAL DE OLIVA-PEGO

Durante el Paleolítico, coincidente con el punto de máxima transgresión del Flandriense (6500 años AP), la zona de estudio era una bahía abierta al mar en la que los pobladores se dedicaban a la pesca.

Con el cierre progresivo del marjal y la colmatación de la zona lagunar subsiguiente (periodo Neolítico) se continúa con la actividad pesquera, primero por pobladores asentados sobre palafitos y posteriormente, en la Edad del Bronce, dentro de recintos amurallados, como el de la zona del Pla.

En tiempo de los romanos se producen asentamientos al pie de la sierra de Mustalla y en el Tossalet del Bullentó.

Con la ocupación musulmana del primer tercio del siglo VIII la transformación del área es total. Se introduce el cultivo del arroz y nuevos sistemas de regadío, acequias, norias y canales que vertebran el marjal. Estas transformaciones están acompañadas de un considerable crecimiento demográfico.

Tras la reconquista y la repoblación iniciada a finales del siglo XIII por el rey Pere III se otorgan privilegios a Pego mediante una Carta Puebla que permite establecer marjales, construir acequias, devesas, aprovechamientos de aguas, pesca y pastoreo.

El cultivo del arroz es prohibido en todo el Reino de Valencia en 1403 por el rey Martín I, debido a que se regula la agricultura en las zonas pantanosas de aguas estancadas pues eran el origen de focos de enfermedades como el paludismo o el cólera. No se volverá a cultivar hasta el año 1805, en el que se levanta la prohibición mediante Real Orden.

Entre 1495 y 1699 se producen diversos pleitos contra el conde de Oliva, el duque de Gandía y el marqués de Dénia, por los grandes tributos que exigían para poder pescar, cultivar o manejar las aguas del marjal. A estos problemas se añadió la falta de mano de obra que se produjo tras la expulsión de los moriscos en 1609.

Durante el siglo XVII se coloniza el área del Molinell y se establecen las reglas de caza y pesca en la zona.

Hasta la posibilidad de cultivar de nuevo arroz, a principios del siglo XIX, la agricultura se beneficia de las abundantes aguas produciendo fundamentalmente granados y otros frutales, moreras, maíz, trigo y vid.

En 1848 se inicia el cultivo de arroz en el marjal por parte de familias acaudaladas de Pegó a las que se les concede los caudales de riego precisos y la posibilidad de construir canales de desagüe.

En el último tercio del siglo XIX se intentó desecar el marjal, aprovechar sus aguas y sustituir el cultivo del arroz, como medida beneficiosa y necesaria para la salud pública. La iniciativa partió de don Toribio Iscar y don Juan Moreno Benítez que ya habían realizado operaciones similares en el Lago Almonte de Huelva y la Marisma Gallega de Sevilla. Los agricultores y comunidades de propietarios de Pegó y Oliva se opusieron radicalmente a la medida que afectaba directamente al principal eje económico de la zona, de tal forma que la Comisión Permanente de la Diputación de Alicante, como organismo dictaminante en última instancia, se pronunció el 10 de mayo de 1881, rechazando de pleno la solicitud.

El 30 de julio de 1927 se inició el expediente de solicitud por parte de don José Luís de Oriol y Urigüen en el Gobierno Civil de Alicante con objeto de efectuar el saneamiento de parte de los terrenos del marjal. El proyecto de desecación, firmado por los ingenieros don Manuel Canovas y don Antonio Lanzón, se fue demorando por la presentación de diversas reclamaciones y llegó a desaparecer durante el transcurso de la guerra civil. Por todo ello fue necesario presentar un nuevo proyecto denominado “ Proyecto de desecación de las marismas del Molinell” firmado por los ingenieros don Joaquín Guinea y don Juan Gavala, el 16 de diciembre de 1943. Las obras se iniciaron definitivamente en 1959 y contemplaban la desecación de 274 ha situadas en el extremo suroriental del marjal y pertenecientes a los municipios de Dénia, Pegó y El Verger de Alicante y de Oliva en Valencia. La obra principal consistía en la construcción de un canal y dique perimetral a la finca que canalizaría las aguas del río Racons, de forma que únicamente alcanzaran esta superficie las aguas de lluvia o las de los manantiales que drenaran directamente en su interior. La evacuación de éstas se realizaría mediante un colector principal (Río Claro) al que drenarían diferentes canales de primer orden que dividirían la finca como las raspas de un pez y a los que llegarían las aguas de unos canales de segundo orden dispuestos perpendicularmente a los primeros. Desde el canal principal y mediante elevación se evacuarían finalmente las aguas al río Racons.

Tras la implantación de diversos cultivos (maíz, alfalfa, algodón) parte de esta finca se destinó a la creación del conjunto turístico Safari Park Vergel (1973) y el resto se dedica en la actualidad a los cítricos.

La evolución del cultivo de arroz en el marjal ha sufrido altibajos a lo largo de su historia, de tal forma que a finales del siglo XIX la superficie destinada al cultivo de arroz era de más de 325 ha., sin embargo, con la aprobación en 1923 de las Ordenanzas y Reglamentos de la Comunidad de Regantes de las tierras arroceras de la villa de Pegó, se obtuvieron cosechas muy importante y se llegó a cultivar en la práctica totalidad del marjal (casi 1000 ha.) a

mediados del siglo XX. El sistema ortogonal de acequias que todavía funciona, así como la canalización de la gola del río Vedat (desembocadura artificial del río Bullens) al mar son de esta época, pues anteriormente sólo existía una salida natural de las aguas del marjal a través de la gola del río Molinell (desembocadura del río Racons). No obstante, la superficie cultivada se redujo en la década de los 60 hasta unas 350 ha., por el bajo rendimiento y la incompatibilidad del uso de maquinaria con el minifundismo existente. Esta situación negativa provocó el abandono de muchas tierras de cultivo y que amplias zonas del marjal se cubrieran de carrizo y especies hidrófitas y llevó al tercer intento de desecación del marjal. En 1966 los agricultores solicitan al servicio Nacional de Concentración Parcelaria y Ordenación Rural, la concentración parcelaria y transformación del marjal, cuyo proyecto es aprobado en 1970 por el decreto Ley 1068/1970, de 21 de marzo, declarando el marjal de utilidad pública. En 1971 la empresa ILACO-IBERICA, S.A. redacta el "Anteproyecto para drenajes, riegos y construcción de caminos rurales en la zona de concentración parcelaria de Oliva (Valencia) y Pego (Alicante)", pero tiene una escasa acogida entre los agricultores de la zona, que finalmente en 1974 proponen al IRYDA (Instituto de Reforma y Desarrollo Agrarios) la reconversión de las tierras del antiguo coto arrocero, que acepta esta opción con las premisas de realizar una concentración parcelaria y el cultivo en común. La respuesta favorable de los agricultores permite al IRYDA iniciar la reconversión de la zona del siguiente modo:

- de las 975 ha a transformar, 885 se dedicarían a productos hortícolas y 91 ha a la explotación mecanizada de arroz.
- 909 ha serían explotadas mediante asociacionismo cooperativo o sindical y sólo 67 ha por propietarios individuales.

El acondicionamiento de los terrenos obliga a su drenaje por lo que se elabora un anteproyecto para el avenamiento de las aguas mediante tres tipos de drenes, superficiales, subsuperficiales y principal. Los trabajos se estructuran en dos etapas ya que se divide la zona en dos sectores, el primero, al norte, de 330 ha de extensión, desde el río Bullens a la carretera que une Pego con la C.N. 332 y que atraviesa por la mitad el marjal y el segundo, situado al sur del anterior y que cubre el espacio entre la carretera de Pego y el río Racons y cuya superficie es de 665 ha. Entre las principales actuaciones se realizó la modificación del trazado del río Racons y se aterró el río Revuelta, antiguo cauce que atravesaba de noroeste a sureste el marjal y unía los cauces del Bullens y el Racons, además de instalar estaciones de bombeo que evacuaban las aguas recolectadas hacia los ríos Bullens y Racons.

No obstante, las obras no se llegaron a finalizar ya que si bien durante los primeros años de transformación se produjo una sequía que convirtió la zona húmeda en un pastizal, las lluvias acaecidas en noviembre de 1987 (más de 370 l/m² en 24 horas) inundaron toda la zona e inutilizaron parte de la infraestructura construida, lo que hizo considerar inviable el sistema de desecación propuesto. Por ello y por el creciente interés público en la conservación de

espacios naturales, la transformación agrícola de este paraje se desestimó, primero mediante su declaración como Paraje Natural de la Comunidad Valenciana y posteriormente, en 1994 por la Ley 11/94 de 27 de diciembre, donde se declara Parque Natural de la Comunidad Valenciana. Dicho parque debía contar en el plazo de un año tras su declaración con el plan de ordenación de sus recursos naturales (PORN), sin embargo, transcurrido este periodo no se había elaborado el mismo, circunstancia aprovechada por el Ayuntamiento y la Comunidad de Regantes de Pego para iniciar en 1996 una transformación del marjal con la construcción y modificación de canales y la extracción de aguas por bombeo para reducir la lámina de agua. Ante esta situación, la Conselleria de Medio Ambiente incoa diversos expedientes administrativos sancionadores que no se concluyen y Acció Ecologista-Agró efectúa ante el Fiscal Jefe del Tribunal Superior de Justicia de la Comunidad Valenciana varias denuncias e interpone querrela en el Juzgado contra los autores de los daños al marjal que finalmente, quedan en suspenso tras años de instrucción penal.

En 1999 la Consellería de Medio Ambiente somete a información pública un proyecto de PORN en el que se destinan 230 ha al cultivo de arroz, lo que suscita nuevas alegaciones de los grupos ecologistas, que son desestimadas hasta el punto que el PORN definitivamente aprobado cuenta con 330 ha dedicadas al cultivo de arroz.

7. ENCUADRE TECTÓNICO

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro del área Prebética de las cordilleras Béticas, en el extremo noroccidental de las mismas, en su conjunción con el sistema o cordillera Ibérica. En esta zona los materiales presentan características sedimentarias similares a las observadas en las áreas de la Cuenca Ibérica, sin embargo las estructuras tectónicas presentan orientaciones predominantemente béticas y en menor medida ibéricas.

Se distinguen dos dominios paleogeográficos diferentes, el Prebético externo y el Prebético interno. El área de estudio se sitúa dentro del primero de ellos, concretamente en la unidad morfoestructural del Prebético de Onteniente-Dénia, situado al norte del Prebético de Aspe-Jijona-Alicante y al este del Prebético de Hellín -Almansa.

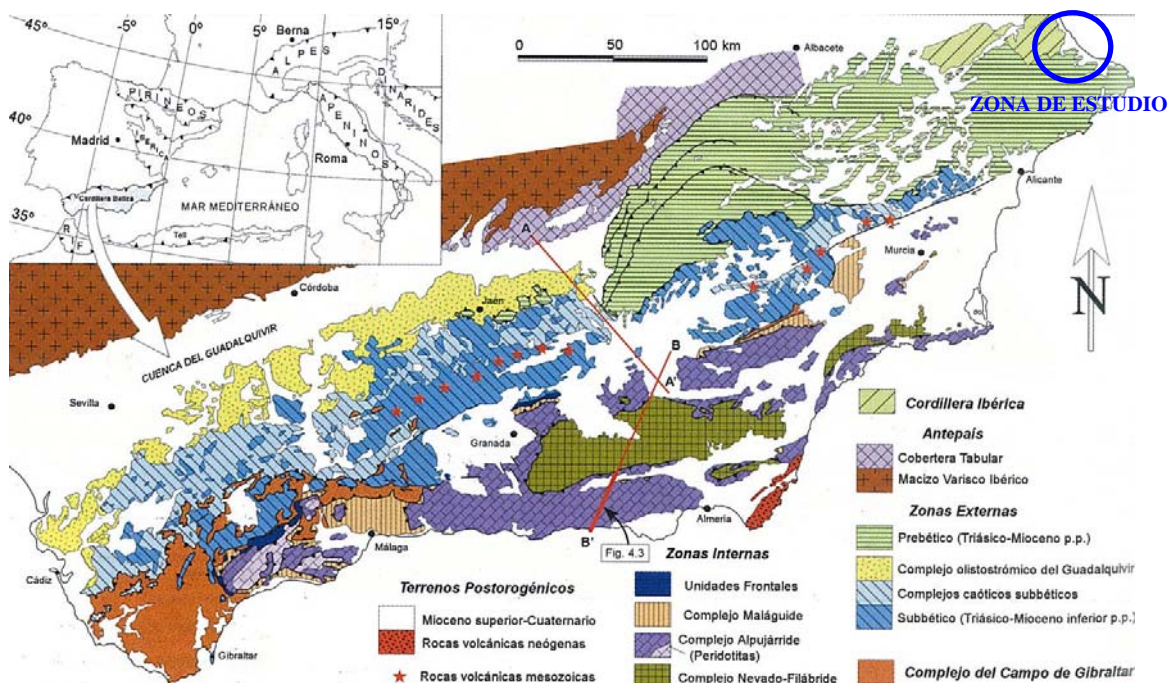


Figura nº 2: mapa geológico de la Cordillera Bética. Extraído de IGME (2004) Geología de España. pp-348

Se trata a escala regional de un sector de escamas fuertemente imbricadas, correspondiente a la parte deformada de la cuenca más cercana al continente ibérico.

La unidad analizada se sitúa al E de la Falla del Vinalopó (FV de la figura 4) y su límite norte es la Cordillera Ibérica. Los relieves se presentan en general como grandes sierra elevadas que se corresponden con antiformalas de dirección SW-NE, en las que afloran mayoritariamente materiales del Cretácico y en menor medida del Terciario (Sierras de Mariola, Segaria, Mustalla, etc.). Se encuentran deformados por la tectónica de cobertera con despegue a partir de los materiales plásticos del Keuper. Son así frecuentes las extrusiones salinas como el

diapiro de Altea y otras de menor entidad como las que aparecen a lo largo de la cara norte de la sierra de Segaria o en su extremo oriental.

En esta región el empuje hacia el N de las estructuras ocasiona la vergencia de las mismas en esta dirección, lo que provoca pliegues con dirección E-W.

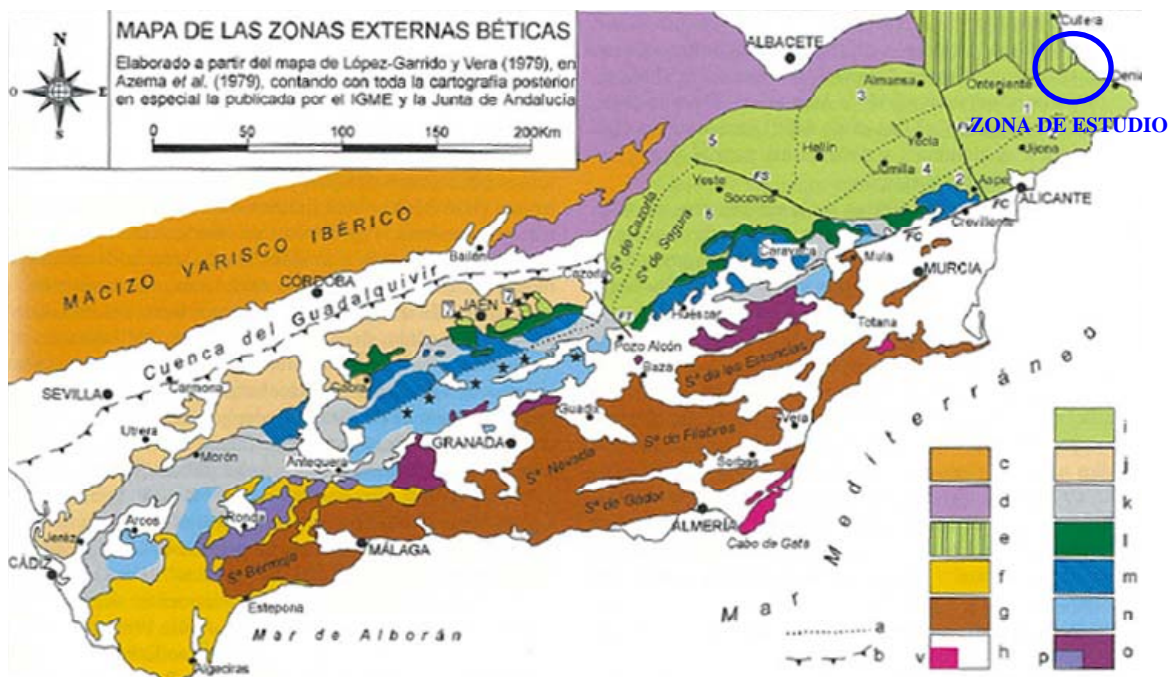


Figura nº 3: mapa de las Zonas Externas Béticas. La zona de estudio se encuentra dentro de la unidad morfoestructural identificada con el nº 1, de Onteniente Denia, al norte de la de Aspe-Jijona-Alicante (2) y al este de las de Hellín-Almansa (3) y Jumilla-Yecla (4). Extraído de IGME (2004) Geología de España. pp-355

Una reactivación de este empuje es el causante de la aparición de materiales margosos miocenos bajo depósitos del Cretácico Superior. Todo ello, junto con una intensa fracturación posterior, origina la complejidad tectónica actual de los ejes de los pliegues (relieves escalonados y “escarpes de fractura”) y la aparición de masas yesíferas diapíricas actuantes desde el Jurásico a la actualidad. Es, por tanto, una tectónica clara de plegamiento y fractura que origina pliegues sencillos, orientados E-W con cabalgamiento del flanco corto de los sinclinales a favor de los materiales miocenos que rellenan la depresión sinclinal previa.

A escala local, las fracturas se pueden agrupar en tres familias. Por un lado encontramos líneas de fractura de gran longitud con dirección WSW-ENE que compartimentan la cuenca y originan pasillos prácticamente perpendiculares a la línea de costa. De sur a norte encontramos esta clase de fracturas en el extremo oriental de la Sierra de Segaria. En diversos estudios se constata la continuidad de las mismas bajo el abanico aluvial del río Girona. Otra fractura de este tipo, que habría hundido su labio septentrional, podría situarse más al norte, en el extremo

este del eje del marjal, de forma que se habría supuesto su existencia por el aumento de espesor de los sedimentos pliocuaternarios en ese sector. Finalmente una importante fractura dividiría la sierra de Mustalla en dos por su eje longitudinal.

Un segundo grupo de fracturas, de menor longitud que las anteriores, pero más abundantes y de dirección NNW-SSE, fragmentarían la zona en subbloques. Dentro de este grupo destaca la fractura que corta la zona distal del abanico aluvial de Pego, se encuentra cubierta por sedimentos miocenos y cuaternarios y deja hundido el bloque oriental, donde se asienta el marjal.

Por último, existe un tercer grupo de fracturas, de menor importancia, con dirección N-S, subordinadas al anterior.

El resultado de esta tectónica es la presencia de campos de fallas normales, fosas rellenas de sedimentos neógenos y fenómenos generalizados de subsidencia, si bien con distinto grado en los diferentes bloques tectónicos. Antes de realizar el presente estudio la interpretación tectónica de esta zona se concebía como un conjunto de bloques dispuestos en graderío de forma descendente hacia la costa. Esta estructura queda reflejada en la Figura nº 2, donde el bloque A, correspondiente al abanico aluvial del río Girona, apenas presenta fenómenos de subsidencia, y se sitúa nivelado con el bloque de Pego (Bloque F). Más al norte, la zona deprimida en la que se asienta el marjal se subdivide en varios subbloques, fuertemente subsidentes. De sur a norte y siguiendo la línea de costa aparece un primer subbloque B1, sería el menos hundido, le seguiría el subbloque B2 y un subbloque B3, con un hundimiento intermedio respecto a los dos anteriores. En el extremo norte de la zona de estudio, el bloque C, correspondiente a la Rambla de la Gallinera, presentaría igualmente fenómenos de subsidencia, pero a un ritmo más lento.

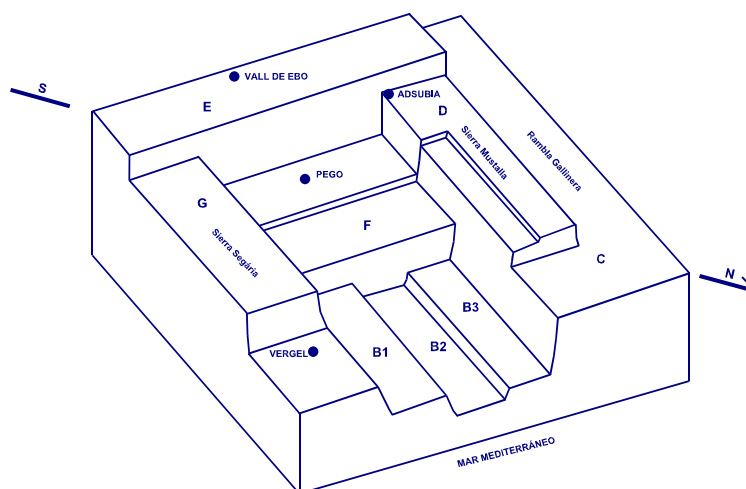


Figura nº 4: esquema tectónico previo de la zona de estudio.

Hacia el interior y de norte a sur, se presentan bloques más elevados. Primero el de la Sierra de Mustalla (Bloque D), y siguen el de Vall de Ebo (bloque E), el de Pego (Bloque F), que se encontraría hundido respecto a las elevaciones circundantes y posiblemente subdividido en subbloques, y el correspondiente a la sierra de Segarí (Bloque G).

Como se verá en apartados posteriores, la estructura tectónica del área es más compleja que la indicada, de forma que la recopilación y análisis de un mayor volumen de información (nuevos sondeos, estudios geofísicos, etc.) permiten una reinterpretación y la compartimentación en numerosos bloques cuya distribución más que en graderío puede asimilarse a la de un tablero de ajedrez cuyos cuadrado presentan hundimientos dispares.

7.1. ESTRUCTURAS LOCALES

Las deformaciones de plegamiento originan estructuras de gran radio con charnelas más apretadas y dirección E-W. Entre ellas destacan en la zona las siguientes estructuras tectónicas:

- *Anticlinal de Oliva:*

Se encuentra al norte de la zona de estudio. Se trata de una estructura de charnela apretada y fallada en el flanco septentrional, mientras que su vertiente sur es más laxa y presenta algunas inflexiones.

Llega a florar el Jurásico Medio y en su flanco meridional se puede describir una serie continua hasta el Cretácico Superior.

La fracturación del flanco septentrional provoca el afloramiento de masas evaporíticas triásicas desde Fuente Encarroz a Oliva.

La Sierra de Gallinera en el flanco sur es un claro ejemplo de “dip-slope”, mientras que la Sierra de Mustalla constituye una suave flexión anticlinal sobre las dolomías del Cretácico Superior.

No se observan estructuras menores de deslizamiento.

- *Sinclinal de Pego:*

Se trata de una amplia depresión en desarrollo, situada al sur de la Sierra de Mustalla.

En la misma se depositan materiales margosos miocenos discordantes sobre los materiales del techo del Cretácico Superior, lo que ocasiona una superficie de

despegue y cabalgamiento muy relacionada con el apretamiento de las estructuras durante el periodo post-Langhiense.

Este apretamiento dirigido hacia el N produce el frente continuo de cabalgamiento del flanco septentrional del sinclinal de Pego, que se refleja en los relieves del castillo de Gallinera.

La mitad oriental de este sinclinal es más apretado, un sinclinal volcado, y en este sector el flanco meridional (calizas senonienses de la Sierra de Segaria) se dispone cabalgante sobre el núcleo mioceno.

8. ENCUADRE GEOLÓGICO

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de barras carbonatadas mesozoicas, que constituyen relieves con orientación E-W, situadas sobre áreas margosas miocenas y cretácicas.

Estas alineaciones prebéticas son truncadas por la llanura costera que se extiende entre Gandía al norte y Dénia al sur, constituida por materiales cuaternarios que bordean los mencionados relieves y se adentran en las depresiones margosas.

En líneas generales la serie estratigráfica presente abarca desde el Dogger al Cuaternario. Los materiales en facies Keuper se sitúan en posición tectónica anómala.

Se puede observar el Jurásico y Cretácico Inferior en el anticlinal de Oliva y el Cretácico Superior en las sierras de Mustalla y de Segaria.

Los materiales del Mioceno Inferior y Medio afloran igualmente en la sierra de Segaria y en la depresión de Pego.

Finalmente el Cuaternario cubre ampliamente la llanura costera (Ver figura 5).

8.1. ESTRATIGRAFÍA

8.1.1. TRIÁSICO EN FACIES KEUPER (Tk)

Como en el resto del prebético, los materiales de esta edad se presentan en situaciones tectónicas anómalas y por su naturaleza plástica constituyen un nivel de despegue para la cobertera mesozoica. Originan “klippes sinsedimentarios”, inyecciones a través de fracturas, diapiros, etc.

Litológicamente estos materiales están constituidos por margas yesíferas irisadas. Afloran bajo las calizas y dolomías del Barremiense-Aptiense en la zona de Oliva-Fuente Encarroz y en varios puntos de la sierra de Segaria, como en su extremo noreste y bajo el Tossal de la Gavilana.

8.1.2. JURÁSICO

Aflora básicamente al norte del área de estudio, en el flanco sur del anticlinal de Oliva.

8.1.2.1. DOGGER (J1)

Al suroeste de Oliva se ha levantado la siguiente serie de muro a techo:

- 10 m. de dolomías sacaroideas
- 20,5 m. de calcarenita gravelo-bioclástica y caliza oolítica
- 15 m. de dolomías con fantasmas de intraclastos

8.1.2.2. OXFORDIENSE – KIMMERIDGIENSE MEDIO (J2)

Se trata de un potente paquete de calizas de unos 190 m. de espesor, dispuestas en bancos separados por nivelillos margosos centimétricos.

8.1.2.3. KIMMERIDGIENSE SUPERIOR (J3)

En el entorno de Oliva aflora un paquete de unos 40-45 m. de espesor atribuido a esta edad, donde se ha podido diferenciar de muro a techo la siguiente serie:

- 24 m. de dolomías vacuolares de textura muy fina
- 6 m. de calizas microcristalinas de espongiarios con incipiente dolomitización
- 10 m. de dolomías
-

8.1.2.4. PORTLANDIENSE (J4)

Los materiales de esta edad afloran ampliamente en el alto de Cuatelles. Están constituidos por calizas microcristalinas y calcarenitas con dolomitización incipiente hacia la base.

La potencia global es de unos 150 m.

8.1.2.5. PORTLANDIENSE – BERRIASIENSE (J5)

Se inicia una sedimentación más detrítica en esta época, con la aparición de calizas microcristalinas, a veces nodulosas y bioclásticas, con algunos lechos subordinados de margas, arenisca carbonatada y caliza arcillosa.

8.1.3. CRETÁCICO

8.1.3.1. BERRIASIENSE – VALANGINIENSE (C1)

Se trata de un tramo eminentemente detrítico compuesto por calcarenitas, calizas arenosas y psamitas calcáreas.

En la cara norte de la sierra de Gallinera se ha levantado la siguiente serie de muro a techo:

- 16 m. de calcarenita bioclástica nodulosa
- 20 m. de calizas arenosas y arenisca calcárea, a veces con cemento ferruginoso y dolomítico
- 26 m. de alternancia de calcarenitas bioclásticas y margas arcillo-arenosas con un hard-ground ferruginoso a techo.

8.1.3.2. VALANGINIENSE – BARREMIENSE (C2)

Tramo de unos 180 m. de espesor, compuesto por arcillitas masivas más o menos margosas, de coloración azulado oscuro los dos tercios inferiores, de probable edad Valanginiense-Hauteriviense y de color claro casi blanquecino el tramo final, perteneciente ya al Barremiense. En las cercanías de Oliva existen explotaciones para la industria cerámica.

8.1.3.3. BARREMIENSE – ALBIENSE (C3)

El Cretácico inferior finaliza con una potente serie de unos 370 m. en facies urgoniana de calizas y dolomías.

De base a techo se distingue:

- 100 m. de calizas margosas y calcarenitas con abundante macrofauna (Lamelibranquios, Braquiópodos, Equinodermos, Ostrácodos y Miliólidos)
- 100 m. de dolomías calcáreas
- 30 m. de calizas poco dolomitizadas
- 120 m. de dolomías
- 20 m. de calizas blancas

8.1.3.4. ALBIENSE (C4)

Es un nivel de escaso espesor (≈ 10 m.) compuesto por margas ocreas que marca el comienzo de la dolomitización del Cretácico superior.

8.1.3.5. CENOMANIENSE – TURONIENSE (C5)

Los materiales de esta edad componen una potente serie de unos 250 m. de espesor de dolomías oscuras fracturadas, de tamaño de grano medio y tramos de mayor contenido arcilloso.

Constituyen la práctica totalidad de las sierras Negra y de Mustalla, aflorando ampliamente también en la cara norte de la sierra de Segaria (Figura 5).

8.1.3.6. SENONIENSE INFERIOR (C6)

A techo de la formación anterior aparece un paquete margoso con lechos de micritas bioclásticas y calizas arenosas con pellets que se atribuye a la base del Senoniense

8.1.3.7. SENONIENSE SUPERIOR (C7)

Potente paquete carbonatado compuesto por unos 300 m. de calizas biomicríticas.

Aflora básicamente en el eje de la sierra de Segaria, norte de Adsubia y constituye los altos de Pla de Misera y El Puchol, al oeste de Pego.

8.1.4. Terciario

Los materiales del Mioceno se encuentran discordantes sobre el Cretácico. Adquieren un gran desarrollo en la depresión de Pego.

8.1.4.1. MIOCENO INFERIOR (LANGHIENSE – Te1)

Lo constituye un conglomerado monogénico, con cemento calcáreo y cantos heterométricos de biomicrita y biomicrita arenosa, procedentes sobre todo del Senoniense. Este conglomerado puede pasar lateralmente a caliza biodetrítica.

La potencia del conjunto ronda los 150 – 200 m.

8.1.4.2. MIOCENO MEDIO-SUPERIOR (LANGHIENSE – Te2)

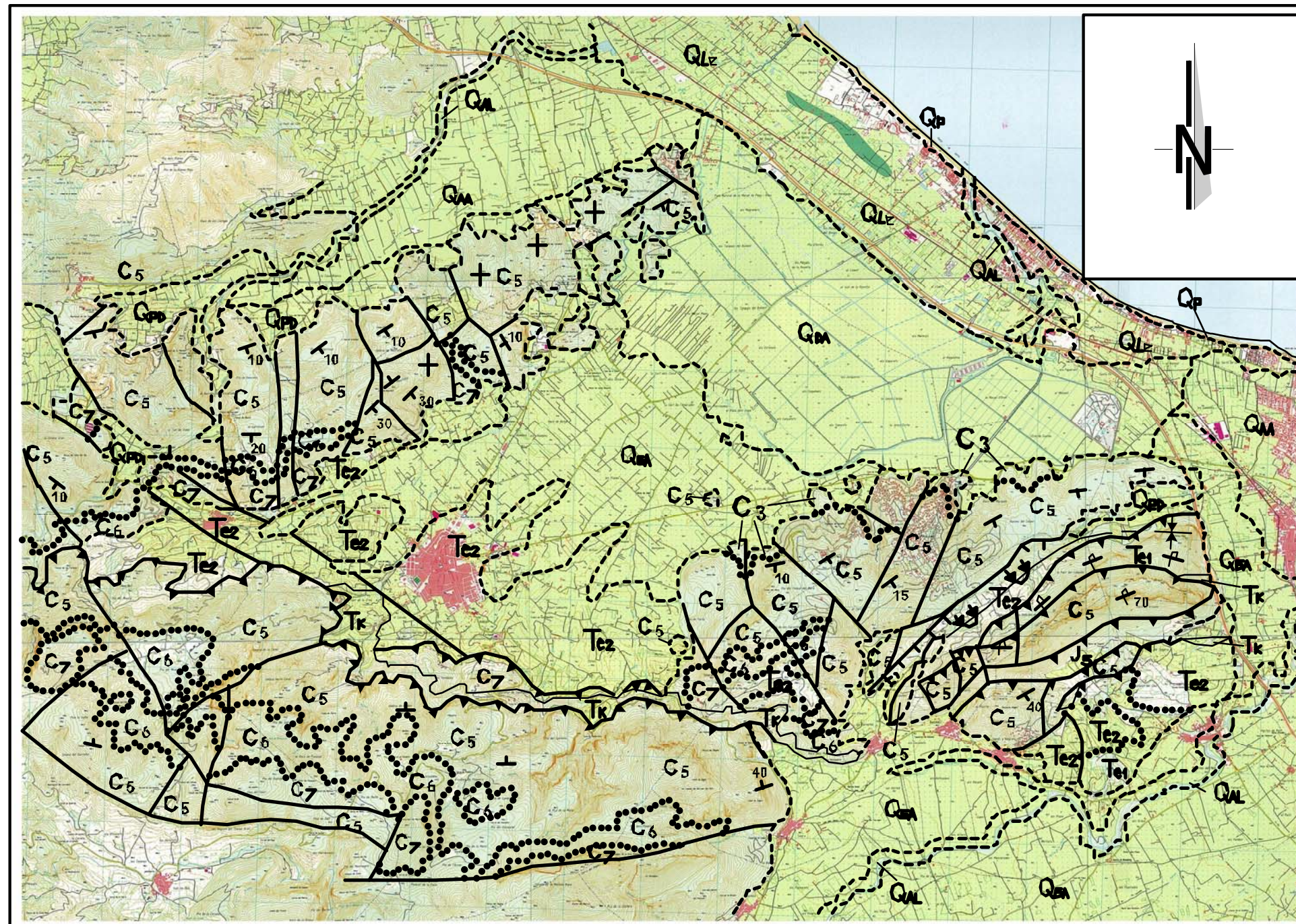
Serie alternante de margas blancas y arcillas margosas blancas con algunos niveles arcillosos. La base presenta cierto contenido en arena.

La potencia del conjunto es de unos 200 m.

8.1.5. CUATERNARIO

La estratigrafía del Pliocuaternalio es ampliamente analizada a lo largo del presente estudio ya que la disposición e interrelaciones de las diferentes formaciones es uno de los objetivos del mismo.

En el apartado siguiente se realiza un análisis geomorfológico de la zona y en especial de los depósitos del Cuaternario, de su litología y su génesis.



LEYENDA

CUATERNARIO	QP	Playas
	QLE	Limos eólicos. Arcillas y limos.
	QDA	Depósitos de albufera. Arcillas y limos con turba.
	QAI	Depósitos aluviales. Limos, arcillas y arenas finas.
	QAA	Abanicos Aluviales. Arenas arcillosas con cantos.
TERCIARIO	QGA	Glacis de acumulación. Arcillas con cantos y costras.
	QPD	Pie de monte. Brecha calcárea con arcilla, arena y limo.
	Te ₂	Margas blancas y arcillas margosas (Tap).
	Te ₁	Conglomerados, calizas y areniscas.
CRETÁCICO	C ₇	Calizas microcristalinas y dolomías.
	C ₆	Margas, margas arenosas y margocalizas.
	C ₅	Dolomías masivas y calizas.
	C ₄	Margas ocre con Orbitolinas.
	C ₃	Calizas bioclásticas y dolomías
	C ₂	Arcillita margosa.
	C ₁	Calcarenitas, calizas arenosas y psamita.
JURÁSICO	J ₅	Calizas, areniscas y margas.
	J ₄	Calizas microcristalinas y calcarenitas.
	J ₃	Dolomías.
	J ₂	Calizas y margas con Ammonites.
	J ₁	Dolomías y calizas oolíticas.
TRÍASICO	Tk	Margas yesíferas irisadas

.....	CONTACTO CONCORDANTE	↕	ANTICLINAL
---	CONTACTO DISCORDANTE	↕	SINCLINAL
—	FALLA	—	BUZAMIENTO VERTICAL
▲	CABALGAMIENTO	+	BUZAMIENTO HORIZONTAL
⊥	BUZAMIENTO	↷	ANTICLINAL TUMBADO
⊥	BUZAMIENTO INVERTIDO		
↷	SINCLINAL TUMBADO		

FIGURA 5: MAPA GEOLÓGICO DEL ENTORNO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA

9. ENCUADRE GEOMORFOLÓGICO

El área de estudio se centra en un sistema de restinga-albufera rodeado por macizos rocosos. Se trata de un medio sedimentario de transición en el que predominan los procesos de acumulación, favorecidos por fenómenos de subsidencia y donde la interpretación genética de los depósitos resulta en ocasiones compleja al estar influenciados por dominios erosivo-sedimentarios encontrados: el continente y el mar.

El origen y la génesis del marjal han sido estudiados por diversos autores, entre ellos Costa Mas en 1977, tras el análisis de restos fósiles estableció el cierre de la laguna por la restinga arenosa hace unos 2000-3000 años (Holoceno). Sin embargo estudios más recientes, realizados por el Dpto. de Geografía de la Universidad de Valencia (1985) establecen un cierre anterior, alrededor de 5000-6000 años antes de la actualidad. Esta conclusión es el resultado de la existencia de una playa flandriense en el interior del marjal, que indica un periodo de máxima transgresión (6500 años AP) en el que la zona está cubierta por el mar.

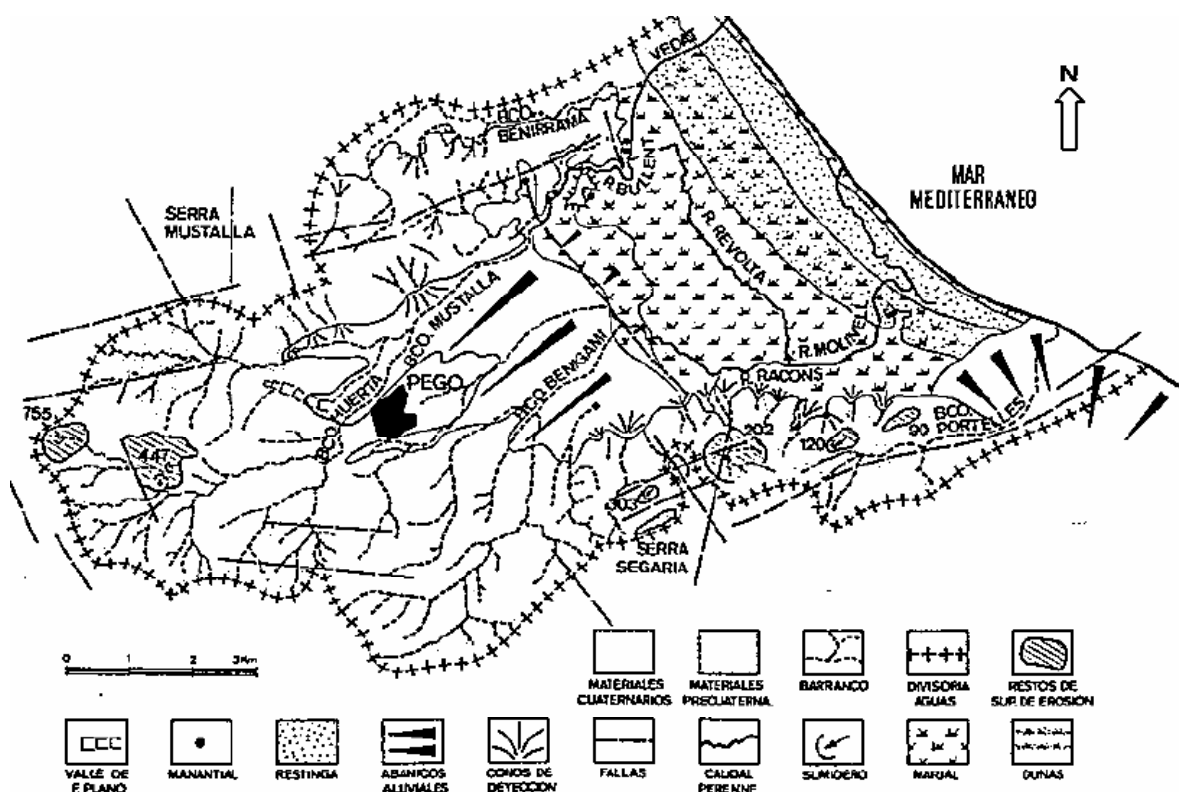


Figura nº 6: esquema geomorfológico (de Viñals, M. J. "El marjal de Pego-Oliva. Evolución Geomorfológica" – 1996)

Desde ese momento a la actualidad se produce un progresivo descenso del nivel del mar acompañado de la formación de la barra arenosa que cierra definitivamente la zona húmeda. La génesis de esta barra de cierre, al igual que en otras muchas albuferas levantinas existentes

hace 3000 años, desde Peñíscola hasta Santa Pola, es fruto de los aportes de terrígenos de los ríos, en el caso del marjal de Pego-Oliva, Serpis y Júcar, redistribuidos por las corrientes marinas que discurren de norte a sur paralelas a la costa. Esta barra, originariamente submarina se apoyaría sobre formaciones pleistocenas y se extendería desde el abanico aluvial del río Gallinera, al norte, hasta el del Girona, al sur, o incluso hasta las estribaciones septentrionales del Montgó.

Tras la separación física del mar, este espacio lacustre inicia su colmatación, tanto por los aportes de sólidos de las aguas de escorrentía superficial, que al alcanzar esta zona de suave topografía decantan el material que arrastran (arenas, limos y arcillas), como por la abundante vegetación hidrófita que se genera, y cuyos restos, al depositarse en un medio anaerobio, apenas sufren descomposición y originan turberas. La vegetación además facilita la retención de sedimentos (hidro y aerotransportados) y acentúa el proceso de colmatación.

Se realiza a continuación una descripción de los mismos, desde el continente al mar. Se ha tomado como referencia la diferenciación de facies realizada por Dña. M^a. José en su tesis doctoral de 1991.

9.1. DEPÓSITOS ALUVIALES

9.1.1. ABANICOS Y CONOS ALUVIALES (ALLUVIAL FAN)

Son formas deposicionales subaéreas, de morfología normalmente triangular, que se sitúan en la base de los macizos montañosos y son el resultado de la acción de flujos de corto recorrido que depositan el material arrastrado al alcanzar una inflexión brusca del perfil del terreno.

Estos depósitos con frecuencia aparecen interdigitados con otros de ladera, fluviales, lagunares o marinos, por lo que se caracterizan por la mala clasificación. Alternan con capas de diferente granulometría, desde gravas y cantos subredondeados y de naturaleza carbonatada, a niveles de arcillas, característicamente de color rojo intenso, arenas y limos.

La orientación de las distintas granulometrías es caótica, y se observan contactos abruptos, morfologías lenticulares y cambios bruscos de espesor y continuidad lateral.

Se incluyen en este grupo los abanicos aluviales, depósitos de pie de monte y los glaciares de acumulación.

9.1.1.1. DEPÓSITOS DE PIE DE MONTE (Q_{PD})

Los depósitos de pie de monte presentan pequeña extensión longitudinal. Rodean a los relieves y pueden considerarse como retazos de un glaciar antiguo, muy degradado. Están

formados por una brecha calcárea heterométrica con matriz arcillosa, con proporción variable de limo y arena. Se intercalan en el depósito costras hojosas y a veces una superficial.

9.1.1.2. GLACIS DE ACUMULACIÓN (Q_{GA})

El glacis de acumulación más destacado de la zona es el que se desarrolla en torno a Pego. Se caracteriza este tipo de depósito por su suave pendiente (5-6°) y por constituirse de arcillas rojas-limosas con niveles de cantos de caliza subredondeados y heterométricos intercalados. En el borde del frente de glacis de acumulación se deposita un conjunto de arenas finas limos y arcillas con cantos bastante redondeados. El aspecto es de limos pardos.

9.1.1.3. ABANICOS ALUVIALES (Q_{AA})

Destacan también los abanicos aluviales del río Gallinera, que cierra la zona de estudio por el noreste y el tramo final del río Girona que hace de límite meridional. Están constituidos por arenas arcillosas con cantos.

9.2. DEPÓSITOS FLUVIALES

En el área de estudio se diferencian dos tipos de depósitos producto de la distinta energía de la corriente: los de fondo de canal y los de llanura de inundación.

Estos depósitos alternan bandas de materiales groseros subredondeados, de naturaleza carbonatada y niveles de finos (arcillas, limos y arenas) indicativos de las variaciones de energía del medio de transporte.

9.2.1. DEPÓSITOS DE CANAL, DEPÓSITOS ALUVIALES (Q_{AI})

Son el resultado de la actividad de los canales fluviales. Incluyen los depósitos de fondo de canal, point-bar o lóbulos, barras de canal y rellenos de canal.

El tamaño de los materiales depositados es muy variado, depende de la energía del medio de transporte. A la cuenca de inundación llegan los elementos más finos, limos y arcillas, y quedan en el canal las partículas más groseras, que forman lechos discontinuos y de escaso espesor, visibles en el barranco de Mustalla y en el río Racons.

9.2.2. DEPÓSITOS DE LLANURA DE INUNDACIÓN

Se componen básicamente de materiales finos (arcillas, limos y arenas finas con sus subtipos intermedios). Se disponen horizontalmente, son litológicamente uniformes y con buena clasificación.

Entre estos depósitos se incluyen los de cuenca de inundación y los de ciénagas o marjales filocontinentales.

Se forman cuando el agua inunda el llano tras rebasar las motas o levées.

9.2.2.1. CUENCA DE INUNDACIÓN. LIMOS DE INUNDACIÓN (Q_{LI})

Dentro de estos depósitos, en la zona de estudio podemos diferenciar los limos grises de albufera, que configuran una orla continua rodeando la albufera o zona de marjal propiamente dicha.

Son materiales que se depositan sobre las turbas al disminuir el nivel del agua de la laguna. Presentan abundante materia orgánica y el contenido en carbonatos es elevado.

9.2.2.2. CIÉNAGAS – DEPÓSITOS DE ALBUFERA (Q_{DA})

Las ciénagas, áreas pantanosas o marjales (swamp, freshwater marsh), constituyen un subambiente fluvial transicional entre los depósitos de ámbito propiamente fluvial y los parálidos.

Con la secuencia iniciada por el ascenso del nivel de las aguas del mar, estos depósitos se generan en las zonas más deprimidas del llano de inundación que presenta forma convexa e imposibilita el regreso del agua al canal natural de drenaje.

En un principio se forman diversas ciénagas de extensión variable que pueden degenerar en un amplio depósito tabular (estado actual) si la alimentación hídrica de la cuenca es buena y el cierre de la misma (restinga) efectivo.

Se caracterizan sedimentológicamente por estar constituidos por material fino (arcillas y limos) con abundante materia orgánica procedente de la acumulación de restos vegetales, mucha bioturbación, alto porcentaje de carbonatos en general y frecuentes procesos de disolución, recarbonatación, formación de microcostras, etc.

En el marjal de Pego-Oliva se encuentra un nivel superficial compuesto por fangos orgánicos negros y grises y debajo un depósito de turba. Se intercalan ocasionalmente lentejones de arena procedentes de la restinga y aportados durante épocas de temporal.

La fauna es abundante pero poco variada.

El régimen hidrológico es de decantación en aguas hipohalinas muy someras o de flujos de muy baja energía.

Son frecuentes también los procesos reductores y las condiciones anaeróbicas (procesos de oxirreducción).

9.3. DEPÓSITOS PARÁLICOS

Se generan en ambientes costeros, desde la línea de costa hasta la zona interior donde termina la influencia marina.

Son, por tanto, zonas donde actúan agentes continentales y marinos, caracterizados por una mezcla de aguas dulces y marinas y la generación de depósitos muy similares (depósitos deltaicos, lagunares, albufereños, estuarinos, mareales, parállicos, etc.).

En la zona de estudio se distinguen básicamente dos grandes ambientes deposicionales: los distales, no directamente relacionados con los procesos de deposición y erosión de la restinga y los proximales, influenciados o integrados en la misma.

9.3.1. MARJALES COSTEROS (MARSH)

Forman ambientes semejantes a las ciénagas dulceacuícolas relacionadas con el ámbito fluvial, pero con aguas saladas o salobres.

Los marjales costeros suelen pasar de forma gradual a marjales filocontinentales (de agua dulce), por lo que no presentan diferencias sedimentológicas, únicamente registros fósiles distintos.

9.3.2. LAGUNAS COSTERAS

Pueden ser dulces o salobres y en ellas se han depositado limos y arcillas, raramente arenas, mediante procesos de decantación en aguas someras. Las variaciones de granulometría se deben al nivel de energía del ambiente, menor en las zonas internas y profundas de la laguna y más elevado cerca de las golas.

El contenido en carbonatos de los sedimentos es elevado, y presentan diversos tipos de encostramiento y nódulos de distintos tamaños.

También son frecuentes los procesos de oxirreducción (limonitizaciones), evaporación (carbonato cálcico, yeso, etc.) o removilización eólica de los limos, interpretadas como somerizaciones o desecación de fondos lagunares.

El contenido faunístico es más rico y variado que el de los marjales.

9.3.3.RESTINGA

Constituye el cuerpo sedimentario que cierra las lagunas y albuferas. Presenta una clara naturaleza detrítica e incluye la playa (foreshore), las dunas, las golas y la parte interior de la restinga (backbarrier).

9.3.3.1. BACKBARRIER. LIMOS EÓLICOS (Q_{LE})

Es la parte interior de la restinga y presenta morfología plana. Se denomina también “llanura de restinga”.

Puede sufrir dos tipos de procesos, los subaéreos (viento) en periodos de descenso del nivel del agua y los acuáticos en periodos de inundación en los que se convierte en una zona de recepción de sedimentos finos (arcillas y limos), por decantación, y de abundante vegetación palustre que generará mucha materia orgánica.

El contenido en carbonatos es elevado.

9.3.3.2. GOLAS O BOCANAS (INLETS O OUTLETS)

Son los canales que atraviesan la restinga y ponen en contacto los ambientes parálico y marino.

Este ambiente se caracteriza por presentar sedimentos con escasos finos, predominan las arena bien clasificadas. El contenido en materia orgánica, fauna y carbonatos es pequeño.

9.3.3.3. DUNAS (Q_D)

Son cuerpos arenosos de fracción gruesa muy bien clasificados, sin limos, arcillas ni fauna que constituyen realces del terreno.

9.3.3.4. PLAYA (FORESHORE) (Q_p)

Muchos autores incluyen esta facies dentro del grupo de depósitos marinos, si bien por su fácil diferenciación, ya que marca la línea de costa y por las diferencias ecológicas con los ambientes propiamente marinos es igualmente apropiado incluirlas en las de restinga.

Se define como la zona costera que permanece seca salvo en los periodos de temporal con gran oleaje.

Son depósitos arenosos (generalmente silíceos) con buena clasificación. Pueden aparecer ocasionalmente formaciones de cantos redondeados carbonatados y aplanados, fruto de los temporales (desembocadura del río Girona)

10. ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio se ubica en el sector más meridional del subsistema acuífero de la Plana de Gandía-Dénia (50.1.07), concretamente en el acuífero detrítico costero de Pego-Dénia, que se encuentra notablemente influenciado por los vecinos subsistemas de Solana-Almirante-Mustalla (50.1.03), situado al norte y Sierra de Segaria (50.1.05), que limita la zona por el sur.

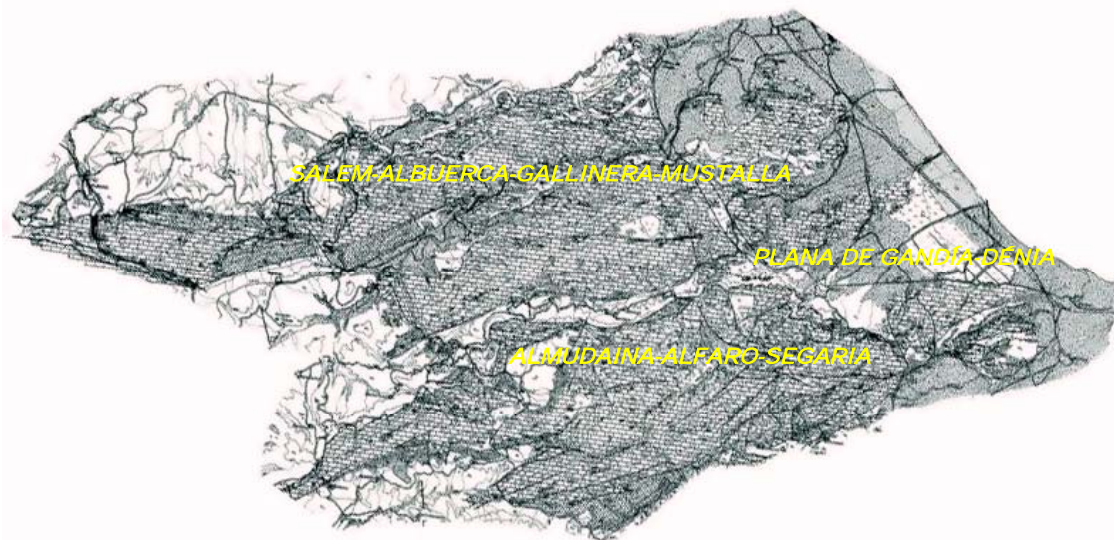


Figura nº 7: mapa hidrogeológico regional (modificado de Pulido Bosch, A. "Contribución al conocimiento de la hidrogeología del Prebético nororiental"- 1979)

Con la actual división en masas de agua, la zona de estudio se dividiría en las masas de agua de Plana de Gandía, al noreste, la propia de Oliva-Pego, que se circunscribiría al entorno de la zona de estudio y que quedaría rodeada por la de Almirante-Mustalla (límite septentrional), la de Alfaro-Mediodía-Segaria (meridional) y la de Ondara-Dénia (límite suroriental).

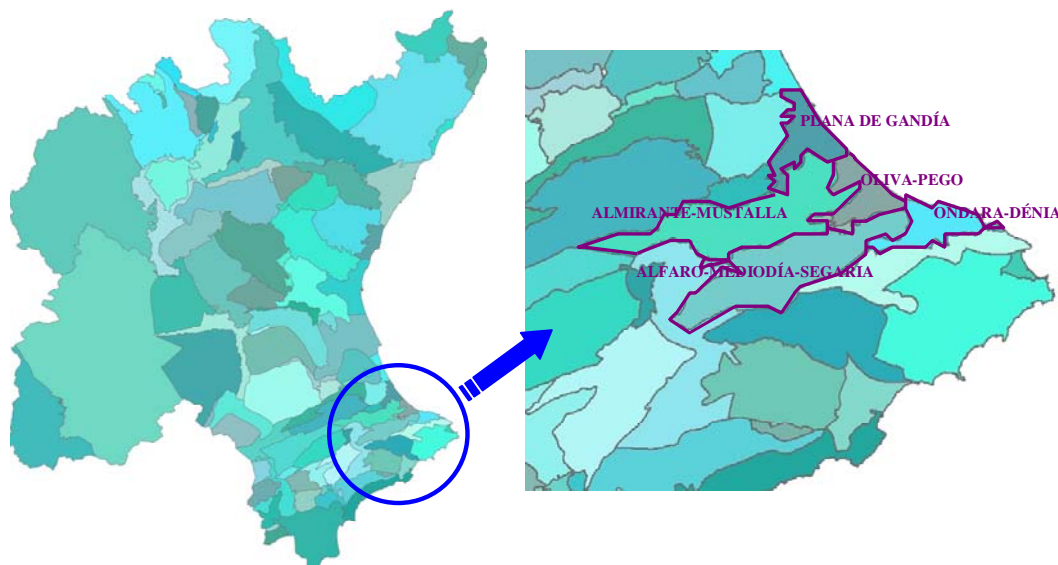


Figura nº 8: masas de agua de la zona de estudio

- Acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla

Limita por el norte el área de estudio. Se trata de un acuífero carbonatado de 165 km² de superficie, de forma alargada (29 Km), con una anchura media de 5,7 km. Está constituido por calizas, calizas dolomíticas y dolomías que abarcan del Aptiense al Maastrichtiense y que se considera que constituyen un único tramo acuífero de unos 800 m de potencia, ya que las pequeñas intercalaciones margosas no provocan desconexión hidráulica.

El muro impermeable está formado por las margas del Barremiense, mientras que a techo se encuentran las del Tap.

Salvo en su extremo oriental, en contacto con el acuífero detrítico de la Plana de Gandía-Dénia, sus límites son cerrados. Al norte y oeste por el afloramiento de las arcillas del keuper y las margas del Neocomiense y al sur por la actuación de una falla inversa, coincidente con la Vall de Gallinera, que cierra el acuífero al situar las calizas cretácicas del mismo en contacto con las margas del Mioceno.

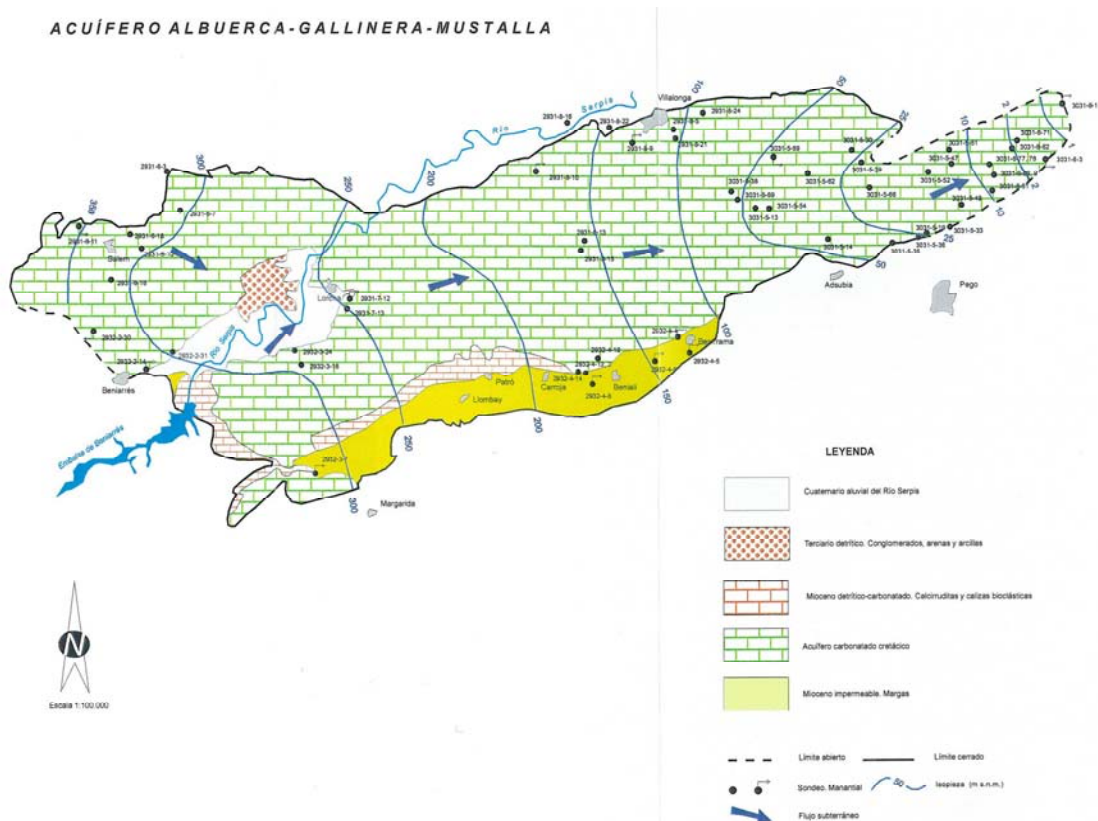


Figura nº 9: acuífero Albuerca-Gallinera-Mustalla (extraído de “Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase). IGME-DPA (2001)”

El flujo subterráneo presenta dirección WSW-ENE hacia el mar Mediterráneo, con cotas de 350 m s.n.m. en el extremo oeste del acuífero (sector de Salem-Beniarrés), y de 0,5 m s.n.m., en el manantial de Font Salada (vértice oriental del acuífero).

Las principales entradas al sistema, según datos del estudio realizado por IGME-DPA en 2001, se producen por infiltración del agua de lluvia, con un volumen estimado de 42 hm³/año, aunque también existe recarga por transferencias laterales procedentes del acuífero de Solana-Benicadell, valoradas en torno a los 12,4 hm³/año y por retornos de regadío (2,7 hm³/año). Si se tiene en cuenta que se produce una precipitación media del orden de 735 mm/año (Observatorio de Pego = 819 mm/año; Observatorio de Almudaina= 651 mm/año), y que las formaciones permeables cubren 140 km² de acuífero, resulta que la tasa de infiltración está alrededor del 39% de la precipitación. Este valor que parece elevado, está dentro de los registros calculados en estudios recientes para acuíferos de similares características (B. Andreo, et al. 2004 y 2007). Además hay que tener en cuenta que el volumen de agua infiltrada producto de las aguas de escorrentía, tanto las generadas sobre zonas permeables, como las procedentes de zonas impermeables y que pueden infiltrarse durante su trayecto a lo largo de la cuenca, se incluyen de forma grosera en el cálculo, de forma que, el volumen total infiltrado en realidad no resultaría en exclusiva de la infiltración directa de la precipitación caída sobre afloramientos permeables.

Las salidas del acuífero (IGME-DPA, 2001), se producen básicamente por el drenaje al río Serpis, del orden de 8,7 hm³/año, las descargas de los manantiales que originan el río Bullens (Las Aguas, Solinar y Font Salada), 28,3 hm³/año, por transferencias laterales, al detrítico de Oliva 4 hm³/año y al resto de la Plana de Gandía Dénia, 3,4 hm³/año y por bombeos (urbanos y agrícolas), 12,7 hm³/año.

- Acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria

Su extremo oriental constituye el límite sur de la zona de estudio.

Es un acuífero carbonatado constituido por calizas y dolomías del Cretácico superior de 190 km² de extensión, de los cuales, 140 km² corresponden a afloramientos permeables. Presenta forma alargada con una longitud de 35 km y una anchura media de 5 km.

Como en el caso anterior se considera que las mencionadas calizas del cretácico superior, junto con los niveles permeables carbonatados del Eoceno y del Aptiense-Albiense se encuentran en conexión hidráulica y que forman un único paquete permeable de unos 700 m de espesor.

La base impermeable la constituyen las margas y margocalizas del Barremiense, mientras que a techo se encuentran las margas de las facies Tap.

También en este caso, únicamente es abierto el límite oriental. Los límites norte y oeste son cerrados por la actuación de una falla inversa que pone en contacto las calizas del acuífero con las margas del Tap. El límite sur es, a su vez, cerrado por la elevación del impermeable de base gracias a la presencia de un anticlinal y por el afloramiento de las arcillas triásicas del Keuper.

El flujo subterráneo presenta dirección WSW-ENE hacia el mar Mediterráneo. La piezometría varía entre los 300 m s.n.m. en la zona occidental, área de Almudaina y Millena y valores por debajo del nivel del mar en el extremo oriental, en el área influenciada por los bombeos intensivos de la finca agrícola Rincón del Rosario.

A partir de los datos del estudio de 2001 realizado por IGME-DPA, la principal entrada de recursos hídricos al acuífero se produce a partir del agua de lluvia con 25,8 hm³/año, además de una pequeña infiltración por retornos de riego (0,6 hm³/año). Al realizar una rápida estimación del porcentaje de lluvia infiltrado, se obtiene que para una precipitación media de 773 mm/año (Observatorio de Beniarrés = 679 mm/año; Observatorio de Villalonga = 820 mm/año; Observatorio de Pego = 819 mm/año), éste es del 25%. Tal porcentaje, en comparación con el obtenido en el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla (39%) resulta pequeño y probablemente la tasa real de infiltración en ambos acuíferos se encuentre alrededor del 30-33%.

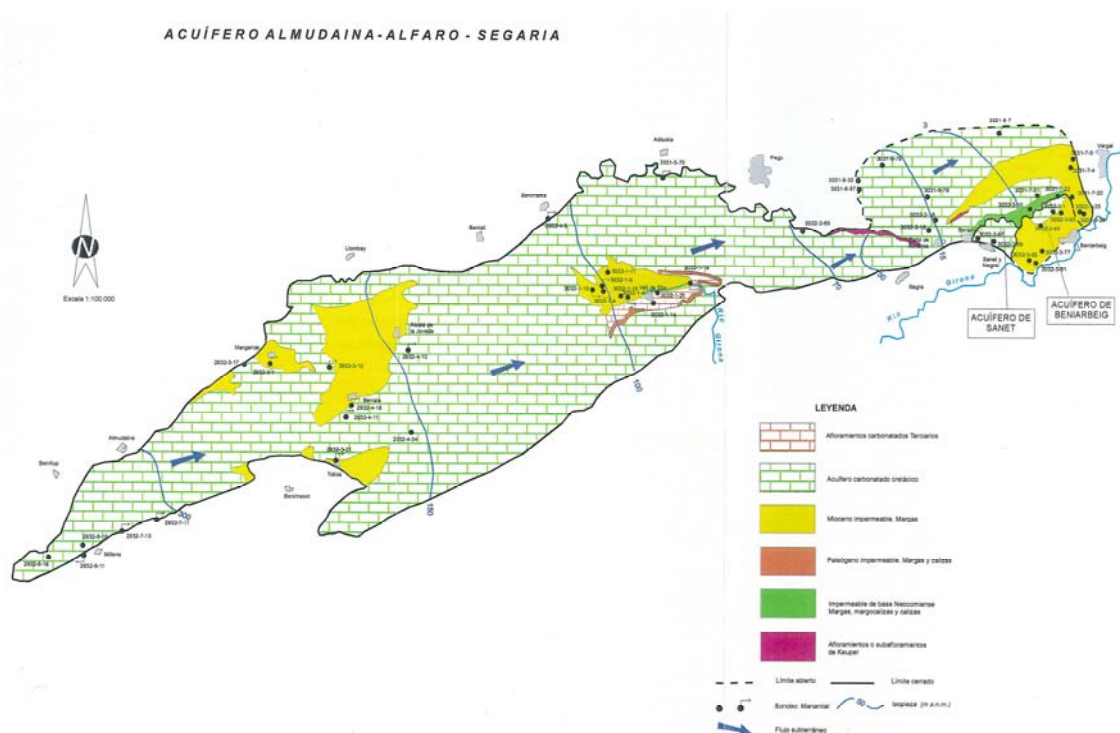


Figura nº 10: acuífero Almudaina-Alfaro-Segaria (extraído de “Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase). IGME-DPA (2001)”

Las salidas, por su parte, se producen a través del manantial de Balsa Sineu y el bombeo de la finca Rincón del Rosario, con un volumen conjunto de unos 23,7 hm³/año y por otros bombeos, agrícolas y urbanos, que totalizan unos 2,7 hm³/año. Probablemente también se producen transferencias subterráneas al acuífero detrítico de la Plana de Pegó-Dénia

- Acuífero de Pegó-Dénia

Este acuífero detrítico, constituido por el abanico aluvial del río Girona, de alta permeabilidad, formado por arenas, arenas arcillosas, gravas y cantos y por los glaciares de acumulación de Pegó y del valle del Girona cuya litología básica son arcillas y cantos, se extiende sobre una superficie de 101 km², entre la sierra de Mustalla, al norte y los acuíferos del Subsistema Peñón-Montgó, Bernia, Benissa, Almudaina-Alfaro-Segaria y Mediodía, al sur.

Entre Ondara y Dénia el muro impermeable lo forman las arcillas triásicas y las margas del Tap. En el área de La Jara-Torre Carrals el sustrato es permeable y lo constituyen las formaciones carbonatadas del acuífero del Montgó, con las que existe conexión hidráulica. Esta situación se repite en la mayoría de los sectores de contacto con los relieves montañosos cretácicos.

Hidrodinámicamente el acuífero se puede dividir en dos sectores, tal como se ha realizado en la división de masas de agua, el asociado al aluvial del río Girona y el asociado al marjal de Pegó-Oliva. En ambos, el espesor de los depósitos permeables supera en la línea costera el centenar de metros y debido a la presencia de distintos niveles permeables, de morfología en muchos casos lenticular, se puede hablar, en conjunto, de un acuífero multicapa.

La piezometría varía entre los 10 m s.n.m. en las áreas interiores y valores muy próximos a la cota 0 m s.n.m. en la costa, o negativos en el entorno de la finca Rincón del Rosario y otros puntos donde los bombeos son considerables. El flujo subterráneo tiene dirección W-E hacia el mar.

En el estudio de IGME-DPA de 2001 se estableció el siguiente balance hídrico para este acuífero:

- a recarga fundamental del acuífero procede de la infiltración del agua de lluvia (25 m³/año) y por infiltración del río Girona (6,5 hm³/año). Además se producen entradas laterales procedentes de los acuíferos de Mediodía (1,53 hm³/año), Albuera-Gallinera-Mustalla (4 hm³/año), Orba (1,3 hm³/año) y Montgó (0,7 hm³/año) e infiltración por retornos de riego (5 hm³/año).
- Las salidas se producen por bombeo (21 hm³/año); transferencias subterráneas a otros acuíferos (Cretácico del río Girona =2,2 hm³/año y Solana de la Llosa= 2,5 hm³/año);

drenajes del marjal de Pego-Oliva junto con las cavas de Ondara y El Verger (7,8 hm³/año) y salidas al mar (10,53 hm³/año).

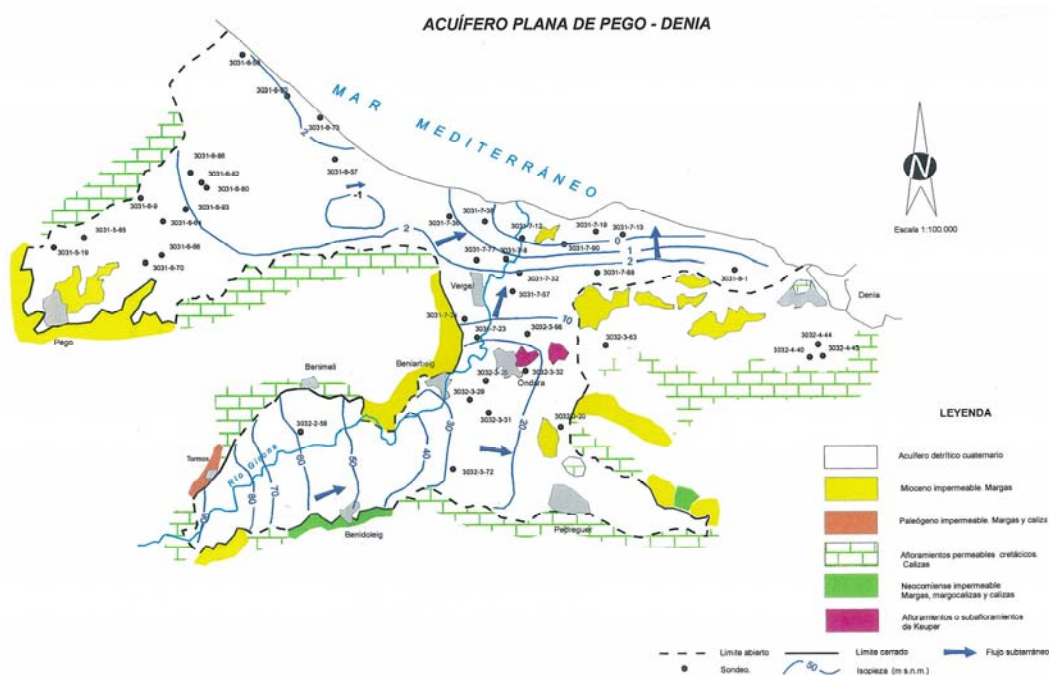


Figura nº 11: acuífero Plana de Pego-Dénia (extraído de “Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase). IGME-DPA (2001)”

A partir de estos datos se estima una tasa media de infiltración de la precipitación del 31%. Se ha considerado permeable la totalidad del acuífero y los registros de precipitación utilizados corresponden a los observatorios de Pego = 819 mm/año, El Verger = 715 mm/año; Tormos = 919 mm/año y Pedreguer = 760 mm/año. Con los mismos la precipitación media resulta de 803 mm/año.

10.1. ENCUADRE HIDROGEOLÓGICO LOCAL. EL SECTOR ACUÍFERO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA (MASA DE AGUA DE OLIVA-PEGO)

El marjal de Pego-Oliva está integrado, como se ha comentado, entre estructuras carbonatadas kársticas y dentro del acuífero detrítico costero de Pego-Dénia.

El balance hídrico indicado en el capítulo anterior correspondiente a la totalidad del acuífero, puede discretizarse para el entorno del marjal de Pego-Oliva. Así, se tendría una superficie de 46,52 km² de sector acuífero asociado al marjal.

Para esta superficie, con un porcentaje de infiltración del agua de lluvia del 31% y el dato de precipitación correspondiente al observatorio de Pego = 819 mm/año, el balance resultante sería:

- Entradas:

Infiltración de agua de lluvia	11,81 hm ³ /año
Transferencias del Ac. Albuerca-Gallinera-Mustalla	4 hm ³ /año
Retornos de riego:	3 hm ³ /año
Total:	18,81 hm³/año

- Salidas:

Bombeos	9 hm ³ /año
Manantiales del marjal de Pego-Oliva (Ullal de Bullens, Ullal de Macareno, Otros)	0,81 hm ³ /año
Drenaje al río Racons	2,8 hm ³ /año
Drenaje al río Barranquet	1,2 hm ³ /año
Drenaje al canal de Regalatxo	2 hm ³ /año
Salidas al mar	3 hm ³ /año
Total:	18,81 hm³/año

Para el mantenimiento de este humedal, Barba y Rosell en 2002 calcularon que eran necesarios del orden de 25 hm³/año de recursos hídricos renovables. No obstante, esta cifra puede matizarse sensiblemente si se tiene en cuenta el apartado nº 4 del Artículo 18 del Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar, cuyo enunciado dice: *“En ausencia de estudios específicos, las necesidades hídricas mínimas para el mantenimiento de las zonas húmedas litorales se evaluarán multiplicando la superficie ocupada efectivamente por las aguas, en hectáreas, por 12500 m³/ha/año”*.

Así, si la masa de agua superficial permanente en el marjal de Pego-Oliva es del orden de las 360 ha. Las necesidades estimadas mínimas para su mantenimiento serían, por tanto, de unos 4,5 hm³/año. En cualquier caso, teniendo en cuenta estos datos, se ha realizado un cálculo de las entradas directas superficiales del marjal:

Datos de partida:

- Superficie del Parque Natural Pego-Oliva = 1290 ha (12,9 km²)
- Superficie de cultivo de arroz = 465 ha
- Superficie de masa de agua permanente = 360 ha
- Dotación riego arroz m³/ha/año = 12000 (Plan Hidrológico del Júcar)
- Superficie de la cuenca vertiente = 61,51 km²
- Precipitación media = 819 mm/año (Observatorio de Pego)
- La escorrentía, de 87,9 mm/año se ha estimado en el apartado nº 11 “Encuadre climático”

Las entradas directas sobre la masa de agua estable:

• Precipitación directa:	2,95 hm ³ /año
• Manantiales (Ullal de Bullent, Ullal de Macareno, otros):	0,81 hm ³ /año
• Mantenimiento zona húmeda	0,74 hm ³ /año *
Total:	4,5 hm ³ /año

Entradas estimadas en todo el Parque Natural:

• Precipitación directa total sobre la superficie del Parque Natural:	10,56 hm ³ /año
• Escorrentía superficial:	5,41 hm ³ /año (a partir de datos mensuales)
• Manantiales (Ullal de Bullent, Ullal de Macareno, otros):	0,81 hm ³ /año
• Desvío de aguas del río Bullens para el riego de arrozales	5,58 hm ³ /año
• Mantenimiento zona húmeda	2,64 hm ³ /año *
Total:	25 hm ³ /año

Se comprueba que para satisfacer los 4,5 hm³/año mínimos que necesita la zona húmeda del marjal para su mantenimiento según la dotación estipulada en el Plan de la Cuenca del Júcar, es suficiente prácticamente con la precipitación directa sobre la misma (2,95 hm³/año) más los aportes de los ullales y manantiales de su interior (0,81 hm³/año), no se tienen en cuenta ni la escorrentía superficial ni los aportes subterráneos de los acuíferos de base o colindantes con el marjal.

De igual forma, si la estimación se realiza sobre la totalidad del Parque Natural y con el objetivo de cubrir los 25 hm³/año estimados para su conservación, se comprueba que se precisarían 2,64 hm³/año extras para completar la supuesta demanda teórica de mantenimiento. En este caso, igualmente, no se consideran las transferencias subterráneas que afectan a la zona húmeda.

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA Y ACUÍFEROS ASOCIADOS

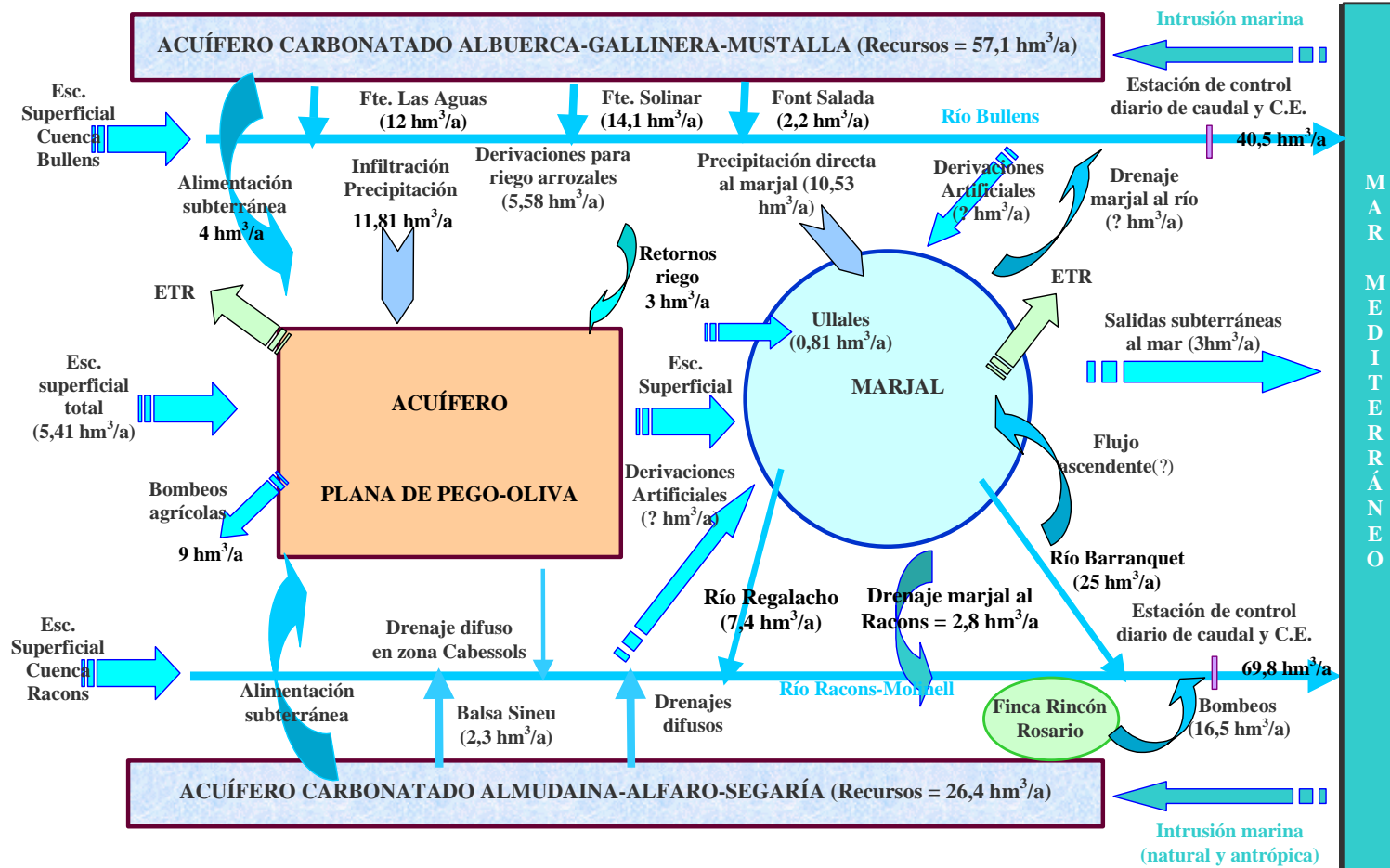


Figura nº 12: Modelo conceptual del funcionamiento hidráulico del marjal de Pegu-Oliva. Aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos asociados. Modificada de Ballesteros, B.J. (2005)

11. ENCUADRE CLIMÁTICO

Se ha realizado un estudio climático detallado a partir de los datos correspondientes a varios observatorios meteorológicos del entorno de la zona de estudio. Todos estos datos han sido facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología (INM). En el cuadro adjunto se indican las principales características de cada estación.

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	COTA (m s.n.m.)	INTERVALO DE MEDIDAS	TIPO DE DATOS
8057A Pego Convento	38°50'	00°07'	82	enero 1975 - mayo 2004	termopluiométricos
8058A Oliva S.E. Agraria	38°50'	00°07'	82	enero 1975 - mayo 2004	pluiométricos
8056 El El Verger Racons	38°50'	00°00'	21	enero 1975 - mayo 2004	pluiométricos
8051U Dénia HS	38°50'	00°05'	15	enero 1975 - mayo 2004	termopluiométricos

Se han utilizado únicamente los datos de la estación termopluiométrica de Pego Convento nº 8057A por ser la más centrada en la zona de estudio, sin embargo, el completado de las series de precipitación y temperatura ha requerido la utilización de datos del resto de estaciones indicadas en el cuadro superior.

Este proceso de completado de series y el tratamiento posterior de los datos se ha realizado mediante la aplicación del programa TRASERO (Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas) realizado por el departamento de Ciclo Hídrico de la Excm. Diputación de Alicante en 2005.

Esta aplicación permite estimar la evapotranspiración potencial a partir de la temperatura utilizando el método empírico de Thornthwaite, y mediante ésta y la precipitación, cuantificar la evapotranspiración real y la lluvia útil.

Para el cálculo de la lluvia útil el programa requiere definir el periodo de cálculo, la serie de temperatura, la de precipitación y un valor de reserva útil.

Una vez obtenida la lluvia útil, se puede calcular la escorrentía mediante el método del Soil Conservation Service de los EE.UU y por diferencia con la lluvia útil el volumen de infiltración.

El programa permite también determinar las principales características climáticas de la zona de estudio (año seco, medio y húmedo), establecer los estadísticos más representativos de las

series de datos analizadas y realizar distintas correlaciones entre diversas variables, tales como:

- correlación precipitación - variación de la piezometría
- correlación precipitación - caudales drenados por los ríos Bullens y Racons

11.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. DETERMINACIÓN DE AÑOS TIPO

La zona de estudio se incluye climáticamente dentro de la denominada "llanura litoral lluviosa", que se caracteriza por una pluviometría elevada debido a la exposición favorable que presenta este sector costero a los vientos del NE.

A lo anterior hay que añadir que el relieve costero acentúa el efecto barrera y el encauzamiento de las masas de aire de tal forma que en esta zona geográfica valenciana se producen las lluvias torrenciales más intensas de toda la Comunidad.

Estacionalmente, el verano es muy seco, mientras que el invierno suele ser más lluvioso que la primavera.

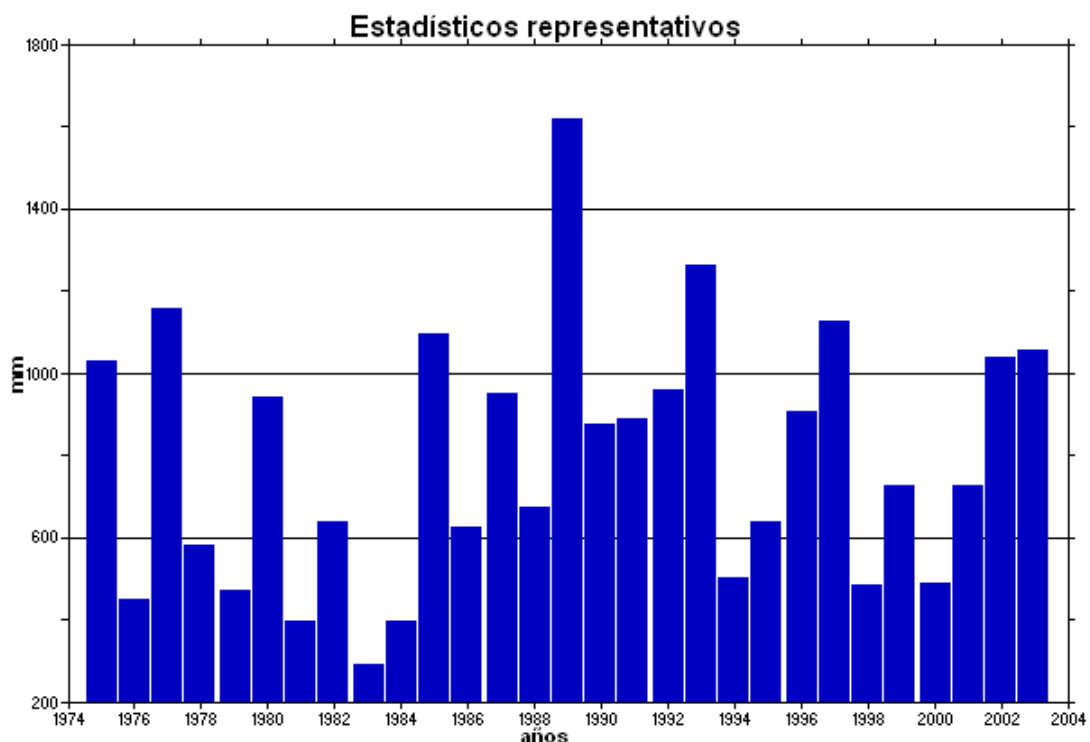


Gráfico nº 1: precipitación anual registrada en el observatorio de Pego Convento 8057A

La media de precipitación anual, según los datos históricos recopilados en el observatorio de Pego Convento desde 1975 al año 2003 es de 792 mm, dato que se tomará para los cálculos

posteriores, con dos periodos de máximas precipitaciones entre septiembre y noviembre y abril-mayo y dos mínimos en julio-agosto y enero-febrero.

El año de menor precipitación fue en 1983 con 289 mm, mientras que el más lluvioso resultó el de 1989 con 1.616 mm. Por meses, el mes en el que se acumuló mayor volumen de precipitación fue el de mayo de 2002 con 517 mm, mientras que en noviembre de 1981 no llovió nada.

El régimen térmico es suave por su proximidad a la costa y por la escasa frecuencia de las heladas. La temperatura media anual se sitúa en 18.4 °C. El año más frío corresponde a 1975 con 16,7 °C de media, siendo el más cálido el de 2000 con 19,8 °C. El valor máximo de temperatura media mensual se registro en agosto de 1999 con 29 °C, mientras que el mes que fijó la mínima temperatura media fue el de enero de 1989.

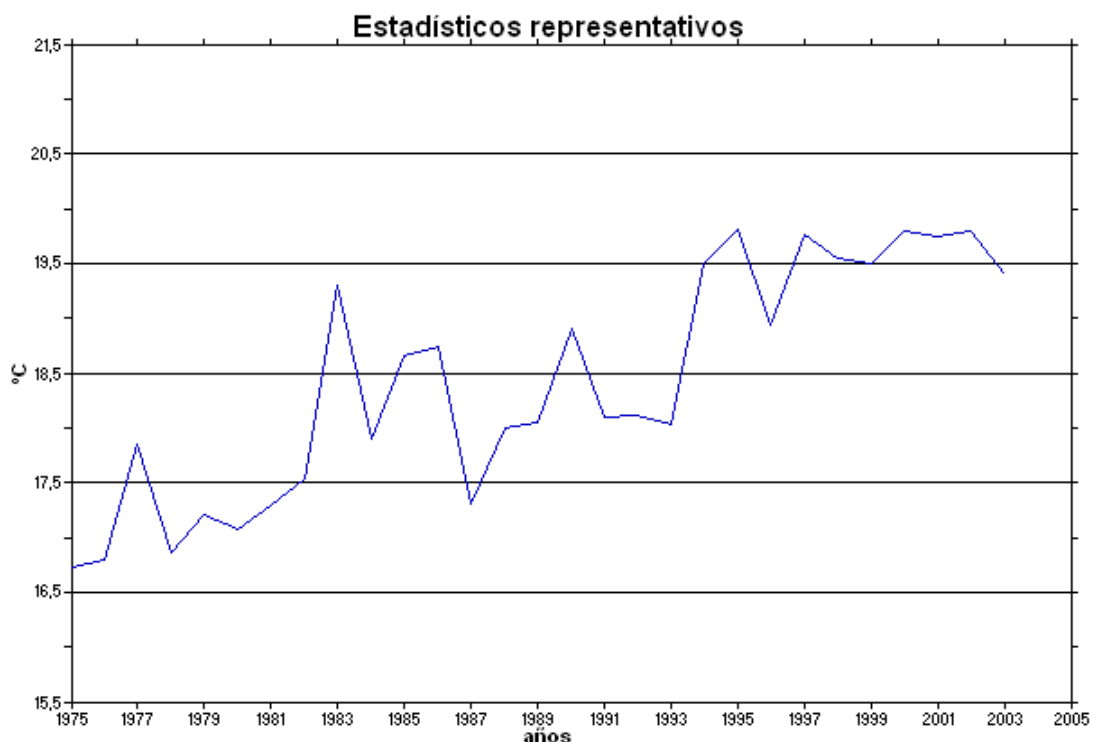


Gráfico nº 2: temperatura media anual en el observatorio de Pego Convento 8057A

El gráfico anterior sorprende por la clara tendencia que marca la temperatura media, al alza, de forma que los registros anteriores a 1982 marcan temperaturas medias normalmente inferiores a los 17,5 °C, mientras que a partir de 1994 la media térmica anual se sitúa normalmente por encima de los 19,5 °C.

Mediante el ajuste a una distribución Normal de la serie de precipitación con datos anuales se obtiene como resultado adicional con la aplicación TRASERO los años más característicos de la serie. En el caso que nos ocupa éstos se indican en la tabla adjunta:

TIPO AÑO CARACTERÍSTICO	AÑO	PRECIPITACIÓN
Año más seco	1983	289
Año tipo seco	1994	500
Año tipo medio	2001	725
Año tipo húmedo	1985	1094
Año más húmedo	1989	1616

11.2. CÁLCULO DE LA LLUVIA ÚTIL

Como ya se ha comentado, para calcular la lluvia útil, es decir el volumen conjunto de agua correspondiente a la escorrentía superficial y al agua que se infiltra, por el método de Thornthwaite (clásico o modificado), el programa TRASERO requiere que se defina el periodo de cálculo, la serie de precipitación, la de temperatura, la latitud y la reserva útil.

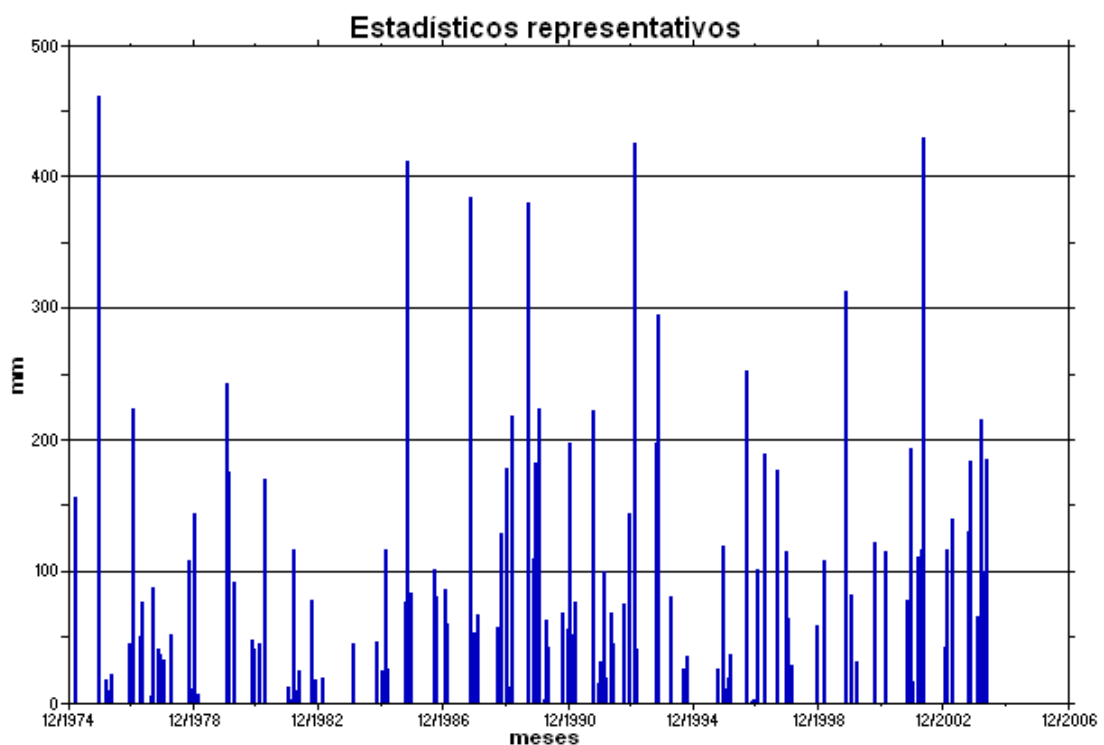


Gráfico nº 3: Lluvia útil mensual calculada a partir de los registros del observatorio de Pego Convento 8057A

El periodo de cálculo se establece entre enero de 1975 y mayo de 2004. Las series de precipitación y temperatura son las completadas de la estación de Pego Convento nº 8057 A.

La latitud es de 38° y atendiendo a las características litológicas del terreno en la zona de estudio, constituido fundamentalmente por arena fina, limos y turbas y depósitos más groseros de gravas cantos y arcillas, la reserva útil según la bibliografía consultada se encontrará entre el 7% y el 22%. Por ello, para la realización de los cálculos se ha empleado un valor medio del 14%, y se ha desestimado establecer una lluvia útil para los terrenos carbonatados que constituyen las sierras de Mustalla y Segaria que bordean el marjal.

Como resultado se obtienen las series de evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR) y de lluvia útil (LLU). Dado que se cuenta con datos medios mensuales, el cálculo se ha realizado con un intervalo temporal mensual.

Los resultados son:

- Evapotranspiración potencia (ETP) media mensual de 79,05 mm
- Evapotranspiración real (ETR) media mensual de 32,09 mm
- Lluvia útil media mensual de 34,75 mm
- Lluvia útil media anual de 417,04 mm, con un máximo en diciembre de 1975 de 461,39 mm.

11.3. CALCULO DE LA INFILTRACIÓN

El programa calcula la infiltración por diferencia entre la lluvia útil y la escorrentía superficial, que es calculada a su vez al aplicar el método del Soil Conservation Service de EE.UU (SCS). Para el cálculo de la escorrentía el programa exige introducir la serie de lluvia útil y un umbral de escorrentía (Po) a partir del cual se empieza a producir escorrentía superficial. El valor de este parámetro depende de la litología, de la pendiente y de la vegetación (Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Manual de usuario. Departamento del Ciclo Hidrológico, Excma. Diputación Provincial de Alicante, 2005).

El principal inconveniente para estimar la infiltración al utilizar el método del S.C.S., es la necesidad de contar con datos diarios de precipitación. Esto es debido a que la escorrentía se produce al superar en cada evento de lluvia un determinado umbral de escorrentía. Al no contar con datos diarios, los cálculos siguientes se realizan a partir de datos mensuales y son, por tanto, aproximativos.

El umbral de escorrentía (Po) es un valor tabulado por el SCS a partir de unos coeficientes, también tabulados (tipo de suelo, el tipo de cubierta vegetal existente, las condiciones hidrológicas y la forma de explotación del terreno) que determinan la capacidad que posee la cuenca vertiente para producir escorrentía durante un aguacero de intensidad conocida.

- **Tipo de suelo.** En función de su capacidad de infiltración se clasifican los suelos en cuatro grupos (A, B, C y D) de mayor a menor capacidad de infiltración (SCS, 1975).
- La **cubierta vegetal** se determina atendiendo al tipo de cultivo o especie vegetal que cubre el suelo, o en su defecto si se trata de terreno sin cultivar o urbanizado (SCS, 1975).
- La **condición hidrológica** analiza factores que afectan a la infiltración y escorrentía superficial relacionados con la cubierta vegetal, como el grado de rugosidad superficial, la pendiente, etc. (SCS, 1975).
- La **forma de explotación del terreno** analiza el tipo de laboreo (SCS, 1975).
-

11.3.1. TIPO DE SUELO

Según la clasificación del SCS (1975) los cuatro tipos de suelo definidos se caracterizan por:

- **Tipo A:** son suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y poseen una elevada capacidad de infiltración, aún cuando estén húmedos. Son suelos profundos de textura gruesa (arenosos o arenoso-limosos).
- **Tipo B:** suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Suelos de media a gran profundidad con texturas moderadamente finas a gruesas (francos, franco-arenosos o arenosos).
- **Tipo C:** suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Textura fina a moderadamente fina (franco-arcilloso a arcilloso). También se encuentran en este grupo los suelos con horizontes superficiales impermeables.
- **Tipo D:** suelos muy arcillosos con gran capacidad de generar escorrentía por su baja permeabilidad. Suelos con capa arcillosa somera. Suelos jóvenes de escaso espesor sobre rocas impermeables. Suelos salinos y suelos con el nivel freático alto.

Se considera que en conjunto el área de estudio es un suelo **tipo B**.

11.3.2. CUBIERTA VEGETAL

La cubierta vegetal establecida por el SCS define 14 tipos de vegetación o uso, entre otros barbecho, cultivos alineados, pastizales, bosques, caminos en tierra o asfaltados, etc. (SCS, 1975).

El entorno del marjal de Pego-Oliva presenta una agricultura asociada basada casi en exclusiva en el arroz y los cítricos. Se realiza la simplificación de considerar el conjunto zona húmeda-cultivos asociados dentro del grupo definido como “**cultivos alineados o en hilera**”.

11.3.3. CONDICIÓN HIDROLÓGICA

El SCS establece cinco grados de condición hidrológica (muy pobre, pobre, regular, buena y muy buena) sobre la base de una combinación de factores que influyen en la infiltración y la escorrentía superficial como son la densidad y fracción de cabida de la cubierta vegetal, el grado de cubrimiento vegetal del terreno a lo largo del año, número de cultivo de leguminosas, porcentaje de residuos vegetales en el suelo, el grado de rugosidad superficial o en los bosques, la profundidad y grado de consolidación del mantillo. Atendiendo a estos factores, la condición hidrológica será pobre si los factores que incluye dificultan la infiltración y facilitan la escorrentía superficial y es buena a la inversa.

En este caso la condición hidrológica es **“Buena”**.

11.3.4. PENDIENTE

Se consideran únicamente dos supuestos, terrenos con pendiente inferior al 3% o terrenos con pendiente igual o superior al 3%. Las zonas abancaladas se incluyen dentro del grupo de pendiente < 3%.

La zona de estudio por su suave topografía queda incluida dentro del primer grupo **(pendiente<3%)**.

11.3.5. APROVECHAMIENTO DEL TERRENO

La forma de explotación del terreno también influye a la hora de estimar el umbral de escorrentía (Po). El SCS establece (únicamente para terrenos cultivados) los siguientes casos:

- Tipo R. Cuando las labores de cultivo se realizan en la dirección de la máxima pendiente o a media ladera.
- Tipo N. Cuando el laboreo se realiza siguiendo las curvas de nivel.

Debido a la suave topografía del terreno se considera que el aprovechamiento del terreno es de **tipo N**.

Por tanto, para determinar el umbral de escorrentía se combinarán en la correspondiente tabla los siguientes parámetros:

- Tipo de suelo B
- Tipo de cultivo en hilera (arrozales y arbolado de cítricos)
- Condición hidrológica “Buena”
- Pendiente < 3%
- Aprovechamiento del terreno tipo N

Así, el umbral de escorrentía (Po) se obtiene de la tabla 2.1 de la Instrucción de Carreteras 5.2-IC “Drenaje superficial”(BOE nº 123, de 23 de mayo de 1990). Se deben multiplicar los valores en ella contenidos por un coeficiente corrector definido por la figura 2.5 de la misma instrucción de Carreteras y que en el caso analizado es 3. Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos, e incluye una mayoración (del orden del 100%) para evitar sobrevaloraciones del caudal de referencia a causa de ciertas simplificaciones del tratamiento estadístico del método hidrometeorológico, el cual ha sido contrastado en distintos ambientes de la geografía española.

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	8
Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones regulares aprovechamiento forestal	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
	<3	Pobre	*	34	19	14

Con estos criterios, se determina un umbral de escorrentía (P_o) para la zona de estudio de 19 mm., que tras aplicar el coeficiente corrector establecido (3) resulta de $19 \times 3 = 57$ mm.

Una vez obtenidos todos los términos necesarios para calcular la recarga se realiza la diferencia a escala mensual entre la lluvia útil y la escorrentía.

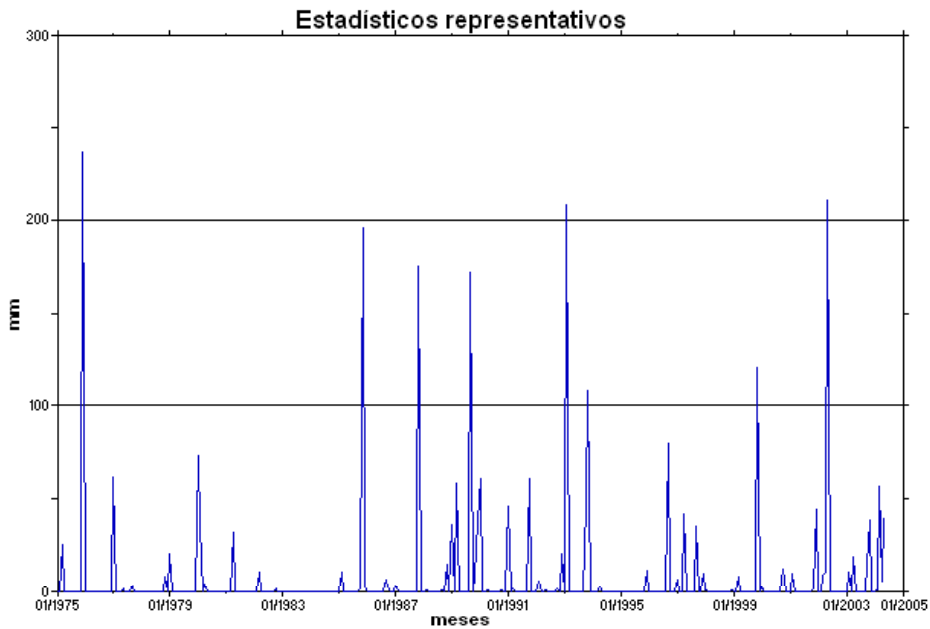


Gráfico nº 4: escorrentía mensual calculada a partir de los registros del observatorio de Pego Convento 8057

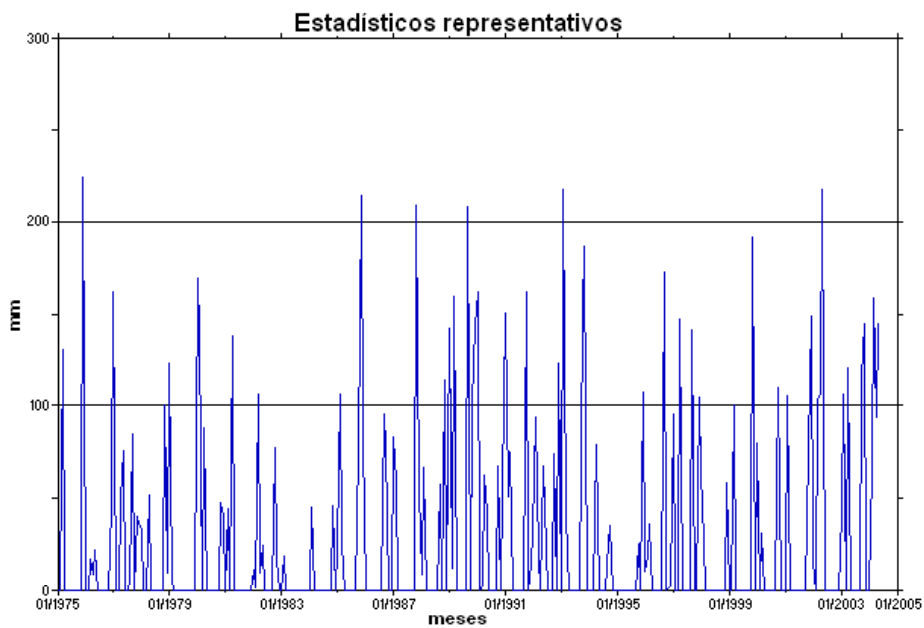


Gráfico nº 5: recarga mensual calculada a partir de los registros del observatorio de Pego Convento 8057

Los resultados obtenidos se reflejan en el cuadro siguiente:

ESTADÍSTICO	LLUVIA ÚTIL	ESCORRENTÍA	RECARGA
Media mensual	34.75 mm	7.33 mm	27.43 mm
Media anual	417.04 mm	87.9 mm	329.14 mm
Mínimo mensual	0.00 mm	0.00 mm	0.00 mm
Máximo mensual	461.39 mm	237.21 mm	224.18 mm

12. SONDEOS DE CONTROL DE NIVELES Y CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se han realizado un total de diez sondeos de control de la calidad de las aguas subterráneas y la medida del nivel piezométrico. Se han situado en 7 emplazamientos diferentes, con profundidades comprendidas entre los 15 y los 130 m.

En una primera fase, de investigación, se realizaron 7 perforaciones a testigo continuo, una en cada emplazamiento, y a partir del análisis de las columnas litológicas se determinó la ejecución de uno o varios sondeos por emplazamiento con objeto de poder caracterizar niveles permeables distintos.

Estos sondeos se identifican con las siglas PDGEST y un cardinal que va del 1 al 7. Además, en aquellos sectores en los que para individualizar diferentes niveles acuíferos se han ejecutado varias perforaciones contiguas se añade al cardinal una letra identificativa (a, b, c). Se han realizado dobles sondeos en los puntos 5 y 7. En el punto nº 6 se planificaron tres perforaciones de las que finalmente sólo se han finalizado dos.

Tras la perforación, entubación y acondicionamiento de los sondeos se ha realizado una testificación geofísica de los mismos, a cargo de la empresa CGS Compañía General de Sondeos, S.A., mediante el equipo CENTURY SYSTEM-VI, que tuvo lugar entre los días 29 y 30 de mayo de 2006. El fin ha sido definir la dinámica de la interfase agua dulce-agua salada y servir de apoyo para la evaluación de los recursos explotables en función de la calidad de los mismos. Para ello se empleó la sonda multiparamétrica 9042, que permite el registro de los siguientes parámetros (se indican entre paréntesis las propiedades físicas del medio diferenciadas):

- Gamma natural: mide la radiactividad natural de las formaciones geológicas (contactos litológicos)
- Resistividad del fluido: mide la resistividad del fluido que rellena el sondeo (contactos litológicos, tramos permeables o zonas de fracturas, calidad química de las aguas a partir del contenido en sales disueltas)
- Conductividad: inversa de la anterior (flujos verticales-horizontales; entradas de agua; calidad química de las aguas)
- Temperatura: mide la temperatura del fluido que rellena el sondeo (dirección de las fracturas; discontinuidades)
- Delta de temperatura

Los resultados de esta campaña se adjuntan en el anejo correspondiente.

Finalmente se han llevado a cabo ensayos de bombeo en los siguientes sondeos, PDGEST-1, PDGEST-2, PDGEST-3, PDGEST-4, PDGEST-5b, PDGEST-6b y PDGEST-7b. Estas pruebas las realizó la empresa CGS entre el 28 de agosto de 2006 y el 1 de septiembre de 2006 mediante una bomba sumergida marca Grundfos modelo Q/SQE 7-40 de 1,5 C.V., capaz de bombear un caudal de $7\text{m}^3/\text{h}$ a una altura manométrica de 38 m. Esta se instaló en todos los sondeos a 49 m de profundidad.

En el anejo correspondiente se describen detalladamente las distintas fases de ejecución y acondicionamiento de cada perforación, así como la columna litológica atravesada, los ensayos de aforo y las testificaciones geofísicas realizadas.

13. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se ha recopilado información de un total de 433 puntos de agua, de los cuales 46 son de nuevo inventario, habiéndose revisado un total de 139 puntos.

Estos puntos se clasifican de la siguiente forma:

TIPO DE PUNTO	CANTIDAD
Sondeos	220
Pozos	98
Pozos-sondeo	42
Pozos-galería	20
Pozos-sondeo con galería	5
Galería	5
Manantiales	24
Sondeos	22
Sondeos de investigación	7
Cursos superficiales de agua	4
TOTAL	433

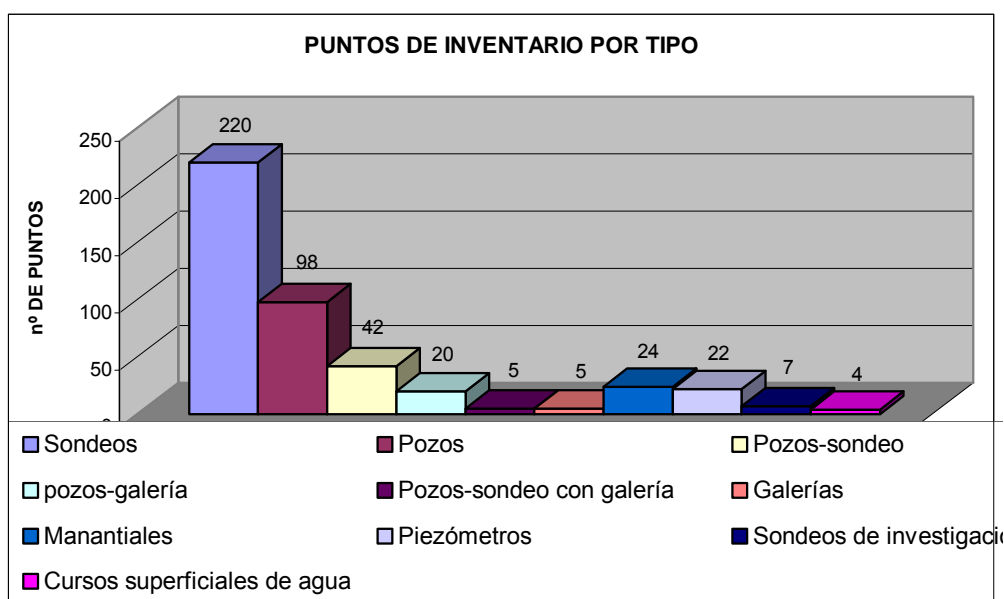


Gráfico nº 6: puntos inventariados por tipos

13.1. PUNTOS DE NUEVO INVENTARIO

Los 57 nuevos puntos de inventario se clasifican por tipo de la siguiente manera:

TIPO DE PUNTO	CANTIDAD
Sondeos	15
Pozos	14
Sondeos	17
Sondeos de investigación	8
Manantiales	3
TOTAL	57

Dentro de los puntos de nuevo inventario se encuentran los sondeos de control realizados con motivo de este proyecto, así como varios sondeos realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas. También se han inventariado otros sondeos de reciente ejecución como los Calpero nº 1 y nº 2, un sondeo de investigación realizado en las instalaciones de la planta desaladora de Dénia, El Mirarrosa, o los sondeos de abastecimiento a las playas de Oliva denominados Aguas del Bullent-1 y 2.

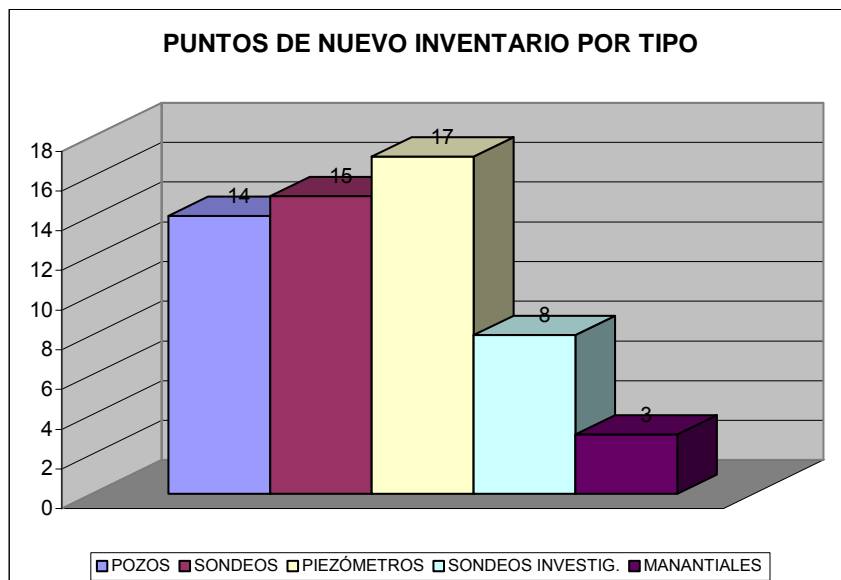


Gráfico nº 7: puntos de nuevo inventariados por tipos

Otros puntos inventariados son los sondeos de investigación realizados dentro de las labores para la ejecución de la tesis doctoral de Dña. M^a José Viñals “ El marjal de Oliva-Pego (Valencia). Geomorfología y evolución de un humedal costero mediterráneo.” Realizada en 1996.

Se han inventariado igualmente tres pequeños manantiales situados en la sierra de Segaria, denominados Fuente Catalá, Fte. de El Campillo y el manantial del Baladrar.

Finalmente se incorporan al inventario algunos antiguos pozos que no habían sido catalogados hasta la fecha o que se encontraban mal situados.

14. REDES DE CONTROL

Con objeto de caracterizar la hidroquímica e hidrodinámica de la zona de estudio se han establecido varias redes de control de la piezometría, calidad, conductividad y temperatura. La distribución de los puntos de control ha pretendido cubrir adecuadamente la misma (ver mapas adjuntos) y poder establecer las relaciones entre las aguas subterráneas del acuífero pliocuaternario, las de los acuíferos mesozoicos y la influencia sobre éstas de la cuña de intrusión marina.

14.1. RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO

Esta red se compone de 56 puntos de medida entre sondeos, pozos, cursos de aguas superficiales y manantiales.

Las medidas se toman mensualmente y se cuenta con registros continuos desde el mes de julio de 2005, si bien de algunos puntos se tienen medidas desde el año 1973.

14.2. RED DE CALIDAD

De igual forma la red para el control de la calidad se compone de 51 puntos distribuidos de la siguiente forma:

- Sondeos y/o pozos: 38 puntos
- Manantiales: 5 puntos
- Cursos de agua superficiales: 8 puntos repartidos en los cauces de:
 - Río Bullens: 3 puntos
 - Río Barranquet: 1 punto
 - Río Racons: 3 puntos
 - Manantial de La Cava: 1 punto

14.3. RED DE REGISTRO DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA

También se han realizado varias campañas de medida continua en la vertical de la conductividad y temperatura en un total de 24 sondeos. Su objeto es caracterizar mediante estos parámetros los distintos niveles acuíferos diferenciados. Además, en la zona más próxima a la costa se valora la relación entre las aguas dulces continentales y las saladas marinas, de forma que se puede establecer la profundidad de la interfase, las principales áreas de intrusión, su evolución temporal a lo largo del año y las variaciones por efecto de periodos de sequía o de precipitaciones importantes.

REDES DE CONTROL (PIEZOMETRIA / CALIDAD / CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA)

Nº IGME	Toponimia	Coorxutm	Cooryutm	Cota de ref.	Natur	Utilagua	Nivel permeable	Acuífero	Red de control			Provincia	Termino municipal
									Piezo	Calidad	Tº / C.E.		
	río Bullens (DPA-IGME)	753740	4309540	1	Curso agua superficial				P	C		Valencia	Oliva
	Molino-río Bullens	752960	4307720	3,5	Curso agua superficial					C		Alicante	Pego
	Sant Pere-río Bullens	753535	4308220	2,2	Curso agua superficial					C		Alicante	Pego
	Canal de Barranquet	757350	4307230	1	Curso agua superficial					C		Valencia	Oliva
	Racons (DPA-IGME)	758030	4306830	2	Curso agua superficial				P	C		Valencia	Oliva
	Nº 12-Canal del Regalatxo	754800	4304830	4,5	Curso agua superficial					C		Alicante	Pego
	Nº 15-Canal del Regalatxo	756630	4305200	3,5	Curso agua superficial					C		Alicante	Pego
303150012		750711	4308054	80	Pozo-sondeo	Agric.	PLIOCUAT.	GANDÍA-DENIA	P			Valencia	Oliva
303150019		750330	4305200	50	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Alicante	Pego
303150029		747470	4306776	89,93	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P			Valencia	Oliva
303150035	San José	748955	4304530	68	Pozo-galería	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Alicante	Pego
303150041	Aguas Potables y Riego	751270	4305275	23	Pozo-sondeo	Abast.	PLIOC-CRET	MUSTALLA	P	C		Alicante	Pego
303150063		746641	4304728	135	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Alicante	Adsubia
303160001	Fte. Salada	753399	4308535	0,487	Manantial	No se utiliza	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Valencia	Oliva
303160002	Balsa Sineu	755525	4304812	2.379	Manantial	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	Pego
303160003	Fte. Salinar	753122	4307590	1.012	Manantial	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Alicante	Pego
303160004	Fte. Las Aguas	751987	4307107	2.843	Manantial	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA		C		Alicante	Pego
303160007		757910	4304750	11,02	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Denia
303160008		754417	4304195	15,5	Pozo	Agric.	PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P			Alicante	Pego

Nº IGME	Toponimia	Coorxutm	Cooryutm	Cota de ref.	Natur	Utilagua	Nivel permeable	Acuífero	Red de control			Provincia	Termino municipal
									Piezo	Calidad	Tº / C.E.		
303160009		751650	4306695	16	Pozo	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Alicante	Pego
303160010	SAT Bullento	752200	4306540	7	Pozo	Agric.	CRETÁCICO	MUSTALLA	P	C		Alicante	Pego
303160011	Villa	751499	4308915	18	Pozo	Abast. y Agric.	PLIOCUAT	GANDÍA-DÉNIA	P			Valencia	Oliva
303160033	Motor Tarco	753412	4302927	46	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA		C		Alicante	Pego
303160066		752922	4305038	11,9	Sondeo	Desconocido	PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C		Alicante	Pego
303160079		755762	4302681	142	Sondeo	Desconocido	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Ráfol de Almunia
303160090	Ullal de Bullent- Fte. del Clot	753948	4306833	0,028	Sondeo	No se utiliza	PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160094	Rincón del Rosario	758022	4306032	-0,819	Manantial	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	El Verger
303160095	Pou Penyarroja	753460	4303534	35	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Pego
303160099	Les Mondes	753779	4304257	14.418	Pozo	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160100	SGOP S-X	752865	4304167	24.244	Sondeo	No se utiliza	PLIOC-CRET	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160113	PDGEST-1	754672	4309389	1.363	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Oliva
303160114	PDGEST-2	756812	4308319	1.381	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Oliva
303160115	PDGEST-5a	753550	4306038	3.447	Piezómetro		CRETÁCICO	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160116	PDGEST-5b	753552	4306034	3.417	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160117	PDGEST-6b	754575	4305837	0,744	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160118	PDGEST-6c	754576	4305836	0,669	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160119	PDGEST-7a	757414	4306352	1.046	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Oliva
303160120	PDGEST-7b	757417	4306350	1.018	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Oliva
303160121	SGOP P-7	756081	4307323	1,87	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Oliva

Nº IGME	Toponimia	Coorxutm	Cooryutm	Cota de ref.	Natur	Utilagua	Nivel permeable	Acuífero	Red de control			Provincia	Termino municipal
									Piezo	Calidad	Tº / C.E.		
303160122	SGOP P-5	752642	4305434	7.905	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160125	Calpero-2	758410	4304730	15	Sondeo		CRETÁCICO	SEGARIA	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Denia
303160129	SGOP S-L	752054	4303171	55.109	Piezómetro		CRETÁCICO	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160130	Les Socarrades	753276	4302892	54,15	Pozo		CRETÁCICO- PLIOC??	SEGARIA	P	C		Alicante	Pego
303160133	SGOP S-V	751813	4304309	26,31	Sondeo		CRETÁCICO	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160141	SGOP P-3(93)	755515	4305730	1,01	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160144	Ullal de Macareno	753620	4307237	0,841	Sondeo		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Pego
303160145	Desaladora de Denia	758135	4306810	2	Piezómetro	No se utiliza	PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Denia
303170002	Potables Vergel	760361	4303557	40	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	El Verger
303170030	Torrans	760390	4304350	17	Pozo	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	El Verger
303170105	Calpero-1	758839	4305003	5.051	Sondeo		CRETÁCICO	SEGARIA	P	C	Tº / C.E.	Alicante	Denia
303170107	PDGEST-3	758966	4306480	2.061	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	El Verger
303170108	PDGEST-4	760040	4305706	3.664	Piezómetro		PLIOCUAT	OLIVA-PEGO	P	C	Tº / C.E.	Alicante	El Verger
303210027	SGOP S-4	750995	4301710	225	Sondeo		CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Pego
30322010	Manantial de La Cava	757670	4300880	66,5	Curso agua superficial					C		Alicante	Sanet y Negrals
303220016	El Salvador	755857	4302025	110,97	Pozo-sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA		C		Alicante	Ráfol de Almunia
303220017	Sondeo de Javea-1	755750	4301930	112,22	Pozo-sondeo	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Ráfol de Almunia
303220018	Sondeo de Javea-2	755774	4301897	114,58	Pozo-sondeo	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Ráfol de Almunia

Nº IGME	Toponimia	Coorxutm	Cooryutm	Cota de ref.	Natur	Utilagua	Nivel permeable	Acuífero	Red de control			Provincia	Termino municipal
									Piezo	Calidad	Tº / C.E.		
303220048		752510	4301685	105	Sondeo	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	Pego
303220058	La Bolata	754759	4299556	102,92	Sondeo	Abast.	CRETÁCICO	SEGARIA		C		Alicante	Tormos
303220110	SGOP S-2	754596	4301000	120	Sondeo		CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	Sagra
303220111	SGOP S-8	753154	4301717	152	Sondeo		CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Pego
303220113	SGOP S-3	753474	4301603	145.113	Sondeo		CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Pego
303230001		759800	4302460	54	Sondeo	No se utiliza	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Ondara
303230025	Segaria-Ondara	760340	4302726	40	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Ondara
303230056	Corral del Misterio	758853	4302589	100	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P	C		Alicante	Beniarbeig
303230057		758780	4302400	90	Sondeo	Agric.	CRETÁCICO	SEGARIA	P			Alicante	Beniarbeig

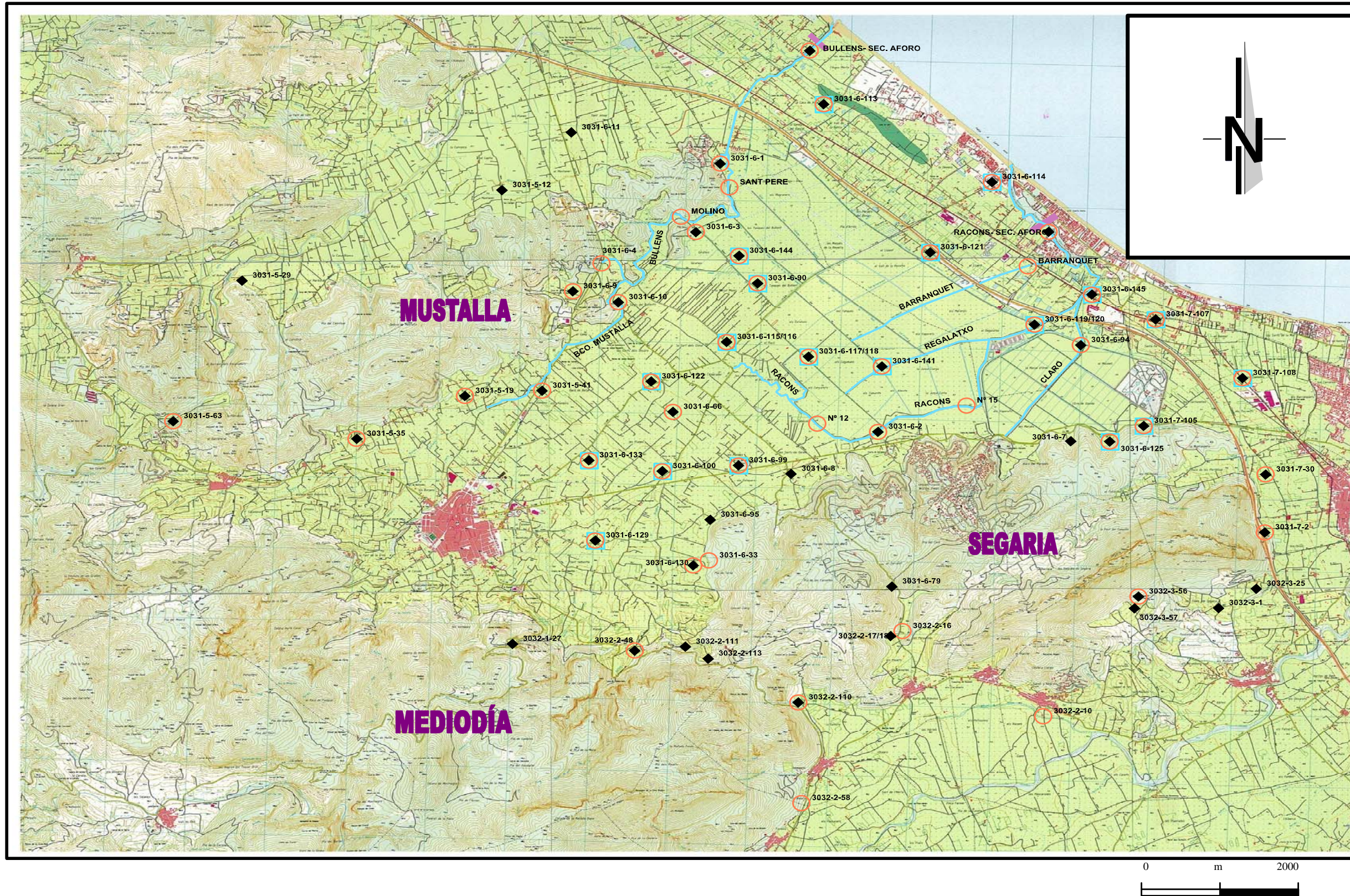


FIGURA 13: MAPA REDES DE CONTROL DEL ENTORNO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA

14.4. RED DE AFOROS EN CAUCES

Para poder valorar las salidas superficiales desde el marjal se ha recopilado información de diversos estudios y campañas de control foronómico de los ríos y manantiales de la zona. Con estos datos y los resultados de los aforos directos mensuales en los ríos Bullens y Racons, se han calculado los caudales medios drenados por los distintos ríos y manantiales.

Los resultados se reflejan en la tabla siguiente:

Punto de aforo	Caudal medio anual (hm³)
Manantial de Las Aguas	12
Manantial de Solinar	14,1
Font Salada	2,2
Balsa Sineu	2,3
Río Bullens (desembocadura /sección aforo DPA)	40,5
Río Clar (Finca Rincón del Rosario)	16,5
Río Regalatxo	7,4
Río Barranquet	25
Río Racons (desembocadura / sección aforo DPA)	69,8

Las secciones de aforo directo en dichos ríos se han hecho coincidir lo máximo posible con las que utiliza la Excm. Diputación Provincial de Alicante, en las que se han instalado sensores fijos que registran diariamente el caudal y la conductividad eléctrica.

Se ha podido así, realizar una comparación entre los resultados de caudal obtenidos mediante medidas directas y los de la DPA.

Los periodos de registro de la DPA, con algunos intervalos de ausencia de datos, son los siguientes:

- Río Racons: desde el 16 de abril de 2004 hasta el 29 de mayo de 2007
- Río Bullens: desde el 1 de mayo de 2004 hasta el 28 de julio de 2007



**SECCIÓN DE AFORO DIRECTO
EN EL RÍO BULLENS
(UTILIZADA POR EL IGME)**



**FOTO DESDE EL PUNTO DE AFORO DEL IGME,
AL FONDO SENSOR FIJO DE LA DPA**

**SECCIÓN DE AFORO
DIRECTO EN EL RÍO RACONS
JUNTO A LA ESTACIÓN FIJA
DE LA DPA**



En la siguiente tabla se muestran los registros obtenidos mediante los aforos directos realizados por el IGME durante el periodo dic-05 a nov-07.

Fecha	Río Bullens	Río Racons
14/12/05	1196,7	700,5
02/02/06	1891,7	681,3
03/03/06	2627,8	3296,5
07/04/06	1891	1768,5
23/05/06	1479	2143,5
04/07/06	515,9	1569,8
28/07/06	542,9	1177,3
05/09/06	642,9	995,7
24/10/06	551,1	1572,6
21/11/06	529,3	2179,9
09/01/07	1754	3684,5
06/02/07	1531,8	4230,6
13/03/07	1878,5	5225
18/04/07	3321,9	4103
08/05/07	2416,5	2435,1
07/06/07	593	2682,2
03/07/07	721	1768,6
01/08/07	535,9	1385,1
25/09/07	2255,8	4042,2
23/10/07	7368	12425,8
19/11/07	4191,1	4056

La correlación entre los parámetros medidos por las estaciones fijas de la DPA y los datos directos de campo del IGME muestra que un 35% de las medidas entre ambos registros difieren notablemente y que tras eliminar éstas, los caudales medidos por el IGME en ambos ríos, resultan un 20% inferiores a los de las estaciones de aforo de la DPA.

Según estos resultados, en el años 2006, un año considerado seco según los registros pluviométricos, la DPA estima en 45 hm³ las descarga al mar del río Bullens y en 80 hm³ las del río Racons. Estos volúmenes son sensiblemente superiores a las estimaciones medias realizadas por diversos autores y al cálculo realizado en este estudio para un año medio, con caudales de 40,5 hm³ de drenaje en el Bullens y de 69,8 hm³ en el Racons.

Por ello y por entender que las medidas de la DPA pueden verse afectadas por numerosos factores físicos externos, principalmente por la acumulación de vegetación arrastrada por los cauces en el entorno de las secciones de medida, se ha aplicado una reducción de un 20% a las series de la DPA por considerar que se ajustan más a la realidad. Aparte de los vacíos de datos en algunos momentos, sobre todo los primeros meses del año 2005 en el río Bullens, y a

partir de junio de 2007 en el Racons, se observa en el gráfico anterior la similar dinámica de ambos cauces y la clara relación con los episodios de lluvias, que por ejemplo alcanzan los caudales máximos en la primera quincena de diciembre de 2004, con más de 5800 L/s de caudal en el río Bullens y más de 11000 L/s en el Racons. Estos elevados caudales son la respuesta a las intensas lluvias producidas y que acumularon en pocos días más de 450 mm.

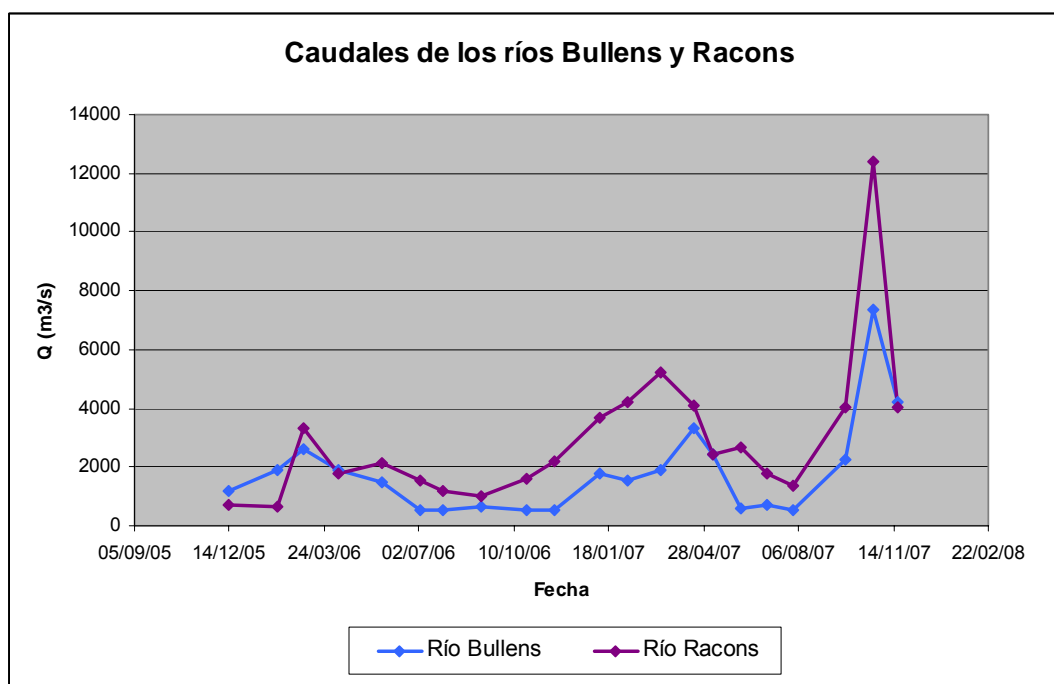


Gráfico 8: caudales puntuales en los ríos Bullens y Racons para el periodo dic-05 a nov-07

El río Bullens drena de forma habitual caudales diarios superiores a los 100000 m³, mientras que el Racons prácticamente dobla esta cifra.

Los periodos de máximo drenaje se centran entre diciembre y febrero y abril-mayo de cada año, con momentos de grandes avenidas que llegan a multiplicar por seis los caudales normales, como en diciembre de 2004 y más recientemente los episodios torrenciales de octubre de 2007, de los que no se cuenta con registros.

Por el contrario, los periodos en los que el agua evacuada es menor, coinciden con el periodo comprendido entre junio y principios de octubre. En estos meses los caudales diarios del río Bullens son inferiores a los 80000 m³, mientras que los del Racons rondan los 170000 m³.

Los resultados se muestran en el gráfico siguiente en el que además se introduce la precipitación (datos pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología correspondientes a la precipitación diaria registrada hasta julio de 2007 en el observatorio de Pego Convento nº 8057A).

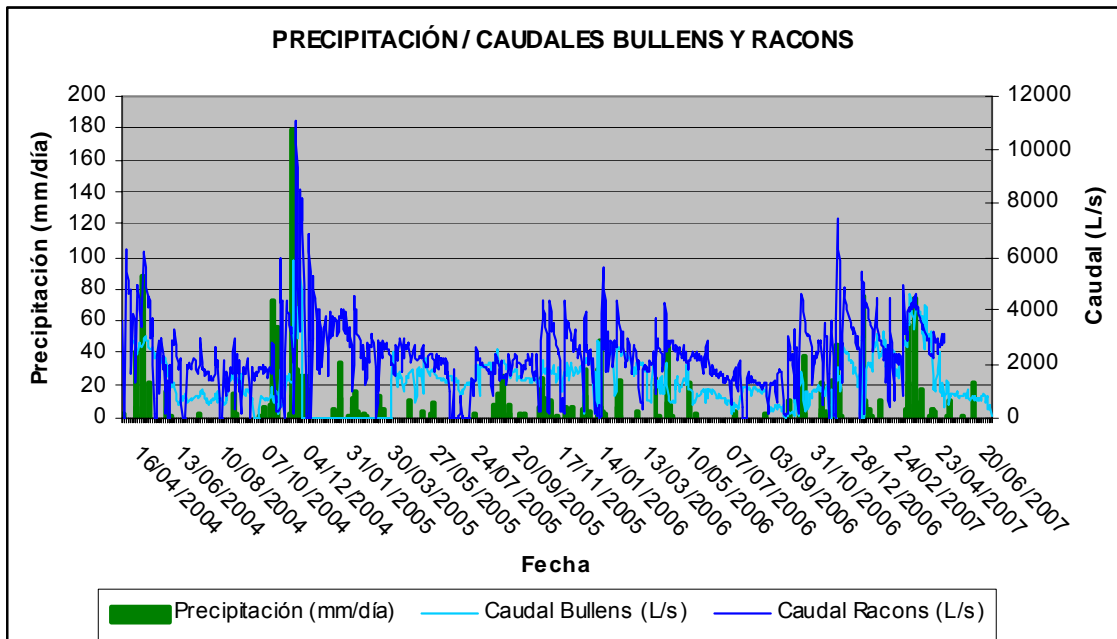


Gráfico 9: Caudales drenados por los ríos Bullens y Racons (datos de la DPA reducidos un 20%) y precipitaciones diarias registradas en el observatorio de Pego Convento 8057A.

Hay que tener en cuenta, que una proporción de los caudales drenados al mar por los ríos Bullens y Racons son aguas de intrusión marina.

Ya se ha hecho referencia a los trabajos de Ballesteros et al (2005), en los que se habla de un modelo de mezcla de aguas marina y subterránea debido a un proceso de intrusión natural ó inducida, de tal forma que la proporción de agua de mar alcanza en ciertos momentos del orden del 34,5% en el manantial de Font Salada (U.H. 08.37 Almirante-Mustalla) y del 20% en los bombeos realizados en la finca Rincón del Rosario y en el manantial de Balsa Sineu (U.H. 08.39 Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria).

Registros parecidos se han obtenido al contrastar la composición química del agua de mar (analítica de septiembre de 2004 del informe “Caracterización isotópica de la línea meteórica local y de los acuíferos de la Marina Alta (Alicante)”) con la de captaciones de los acuíferos de Mustalla (sondeo San José, 303150035) y Segaria (manantial de La Bolata, 30320058), tomadas durante la campaña de febrero de 2007, que se considera que presentan una mínima influencia de intrusión marina. Los resultados obtenidos son:

MUESTRA		ACUÍFERO	FECHA	PROPORCIÓN DE AGUA MARINA
NOMBRE	Nº IGME			
Agua de mar			Sept-04	100 %
Font Salada	303160001	Sierra Mustalla	Feb-07	40 %
San José	303160035			2 %
Río Bullens				8 %
Balsa Sineu	303160002	Sierra Segaria		14%
La Bolata	303220058			2 %
Rincón del Rosario	313160094			14 %
Río Racons			6 %	

Se comprueba que en febrero de 2007, la proporción de agua marina en el manantial de Font Salada alcanzaba el 40 %, mientras que en Balsa Sineu y en los bombeos de la finca Rincón del Rosario era del 14 %.

En cuanto a la proporción de agua de mar drenada por los ríos Bullens y Racons en esa fecha era del 8 % y del 6 % respectivamente.

14.5. NIVELACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

En octubre de 2006 se procedió a nivelar de forma precisa una treintena de puntos en la zona de estudio entre los que se incluyen puntos de control piezométrico y de calidad.

La distribución de los mismos intenta cubrir fundamentalmente el área del marjal.

Los puntos nivelados y sus cotas se indican en la tabla de la página siguiente, mientras que las fichas de nivelación y el informe de la empresa que realizó los trabajos se adjuntan en el anexo correspondiente.

Nº de Punto	Denominación	Coordenada a U.T.M. X	Coordenada U.T.M. Y	Cota nivelación	Cota de referencia (medida nivel)	Cota suelo	Observaciones
nº 1	RIO BULLENS	754.495.203	4.310.169.813	1,34	1,34	0,74	Nivelado en el extremo noroeste de la pasarela que cruza el río Bullens a 500 m de su desembocadura. Esta cota coincide con la de referencia. La cota suelo es 0,60 m inferior. La altura
nº 2	RIO RACONS	757.582.102	4.307.668.447	2,29	2,29	1,99	Nivelado en el centro del puente que cruza el río Racons y permite el acceso a la urbanización Santa Ana. Esta cota coincide con la de referencia. La cota suelo es 0,30 m inferior. La altura de la
nº 4	PUENTE LAS AGUAS	752.408.102	4.306.792.657	2,54	2,54	2,54	Nivelado en el extremo septentrional del puente de hormigón que cruza el cauce originado por el manantial de Las Aguas situado al norte del Tossalet de Bullensó. Esta cota coincide con la de
nº 7	SANT PERE	753.552.064	4.308.216.036	1.16	1,16	1,16	Nivelado en el extremo oriental de la pasarela que cruza el río bullens en el paraje conocido como Sant Pere. Esta cota coincide con la de referencia y con la cota suelo del entorno. La altura de la
303160001	FONT SALADA	753.399.444	4.308.535.405	,49	0,49	0,49	Se ha nivelado junto a la superficie de piedra horizontal existente junto a la surgencia principal. Se considera esta cota coincidente con la de referencia y la cota suelo
303160002	BALSA SINEU	755.524.611	4304811.8	2,38	2,38	0,64	Se ha nivelado sobre el pretil septentrional del puente en arco situado a la salida del manantial antes de su unión con el canal de Regalacho. Esta cota coincide con la de referencia, sin embargo es
303160003	FUENTE SOLINAR	753.121.956	4.307.589.719	1,01	1,01	1,01	Se ha nivelado sobre la piedra plana junto a la compuerta de cierre. Se consideran coincidentes la cota de nivelación, la de referencia y la de suelo
303160004	FTE LAS AGUAS	751.987.189	4.307.107.119	2,84	1,84	1,84	Se ha nivelado a 2 m de la surgencia principal que se establece como punto de medida de niveles y como cota suelo del entorno
303160090	ULLAL DE BULLENS	753.948.439	4.306.832.865	0,91	0,28	0,66	Se ha nivelado sobre el murete externo de hormigón que bordea el ullal. La cota de referencia se sitúa sobre el borde circular de cemento más próximo a la surgencia. La cota suelo es distinta a las
303160094	RINCON DEL ROSARIO	758.021.832	4.306.032.243	-0,82	-0,82	-0,07	Nivelación sobre la plataforma de hormigón que cubre las bombas. Esta cota coincide con la de referencia y se encuentra bajo el nivel del mar. La lámina de agua se mantiene como mínimo a 1.30
303160099	LES MONDES	753.778.578	4.304.257.205	14,42	14,42	13,98	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del piezómetro que se hace coincidir con la de referencia. La cota suelo es 0.44 m inferior.
303160100	SEGOP S-X	752.865.539	4304167.03	24,24	24,24	23,54	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del piezómetro que se hace coincidir con la de referencia. La cota suelo es 0.70 m inferior.
303160113	PDGEST-1	754.672.098	4.309.388.647	1,36	1,36	1,36	Se nivela en el borde de la tubería de PVC, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303160114	PDGEST-2	756.812.143	4.308.319.494	1,38	1,38	1,38	Se nivela en el borde de la tubería de PVC, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303160115	PDGEST-5A	753.550.094	4306037.66	3,45	3,45	3,45	Se nivela en el borde de la tubería de PVC, que se considera la cota de referencia y la de suelo.

Nº de Punto	Denominación	Coordenada a U.T.M. X	Coordenada U.T.M. Y	Cota nivelación	Cota de referencia (medida nivel)	Cota suelo	Observaciones
303160116	PDGEST-5B	753.551.743	4306034.29	3,42	3,42	3,42	Se nivela en el borde de la tubería de PVC, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303160117	PDGEST-6B	754.574.836	4.305.836.818	0,74	0,74	0,74	Se nivela sobre la tapa de cierre del sondeo y se considera esta cota equivalente a la de referencia y a la de suelo.
303160118	PDGEST-6C	754.576.059	4.305.835.868	0,67	0,67	0,67	Se nivela en el borde de la tubería de PVC, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303160119	PDGEST-7A	757.414.259	4.306.352.244	1,05	1,05	1,05	Se nivela en el borde de la tubería metálica, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303160120	PDGEST-7B	757.416.557	4.306.349.813	1,02	1,02	1,02	Se nivela en el borde de la tubería metálica, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303160121	SGOP P-7	756.080.516	4.307.322.701	1,87	1,87	1,07	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del piezómetro que se hace coincidir con la de referencia. La cota suelo (camino) es 0.80 m inferior.
303160122	SGOP P-5	752.642.271	4.305.434.045	7,90	7,90	7,60	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del piezómetro que se hace coincidir con la de referencia. La cota suelo es 0.30 m inferior.
303160129	SGOP S-L	752.054.091	4.303.171.113	55,11	55,11	54,59	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del piezómetro que se hace coincidir con la de referencia. La cota suelo es 0.52 m inferior.
303160130	LES SOCARRADES	753.275.926	4.302.892.243	54,15	54,15	53,50	Se ha nivelado sobre el brocal del pozo. Esta cota coincide con la de referencia o de toma de niveles. La cota del suelo es 0.65 m inferior.
303160133	SGOP S-V	751813.18	4.304.309.093	26,31	26,31	25,71	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del piezómetro que se hace coincidir con la de referencia. La cota suelo es 0.60 m inferior.
303160144	ULLAL DE MACARENO	753.619.769	4307237.44	0,84	0,84	0,44	Se ha nivelado sobre el borde del murete de hormigón que rodea el ullal, coincide con la cota de referencia. La cota suelo es 0.40 m.
303170105	CALPERO-1	758.838.384	4.305.002.557	5,05	5,05	4,73	Se ha nivelado sobre la tapa metálica del sondeo. Esta cota coincide con la de referencia. La cota suelo es 0.32 m inferior.
303170107	PDGEST-3	758.965.829	4.306.480.481	1,90	1,90	1,50	Se nivela en el borde de la tubería metálica, que se considera la cota de referencia. La cota suelo es 0.40 m inferior.
303170108	PDGEST-4	760.039.778	4.305.706.461	3,66	3,66	3,66	Se nivela en el borde de la tubería metálica, que se considera la cota de referencia y la de suelo.
303220113	SGOP S-3	753474.43	4.301.602.923	145,11	145,11	145,11	Se nivela en el emboquille del piezómetro y se estima que esta cota coincide con la de referencia y la de suelo.

15. INTERPRETACIÓN ESTRUCTURAL DE LA ZONA

Gracias a la información bibliográfica, tanto de columnas litoestratigráficas, como de campañas geofísicas y a la ejecución de los sondeos de investigación realizados, se ha podido interpretar la estructura tectónica del área de estudio.

A continuación se detalla la información más importante recopilada y se analiza e interpreta la misma mediante la ejecución de correlaciones litoestratigráficas, cortes hidrogeológicos, mapas de isopacas, esquemas tectónicos, etc.

15.1. COLUMNAS LITOESTRATIGRÁFICAS

La información litoestratigráfica recopilada comprende datos de 74 perforaciones. En la mayoría de los casos no se cuenta con dataciones, aunque la serie descrita es bastante detallada y puede ser dividida en diferentes estratos a los que se les asigna una edad aproximada.

No obstante, una cuarta parte de estas columnas son muy imprecisas ya que las mismas se basan en descripciones litológicas vagas, muy generales o realizadas por los propios operarios de perforación. En estos casos la asignación de edades a los diferentes estratos ha resultado más complicada.

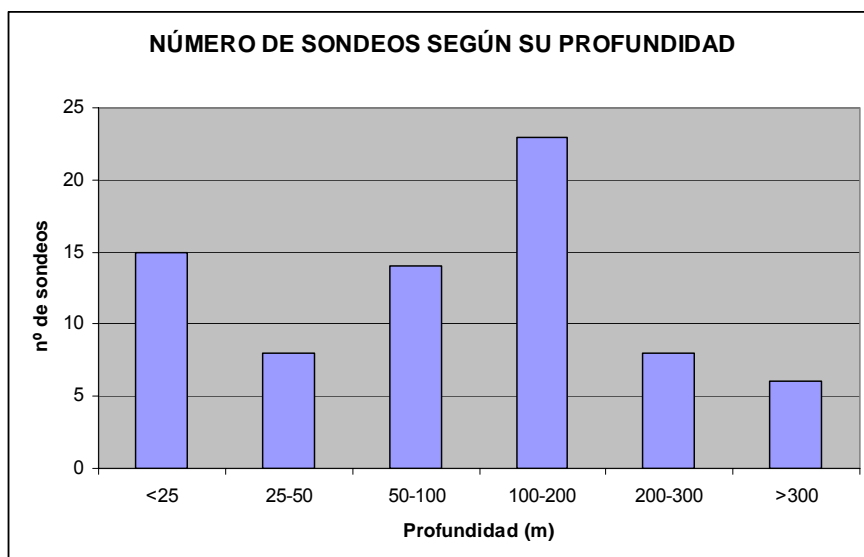


Gráfico nº 10: sondeos por profundidades

Otro problema es que la mayoría de columnas corresponden a perforaciones de escasa profundidad, tal como puede verse en el gráfico adjunto. Del total, el 50 % corresponden a sondeos de menos de 100 m, en los que la información que se puede obtener para analizar la estructura tectónica del área es mínima.

Los sondeos más abundantes son los de profundidades comprendidas entre 100 y 200 m, con un total de 23. Sin embargo, sólo existen 6 sondeos de los que se pueden considerar de gran profundidad, por encima de 300 m, lo que representa apenas el 8% del total. De estos últimos, la mayoría se sitúan en los límites o fuera del área de estudio y únicamente los sondeos realizados por el SGOP situados al este de Pego (303160129 y 303160133) son útiles a la hora de establecer la profundidad del basamento mesozoico bajo el recubrimiento pliocuaternario.

Como dato significativo, cabe destacar la asignación a las facies Keuper de un tramo de arcillas y yesos existente entre los 106 y 257 m de profundidad en el sondeo 303160129. Este tramo se ha correlacionado con un paquete descrito como “conglomerados de caliza” en el sondeo 303110133, situado entre los 320 y 380 m de profundidad y que se interpreta como una zona de fractura y arrastre provocada por la inyección del keuper.

15.2. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

También se ha recabado información referente a los estudios geofísicos realizados en la zona. Entre ellos destaca el realizado en 1984-1985 por el ITGE denominado “Proyecto para la preparación de un informe actualizado de los recursos hidráulicos subterráneos disponibles en el área de Oliva-Pego (Comunidad Valenciana)”. En el mismo, pese a que los resultados pueden estar influenciados por la presencia de agua salobre en los sedimentos, se diferencian tres grupos de valores diferentes, los primeros corresponden a sedimentos detríticos cuaternarios saturados por agua muy salina. El segundo se centra en el área central e interior de la zona de estudio y se asocia a los materiales margosos miocenos o a algunos depósitos detríticos cuaternarios con aguas de menor salinidad. Finalmente se distingue un sustrato resistivo compuesto por calizas y dolomías cretácicas que se diferencia con claridad en las inmediaciones de los relieves mesozoicos. En el área central de la zona, este sustrato se encuentra a 80-140 m de profundidad.

Otro estudio, realizado por la Universidad de Granada (1986), también establece diversos conjuntos de materiales en función de los valores de resistividad, así, en un perfil W-E, perpendicular a la costa se diferencia una franja superficial resistiva en la zona interior, desde el entorno de Pego a las inmediaciones del marjal, con resistividades del orden de 85 ohm/m correspondiente a los materiales arcillo-arenosos con cantos y costras que forman el glacis de acumulación de Pego. Otra capa mucho más conductora corresponde a la turba del propio marjal y a las arenas del cordón litoral.

Subyacentes, se diferencian de oeste a este, es decir, desde el interior del continente hacia el mar, una franja con resistividades comprendidas entre 32 y 18 ohm/m, otra algo más conductora, con valores de resistividad entre 7,2 y 15 ohm/m y una franja litoral con las resistividades más bajas, del orden de 2,7 a 4 ohm/m. Estos tres conjuntos se interpretan como

depósitos detríticos de arcillas, limos, arenas y gravas cuya resistividad decrece con la proximidad al mar, por la mayor presencia de finos y por la influencia de la salinidad creciente del agua subterránea.

Por último se distingue un tramo inferior más resistivo, únicamente detectado en la zona más occidental del perfil con valores del entre 65 y 270 ohm/m.

También se han revisado los resultados de la campaña geofísica efectuada con motivo de la Tesis Doctoral de Dña. M^a José Viñals. Se realizaron un total de 9 sondeos eléctricos verticales que permitieron interpretar geoelectricamente distintas litologías. Así, en el extremo norte del marjal, en el entorno del manantial de Font Salada se definieron de techo a muro un primer nivel orgánico de 2 metros de espesor, una alternancia de tramos limoarenosos y limoarcillosos hasta los 117 m de profundidad y un nivel resistivo inferior que se asoció a calizas cretácicas karstificadas. En el margen sur de la sierra de Mustalla y sobre depósitos del abanico aluvial de Pego se realizaron dos sondeos eléctricos verticales paramétricos que confirmaron la presencia de un tramo superior de 2,5 m compuesto por tierra de labor y material detrítico de gravas y cantos del abanico aluvial. Inmediatamente debajo la resistividad aumenta significativamente (246 ohm/m) lo que se interpretó como una respuesta de los niveles de calizas del Cretácico.

El sondeo eléctrico vertical nº 5 se sitúa al sureste del marjal, próximo a la finca Rincón del Rosario y sus resultados permitieron interpretar la presencia de un nivel superficial de 2,5 m de espesor compuesto por materiales limo arenosos con materia orgánica bajo los que se desarrolla un potente paquete compuesto por margas. Esta interpretación coincide bastante con la realizada en el presente estudio en el que este segundo tramo se compondría de limos con un espesor de unos 100 m bajo los que se encontraría un paquete más detrítico formado por limos arenosos y gravas.

El SEV nº 6 se sitúa en el extremo suroeste del marjal, también sobre materiales del abanico aluvial. Hasta los 31 m de profundidad los valores de resistividad se asocian a materiales detríticos de dicho abanico aluvial y a depósitos limoarcillosos. Infrayacente, se detecta un tramo de alta resistividad (436 ohm/m) que se interpreta como materiales gruesos de un antiguo abanico aluvial bajo el que yacen depósitos margosos del mioceno. Esta interpretación difiere de la realizada en este estudio tal como se verá más adelante, pues se considera que el nivel resistivo detectado a partir de los 31 m de profundidad corresponde a las calizas del Cenomaniense-Turoniense.

El SEV nº 7 se encuentra dentro de la finca Rincón del Rosario y es el más suroriental de los interiores al marjal y su interpretación resultó muy complicada, probablemente por la considerable salinidad de las aguas subterráneas en este sector.

El SEV nº 8, el más centrado en el marjal, diferencia básicamente tres niveles resistivos distintos, coincidentes de techo a muro con limos arenosos con materia orgánica hasta casi los 4 m de profundidad. Niveles alternantes de arcillas, limos y lentejones de gravas y cantos hasta los 53 m de profundidad y por debajo las margas del Mioceno. Este sondeo eléctrico no alcanza a diferenciar el sustrato resistivo compuesto por las calizas del Cretácico, que sí se ha definido en el presente estudio y que se encuentra en torno a los 115 m de profundidad.

El sondeo eléctrico nº 9 se realizó sobre el abanico aluvial del río Girona, próximo al sondeo de investigación PDGEST-4 y su interpretación, apoyada en la columna litológica atravesada por éste, puede ajustarse de la siguiente forma. Los primeros 4 metros corresponden a materiales del abanico aluvial compuestos por arcilla arenosa con cantos. Hasta los 14 m de profundidad en el SEV (28 m en el sondeo mecánico), se podrían asociar los valores de resistividad con la presencia de niveles de gravas, cantos y bolos dentro de una matriz arcillosa. Infrayacente se interpretó la presencia de un nivel arenoso hasta una profundidad de 57 m, que coincidiría considerablemente con la columna litológica del sondeo PDGEST-4 para finalizar con un paquete de margas y limos.

15.3. TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA Y SONDEOS ELECTROMAGNÉTICOS

En julio de 2005 se realizó un estudio encargado por la Diputación Provincial de Alicante en el término municipal de Pego (Alicante), concretamente en la vertiente norte del extremo oriental de la sierra de Segaria. El trabajo consistió en la ejecución de 9 perfiles de tomografía eléctrica y 2 sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (SEDT) con el objeto de controlar los acuíferos de la zona.

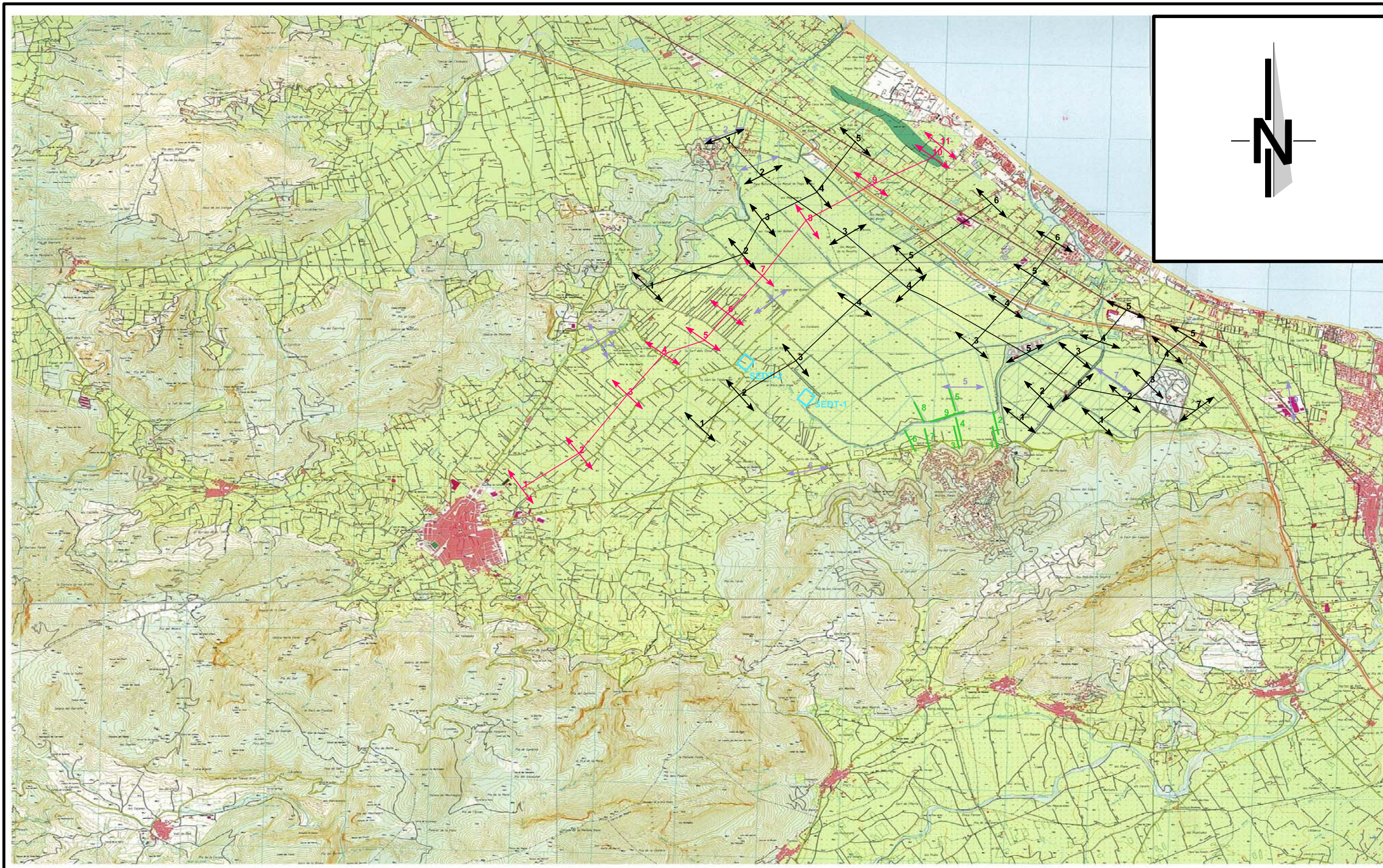
Tanto la tomografía eléctrica como los SEDT diferencian los distintos materiales del subsuelo en función de su comportamiento eléctrico, concretamente de su resistividad, que depende básicamente de la porosidad y del fluido que la rellene (agua, aire, etc); de la disposición geométrica de dichos poros (factor de formación), es decir, de la conectividad entre los mismos; de la proporción de poros rellenos de agua frente a poros secos y de la resistividad o conductividad del fluido de los poros. Sin embargo, mientras con la tomografía se obtiene una sección del terreno en la que se diferencian mediante colores los diferentes valores de resistividad, en los SEDT se marcan en una vertical las variaciones de resistividad aparente, que reflejan contactos entre diferentes litologías o incluso diferencias internas dentro de un tramo litológico concreto.

La interpretación final ha de basarse en la asignación de litologías a las diferentes respuestas eléctricas.

Del análisis de los perfiles de tomografía eléctrica se concluye la presencia superficial de materiales arenosos de espesor entre 5 y 10 m. Por debajo aparecen materiales margosos y/o arcillosos o una alternancia entre capas margosas (de menor resistividad) y capas arenosas (de resistividad mayor). Todos estos niveles corresponderían al Cuaternario, mientras que subyacentes se encontrarían las calizas cretácicas que marcan el sustrato rocoso resistivo y que reflejan la presencia de una fractura de orientación aproximada W-E que hunde el bloque septentrional.

Los dos SEDT realizados, más centrados en el marjal, reflejan con claridad la profundidad, entre 74 y 82 m en la que se encuentra el contacto entre los materiales pliocuaternarios, constituidos por arenas, gravas y margas, de naturaleza más conductora y las calizas resistivas inferiores.

El estudio concluye que la conexión entre la capa arenosa más superficial y los relieves carbonatados es discontinua por lo que pueden existir zonas puntuales de transferencia de recursos hídricos desde las calizas a las arenas.



0 m 2000



FIGURA 14: MAPA DE ESTUDIOS GEOFÍSICOS

LEYENDA

ITGE (1984-1985)
SEVs



DPA (2005)
SEDTs



Univ. Granada (1986)
SEVs



DPA (2005)
Tomografía Eléctrica



Tesis M^a José Viñals (1996)
SEVs



15.4. CORRELACIONES REALIZADAS

Se han realizado un total de 13 perfiles de correlación litoestratigráfica a partir de las columnas litológicas de diferentes sondeos de la zona, como paso previo a la interpretación estructural de la misma y como base para la ejecución de cortes hidrogeológicos.

Cuatro de estos perfiles (P-1 a P-4) tienen orientación SW-NE y atraviesan longitudinalmente el marjal. Los perfiles P-5 y P-6 presentan orientación W-E, por lo que atraviesan el marjal oblicuamente. Los perfiles P-7 a P-10 tienen una orientación NW-SE, mientras que el resto de perfiles, del P-11 al P-13, cortan perpendicularmente la zona de estudio con una orientación NNW-SSE.

A continuación se describen los distintos perfiles realizados:

- Perfil-1:

Es paralelo al margen meridional de la sierra de Mustalla, presenta, por tanto, orientación SW-NE y abarca desde el norte de la localidad de Pego hasta el campo de Golf Oliva Nova, situado muy próximo a la costa.

Este perfil se basa en los sondeos 3031-5-35; 3031-5-48; 3031-6-74; 3031-6-109; 3031-6-137 y 3031-6-113.

Los primeros cuatro atraviesan únicamente las calizas y dolomías del Cenomaniense-Turonense. Las otras dos perforaciones atraviesan inicialmente un tramo arenoso que aumenta de potencia hacia la costa, donde llega a los 20 m de espesor. Por debajo se atraviesa un tramo arcillo-limoso del orden de 25 m de potencia. Se alcanza finalmente una alternancia de niveles de areniscas, limos y gravas que sólo es cortado en el sondeo más oriental.

Tectónicamente se interpreta que existe una fractura entre los sondeos 3031-6-109 y 3031-6-137 que hunde sensiblemente el bloque Este.

- Perfil-2:

Atraviesa con orientación SW-NE longitudinalmente el marjal, desde Pego a la costa, e incluye los siguientes sondeos: 3031-5-45; 3031-6-133; 3031-6-122; 3031-6-115; 3031-6-142; 3031-6-137; 3031-6-136 y 3031-6-114.

Las perforaciones más occidentales se emboquillan sobre los materiales detríticos del glacis de acumulación de Pego, cuyo espesor varía entre los 10 y 25 m. Infrayacentes, se

encuentran las margas con algún nivel de calizas margosas del Mioceno medio, que pueden superar los 220 m de espesor.

Como nota destacada se indica que en los sondeos 3031-6-133 y 3031-6-122, se ha interpretado que el conjunto de materiales brechoides con arcilla existente por debajo de las margas y sobre las calizas cretácicas, pertenece a las facies Keuper y corresponderían a un frente de cabalgamiento propiciado por este tipo de material plástico que habría, a su vez, arrastrado restos de los materiales adyacentes en su desplazamiento.

El resto de perforaciones se emboquilla directamente sobre depósitos propios del marjal o del frente arenoso de cierre del mismo (restinga). Así, se cortan en primer lugar materiales turbosos que se asientan, bien sobre niveles de arenas finas, o sobre tramos detríticos más heterométricos. En el sondeo más oriental (3031-6-114), desde la superficie hasta los 20 m de profundidad aparecen arenas finas. En todas estas perforaciones se pasa a una alternancia de tramos arcillo-margosos y detríticos del Pliocuatnario, tanto más groseros y con menos restos fósiles marinos conforme nos alejamos de la costa.

En el sondeo 3031-6-115 se atraviesan las margas del TAP, que se asientan sobre las calizas arenoso-limosas grises del Turoniense, mientras que en el 3031-6-142 sobre dicho paquete carbonatado se encuentra un tramo conglomerático cementado atribuido también al Pliocuatnario y que se considera hidráulicamente relacionado con el glacis de acumulación de Pego y con los niveles carbonatados sobre los que suele asentarse.

También se estima que existe una fractura entre los sondeos 3031-6-122 y 3031-6-115 que hunde unos 140 m el bloque occidental.

- Perfil-3:

Al igual que el perfil anterior, atraviesa longitudinalmente el majal. Está constituido por las columnas litológicas de los siguientes sondeos (enumerados de oeste a este) 3032-1-27; 3031-6-129; 3031-6-100; 3031-6-117; 3031-6-121 y 3031-6-114.

La perforación más occidental (3032-1-27) está emboquillada en las calizas del Senoniense y destaca porque atraviesa dos tramos arcillosos con presencia de yesos que se han atribuido al Keuper y que se interpretan como dos cuñas de cabalgamiento que, como se comentará en apartados posteriores, son relativamente frecuentes en esta región y hablan por sí mismas, de la complejidad tectónica de esta zona.

El sondeo 3031-6-129 se asienta sobre materiales margosos del Mioceno, con un espesor de más de 100 m. Por debajo, un tramo de 150 m de potencia se ha atribuido al Keuper y se ha correlacionado con el paquete más basal de estas características del sondeo

anterior. Infrayacentes se encuentran los materiales carbonatados del Cenomaniense-Turonense. Una columna similar se atraviesa en el sondeo 3031-6-100, salvo que está emboquillado sobre depósitos detríticos groseros del glacis cuaternario de Pego.

Las otras tres perforaciones se encuentran sobre el marjal y atraviesan materiales relacionados con la geodinámica del mismo. En el sondeo 3031-6-117 se atraviesa un nivel de turba, posteriormente un tramo de arenas finas. Por debajo se encuentra el paquete alternante de niveles limosos, calcomargosos y arenoso-gravosos previo al conglomerado cementado de 35 m de potencia, descrito en el sondeo 3031-6-142 del perfil-2, que se asienta directamente sobre las calizas terrosas y esparíticas del Cretácico superior. Las dos perforaciones más orientales sólo cortan el tramo arenoso más superficial y el alternante situado debajo, pese a alcanzar los 180 m de profundidad (3031-6-121).

La interpretación tectónica de este perfil es compleja ya que requiere de la existencia de varios frentes de cabalgamiento a distintas profundidades en la zona oeste y de la actuación de fallas normales que individualizan bloques tectónicos en la este.

- Perfil-4:

Es el último perfil con orientación SW-NE y transcurre paralelo a la vertiente septentrional de la sierra de Segaria. Se ha interpretado a partir de las columnas de las perforaciones 3032-2-48, 3031-6-78, 3031-6-132, 3031-6-139, 3031-6-119 y 3031-7-107.

Como en el resto, la descripción se realiza de oeste a este. La perforación 3032-2-48, emboquillada en la ladera septentrional de la Sierra del Migdia atraviesa inicialmente materiales arcillosos triásicos correspondientes a uno de los frentes de cabalgamiento que afectan a esta sierra y después las calizas terrosas con algunas intercalaciones de arcillas del Senoniense.

El sondeo 3031-6-78 atraviesa materiales del Cretácico inferior y se encuentra en un bloque elevado respecto al sondeo anterior.

El resto de perforaciones se sitúan en el entorno del marjal y atraviesan básicamente materiales del Pliocuatnario. Inicialmente se cortan depósitos de albufera (turbas) y un paquete arenoso, salvo en el sondeo 3031-7-107 en el que no se presenta el tramo de turba. Bajo las arenas aparece una alternancia de niveles limosos, areniscosos y puntualmente carbonatados (3031-6-119). En el sondeo 3031-6-132, bajo el nivel arenoso más superficial existen unas gravas atribuidas a depósitos de ladera de la sierra de Segaria y por debajo un paquete de conglomerados de matriz arcillosa, atribuido al Pliocuatnario, que se asienta sobre las calizas recristalizadas y arenosas del Aptiense-Albiense.

- Perfil-5:

Tiene una orientación E-W y atraviesa el marjal desde el norte de Pego en la sierra de Mustalla, hasta la costa, frente a la sierra de Segaria.

Este perfil interpretativo se ha basado en las columnas litológicas de los sondeos 3031-5-48, 3031-6-122, 3031-6-141, 3031-6-119 y 3031-7-107.

Las dos perforaciones más orientales no atraviesan materiales relacionados con el marjal. La primera corta calizas y dolomías del Cenomaniense-Turonense, mientras que la segunda atraviesa los niveles de gravas, arenas y bolos del glacis de Pego, posteriormente las margas claras del Mioceno y en los últimos metros se cortan unas brechas con arcilla que se han atribuido al Keuper y que formarían la superficie de despegue de uno de los cabalgamientos de la zona.

En las tres perforaciones restantes la correlación es prácticamente idéntica a la del perfil-4 ya que coinciden las dos últimas columnas litológicas. No obstante, la perforación 3031-6-141, de 183 m de profundidad y situada en una posición central del marjal, permite comprobar los diferentes niveles o tramos litológicos característicos de este entorno geomorfológico y que ya se han sido descritos en otros perfiles de correlación. Así, en superficie aparece un nivel de turbas de escasos 2 m, por debajo el nivel de arenas finas que en la línea de costa origina la restinga. En este sector aumenta sensiblemente de espesor y puede superar los 20 m. Infrayacente se encuentra el paquete de lentejones alternantes, de escasa continuidad lateral y potencia, de limos y arcillas, arenas, areniscas y calizas, que en este punto tiene un espesor conjunto del orden de 65 m. Finalmente la perforación atraviesa más de 100 m de conglomerados, algo arenosos en este caso, atribuidos a la base del Pliocuatrnario.

- Perfil-6:

Es paralelo al perfil anterior aunque se sitúa más al sur.

La realización se basa en las columnas litológicas de las siguientes perforaciones: 3031-5-35; 3031-6-133; 3031-6-100; 3031-6-132; 3031-6-125; 3031-7-105 y 3031-7-108.

El sondeo más occidental, emboquillado en las faldas de la sierra de Mustalla, únicamente atraviesa materiales carbonatados cretácicos. Los dos siguientes sondeos cuentan con columnas similares, si bien la tectónica del área ha alterado las potencias de los distintos tramos litológicos. El paquete inicial en ambos casos corresponde a materiales del glacis de Pego y presenta espesores similares, del orden de 10 m, sin embargo, las margas miocenas infrayacentes, tienen una potencia de unos 220 m en el más occidental, mientras que en el 3031-6-100, ésta es únicamente de 40 m. La presencia de una importante

fractura que hunde el bloque oeste permite que la zona de graben se rellene con un notable espesor de materiales margosos. Por debajo aparecen las arcillas yesíferas del Keuper, como en el sondeo 3031-6-122 (perfil-5), y las calizas terrosas y dolomías del Cenomaniense-Turonense.

El sondeo 3031-6-132, ya ha sido descrito en el perfil-4 y forma parte también del perfil-10. En él, se distingue un tramo superficial de turba, unas arenas finas y depósitos de ladera más groseros y el conglomerado basal del Pliocuatrnario. Por debajo las calizas del Aptiense-Albiense de la sierra de Segaria.

Las dos siguientes perforaciones se emboquillan en materiales carbonatados del Cenomaniense-Turonense y finalmente, el sondeo 3031-7-108 atraviesa primero los depósitos detríticos heterométricos del abanico aluvial del río Girona, de 27 m de espesor, y posteriormente unas arenas finas y areniscas relacionadas con el paquete alternante intermedio descrito en otros sondeos y que se desarrolla bajo el nivel de turba y arena más superficial del marjal.

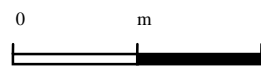
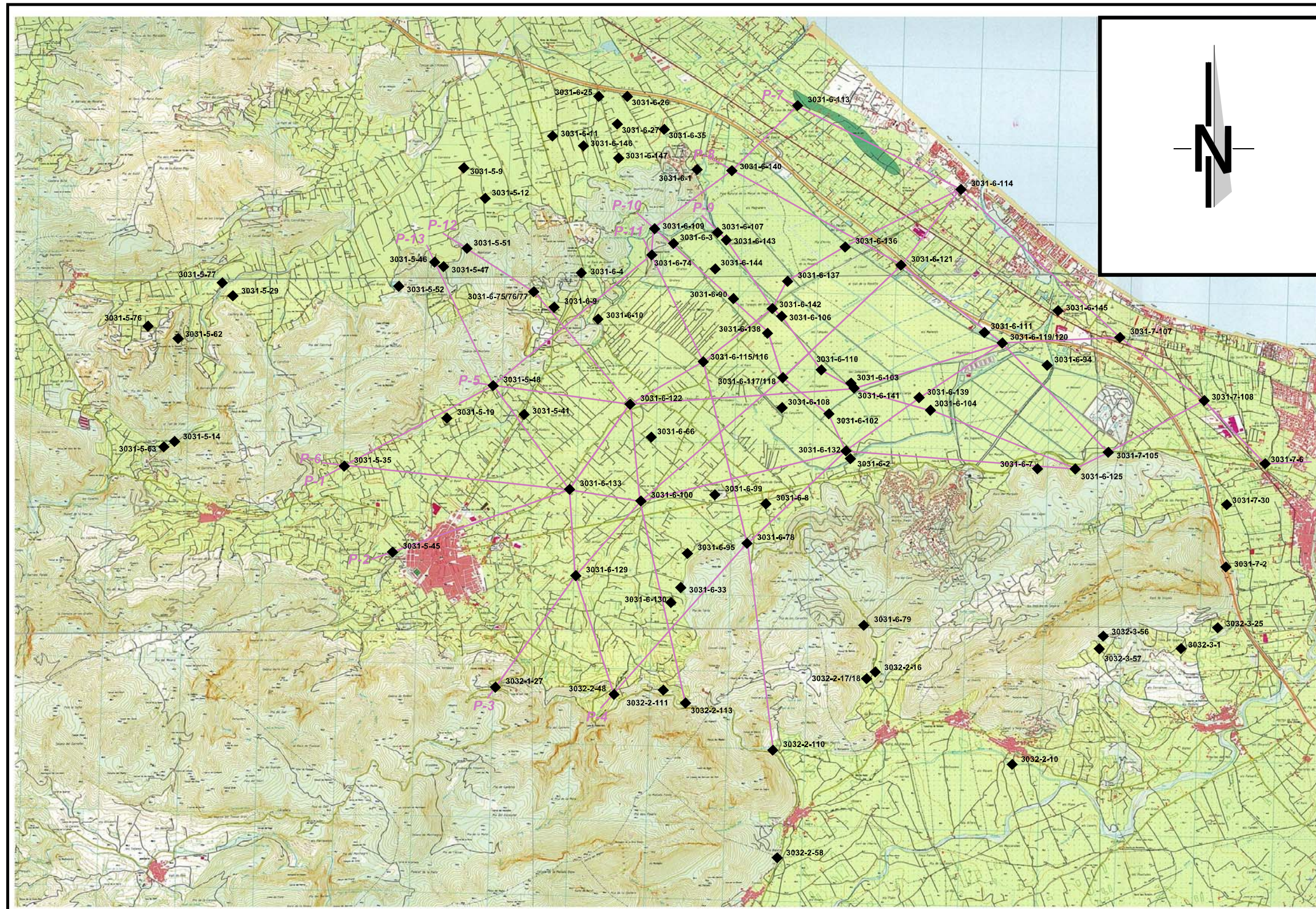


FIGURA 15: PERFILES DE CORRELACIÓN LITOSTRATIGRÁFICA

P-10 ——— **PERFIL DE CORRELACIÓN**

- Perfil-7:

Atraviesa transversalmente el marjal con dirección NW-SE paralelamente a la línea de costa y próximo a la misma.

Consta de los sondeos 3031-6-113; 3031-6-134; 3031-6-114; 3031-7-107; 3031-7-108; 3031-7-6; 3031-7-11 y 3031-7-9.

En este perfil se pueden distinguir dos grupos de sondeos, los relacionados con la restinga del marjal y los que se ubican en el entrono del abanico aluvial del río Girona. Los primeros atraviesan un nivel superficial de arenas finas de espesor variable entre 10 y 20 m y posteriormente la alternancia de niveles de limos, arenas y areniscas ya descrito en otros sondeos, que hacia el sur incluye niveles más carbonatados, de calcarenitas o calizas bioclásticas. Los segundos, por el contrario, cortan inicialmente un paquete constituido por grabas, arenas, bolos y arcilla, correspondientes al mencionado abanico aluvial y por debajo pueden correlacionarse diversos tramos de arenas y areniscas equivalentes a los del tramo alternante del primer grupo de perforaciones.

- Perfil-8:

También tiene una orientación NW-SE, y su trazado es paralelo al límite oriental del marjal, en la zona geomorfológica de backbarrier, o previa a la restinga.

La interpretación se ha realizado con los sondeos 3031-6-140; 3031-6-105; 3031-6-136; 3031-6-121; 3031-6-119 y 3031-7-105.

Los tres sondeos más septentrionales son de poca profundidad, entre 10 y 22 m, y sólo atraviesan niveles detríticos, groseros en el extremo norte y de turba y arena fina en los sondeos ubicados dentro del marjal. Las perforaciones 3031-6-121 y 3031-6-119 son más profundas y en ellas se distingue el nivel de arena fina superficial, típico de la zona del marjal o de la restinga, y el paquete de niveles alternantes de margas y arcillas con areniscas, calizas margosas y bioclásticas, infrayacente. Incluso en el sondeo 3031-6-121 se corta un paquete de yesos de casi 10 m de espesor típico de áreas en las que predomina una dinámica marino-lagunar. El sondeo 3031-7-105, que está emboquillado directamente sobre los afloramientos carbonatados de la sierra de Segaria, sólo atraviesa calizas y dolomías del Cenomaniense-Turoniense.

- Perfil-9:

Con orientación NW-SE, este perfil atraviesa la parte central del marjal e incluye las columnas de los siguientes sondeos: 3031-6-107; 3031-6-143; 3031-6-142; 3031-6-110; 3031-6-103; 3031-6-141; 3031-6-139; 3031-6-104 y 3031-6-125.

Salvo el último de ellos, situado sobre las calizas de la sierra de Segaria y que atraviesa únicamente estos materiales, el resto se ubica sobre depósitos del marjal. Todas estas perforaciones atraviesan un nivel superficial de turba de un par de metros de espesor y un paquete inferior básicamente de arena fina. Ocasionalmente la granulometría es más grosera (3031-6-142). Por debajo de las arenas existe una alternancia de niveles limoso-arcillosos con tramos de gravas y bolos en el borde septentrional, arenas y gravas, en la parte central del marjal y arenas y calizas bioclásticas en el margen más meridional del marjal. Se considera que hay una clara influencia de los relieves de la sierra de Mustalla en la mitad norte del marjal, lo que se refleja en los lentejones de gravas y cantos atravesados en varios sondeos de ese sector. En la zona central, estos lentejones presentan granulometrías más pequeñas y homogéneas, mientras que en el extremo suroriental se comprueba la presencia de diversos niveles de calizas muy bioclásticas, fruto probablemente, de la presencia en diversas épocas, de zonas constantemente sumergidas con un ambiente lagunar-marino.

Finalmente, por debajo de este tramo alternante se cortan los ya identificados en otros sondeos como conglomerados basales, más o menos arenosos y cementados y las calizas de Cenomaniense-Turoniense.

Las diferentes cotas a las que se encuentran estos niveles implican la actuación de fallas que, desde los márgenes del marjal, van hundiendo diferentes bloques tectónicos de forma escalonada.

- Perfil-10:

El trazado de este perfil, que tiene dirección NW-SE, es paralelo al margen occidental del marjal, en la zona de contacto con los depósitos relacionados con el glacis de Pego.

Sólo son cinco las columnas litológicas en las que se ha basado la correlación (3031-6-109; 3031-6-138; 3031-6-117; 3031-6-102 y 3031-6-132) y únicamente dos de ellas superan los 20 m de potencia.

Todas las perforaciones muestran un tramo superficial de turba y un pequeño nivel de arenas finas y/o limos arenosos por debajo. En la perforación 3031-6-138, de mayor profundidad, se atraviesa además, un tramo de limos carbonatados en el que se intercalan niveles de calizas margosas bioclásticas y de gravas y cantos, lo que constituye el que se ha denominado como tramo alternante intermedio. Subyacente se encuentra un paquete de 35 m de espesor de conglomerados con matriz arcillosa que se asientan sobre las calcarenitas y calizas esparíticas del Cretácico superior que aparecen a la cota de -75 m s.n.m. En el sondeo 3031-6-132, situado más al sur, por el contrario, bajo el nivel de arenas más superficial se corta un paquete de gravas y bolos relacionado con los depósitos de

ladera de la sierra de Segaria y del río Racons. Después se cortan igualmente, casi 30 m de conglomerados y se alcanzan unas calizas recristalizadas que se han atribuido al tránsito entre el Cretácico superior e inferior, a una cota aproximada de -45 m s.n.m. Esta diferencia de cotas entre los materiales del Cretácico, se interpreta como resultado del buzamiento de las capas o por la actuación de una falla de pequeño salto que hunde el bloque septentrional.

- Perfil-11:

Este perfil tiene orientación NNW-SSE y va desde la vertiente sur de la sierra de Mustalla, hasta el norte de Sagra, en la cara sur de la sierra de Segaria.

La correlación se ha realizado a partir de los siguientes sondeos: 3031-6-74; 3031-6-115; 3031-6-78 y 3032-2-110.

Sólo el sondeo 3031-6-115, ya descrito en el perfil-2, se ubica sobre materiales del marjal. Corta varios tramos de gravas, arenas y bolos, alternantes con niveles de limos carbonatados. Este paquete corresponde a depósitos del glacis de acumulación de Pego. Posteriormente se atraviesan las margas y limolitas del Tap y se alcanzan las calizas microesparíticas del Turoniense a los 115 m de profundidad.

El resto de sondeos están emboquillados sobre materiales carbonatados del Cretácico y atraviesan exclusivamente formaciones de esta edad.

- Perfil-12:

Como en el caso anterior, tiene orientación NNW-SSE. Se inicia en la perforación 3031-5-51 y sigue con los sondeos 3031-6-75, 3031-6-122, 3031-6-100 y 3032-2-113.

Los dos sondeos más septentrionales atraviesan únicamente calizas de la sierra de Mustalla y permiten establecer una fractura entre ambos que hunde el bloque sur.

Los sondeos 3031-6-122 y 3031-6-100 se asientan sobre materiales detríticos del glacis de Pego y atraviesan columnas litológicas similares. Así, tras un nivel de gravas, arenas y bolos del Cuaternario, de un espesor variable entre 15 y 25 m, se atraviesan las margas del Tap, con un espesor de 160 m en el primer sondeo y de sólo 35 m en el segundo, lo que indica la presencia de una o varias fracturas que crean un profundo graben paralelo al margen sur de la sierra de Mustalla. Por debajo de estas margas, en el sondeo 3031-6-122 se cortan 15 m de materiales brechoides con abundante arcilla, que se han atribuido a un manto de corrimiento del Keuper, mientras que en el sondeo 3031-6-100 se cortan 75 m de estas facies y después se alcanzan las calizas y dolomías del Cenomaniense-Turoniense.

Finalmente, en el extremo sur del perfil se ubica el sondeo 3032-2-113, emboquillado directamente sobre materiales de las facies Keuper, en uno de los pequeños afloramientos que jalonan la ladera norte de la sierra de Segaria y constituyen forman por ejemplo la pequeña cantera bajo el Tossal de la Gavilana. Por debajo se cortan más de 150 m de margas del Mioceno antes de alcanzar las calizas y dolomías del Cretácico.

- Perfil-13:

Con orientación NNW-SSE es el más occidental de todos y va desde la cara norte de la sierra de Mustalla, pasando por el este de Pego hasta el barranco del Castelló. Incluye las siguientes columnas estratigráficas: 3031-5-46; 3031-5-48; 3031-6-133; 3031-6-129 y 3032-2-48.

Los dos sondeos más septentrionales únicamente perforan materiales carbonatados cretácicos.

Los sondeos 3031-6-133 y 3031-6-129 cortan series similares. El primero se inicia con 10 m de gravas, cantos y bolos con arcillas del glacis de Pego pero después ambos atraviesan las margas del Tap, con espesores de 220 y 106 m respectivamente lo que se justifica mediante la existencia de la fosa tectónica paralela a Mustalla, ya mencionada con anterioridad. Por debajo, y al igual que en el perfil-12, aparecen materiales plásticos del Keuper asociados a mantos de corrimiento y después las calizas y dolomías del Cenomaniense-Turonense.

15.4.1. IDENTIFICACIÓN DE NIVELES PERMEABLES

A partir de las correlaciones realizadas se han diferenciado diversos conjuntos litoestratigráficos permeables en el entorno del marjal de Pego-Oliva, cuya relación hidrogeológica se trata en apartados posteriores.

Dentro de los materiales del Pliocuaternario se cortan de techo a muro los siguientes niveles acuíferos:

- Nivel de arena fina superficial (AS). Este paquete detrítico aflora en toda la franja oriental del área de estudio, constituye el cuerpo sedimentario que cierra las lagunas y albuferas (restinga), e incluye la playa (foreshore), las dunas, las golas y la parte interior de la restinga (backbarrier). Hacia el oeste, este nivel queda cubierto por los depósitos de turba típicos de la zona húmeda y finalmente se interdigita con los materiales más groseros del glacis de Pego.

Los mayores espesores se presentan en la zona este (línea de costa), con paquetes que pueden superar los 20 m (3031-6-113, 3031-6-114). Más al oeste el espesor no

suele superar los 10 m, sobre todo bajo los depósitos de turba en donde la potencia media de este nivel de arenas ronda los 7 m.

La cota del nivel piezométrico en este acuífero oscila habitualmente entre 0,8 y 1 m de los meses húmedos a los secos. A partir de las medidas realizadas en el sondeo 3031-6-120, la cota piezométrica en septiembre de 2006 se situó a $-0,83$ m s.n.m., mientras que en febrero de 2007 se encontraba a $-0,05$ m s.n.m.

- Conjunto multicapa intermedio (MI). Por debajo de las arenas aparece un tramo compuesto por limos y margas en el que se intercalan, en algunos casos de forma muy predominante, niveles lenticulares de arenas, areniscas, gravas y cantos o incluso paquetes carbonatados bioclásticos, que constituyen en conjunto un acuífero multicapa.

Su génesis está notablemente influenciada tanto por la proximidad a los relieves mesozoicos, que aportan los elementos más groseros, como por la dinámica litoral, que puede generar áreas inundadas durante largas épocas, en las que se dan procesos de precipitación de carbonatos o sales.

La relación con el glacis de acumulación de Pego es considerable, de forma que se considera que éste forma parte del denominado acuífero multicapa al interdigitarse en la serie margosa bajo el marjal. Debido a esta morfología lenticular, son muy frecuentes los cambios laterales de facies, tanto en la vertical como en la horizontal y la existencia de niveles permeables con diferentes cargas hidráulicas y características químicas. Así, en el sector más septentrional y occidental del marjal, la influencia de la sierra de Mustalla y del glacis es notable y los lentejones detríticos presentan granulometrías groseras (gravas, cantos y bolos); en la zona central del marjal estos lentejones son de arenas o arenas y gravas, mientras que en el extremo suroriental, se comprueba la presencia de diversos niveles de calizas muy bioclásticas o incluso niveles de sales (yesos), originados en ambientes deposicionales de tipo lagunar-marino. Ejemplos claros de estos tipos de niveles aparecen en los sondeos 3031-6-143, 3031-7-107 o 3031-6-119.

La potencia total de este tramo puede superar los 100 m de espesor, aunque son más habituales grosores del orden de 60 m.

El hecho de existir diversos niveles permeables embutidos en una matriz margosa posibilita la existencia, como se ha dicho, de piezometrías variadas. No obstante, a partir de las medidas realizadas en el sondeo 3031-6-116 (PDGEST-5b) se puede establecer grosso modo el nivel piezométrico medio del acuífero multicapa y el intervalo

de oscilación estacional. El nivel más bajo se ha medido en septiembre de 2006 con una cota de 0,99 m s.n.m. y el más alto en febrero de 2007 con 1,53 m s.n.m.

- Conglomerado basal (CB). Bajo el paquete alternante anterior se encuentra un conjunto conglomerático, más o menos cementado, constituido por cantos y gravas redondeados y matriz arcillosa o areno-arcillosa.

Aparece básicamente en la vertical de la actual zona húmeda. Se adapta a la morfología del basamento y por ello puede superar en algunos sectores, coincidentes con fosas tectónicas, los 100 m de espesor (3031-6-141), aunque son más habituales potencias de 30 o 40 m.

Hidráulicamente está relacionado con las calizas cretácicas sobre las que suele asentarse, por lo que con frecuencia los sondeos que alcanzan o atraviesan este tramo son surgentes (3031-6-117, 3031-6-141 y 3031-6-142) al recibir aportes hídricos con mayor carga hidráulica procedentes de los acuíferos carbonatados.

- Finalmente se puede establecer un cuarto nivel permeable, acuífero mesozoico (AM), que sería el constituido por dichas formaciones carbonatadas, compuestas por calizas esparíticas y brechoides, de edad cretácica.

Estos materiales se encuentran a gran profundidad en el tercio oriental del área de estudio (franja costera), en donde no se han cortado en sondeos con profundidades próximas a los 200 m (3031-6-141 o 3031-6-121). Más al interior, en función de la tectónica, las cotas de techo del basamento cretácico son muy variadas. Pueden llegar a aflorar constituyendo pequeños islotes carbonatados en medio de los depósitos cuaternarios, como son los afloramientos de Casa d'Abat o el Tossal de Les Mondes, o hallarse a diferentes profundidades, desde los – 44 m s.n.m. del sondeo 3031-6-132, pasando por los –112 m s.n.m. de la perforación 3031-6-142, hasta los – 252 m s.n.m. del sondeo 3031-6-133.

Este nivel permeable puede encontrarse, como ya se ha comentado, directamente bajo el conglomerado basal pliocuaternario (3031-6-117, 3031-6-132, 3031-6-142), sin embargo, en la mayor parte del territorio queda separado de los horizontes pliocuaternarios por una formación margosa miocena de carácter impermeable o, en el área suroccidental, por materiales plásticos atribuidos a las facies Keuper (3031-6-100, 3031-6-129, 3031-6-133).

El sondeo 3031-6-115 (PDGEST-5a) ha permitido determinar el nivel piezométrico de las calizas del Turoniense existentes bajo los depósitos pliocuaternarios, ya que se ha acondicionado con tubería rajada únicamente en el tramo en el que se cortaron

materiales de esta edad. La oscilación de la piezometría entre los meses más húmedos y los más secos es de 0,4 m, así, en mayo de 2006 el agua se encontraba a una cota de 1,85 m s.n.m., mientras que tras el verano, en octubre del mismo año, el nivel se situaba a 1,42 m s.n.m.

15.5. CORTES HIDROGEOLÓGICOS

Para completar el análisis de la disposición de los materiales en el área de estudio se han realizado seis cortes hidrogeológicos identificados con letras de la A a la F.

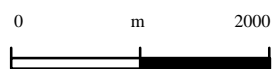
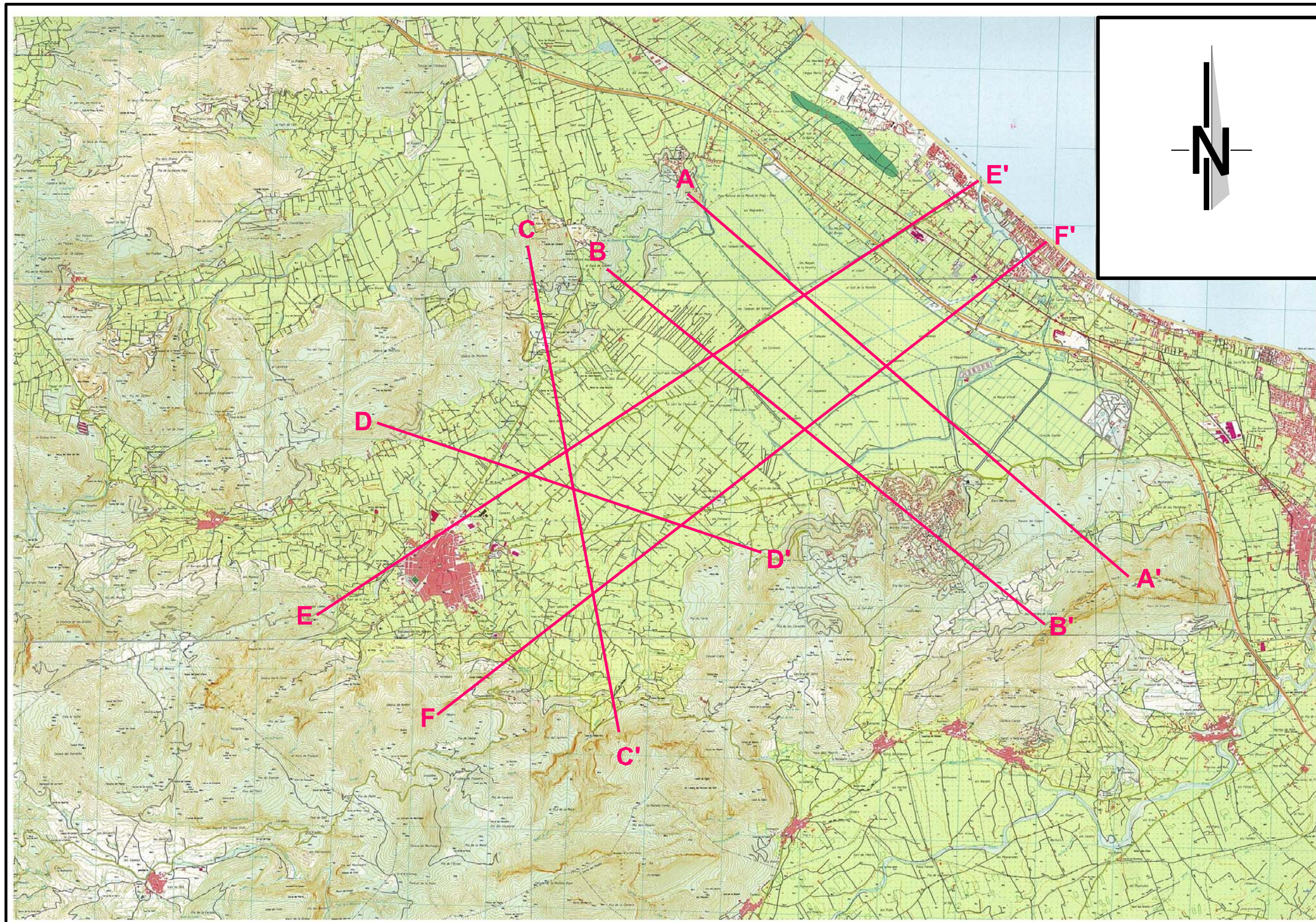
A continuación se describen de forma individualizada:

- **Corte A-A':**

Tiene orientación NW-SE, es el más próximo a la línea de costa y paralelo a la misma. Se inicia en el extremo septentrional de la sierra de Mustalla, en el pico de Rincón, cerca del manantial de Font Salada, atraviesa el marjal y finaliza en lo alto de la sierra de Segaria.

La interpretación hidrogeológica ha tenido en cuenta toda la información disponible, tanto las columnas litológicas de los sondeos próximos al perfil como datos geofísicos.

En el tercio septentrional los materiales pliocuaternarios están compuestos por arenas, gravas y cantos con arcilla y la presencia de algún lentejón limoso. En la parte central del corte, bajo el nivel arenoso y de turba superficial, propios de la zona húmeda, predomina una formación limosa en la que ocasionalmente se intercala un nivel de escaso espesor y continuidad, de arena. Por debajo, ajustándose al basamento Cretácico, se encuentra un nivel de gravas, cantos y arcilla. En el margen sur, las calizas cretácicas y los materiales del Mioceno, constituyen la ladera norte de la sierra de Segaria, en la que llegan a aflorar retazos del Keuper que constituyen las superficies de despegue de varios cabalgamientos de la zona y fuerzan el plegamiento de los materiales terciarios hasta llegar a invertir la serie en el flanco sur del sinclinal de Pego.



A — A' PERFIL DEL CORTE HIDROGEOLÓGICO

FIGURA 16: CORTES HIDROGEOLÓGICOS

- Corte B-B':

Presenta igual orientación que el anterior (NW-SE) aunque se sitúa algo más al oeste, de forma que atraviesa perpendicularmente la zona central del marjal.

En este caso la interpretación realizada permite apreciar con claridad la estructura fallada del basamento cretácico, que en este sector se encuentra a menor profundidad y presenta continuidad entre las sierras de Mustalla, al norte, y Segaria, al sur.

En la mayor parte del área del marjal aparecen las margas impermeables del Mioceno entre el acuífero carbonatado inferior y los niveles permeables del Pliocuaternario, por lo que sólo en los márgenes del marjal, existe conexión hidráulica entre las sierras cretácicas y los depósitos detríticos más modernos.

- Corte C-C':

La orientación de este corte es N-S y atraviesa perpendicularmente el glacis de Pego, desde el alto de El Castellar, en la sierra de Mustalla, hasta el barranco del Castillo, en la cara norte de la de Segaria.

Gracias a los sondeos 3031-6-33 y 3031-6-29, se ha deducido la existencia de dos amplias fosas tectónicas rellenas por las margas del Tap. Entre estas margas y las calizas cretácicas, que se sitúan a 280 y 257 m de profundidad respectivamente, existe un paquete de material arcilloso y brechoide que se ha interpretado como perteneciente a las facies Keuper, de forma que constituye una superficie de despegue de un cabalgamiento profundo. Esta idea se sustenta por la presencia de afloramientos de las arcillas yesíferas del Keuper en varios puntos de la sierra de Segaria, que constituyen los frentes de varios cabalgamientos imbricados que originan repeticiones de serie de las calizas cretácicas en una misma vertical, tal como se puede observar en el sector del Castell d'Ambrà.

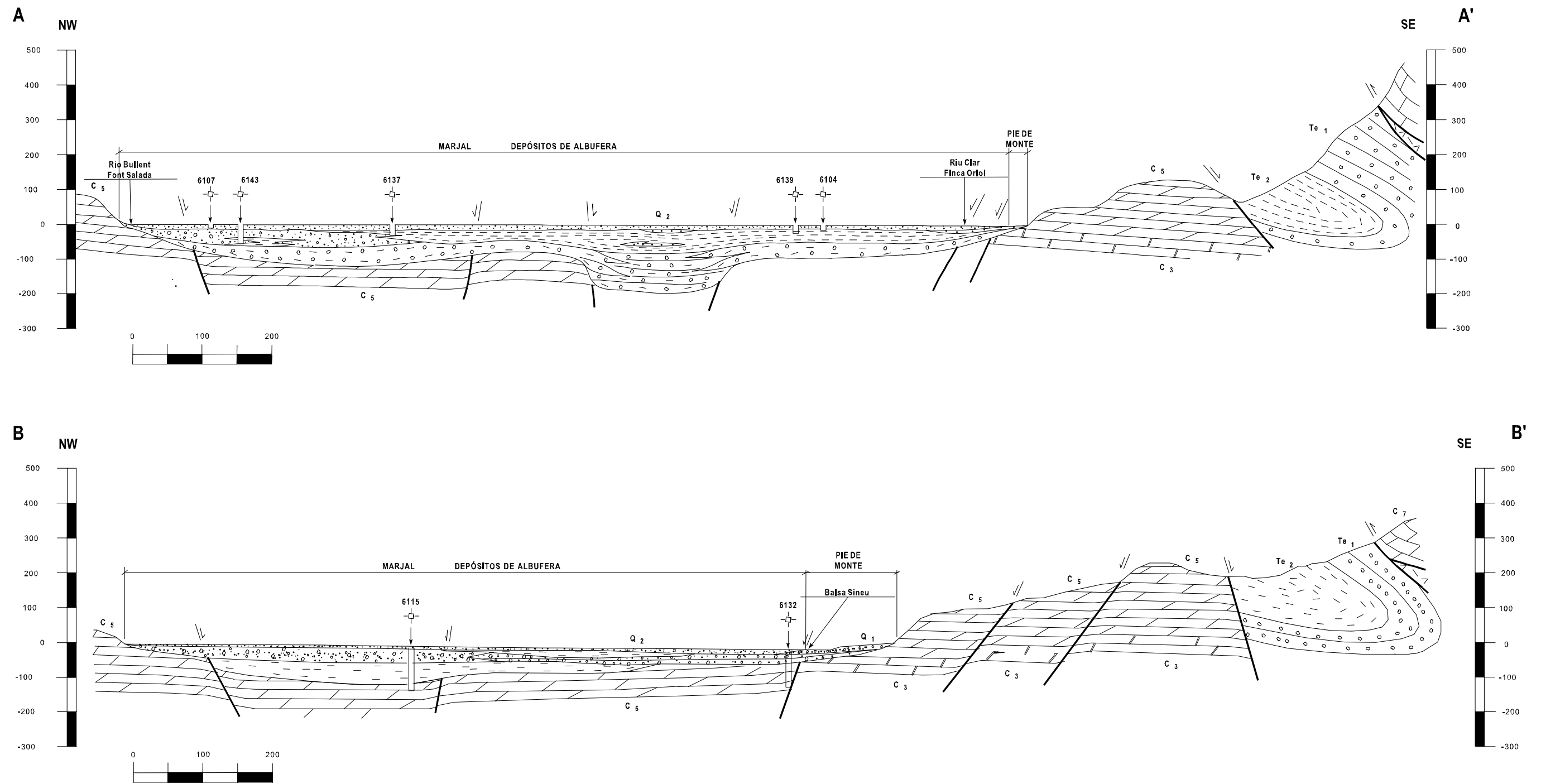


Figura nº 17 : cortes hidrogeológicos A-A' y B-B'

- Corte D-D':

Este corte, con una orientación WNW-ESE permite analizar la estructura tectónica del área en el entorno del glacis de Pego pues se inicia en la falda meridional del alto de la Creu de Mustalla y termina en el paraje conocido como la Ombría del Moro, en la cara norte del Tossal del Moro. Como en el corte anterior, la interpretación se fundamenta básicamente en las columnas de dos sondeos de gran profundidad, el 3031-6-33 y el 3031-6-100, de 405 y 250 m cada uno, aunque también se ha utilizado el sondeo 3031-6-78, que se situaba sobre calizas cretácicas de la sierra de Segaria, pero que recientemente ha sido destruido por la construcción de una urbanización.

Las dos cuencas tectónicas descritas en el corte C-C' son igualmente identificables en éste, así como la presencia de los materiales plásticos del Keuper entre las calizas y las margas del Tap.

La conexión hidráulica en profundidad entre los niveles carbonatados que constituyen ambas sierras, la de Mustalla al norte y la de Segaria al sur, no es clara, por lo que probablemente esta estructura escalonada y de continuos saltos condicione considerablemente la circulación de las aguas subterráneas que se producirá preferentemente a través de "pasillos tectónicos", tal como se comenta en apartados posteriores.

- Corte E-E':

Es el primero de los dos cortes que atraviesan longitudinalmente el área de estudio. Presenta así, dirección SSW-NNE. Se inicia al oeste de Pego y alcanza la línea de costa a la altura de la desembocadura del río Racons. Las principales columnas litológicas que han permitido la interpretación del mismo son las de los siguientes sondeos: 3031-5-45; 3031-6-133; 3031-6-122; 3031-6-115; 3031-6-142 y 3031-6-121.

Este corte permite observar la relación de los materiales cuaternarios del glacis y del marjal entre sí, basándose en interdentaciones y morfologías lenticulares, y con las calizas y dolomías del Cretácico. Mientras en el área occidental no existe conexión entre los niveles detríticos superficiales y las calizas cretácicas, debido a la presencia de un potente tramo impermeable de margas miocenas y arcillas triásicas, en la mitad oriental, coincidente con el entorno propiamente dicho del marjal, el desarrollo de los depósitos cuaternarios es considerable y se pueden diferenciar diversos tramos acuíferos distintos englobados entre masas margosas. En este ámbito geográfico, únicamente parece existir conexión hidráulica directa entre el Pliocuatnario y el Mesozoico, aparte de en las zonas que bordean los relieves carbonatados, en una estrecha franja delimitada por el afloramiento de Les Mondes, al suroeste, y el manantial de El Solinar, al noreste. En este sector, se desarrolla un nivel conglomerático basal, perteneciente al Pliocuatnario, el denominado CB, que se

sitúa directamente sobre las calizas Cenomanienses y que al ser perforado origina sondeos surgentes. Un claro ejemplo de este fenómeno es el sondeo PDGEST-6b (3031-6-117). Más al este se produce un hundimiento generalizado del sustrato lo que origina una importante fosa que se encuentra rellena de materiales fundamentalmente margosos del Pliocuatnario. En este sector únicamente se han cortado mediante sondeos, los niveles detríticos permeables más superficiales, constituidos por las arenas finas de la restinga (AS) y otros niveles areniscosos y/o carbonatados intermedios (MI), todos ellos de escaso espesor y probable morfología lenticular.

- Corte F-F':

Al igual que el anterior presenta dirección SSW-NNE. Se inicia al sur de Pego y alcanza el mar a la altura de la urbanización Santa Ana.

La interpretación se realiza básicamente a partir de las columnas litológicas de los sondeos 3032-1-27; 3031-6-129; 3031-6-132; 3031-6-141 y 3031-6-119.

En este corte destaca la presencia en la mitad occidental de varios cabalgamientos que originan repeticiones de serie. El afloramiento cretácico de Les Mondes, que constituye una pequeña isla entre los depósitos cuaternarios del marjal, ha facilitado la interpretación de la disposición tectónica en este sector. Una serie de cabalgamientos imbricados desarrollados a favor de superficies de despegue plásticas en facies Keuper, ocasionan el solape de diferentes cuñas cretácicas y ejercen un empuje local hacia el norte y noreste de las estructuras del área. Esta dinámica es consecuencia del comportamiento tectónico regional del dominio del Prebético externo, concretamente de la unidad morfoestructural del Prebético de Onteniente-Dénia, en donde son muy frecuentes las escamas fuertemente imbricadas y los relieves elevados que se corresponden con antiformas de dirección SW-NE.

En profundidad se ha interpretado que existe uno de estos frentes de cabalgamiento, oculto bajo el recubrimiento Cuaternario y Mioceno, y que es el que origina el denominado afloramiento de Les Mondes.

Hacia la costa se evidencia la disposición escalonada del sustrato y su progresivo hundimiento, tal como se ha comentado en el corte E-E'.

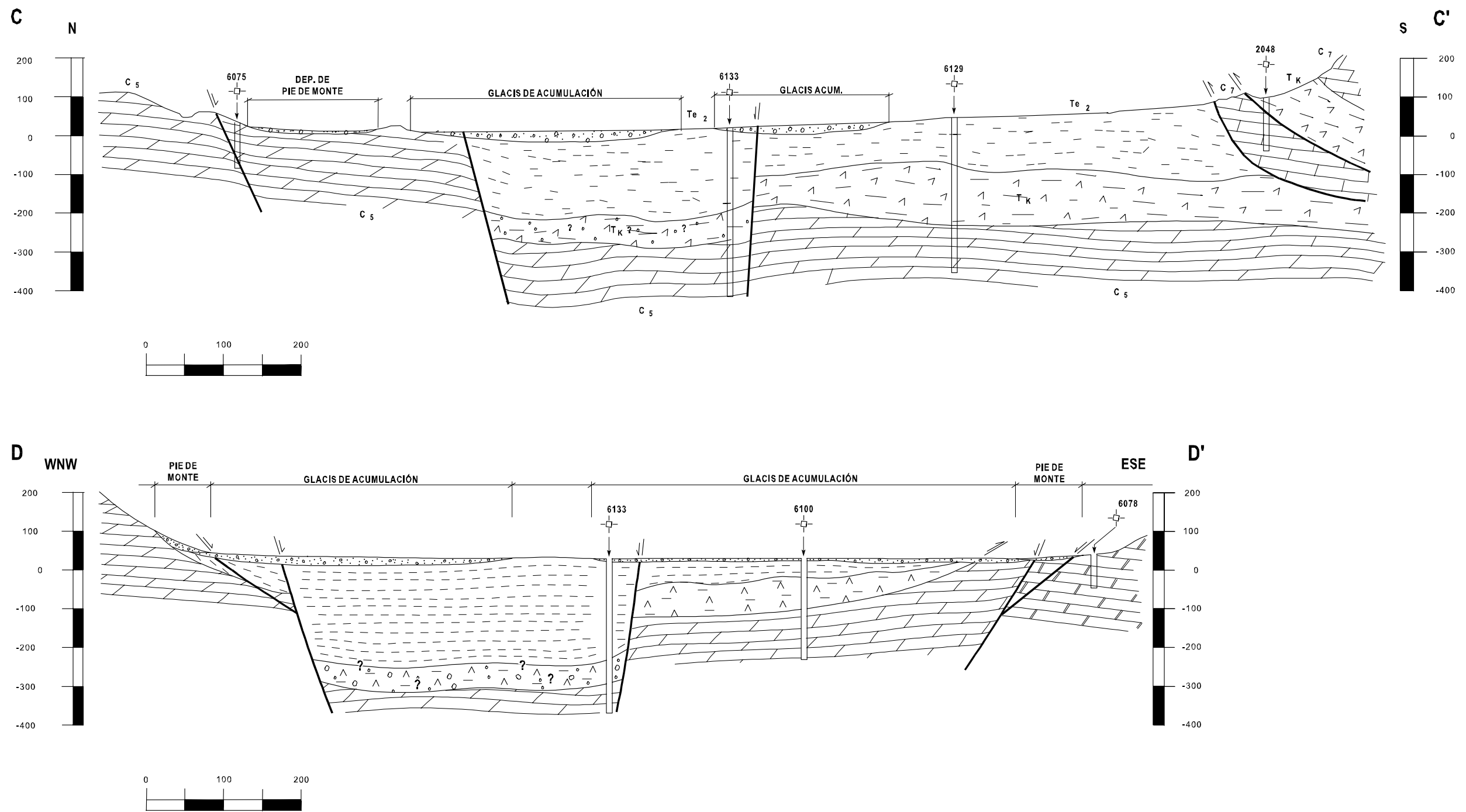


Figura nº 18 : cortes hidrogeológicos C-C' y D-D'

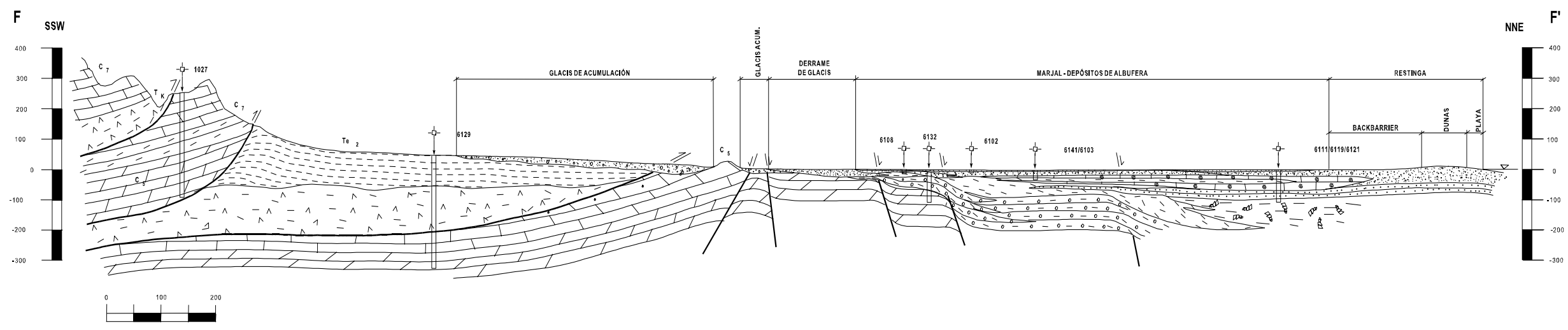
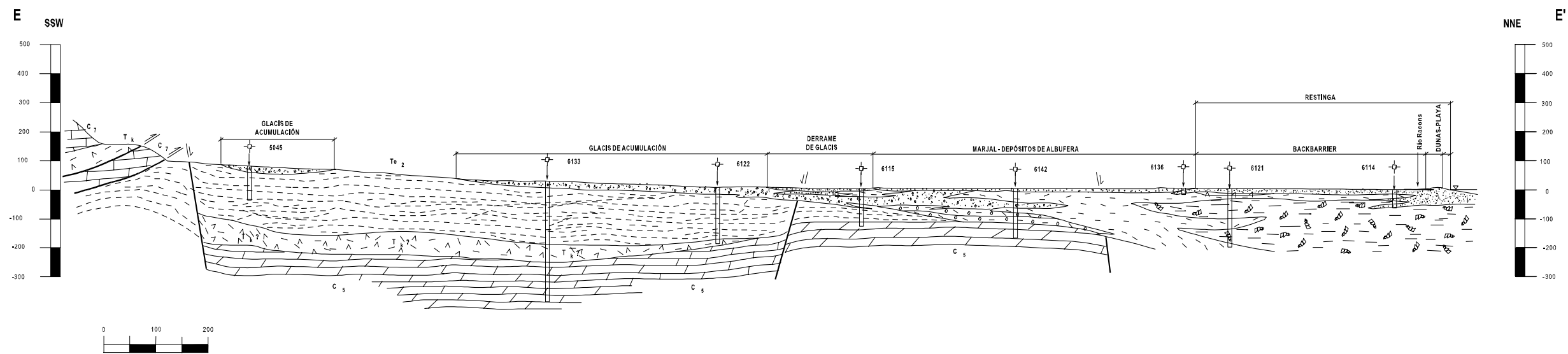


Figura nº 19 : cortes hidrogeológicos E-E' y F-F'

15.6. ANÁLISIS DE LA DISPOSICIÓN DE LOS MATERIALES

Una vez desarrollados los apartados anteriores, se puede establecer la distribución espacial de los distintos grupos litológicos diferenciados. Con objeto de facilitar la comprensión de esta disposición se ha dividido la zona de estudio en tres sectores, de oeste a este son:

- Sector del glacis de Pego:

Se desarrolla en el entorno de la localidad de Pego y abarca la zona de influencia de los depósitos del glacis de acumulación. En profundidad coincide con un área de tectónica compleja en la que el sustrato mesozoico se encuentra hundido y donde la actuación de fallas inversas a favor de materiales plásticos del Keuper y del Mioceno provoca acuíferos y repeticiones de serie.

La columna litológica tipo en este sector se divide en cuatro tramos litológicos, dos permeables, situados respectivamente a techo y muro y dos impermeables intermedios. En superficie están las gravas, cantos y arcillas del glacis cuaternario. Por debajo, aunque también aflorantes en varias zonas, las margas del Tap. Posteriormente las arcillas y brechas triásicas (superficie de despegue de los cabalgamientos) y como acuífero profundo las calizas y dolomías del Cretácico.

No existe, por tanto, conexión directa entre los dos tramos permeables.

- Sector de solape glacis-marjal.

Se ha diferenciado este sector por sus peculiares características hidráulicas, ya que en él se produce conexión directa entre el acuífero mesozoico y los niveles permeables del Pliocuatnario. En profundidad y en áreas centrales del marjal, están en contacto las calizas cretácicas con los conglomerados basales (CB) pliocuatnarios. Esta disposición origina que las perforaciones que alcanzan uno o los dos acuíferos mencionados sean generalmente surgentes (Ver foto del sondeo PDGEST-6B adjunta). En las áreas de borde las calizas subyacen bajo las arenas de la restinga y permiten la transferencia de recursos hacia las mismas directamente o a través de diversos coluviones y pies de monte.

La columna tipo comprende básicamente los materiales del Pliocuatnario, de naturaleza permeable en la mayor parte del área y las calizas miocenas inferiores.

- Sector marjal-costa.

Finalmente en el tercio oriental del área de estudio es donde se desarrollan con mayor claridad y potencia los niveles permeables diferenciados dentro del Pliocuatnario.

La profundidad a la que se encuentra en este sector el sustrato mesozoico se desconoce con exactitud ya que no se cuenta con sondeos que lo alcancen ni con otros registros indirectos que determinen su presencia.

Este sector se caracteriza por el gran desarrollo de los depósitos de limos y margas bajos los tramos permeables más superficiales.

En esta franja paralela a la costa se produce una diferenciación espacial de los depósitos, de forma que, al norte predominan los terrígenos groseros con intercalación de niveles limoso-margosos, en la zona central las margas tienen un papel predominante, mientras que al sur, se pueden diferenciar de techo a muro los siguientes tramos: un nivel superficial de arenas finas, un tramo margoso en el que aparecen intercalados niveles de cierta continuidad de areniscas e incluso carbonatados y por debajo un potente paquete de margas grises con restos de conchas.



SONDEO SURGENTE PDGEST-6B (3031-6-117)

15.6.1. ISOBATAS DEL CUATERNARIO

La profundidad de la base de los materiales del Pliocuatnario en la zona de estudio aumenta progresivamente de SW a NE, es decir, hacia la línea de costa. Refleja tres alteraciones importantes, que coinciden con bloques tectónicos del basamento situados a diferentes cotas. Así, estos materiales más modernos se ajustan “grosso modo” a las tres áreas en las que se ha dividido el sector en el apartado anterior. El espesor de los materiales cuaternarios en el entorno del glacis de Pego es del orden de 5 a 20 m., aunque disminuye, hasta desaparecer, alrededor de los afloramientos cretácicos de Les Mondes y Casa d’Abat. Por el contrario, hacia el este, se producen dos saltos, paralelos a la línea de costa, en donde la profundidad de la base del Pliocuatnario aumenta bruscamente. De esta forma, en la zona de confluencia entre el marjal y el glacis de Pego, se pasa de profundidades de la base del Pliocuatnario de 40 m a más de 115 m. Más al ENE, en la franja costera, donde se sitúa la barra arenosa (restinga)

que cierra el marjal, el espesor de estos materiales supera los 200 m, sin que se conozca con exactitud el muro de los mismos.

15.6.2. ISOBATAS DEL MIOCENO

La profundidad de la base del Mioceno únicamente ha podido ser determinada en la mitad occidental del marjal.

En esta zona se definen con claridad dos sectores alargados, paralelos entre sí y perpendiculares a su vez, a la línea de costa, que guardan una notable relación con la disposición del substrato mesozoico infrayacente. Bajo la localidad de Pego y a lo largo de una franja alargada paralela a la sierra de Mustalla, el substrato origina una fosa tectónica rellena por las margas del Tap, en la que su base se sitúa a unos 280 m de profundidad.

En el bloque sureste por el contrario, el Mioceno se ve afectado por los materiales plásticos del Keuper que constituyen un frente de cabalgamiento en profundidad. Aquí, la profundidad de la base del Terciario disminuye de SW a NE desde 100 m a la superficie.

15.6.3. ISOBATAS DEL TECHO DEL MESOZOICO

Las isobatas del techo del Mesozoico coinciden con las de la base del Terciario en la franja NW de la zona de estudio (fosa tectónica paralela a la sierra de Mustalla), sin embargo, en la mitad SW del marjal, la presencia de materiales triásicos del Keuper en profundidad, hace que las calizas cretácicas se encuentren a profundidades en torno a los 100 m, o que incluso afloren en medio del marjal (Les Mondes, Casa d'Abat).

15.7. ESQUEMA TECTÓNICO

Todos los análisis realizados en los apartados anteriores permiten establecer un esquema tectónico del área de estudio que evidencia su gran complejidad y que demuestra, a su vez, que cuanto mayor es el número de datos e información correlacionable, más ajustada puede ser la interpretación a la realidad.

De igual forma se confirma, como se verá en apartados posteriores, la gran relación existente entre la disposición espacial de los materiales, la estructura del basamento y la hidrodinámica general de los acuíferos implicados.

15.7.1. REINTERPRETACIÓN DEL ESQUEMA TECTÓNICO

Del análisis estructural general realizado en el apartado nº 5 (figura nº 4), en donde se comenta la existencia de tres familias de fracturas, con dirección WSW-ENE, NNW-SSE y N-S

respectivamente, que compartimentan la cuenca en pasillos prácticamente perpendiculares a la línea de costa, divididos a su vez en subbloques, tras el análisis detallado de toda la información disponible, la reinterpretación realizada refleja una nueva disposición general de los bloques principales y una subdivisión más pormenorizada de los mismos.

- Los bloques periféricos.

Su disposición y estructura se ha mantenido prácticamente igual a la mostrada en el esquema previo (figura nº 4).

El bloque A, correspondiente al abanico aluvial del río Girona se ha modificado mínimamente con objeto de reflejar la curvatura ejercida por la tectónica en el extremo oriental de la sierra de Segaria.

El bloque C (Rambla Gallinera), el D (Sierra de Mustalla) y el bloque E (Vall de Ebo) no han sufrido modificaciones.

- Los bloques interiores.

Son los que constituyen el sustrato real del área de estudio, donde la mayor información disponible ha permitido una subdivisión de los mismos.

De esta forma, los bloques originales B y F se han convertido en tres bloques paralelos a la línea de costa. El bloque F, el más occidental, se corresponde con la zona sobre la que se asienta el glacis de Pego. Se trata de un bloque hundido respecto al resto de estructuras circundantes. Se divide en dos subbloques, el F1, al sur, en donde se ha interpretado la presencia de un frente de cabalgamiento sobre materiales del Keuper, y el F2, al norte, todavía más hundido, lo que permite que se acumulen notables espesores de materiales plásticos del Mioceno.

En el sector medio del marjal, el denominado sector de solape glacis-marjal, se ha definido un nuevo bloque, el H, que conforma una elevación entre el bloque G, al oeste y el B al este. Este bloque, se ha sido dividido en tres subbloques, si bien, podría incluso subdividirse en alguno más. La presencia en este sector de afloramientos miocenos, cuaternarios y cretácicos aislados, que implican interdigitaciones entre las diferentes litologías y diferentes conexiones de los tramos acuíferos, permite varias interpretaciones. Se considera, no obstante, que la expuesta aquí además de ser acorde con la realidad refleja considerablemente la idea de complejidad existente. El subbloque H1, el más elevado de los tres, aunque con diversos escalones, incluye los afloramientos carbonatados de Les Mondes y Casa Abad. El subbloque H2, situado al norte del anterior, constituye, junto con el subbloque F2, un pasillo hundido (fosa) paralelo a la sierra de

Mustalla. También se ha diferenciado un subbloque H3 que presenta a su vez dos zonas deprimidas a modo de escalones.

Finalmente en la zona entre el límite del marjal y la costa se establece un bloque B que por falta de información no ha sido dividido en subbloques. Ninguna de las columnas litológicas de sondeos realizados en esta zona alcanza la base de los depósitos del Pliocuaternario, que presentan un notable espesor. De esta forma, la falla con dirección N-S que hunde el bloque oriental debe tener un salto considerable.

En la siguiente figura nº 20 se pueden comprobar las modificaciones realizadas.

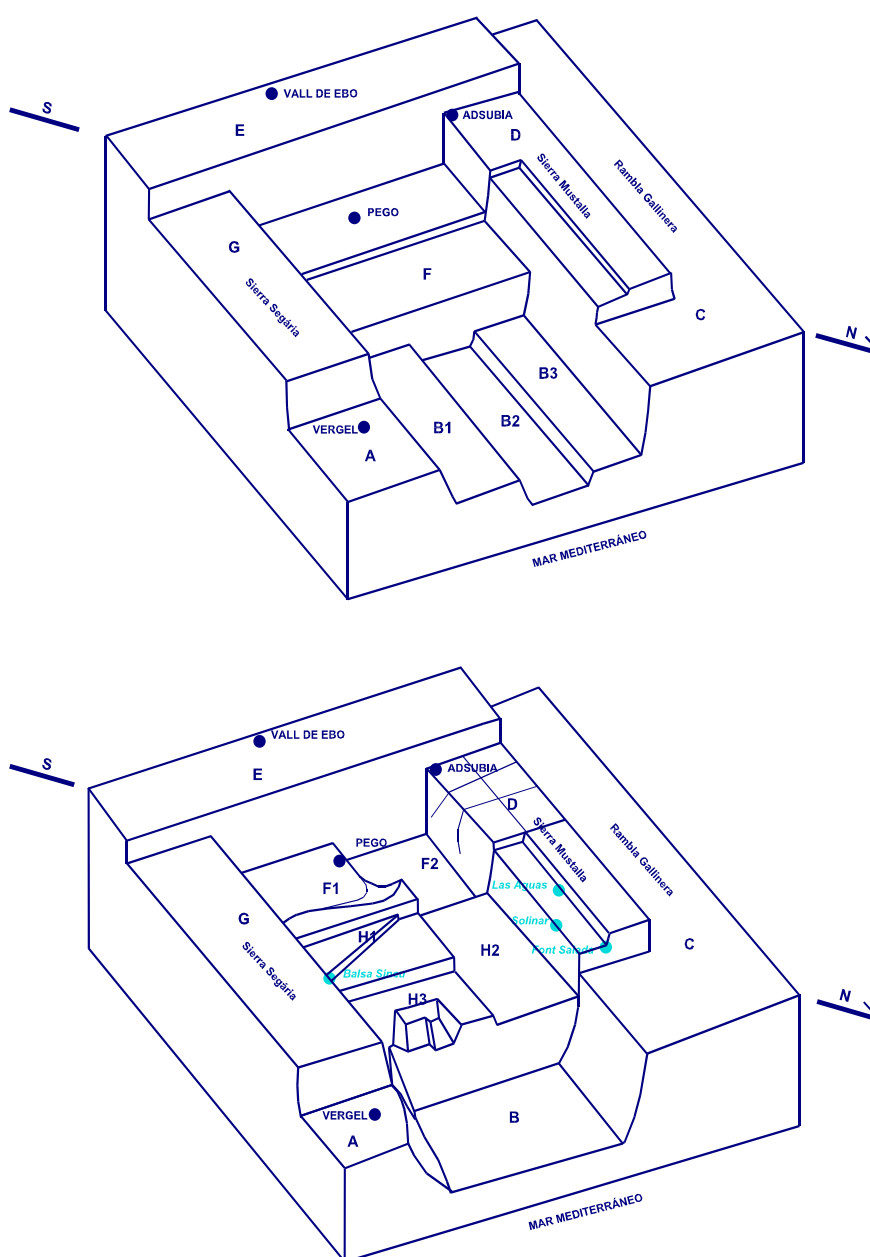


Figura nº 20: comparativa entre el esquema estructural previo al estudio y el definido tras el análisis de toda la información disponible

En el nuevo esquema se muestra además la ubicación de los principales manantiales de la zona, los que drenan las calizas del acuífero de la sierra de Mustalla (manantial de Las Aguas, Solinar y Font Salada) y los que están relacionados con el acuífero de la sierra de Segaria (manantial de Balsa Sineu).

16. ANÁLISIS HIDRODINÁMICO

Durante la ejecución de este proyecto y como parte fundamental del mismo se ha recopilado información referente a la piezometría del área de estudio, tanto datos históricos (desde 1973), como a partir de campañas mensuales de toma de datos iniciadas en julio de 2005.

Tal como se ha explicado en el apartado correspondiente, la red de piezometría se compone de 56 puntos de medida entre sondeos, pozos, cursos de agua superficiales y manantiales, aunque algunos de ellos se han desestimado a la hora de establecer correlaciones por corresponder a niveles dinámicos o existir errores en la medida.

16.1. PIEZOMETRÍA DE LOS DISTINTOS NIVELES ACUÍFEROS

Los datos de piezometría se han agrupado en cuatro campos:

- niveles del acuífero carbonatado de la sierra de Mustalla
- niveles del acuífero carbonatado de la sierra de Segaria
- niveles pertenecientes al acuífero carbonatado pero que por su ubicación en el entorno del marjal o bajo el glacis de Pego no se pueden asociar directamente con ninguno de los dos acuíferos anteriores
- niveles correspondientes a los diferentes tramos permeables del Pliocuaternario

A continuación se analizan estos acuíferos de forma individual y se relacionan también entre sí para establecer el grado de conexión entre los mismos.

Se toman como referencia los datos correspondientes al intervalo comprendido entre abril de 2006 y abril de 2007.

16.1.1. PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE MUSTALLA

Para el intervalo indicado, coincidente con un periodo de escasas precipitaciones, la piezometría presenta los niveles más altos entre febrero y abril y los mínimos, algo retrasados respecto a los meses habituales, que serían en septiembre-octubre y que en este caso se marcan entre octubre y noviembre.

La variación interanual oscila entre 5 y 8 m en el interior y 1 y 1,3 m en el extremo oriental, próximo a la costa. Así, por ejemplo, la cota piezométrica el 20 de febrero de 2007 se situaba en 32,22 m s.n.m. en el sondeo 3031-5-29, ubicado en la cara norte de la sierra de Mustalla a escasos 2 km al este de la localidad de Forna, mientras que en el sondeo 3031-6-10 (SAT Bullentó) la cota era de 4,67 m s.n.m. Por su parte, en la época de mínimos, las cotas

piezométricas fueron de 27,8 m s.n.m. en el sondeo 3031-5-29 (27-10-2006) y de 3,88 m s.n.m. en el sondeo 3031-6-10 (26-10-2006).

El flujo subterráneo muestra una dirección clara WSW-ENE hacia la costa, con un gradiente hidráulico del 5 ‰ en la época húmeda y del 4,8 ‰ en la de aguas bajas.

16.1.2. PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO DE LA SIERRA DE SEGARIA

Si bien el subsistema Sierra de Segaria comprende los acuíferos de Almudaina-Alfaro-Segaria y el de Mediodía, el estudio se centra en el primero de ellos y concretamente en su extremo más nororiental, por ser el sector directamente relacionado con el marjal de Oliva-Pego.

Como nota aclaratoria se comenta que el acuífero de Mediodía, situado al sur del anterior, está constituido fundamentalmente por afloramientos del Senoniense. Presenta sus principales puntos de descarga hacia la cuenca del río Girona (manantiales de La Bolata, de Sagra y de La Cava). La piezometría en esta zona (alrededores de Sagra) ronda la cota 100 m s.n.m. (99,36 m s.n.m. en el sondeo 3032-2-110 en febrero de 2007).

Por su parte, el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria, drena parte de sus recursos a la cubeta pliocuaternalia del marjal de Pego-Oliva, además de aportar la mayor parte del volumen de agua del río Racons, a través del manantial de Balsa Sineu o de los bombeos de la finca agrícola Rincón del Rosario. Por todo ello, la relación de este acuífero con la zona húmeda es considerable.

Como ya se ha comentado en el apartado nº 10 “Encuadre Hidrogeológico Regional”, el acuífero está constituido por materiales carbonatados principalmente del Cenomaniense-Turoniense. No obstante, en áreas interiores, como en los alrededores de La Vall de Ebo, existen varios sondeos que captan recursos de los niveles carbonatados del Coniaciense-Santoniense, que se encuentra separado del acuífero inferior por la presencia de niveles margosos y margocalizos alternantes del techo del Turoniense.

La piezometría del acuífero profundo (Cenomaniense-Turoniense) se puede relacionar con la de diversos sondeos perforados sobre los materiales pliocuaternalios del marjal, pero que alcanzan en profundidad niveles carbonatados.

Las líneas isopiezas se amoldan a las estructuras, sobre todo a las que constituyen el límite meridional, entre los acuíferos principales de Almudaina-Alfaro-Segaria y Mediodía.

En el entorno del marjal, en su zona más occidental, el nivel piezométrico alcanza máximos en torno a los 8-9 m s.n.m. (8,62 m s.n.m. en el sondeo 3031-6-95 en feb-07), mientras que en el

extremo oriental se observan valores negativos, debido a los bombeos realizados en la finca Rincón del Rosario (-0,31 m s.n.m. en el sondeo 3031-6-7, también en febrero del año 2007).

La dirección principal del flujo subterráneo es SW-NE, hacia la costa, aunque en el entorno del mencionado punto de bombeo de Rosario, el flujo está alterado y presenta dirección S-N.

El gradiente hidráulico en áreas interiores del acuífero se sitúa sobre el 8 ‰, mientras que se suaviza en las zonas próximas a las áreas de descarga, donde es del orden del 3 ‰.

Al sur y suroeste de Pego, en las faldas de los altos de Bodoix y La Creu, existen varios sondeos que marcan piezometrías que tradicionalmente se han asociado al acuífero general, pero que podrían no guardar una relación tan estrecha con el mismo. Se trata de sondeos que se encuentran sobre frentes de cabalgamiento y captan niveles permeables, probablemente también del Cenomaniense-Turonense, pero que podrían estar desconectados de los tramos acuíferos principales. Sondeos como el 3032-1-27 con un nivel piezométrico de 80,09 m s.n.m. en febrero de 2007, o el 3032-2-48 con una piezometría de 72,83 m s.n.m. en la misma fecha, que aparentemente estarían en conexión hidráulica con las perforaciones que captan el Cenomaniense-Turonense en el entorno de Vall de Ebo, y donde se establece la cota piezométrica en torno a los 75 m s.n.m., podrían estar indicando una inversión del flujo subterráneo, que no sería acorde con la dinámica real. Por ello, cabe esperar que su conexión hidráulica con el acuífero regional sea menor de lo pensado hasta la fecha, o incluso nula.

Con esta idea, la existencia de un salto piezométrico entre las denominadas subunidades de Almudaina-Alfaro y Segaria no sería tal, o al menos tan marcada. Así, a cierta profundidad, bajo los mantos cabalgantes que hacen aflorar el keuper en varios puntos entre las localidades de Pego y Ráfol de Almunia, existiría conexión hidráulica directa entre las calizas del Cenomaniense-Turonense captadas al sureste de Beniaia por el sondeo de la Diputación Provincial de Alicante (2932-4-34), las del sondeo 3032-1-21 de Vall de Ebo, los afloramientos de Les Mondes y Casa Abad, situados ya en el marjal de Pego-Oliva y las calizas de la vertiente septentrional de la sierra de Segaria, donde se producen las más importantes salidas del sistema, ya sea por el manantial de Balsa Sineu, o por los bombeos de la finca Rincón del Rosario. Esta disposición que pretende reflejarse en el corte hidrogeológico F-F', justificaría claramente el notable volumen de recursos drenados anualmente en este sector.

Finalmente se comenta la considerable heterogeneidad que presenta la sierra de Segaria en su extremo oriental. Debido a la intensa tectónica, la aparición de inyecciones de materiales triásicos en facies keuper y el afloramiento de niveles impermeables del Cretácico, el sector se encuentra dividido en pequeños bloques acuíferos desconectados entre sí con niveles piezométricos diferenciados que han dado origen a los acuíferos independientes de Sanet y

Beniarbeig, de muy escasa extensión, que presentan cotas piezométricas en torno a los 3 m s.n.m. (3031-7-2).

16.1.3. PIEZOMETRÍA DEL ACUÍFERO CRETÁCICO EN EL ENTORNO DEL MARJAL

Existen varias captaciones profundas emboquilladas sobre materiales del Mioceno o del Cuaternario que atraviesan estas formaciones y alcanzan las calizas del Cenomaniense-Turoniense, pero cuya cota piezométrica puede asociarse únicamente a este último acuífero. Con el análisis de la piezometría de las mismas se ha podido establecer el grado de conexión respecto a los acuíferos circundantes, el de Mustalla al norte y el de Segaria, al sur.

Así, se han podido establecer líneas isopiezas desde el extremo oriental del acuífero de Mustalla, entre los manantiales de Las Aguas (3031-6-4) y Solinar (3031-6-3) y el acuífero de Segaria, de forma que existiría conexión hidráulica entre ambos acuíferos carbonatados bajo el recubrimiento Pliocuaternario del marjal a través de este sector.

La conexión, sin embargo, no es continua en profundidad bajo todo el ámbito geográfico comprendido entre Pego y la costa. No es posible, por ejemplo, correlacionar la cota piezométrica del sondeo 3031-5-41 (6,97 m s.n.m. en febrero de 2007) y la del 3031-6-100 (4,55 m s.n.m.), pues entre ambas captaciones existe el sondeo 3031-6-133, cuya piezometría en la misma fecha es de 15,34 m s.n.m. Ello implica que el acuífero de la sierra de Mustalla no continúa hacia el sur y que la presencia de la fosa tectónica paralela a dicha sierra, rellena de materiales margosos del Mioceno, origina una barrera hidráulica entre ambos acuíferos.

La conexión entre los acuíferos de Mustalla y Segaria se produce a través de una estrecha franja, que coincidiría con el bloque H del esquema tectónico, en la que el substrato mesozoico se encuentra más superficial, o incluso aflorante en medio de los depósitos del Cuaternario (afloramientos de Les Mondes y Casa d'Abat).

No obstante, si bien las calizas de la sierra de Mustalla se ven cortadas por un salto de falla importante al norte de Pego, que impide su prolongación hacia el sur, los materiales carbonatados de la sierra de Segaria sí que se extienden varios kilómetros hacia el norte bajo los depósitos del glacis de Pego. Se han podido trazar líneas isopiezas que correlacionan el nivel de sondeos como el 3031-6-129 (9,19 m s.n.m.) o el 3031-6-95 (8,62 m s.n.m.).

El acuífero Cenomaniense-Turoniense captado por estas perforaciones, a profundidades superiores a los 120 m, parece estar conectado con áreas de recarga situadas varios kilómetros tierra adentro. Se ha analizado la piezometría de sondeos del entorno de La Vall de Ebo y se ha comprobado que por ejemplo, el punto 3032-1-21 con 574 m de profundidad, alcanza estos mismos materiales y presenta una cota piezométrica en torno a los 75 m s.n.m.

De existir conexión hidráulica entre esta zona y las calizas profundas existentes bajo el área de Pego, el gradiente hidráulico sería de entre el 8 y 11 ‰.

Incluso al relacionar la piezometría de este sector con captaciones mucho más alejadas, como la del sondeo Helénico nº 1, de 610 m de profundidad, ubicado en el término municipal de Tollos, a más de 16 km al suroeste de Pego, y que fija la cota piezométrica en 153,53 m s.n.m. (27/2/01), el gradiente resultante es del 9 ‰, es decir, similar al determinado con el sondeo profundo 3032-1-21.

Por el contrario, otras captaciones de la Vall de Ebo, como las 3032-1-14, 3032-1-18, 3032-1-20 o el 3032-1-24, de menor profundidad (< 500 m), explotan las calizas recristalizadas y micríticas del Coniaciense-Santoniense y marcan piezometrías en torno a los 175 m s.n.m. Esta cota piezométrica necesita de gradientes muy elevados para poder ser relacionada tanto con las captaciones emboquilladas en el glacis de Pego (3031-6-129 y 3031-6-95), del orden del 21‰, como para las situadas sobre frentes cabalgantes (3032-1-27 o 3032-2-48), sobre el 19 ‰.

16.1.4. PIEZOMETRÍA DE LOS DISTINTOS NIVELES ACUÍFEROS DEL PLIOCUATERNARIO EN EL ENTORNO DEL MARJAL

El presente proyecto se centra en el análisis de las columnas estratigráficas de los sondeos emboquillados en la zona del marjal. Esto ha permitido diferenciar cuatro conjuntos litológicos permeables principales, tres de ellos más superficiales, de naturaleza detrítica y edad pliocuaternalia, y otro profundo de edad mesozoica.

Los primeros, en los que se centra este apartado son de techo a muro:

- el tramo arenoso superior (AS)
- el conjunto de niveles permeables, de naturaleza básicamente detrítica, identificado como acuífero multicapa intermedio (MI)
- y el tramo conglomerático basal (CB).

La similitud entre la cota piezométrica de todos ellos es considerable, por lo que establecer líneas isopiezas para cada tramo resulta imposible, sobre todo porque se requeriría un número mucho mayor de datos de cada tramo.

No obstante, los ensayos realizados y la ejecución de sondeos muy próximos entre sí, pero que captan de forma individual los distintos niveles acuíferos permite, aunque puntualmente, establecer cotas piezométricas de los mismos y su análisis hidrogeológico por separado.

- Tramo arenoso superior (AS):

Se ha captado de forma individual con los sondeos PDGEST-6c (3031-6-118) y PDGEST-7b (3031-6-120), y en los sondeos del SGOP P-7 (3031-6-121) y P-3 (3031-6-141). En este último, pese a que alcanzó la profundidad de 201,05 m, se cegó al concluir la perforación, de forma que únicamente quedaron entubados los 50 m más superficiales, en los que únicamente se atraviesa el acuífero arenoso objeto de análisis. También se atraviesa este tramo en dos captaciones surgentes y que popularmente se conocen como los ullales de Bullens y de Macareno. Se trata de antiguas perforaciones, de escasa profundidad (11-12 m), que por su mínima cota de emboquille (escasos centímetros sobre el nivel del mar), resultan surgentes y se consideran como manantiales.

En el cuadro adjunto se reflejan los niveles piezométricos de estas captaciones entre abril de 2006 y abril de 2007.

Nº IGME	303160118	303160120	303160141	303160121
Toponimia	PDGEST-6c	PDGEST-7b	SGOP P-3	SGOP P-7
Fecha	Cota del N.P. (m s.n.m.)			
26/04/2006			-0.26	-0.27
23/05/2006	0.304	-0.29		
29/05/2006			-0.11	-0.21
26/06/2006			-0.33	0.17
28/06/2006	0.469	-0.21		
27/07/2006	0.469	-0.22	-0.45	0.04
27/09/2006			-0.61	-0.05
28/09/2006	0.159	-0.83		
25/10/2006			-0.56	
27/10/2006	0.409	-0.38		0.16
22/11/2006				0.19
24/11/2006	0.459	-0.2	-0.5	
19/12/2006	0.449	-0.23	-0.45	0.4
25/01/2007	0.399	-0.15	0.41	0.3
21/02/2007				0.39
23/02/2007	0.519	-0.05	0.56	
13/03/2007	0.119	-0.58	0.1	0.31
20/04/2007				0.36
23/04/2007			0.25	
24/04/2007	0.249	-0.6		

Se comprueba que el sondeo 3031-6-118 siempre marca cotas piezométricas positivas, mientras que el 3031-6-121 y el 3031-6-141 marcan ocasionales cotas negativas y el 3031-6-120 siempre presenta niveles por debajo de la cota 0 m s.n.m. Esto se debe a que la primera captación, pese a estar emboquillada a menor cota topográfica (0,67 m s.n.m.), es la que sufre menos influencia de los bombeos producidos en la Finca Rincón del Rosario.

Sin embargo, el sondeo PDGEST-7b, emboquillado a 1,02 m s.n.m., se sitúa próximo a este punto de bombeo, cuyo objetivo es rebajar el nivel piezométrico de esta finca agrícola hasta una profundidad inferior a la del desarrollo radicular de los naranjos, por lo que de forma continua se mantiene el nivel del agua por debajo de la cota -1,5 m s.n.m., se crea así un cono de depresión importante.

Se ha podido comprobar durante la ejecución de este proyecto el sensible aumento del caudal drenado por el ullal de Macareno al excavar alrededor del mismo. De forma que se ha pasado de una cota de surgencia nivelada de unos 0,20-0,40 m inferior a la cota suelo (0,44 m s.n.m.), a una cota de surgencia actual que se encuentra 1,5 m por debajo, es decir, en torno a -1,2 m s.n.m. tal como se puede observar en las fotografías adjuntas.

- Tramo multicapa intermedio (MI):

Este conjunto de niveles permeables del Cuaternario sólo ha podido aislarse de forma individual en los sondeos PDGEST-5b (3031-6-116), PDGEST-7a (3031-6-119), y en el sondeo PDGEST-4 (3031-6-108).

Al igual que en el caso anterior, los sondeos próximos a la zona de influencia del cono de depresión creado por los bombeos en la Finca Rincón del Rosario muestran cotas piezométricas negativas en varios meses.

No tiene la misma respuesta el sondeo PDGEST-5b, que se sitúa alejado de la costa y de la zona de depresión comentada y muestra a lo largo de todo el año cotas positivas del nivel piezométrico.

N° IGME	303160116	303160119	303170108
Toponimia	PDGEST-5b	PDGEST-7a	PDGEST-4
Fecha	Cota del N.p. (m s.n.m.)		
23/05/2006	1.45	0.05	
28/06/2006	1.37	-0.07	-0.25
27/07/2006	1.29	-0.15	-0.37
27/09/2006	0.99		
28/09/2006		-0.31	-0.69
24/10/2006			-0.52
27/10/2006	1.08	-0.17	
23/11/2006			-0.34
24/11/2006	1.25	0.07	
18/12/2006			-0.22
19/12/2006	1.19	0.05	
23/01/2007			0.28
25/01/2007	1.3	0.24	
23/02/2007	1.53	0.42	0.36
13/03/2007	1.22	0.15	0.21
24/04/2007	1.4	0.35	0.31

- Tramo conglomerático basal (CB):

Finalmente se ha diferenciado un paquete conglomerático, que suele situarse sobre las calizas del Cretácico y que presenta con frecuencia fenómenos de surgencia debido precisamente a la influencia del acuífero Mesozoico del que recibe gran parte de sus recursos (Ver foto del sondeo PDGEST-6b).

Son diversas las captaciones que, aunque finalmente no han captado de forma individual este tramo, durante su perforación presentaron caudales surgentes. Ejemplos son los sondeos SGOP-S1 (3031-6-142); SGOP-S3 (3031-6-141); SGOP P-6 (3031-6-143) o el SGOP P-7 (3031-6-121), además del PDGEST-6b (3031-6-117) que se acondicionó de forma que únicamente se captara este nivel permeable.

Este último sondeo ha permanecido surgente durante la práctica totalidad del periodo de muestreo. Únicamente en mayo de 2006 su cota piezométrica se situó por debajo de la superficie del terreno (0,43 m s.n.m.), pero hay que tener en cuenta que se trata de un año en el que la pluviometría ha sido sensiblemente inferior a la media.



ULLAL DE MACARENO EN OCTUBRE DE 2006 Y MAYO DE 2007

16.2. EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA HIPERANUAL

Se ha estimado la variación hiperanual de la piezometría sólo en un par de sondeos que cuentan con registros de varios años y que pertenecen al acuífero mesozoico situado bajo el recubrimiento cuaternario.

Del análisis del registro piezométrico correspondiente a las captaciones 3031-6-99 y 3031-6-100, con medidas mensuales desde el año 2001 se obtienen los siguientes estadísticos:

ESTADÍSTICO	303160099	303160100
Nivel piezométrico medio	2,65 m s.n.m.	3,52 m s.n.m.
Nivel piezométrico mínimo	1,25 m s.n.m. (jul-01)	1,87 m s.n.m. (jul-01)
Nivel piezométrico máximo	6,31 m s.n.m. (mayo-02)	7,53 m s.n.m. (mayo-02)
Rango de variación hiperanual	5,06 m	5,66 m

Se comprueba que la cota piezométrica varía entre unos máximos medidos en mayo de 2002 de 6,31 m s.n.m. en el sondeo 3031-6-99 y 7,53 m s.n.m. en el sondeo 3031-6-100 y unos mínimos de julio de 2001 de 1,25 m s.n.m. en el piezómetro 3031-6-99 y 1,87 m s.n.m. en el

3031-6-100. Así, la cota piezométrica media oscila entre los 2,65 m s.n.m y los 3,52 m s.n.m. con un rango de variación hiperanual de 5 a 6 m aproximadamente.

A partir de estos datos y de las series de precipitación media mensual facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología, correspondientes a la estación termopluviométrica de Pego Convento nº 8057A, que han sido completadas, como ya se ha explicado en el apartado correspondiente, mediante regresión múltiple, con los datos de las estaciones cercanas de El Verger nº 8056, Oliva SE Agraria nº 8058A y Dénia HS nº 8051U, se ha establecido una correlación entre los niveles piezométricos y la pluviometría con objeto de determinar la influencia de esta última sobre la primera. Dicha correlación se ha efectuado únicamente en el periodo enero-01 a julio-03 por existir correspondencia de datos.

Se comprueba en primer lugar la notable similitud en la evolución piezométrica de ambos sondeos y en segundo lugar la clara influencia de las precipitaciones sobre las variaciones del nivel del agua subterránea. Los mayores ascensos de nivel se dan tras meses en los que se han producido importantes precipitaciones. El acuífero reacciona con cierto retraso y alcanza los picos piezométricos aproximadamente dos meses después de las precipitaciones más importantes. Debido a esta inercia, coinciden en el tiempo piezometrías bajas y precipitaciones copiosas, como ocurre en febrero de 2002, donde la precipitación acumulada no se refleja todavía en el acuífero, que responde posteriormente.

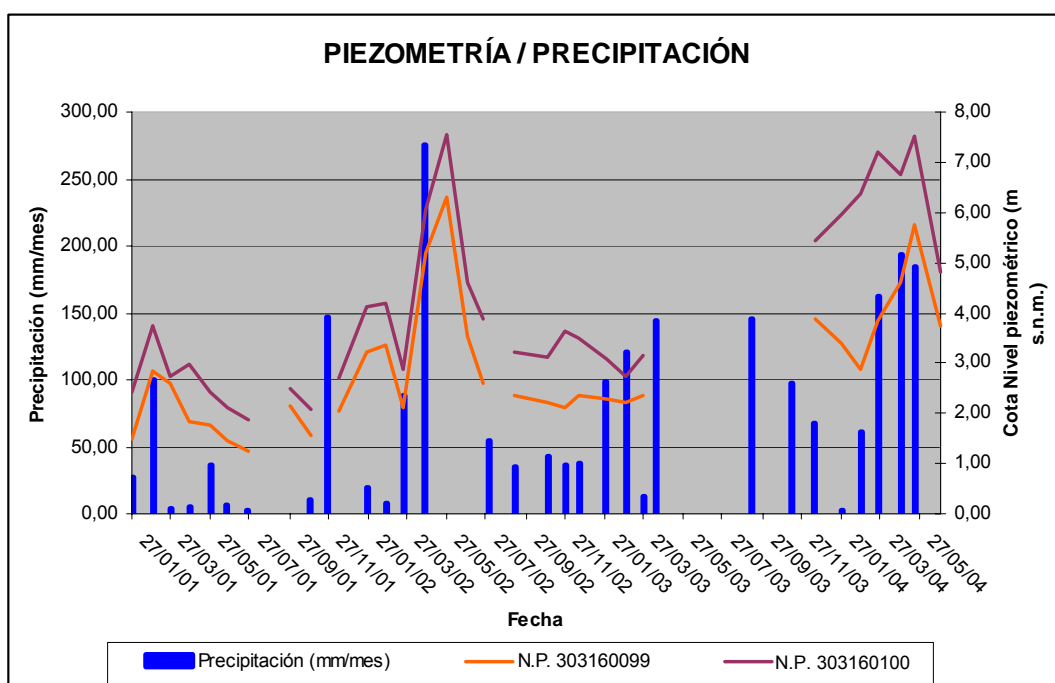


Gráfico nº 11: correlación entre la piezometría en los sondeos 303160099 y 303160100 y la precipitación mensual

Destacan los máximos niveles de mayo de 2002 y marzo de 2004 que son la respuesta a las importantes precipitaciones acaecidas en las semanas previas. También se refleja con claridad que las piezometrías bajas se alcanzan al final de periodos secos, de escasa precipitaciones, el desarrollado durante la mayor parte del año 2001.

16.3. RELACIÓN ENTRE LA HIDRODINÁMICA Y LA ESTRUCTURA TECTÓNICA

Se ha pretendido establecer la influencia que sobre la hidrodinámica del Pliocuaternario de la zona de estudio tiene la disposición estructural del basamento mesozoico. Para ello se han realizado diversas composiciones en las que se superpone al esquema estructural bidimensional del área, los mapas de isopiezas y los de conductividad eléctrica (datos de febrero-07). Finalmente sobre una fotografía aérea se solapan conjuntamente todas las capas de información.

En la figura siguiente se muestra, en la imagen superior, la tectónica (líneas negras) y las curvas isopiezas (líneas azules) y en la inferior la superposición a la estructura tectónica de las curvas de conductividad eléctrica (líneas verdes). Las líneas isopiezas del acuífero Pliocuaternario no reflejan una relación clara con la tectónica del basamento, salvo los lógicos ajustes a los límites del acuífero (extremo inferior derecho), que en este caso se definen por las fallas y cabalgamientos de la sierra de Segaria. No obstante, sí es evidente el cono de depresión originado por los bombeos de la finca agrícola Rincón del Rosario y su ubicación ajustada a las fallas normales que limitan el extremo NE de la sierra de Segaria.

En cambio, la imagen inferior, en la que se han representado sobre la estructura tectónica las curvas de isoconductividad eléctrica del entorno del marjal y de puntos próximos a éste pertenecientes a los acuíferos carbonatados de borde, muestra con claridad los sectores en los que se produce una entrada de agua marina hacia el continente, es decir, áreas de intrusión, y las zonas en las que el flujo de agua dulce continental hacia el mar es más intenso. En este caso las líneas de isovalores de C.E. (líneas verdes) además de ajustarse a los límites del acuífero denotan una clara influencia por la disposición de los bloques tectónicos del basamento mesozoico.

Si la variación de la conductividad eléctrica, y por tanto del contenido en sales de las aguas subterráneas es función, en esta zona, de la mayor o menor influencia marina, se puede asumir que las áreas de isocontenidos elevados serán las que sufran mayores procesos de intrusión marina. Así, la superposición de las isolíneas de conductividad eléctrica a la estructura tectónica permite ver la influencia de la disposición de los bloques en la circulación del flujo general del acuífero Pliocuaternario.

Las dos formaciones carbonatadas kársticas que limitan a norte y sur el acuífero detrítico permiten, gracias a las alineaciones estructurales perpendiculares a la línea de costa que las

configuran, la existencia de sectores de canalización preferencial. Estos canales tectónicos actúan en un doble sentido, por un lado facilitan la intrusión o entrada de agua salada hacia el continente (canales de intrusión) y por otro el drenaje hacia el mar (canales de desagüe) de aguas continentales dulces.

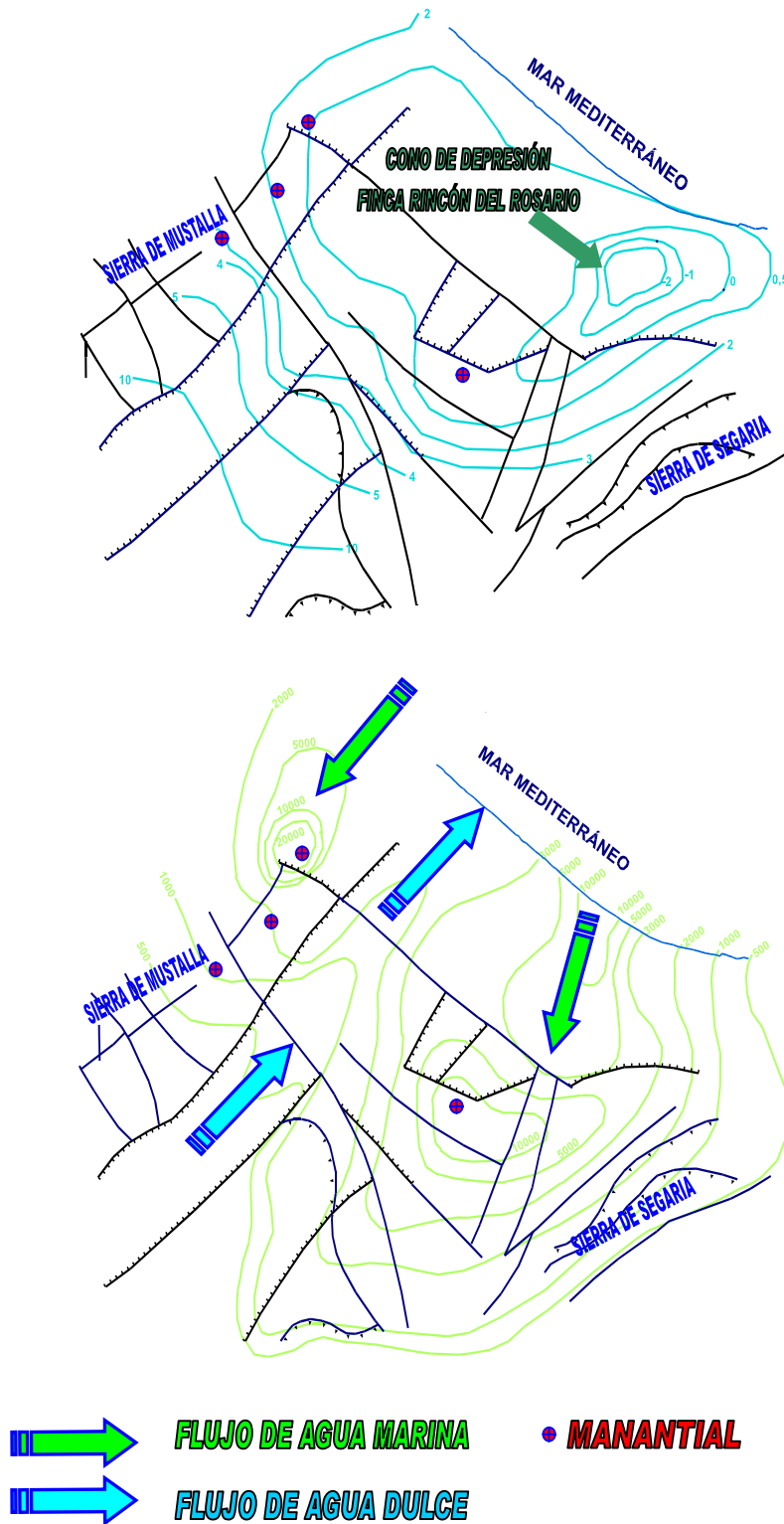


Figura nº 21: correlación entre la disposición del basamento y la hidrodinámica general de la zona de estudio

La cuña salina encuentra en las zonas fracturadas perpendiculares a la línea de costa de las sierras de Mustalla y Segaria, vías preferenciales para su avance tierra adentro (canales de intrusión).

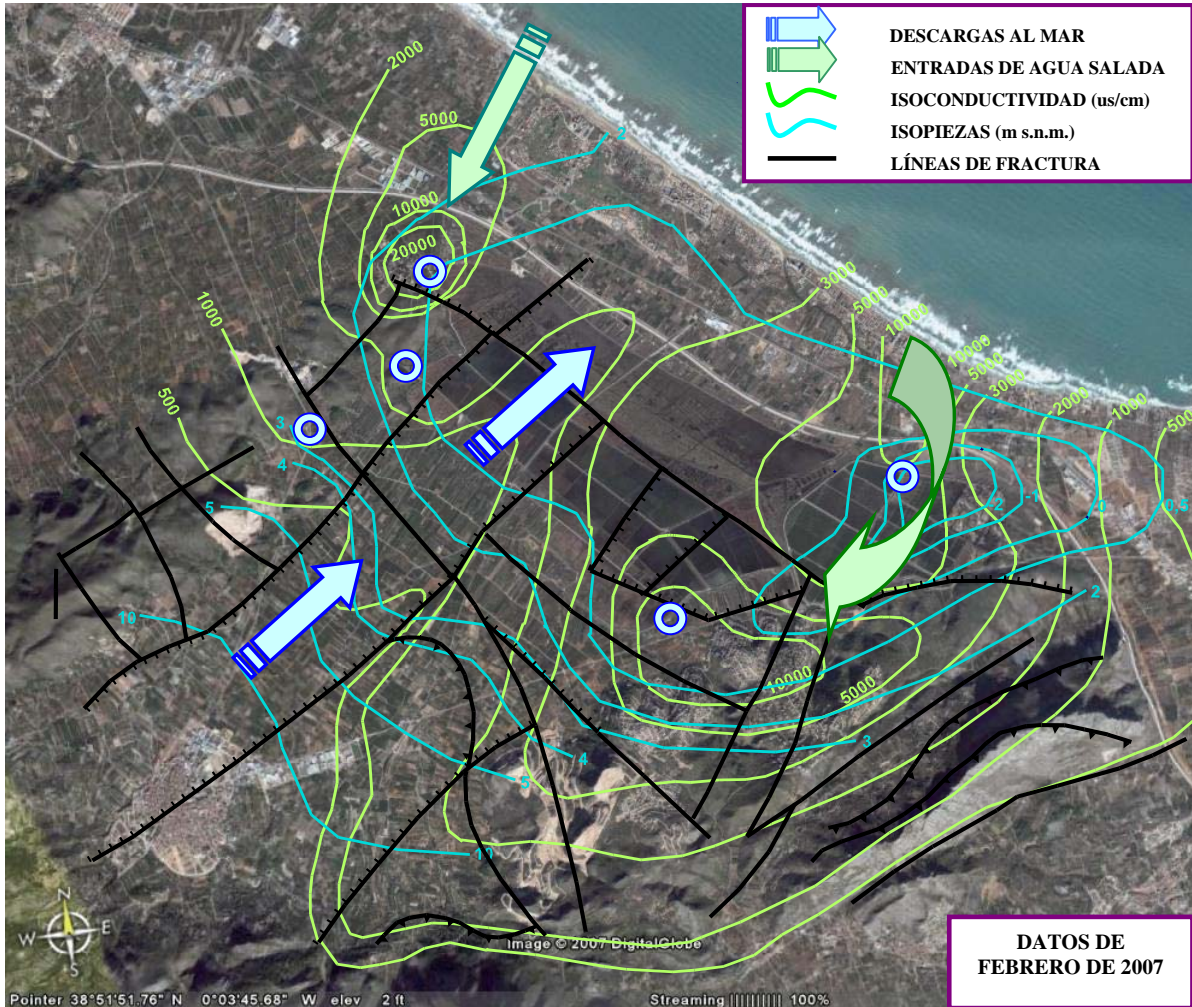


Figura nº 22: influencia de la disposición del basamento en la circulación del flujo subterráneo (imagen extraída de Google-Earth)

En el extremo septentrional de la sierra de Mustalla, la entrada directa de agua marina al acuífero cretácico es evidente, de tal forma que las líneas de conductividad eléctrica definen un canal intrusivo muy claro.

En este sector la zona de mezcla agua dulce-agua salda alcanza varios kilómetros tierra adentro y se evidencia en la salinidad decreciente hacia el interior de diversos manantiales perfectamente alineados a lo largo del flanco meridional de dicha sierra.

Algo similar ocurre en la sierra de Segaria, donde la entrada de agua marina a través de los materiales carbonatados se deja notar hasta el manantial de Balsa Sineu.

También se puede apreciar como la salinidad (conductividad eléctrica) es mayor en áreas centradas del marjal en las que el sustrato se encuentra más elevado (bloque H1 - Figura nº 20).

La intrusión marina aprovecha el puente tectónico que constituye este bloque para avanzar hacia el interior. Esta disposición permite que la salinidad de Balsa Sineu sea elevada pese a ser un manantial situado a 4 km de la costa, o que captaciones como el sondeo 3031-6-99, emboquillado sobre las calizas del afloramiento de Les Mondes, tenga registros de conductividad eléctrica constantes entre los 1.500 y 1.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pese a encontrarse a 5,5 km del mar. La intrusión marina está, en este caso, notablemente favorecida por las extracciones en la finca agrícola de Rincón del Rosario o finca Oriol.

Sin embargo, las aguas dulces continentales, asociadas al marjal y a los niveles permeables pliocuaternarios, aprovechan las áreas en las que el basamento permite un mayor desarrollo (espesor) de estos tramos (zonas hundidas - fosas) para canalizarse de forma prioritaria por las mismas.

En estos casos la tectónica origina canales preferenciales de desagüe. En la zona de estudio la estrecha fosa tectónica paralela a la sierra de Mustalla actúa como un canal de este tipo desde el norte de Pego hasta la costa. La disposición de los bloques hundidos crea un canal o pasillo de desagüe gracias a que los depósitos detríticos pliocuaternarios presentan mayores espesores y granulometría más grosera, de forma que las aguas continentales están menos influenciadas por la intrusión y pueden alcanzar el mar.

17. ANÁLISIS HIDROQUÍMICO

El análisis hidroquímico de la zona se ha basado en la recopilación de muestras de agua tanto de los sondeos y manantiales de la red de control, como de puntos de aguas superficiales a lo largo de los dos principales cursos fluviales de la zona, ríos Bullens y Racons.

Para poder analizar las posibles relaciones entre las aguas del marjal y las procedentes de los acuíferos subterráneos, (pliocuaternario y mesozoico) es necesario tener el mayor conocimiento posible de la geología contextual, de las condiciones de contorno y en definitiva, del funcionamiento del sistema (Buil, B. et al.- 2002). Por ello el análisis hidrogeológico y estructural realizado constituye una herramienta fundamental a la hora de interpretar los resultados obtenidos y establecer la hidrodinámica de la zona de estudio.

17.1. EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL MARJAL Y ACUÍFEROS ASOCIADOS

Con los resultados analíticos de diversas muestras de agua se han podido caracterizar hidroquímicamente los distintos tramo acuíferos y entablar una comparativa entre la época de niveles altos, coincidente con el mes de febrero y la de niveles bajos, correspondiente al mes de septiembre.

- Nivel arenoso superficial (AS):

Así, el nivel de arena fina superficial (AS) presenta facies en la época seca (niveles bajos) que van de la clorurado-sódica, en las áreas más próximas a los relieves mesozoicos, o a los ríos Bullens y Racons, a la sulfatada clorurada-cálcico sódica, correspondientes a las zonas de transición marjal-restinga, pasando por clorurada magnésica-cálcico sódica en áreas con influencia de las aguas del glacis de Pego, menos salinas.

En la época de aguas altas se mantienen los mismos tipos de facies, si bien se comprueba un aumento de la salinidad en las zonas más influenciadas por las aguas del acuífero carbonatado y un paso a facies más bicarbonatadas en las que reciben aportes de aguas continentales.

En el acuífero arenoso superficial, la intrusión marina está marcada por la proximidad a la línea de costa y a los acuíferos carbonatados que circundan el marjal. Se produce una afección más marcada en el entorno de la finca Rincón del Rosario, donde los bombeos crean un cono de depresión que repercute en mayor o menor medida en todos los tramos permeables del Pliocuaternario y que facilita el avance de la cuña en el acuífero mesozoico hasta varios kilómetros tierra adentro.

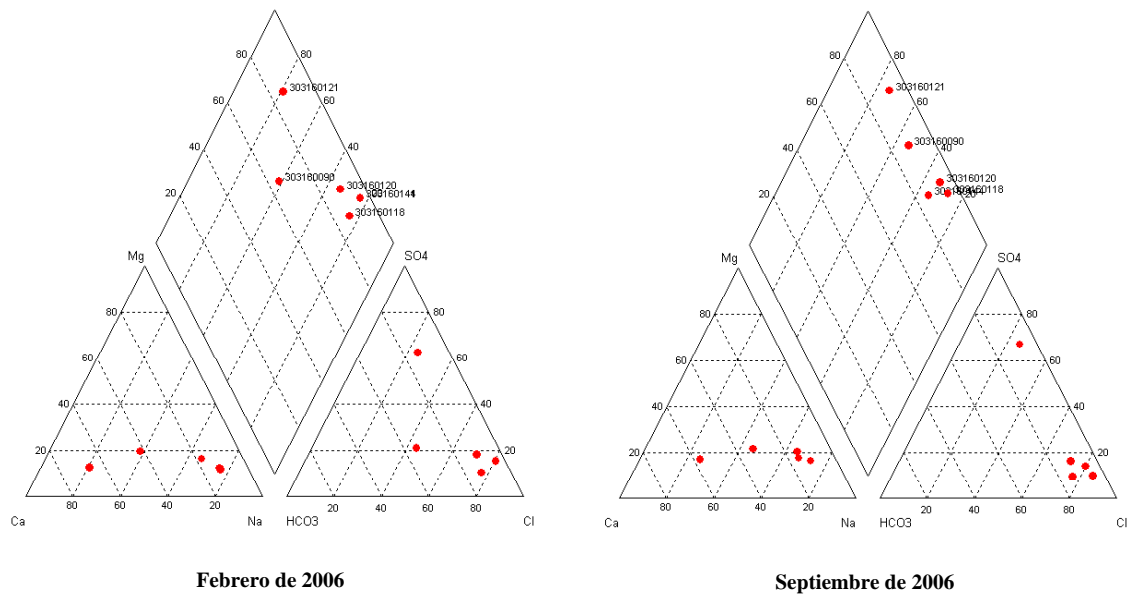


Figura nº 23: variación de la calidad química en el ac. arenoso superficial en época de niveles altos y bajos

Se comprueba que las aguas alejadas de estos focos intrusivos presentan mejor calidad, incluso en el caso del Ullal de Bullens, la salinidad se puede considerar baja. En este sentido influiría su ubicación en el denominado canal de desagüe y su mayor alejamiento de los afloramientos cretácicos, que hace que presente contenidos salinos algo inferiores a los del Ullal de Macareno, que se encuentra más próximo a la sierra de Mustalla

NIVEL ARENOSO SUPERFICIAL (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	Cl- (mg/L)		C.E.(uS/cm)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303160090	ULLAL DE BULLENS	328	126	2310	834	MEDIO-BAJO	Centrado en marjal
303160141	SGOP P-3	2320	1780	7323	5690	ALTO	Próximo Finca Rosario
303160121	SGOP P-7	334	204	3915	2522	MEDIO	Próximo a la costa
303160120	PDGEST-7B	1810	1140	8271	4010	ALTO	Próximo Finca Rosario
303160118	PDGEST-6C	1460	534	4725	707	MEDIO-BAJO	Centrado en marjal
303160144	ULLAL DE MACARENO	610	378	2420	1408	MEDIO	Próximo Sierra Mustalla

- Nivel multicapa intermedio (MI):

El acuífero multicapa intermedio (MI), presenta facies desde clorurada sódica a bicarbonatada cálcica, en función también de la mayor o menor proximidad a zonas con intrusión marina, aunque la conexión con el acuífero mesozoico de este paquete debe ser muy puntual. No se aprecia una variación significativa de la hidroquímica en la época de aguas altas, ni una

tendencia clara hacia el aumento o descenso de la salinidad, lo que abona la idea de la escasa conexión entre estos niveles y el resto de tramos permeables.

NIVEL MULTICAPA INTERMEDIO (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	Cl- (mg/L)		C.E.(uS/cm)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303170108	PDGEST-4	770	272	2882	601	MEDIO	Próximo a la costa
303160119	PDGEST-7B	1180	1080	4690	2780	ALTO	Próximo Finca Rosario
303160116	PDGEST-5B	91	11	1198	433	BAJO	Centrado en marjal

En este tramo acuífero, sólo las captaciones próximas a focos de intrusión presentan contenidos salinos más elevados.

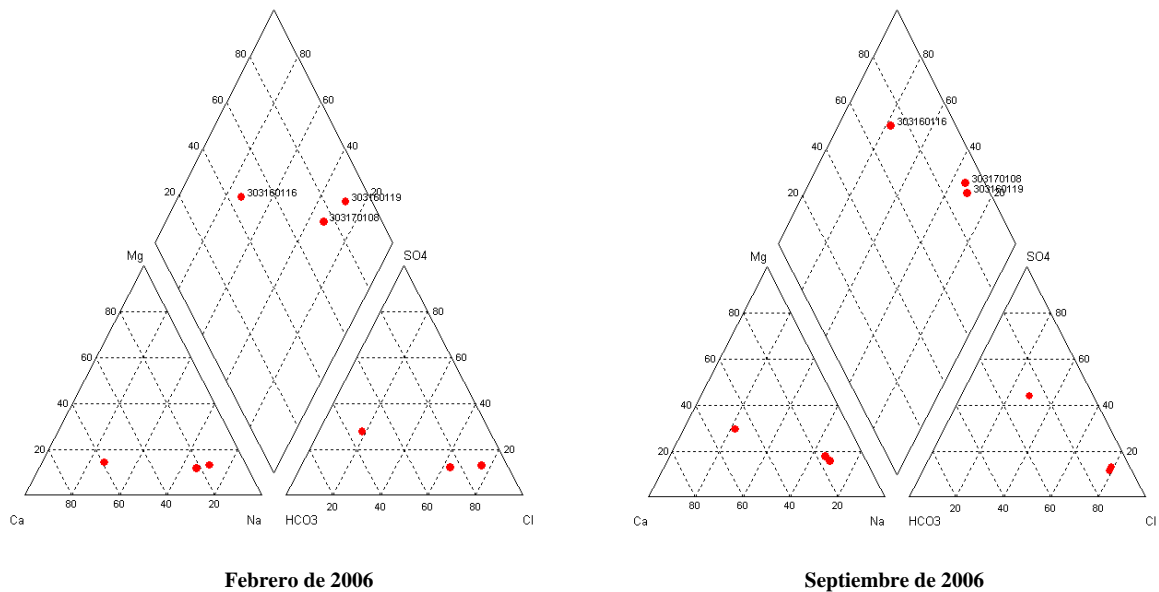


Figura nº 24: variación de la calidad química del agua en el acuífero multicapa intermedial en época de niveles altos y bajos

- Nivel conglomerado basal (CB):

La hidroquímica del nivel permeable identificado como Conglomerado Basal (CB) se ha establecido únicamente con las muestras de la captación 303160117 (PDGEST-6b). La facies hidroquímica es claramente corurada sódica y apenas presenta variación a lo largo del año.

Aunque sólo se cuenta con un sondeo que capta individualmente este tramo acuífero, se asume que este nivel de conglomerados se encuentra en conexión hidráulica con las calizas

mesozoicas inferiores, que presentan una mayor carga hidráulica y por ello el carácter surgente de éste y otros sondeos que alcanzan estos materiales en profundidad. Por ello los altos contenidos salinos de sus aguas se deben precisamente a esta conexión directa con los acuíferos carbonatados karstificados que definen las áreas de intrusión preferencial de la zona de estudio.

NIVEL CONGLOMERADO BASAL (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	Cl- (mg/L)		C.E.(uS/cm)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303160117	PDGEST-6B	2882	1680	9193	4600	MUY ALTO	Conexión ac. Mesozoico

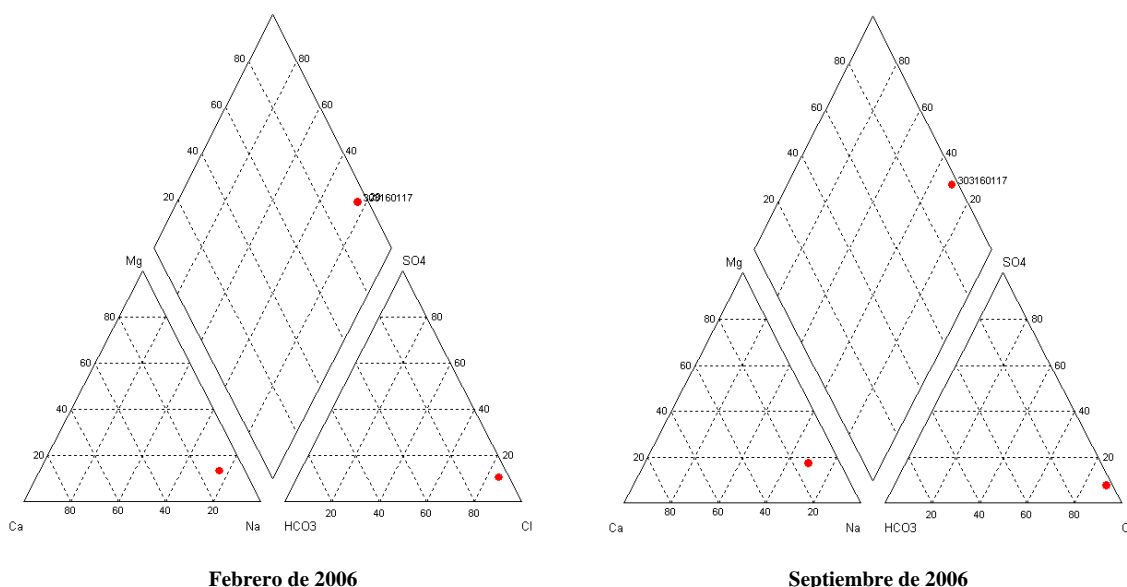


Figura nº 25: variación de la calidad química del agua en el acuífero conglomerado basal en época de niveles altos y bajos

- Nivel acuífero mesozoico (AM):

Presenta facies fundamentalmente clorurado-sódicas en las áreas en las que la intrusión marina es predominante, para pasar a sulfatada cloruradas-sódico cálcicas, en áreas más interiores y a bicarbonatado cálcicas de baja mineralización en las inmediaciones de Pego, donde los efectos de la intrusión son inapreciables.

Destaca en este acuífero el considerable incremento de la salinidad en los periodos más húmedos o de aguas altas. Esta respuesta de la hidroquímica de las aguas subterráneas, que se refleja de forma mucho más marcada en los manantiales que drenan los acuíferos de

Mustalla y Segaria, ya fue indicada en varios estudios por Ballesteros, B. et al. (2005). El comportamiento “más habitual o esperado”, es el de la dilución, es decir, la reducción del contenido salino con el mayor aporte de aguas continentales. No obstante, como demuestran diversos autores Sanz, E. et al. (2002) que han analizado manantiales similares, una respuesta de aumento de la salinidad de las aguas drenadas por los manantiales tras fuertes precipitaciones no es tan extraordinaria.

En la zona que nos ocupa, la peculiar hidrodinámica subterránea permite que las aguas de las diferentes surgencias asociadas a los acuíferos kársticos costeros, tengan concentraciones salinas más elevadas en las épocas húmedas, cuando drenan caudales mayores, que en las secas, con menores volúmenes drenados. Como ejemplo se puede indicar que en el manantial de Font Salada (3031-6-1), que drena el acuífero de Mustalla, se han obtenido concentraciones en ión cloruro en septiembre de 2006 de 2.740 mg/L, mientras que en febrero de 2007, tras un periodo lluvioso y con los niveles piezométricos en los máximos anuales, el contenido en este elemento era de 8.400 mg/L.

Por su parte, el manantial de Balsa Sineu, que drena la sierra de Segaria, en las mismas fechas registró contenidos en cloruros de 1.000 mg/L y 3.010 mg/L, respectivamente.

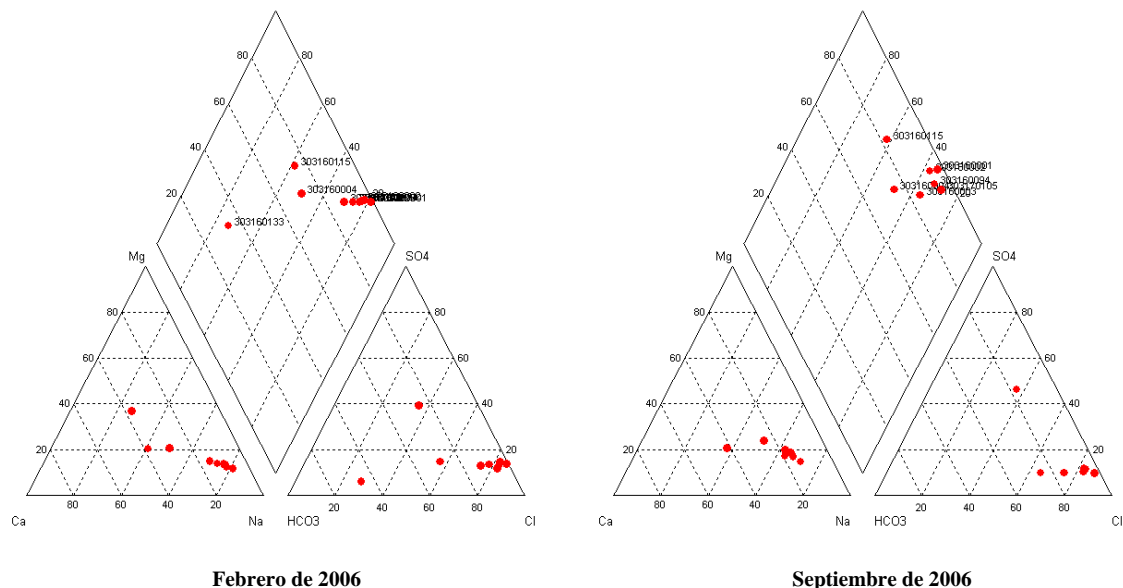


Figura nº 26: variación de la calidad química del agua en el acuífero mesozoico en época de niveles altos y bajos

Las captaciones y manantiales que explotan y drenan los acuíferos mesozoicos de Mustalla y Segaria muestran un amplio abanico de contenidos salinos en función básicamente de su proximidad al mar, desde puntos de alta salinidad, en áreas cercanas a la costa, a aguas de excelente calidad, en pozos situados más al interior y alejados, por tanto, de la zona de

interfase agua dulce-agua salada. Esto se debe a que estos acuíferos, por su disposición estructural perpendicular a la costa y su carácter karstificado, constituyen vías preferenciales de intrusión marina.

Esta variación de salinidad es especialmente significativa en la zona de influencia de la interfase, y puede ser analizada a partir de los manantiales de Las Aguas, Solinar y Font Salada, cuyas conductividades eléctricas van de los 325 $\mu\text{S/cm}$ de mínima en Las Aguas a los 27913 $\mu\text{S/cm}$ de máxima en Font Salada.

NIVEL ACUÍFERO MESOZOICO (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	Cl ⁻ (mg/L)		C.E. ($\mu\text{S/cm}$)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303170105	CALPERO-1	1600	1080	5553	667	ALTO	Extremo NE Ac. Segaria
303160133	SGOP-SV	40	10	1630	147	BAJO	Glacis de Pego
303160129	SGOP-SL	135	111	682	405	MUY BAJO	Glacis de Pego
303160125	CALPERO-2	2080	1660	6970	5595	ALTO	Extremo NE Ac. Segaria
303160115	PDGEST-5A	156	122	1475	116	BAJO	Centrado en el marjal
303160100	SGOP-SX	428	41	1319	390	BAJO	Glacis de Pego
303160099	LES MONDES	396	328	1804	1521	MEDIO-BAJO	Afloram. aislado S. Segaria
303160094	RINCON DEL ROSARIO	3180	945	10683	396	MUY ALTO	Extremo NE Ac. Segaria
303160004	FTE. LAS AGUAS	236	171	1090	325	BAJO	Ac. Mustalla a 4,5 km de la costa
303160003	FTE. SOLINAR	1050	396	3792	1490	MEDIO	Ac. Mustalla a 3,2 km de la costa
303160002	BALSA SINEU	3010	960	10103	3462	ALTO	Ac. Segaria a 4 km de la costa
303160001	FONT SALADA	8900	1886	27913	6010	MUY ALTO	Ac. Mustalla a 2,4 km de la costa

17.2. IMPACTOS DETECTADOS EN RELACIÓN CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

De los posibles impactos que afectan a la calidad natural de las aguas subterráneas se describen a continuación por tramos acuíferos, aquellos que tienen una repercusión zonal más importante, como son:

- la utilización de abonos y productos fitosanitarios, que producen como efecto más visible el aumento de la concentración en NO_3^- , hasta superar los límites máximos tolerables por la reglamentación vigente (R.D. 140/2003 de 7 de febrero).
- fenómenos de intrusión marina. Se produce fundamentalmente por efecto de las extracciones y explotación no planificada de los acuíferos asociados al humedal

- el aumento en el contenido en sulfatos (SO_4^{2-}), que puede ser el resultado tanto de la intrusión marina como del lavado de materiales yesíferos (arcillas triásicas).

17.2.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL ARENOSO SUPERFICIAL (AS)

Tal como se observa en la tabla adjunta, las muestras de captaciones o manantiales próximas a la costa o a sectores con intrusión marina presentan contenidos mayores en sulfatos y muy bajos en nitratos.

Sólo en los puntos no influenciados por el efecto intrusivo, los contenidos en nitratos sí son más significativos, sobre todo en los dos ullales, de Macareno y de Bullens, situados en medio de campos de cultivo, en los que además los contenidos en sulfatos son los más bajos. El ullal de Bullens supera de forma habitual los límites en nitratos establecidos por la ley para aguas de consumo público. El hecho de situarse en el denominado “*canal de desagüe*” permite que las aguas presenten una salinidad menor, pero por el contrario, elementos como los nitratos se canalizan en estas zonas y aumentan su concentración en su recorrido por el acuífero.

NIVEL ARENOSO SUPERFICIAL (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	NO_3^- (mg/L)		SO_4^- (mg/L)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303160090	ULLAL DE BULLENS	66	45	114	73	MEDIO-BAJO	Centrado en marjal
303160141	SGOP P-3	1	1	528	270	ALTO	Próximo Finca Rosario
303160121	SGOP P-7	5	1	1120	455	MEDIO	Próximo a la costa
303160120	PDGEST-7B	16	-	856	144	ALTO	Próximo Finca Rosario
303160118	PDGEST-6C	15	8	205	96	MEDIO-BAJO	Centrado en marjal
303160144	ULLAL DE MACARENO	20	12	140	71	MEDIO	Próximo Sierra Mustalla

Las concentraciones más altas en nitratos se dan además tras periodos húmedos, meses de mayo, junio y julio, en los que las precipitaciones producen un lavado de los nitratos de las capas más superficiales del terreno.

Estos resultados confirman la influencia sobre el acuífero arenoso superficial de las aguas salobres del entorno de la finca Rincón del Rosario o de las áreas próximas a la costa.

No se considera un origen del contenido en sulfatos relacionado con el lavado de depósitos triásicos debido a que ninguna de las captaciones analizadas corta este tipo de materiales.

17.2.2. EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL MULTICAPA INTERMEDIO (MI)

Como en el caso anterior, las captaciones que muestran contenidos más altos en nitratos son las que no presentan relación con áreas de intrusión marina y se ubican centradas en el marjal y rodeadas de áreas de cultivo (PDGEST-5b).

También se comprueba que en este acuífero, debido a sus características estratigráficas, alternancia de niveles permeables dentro de una masa margosa, la influencia de aguas salinas es menor y los contenidos en sulfatos en general no superan el límite fijado por la legislación vigente para aguas de consumo público.

NIVEL MULTICAPA INTERMEDIO (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	NO ₃ ⁻ (mg/L)		SO ₄ ⁻ (mg/L)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303170108	PDGEST-4	36	15	169	73	MEDIO	Próximo a la costa
303160119	PDGEST-7B	20	13	275	136	ALTO	Próximo Finca Rosario
303160116	PDGEST-5B	128	42	168	62	BAJO	Centrado en marjal

17.2.3. EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL CONGLOMERÁTICO BASAL (CB)

En los análisis químicos de las aguas del sondeo 3031-6-117, de los meses de junio y julio de 2006, es decir, cuando existe una menor influencia de aguas marinas, piezometrías altas por periodos lluviosos y mayor lavado de la capa superficial del terreno donde se concentran los elementos nitrogenados se obtienen las más bajas concentraciones en sulfatos y las más altas en nitratos.

Sin embargo, cuando la intrusión marina es más evidente, se produce la relación contraria, contenidos altos en sulfatos y bajos en nitratos (periodo de octubre a diciembre de 2006).

NIVEL CONGLOMERADO BASAL (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	NO ₃ ⁻ (mg/L)		SO ₄ ⁻ (mg/L)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303160117	PDGEST-6B	22	4	404	148	MUY ALTO	Conexión ac. Mesozoico

17.2.4. EVOLUCIÓN TEMPORAL EN LA QUÍMICA DE LAS AGUAS DEL NIVEL ACUÍFERO MESOZOICO (AM)

En la tabla adjunta se reflejan las concentraciones máximas y mínimas para el periodo considerado (Feb-06 a Oct-07) de los manantiales directamente relacionados con el acuífero mesozoico de Mustalla (Las Aguas, Solinar y Font Salada), con el de Segaria (Balsa Sineu) o de captaciones que de forma exclusiva captan estos acuíferos (3031-7-105, 3031-6-125, 3031-6-99 y 3031-6-94) o que atraviesan parte de estos materiales en profundidad, pese a estar emboquillados sobre depósitos del Pliocuaternario, o captar también otros tramos acuíferos (3031-6-133, 3031-6-129, 3031-6-115 y 3031-6-100).

NIVEL ACUÍFERO MESOZOICO (Feb-06 a Oct-07)							
PUNTO	NOMBRE	NO ₃ ⁻ (mg/L)		SO ₄ ⁻ (mg/L)		GRADO DE AFECCIÓN INTRUSIÓN MARINA	UBICACIÓN
		MÁX	MÍN	MÁX	MÍN		
303170105	CALPERO-1*	40	20	306	143	ALTO	Extremo NE Ac. Segaria
303160133	SGOP-SV	-	-	6	4	BAJO	Escasos datos / Glacis de Pego
303160129	SGOP-SL	3	-	9	2	MUY BAJO	Glacis de Pego
303160125	CALPERO-2	21	21	366	248	ALTO	Escasos datos / Extremo NE Ac. Segaria
303160115	PDGEST-5A	152	70	231	172	BAJO	Centrado en el marjal
303160100	SGOP-SX	21	1	30	1	BAJO	Glacis de Pego
303160099	LES MONDES*	104	78	174	96	MEDIO-BAJO	Afloram. aislado S. Segaria
303160094	RINCON DEL ROSARIO*	15	6	664	164	MUY ALTO	Extremo NE Ac. Segaria
303160004	FTE. LAS AGUAS*	18	13	78	31	BAJO	Ac. Mustalla a 4,5 km de la costa
303160003	FTE. SOLINAR*	16	6	179	73	MEDIO	Ac. Mustalla a 3,2 km de la costa
303160002	BALSA SINEU*	45	24	740	148	ALTO	Ac. Segaria a 4 km de la costa
303160001	FONT SALADA*	78	3	1860	298	MUY ALTO	Ac. Mustalla a 2,4 km de la costa

Se comprueba, que en todos aquellos puntos acuíferos en los que no se produce influencia de aguas de otros niveles permeables (puntos con * de la tabla) las máximas concentraciones en sulfatos se producen en febrero de 2007 y coinciden aproximadamente con los registros más bajos en nitratos, es decir, se confirma de nuevo la influencia de las aguas de intrusión sobre el quimismo general del acuífero, de forma que en épocas de mayor influencia de la cuña salina, los sulfatos aumentan y los nitratos descienden y viceversa.

18. ANÁLISIS EN LA VERTICAL DE LA TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se ha realizado también el registro en la vertical de los parámetros de temperatura y conductividad eléctrica a partir de la sonda Reelogger de 300 m de longitud en varios sondeo de la zona de estudio. Dado que las variaciones de la temperatura en la vertical han resultado menos contrastadas que las de conductividad eléctrica, el análisis se ha centrado en el segundo parámetro, que además se ha correlacionado con las columnas litológicas, lo que ha permitido complementar la información analizada en el capítulo anterior.

Las campañas de testificación se iniciaron en diciembre de 2006 y se prolongaron hasta marzo de 2007. Los sondeos en los que se efectuaron medidas se indican a continuación:

PUNTO	NOMBRE	COLUMNA LITOLÓGICA CONOCIDA	MESES DE CONTROL			
			DIC-06	ENE-07	FEB-07	MAR-07
303160090	ULLAL DE BULLENT	NO	NO	SÍ	SI	SI
303160099	LES MONDES	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
303160100	SGOP-SX	SÍ	NO	SI	SI	SI
303160113	PDGEST-1	SI	SI	SI	SI	SI
303160114	PDGEST-2	SI	SÍ	SÍ	NO	SI
303160115	PDGEST-5a	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO
303160116	PDGEST-5b	SI	SI	SI	SI	SI
303160117	PDGEST-6b	SI	SI	SI	SI	SI
303160118	PDGEST-6c	SI	SI	SI	SI	SI
303160119	PDGEST-7a	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
303160120	PDGEST-7b	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
303160121	SGOP P-7	SI	NO	SÍ	SI	NO
303160122	SGOP P-5	SI	NO	SÍ	SÍ	NO
303160125	CALPERO-2	SÍ	NO	NO	SÍ	SI
303160129	SGOP-SL	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO
303160133	SGOP-SV	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO
303160141	SGOP P-3	SÍ	NO	NO	SÍ	NO
303160144	ULLAL DE MACARENO	NO	NO	NO	SÍ	NO
303160145	DESALADORA DE DENIA	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ
303170105	CALPERO-1	SÍ	NO	SÍ	SI	SI
303170107	PDGEST-3	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
303170108	PDGEST-4	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
303210027	SGOP S-4	SÍ	NO	NO	SÍ	NO
303220110	SGOP S-2	SÍ	NO	NO	SÍ	NO

18.1. TESTIFICACIONES REALIZADAS.

- 3031-6-90 / Ullal de Bullens

Se trata de un sondeo surgente, del que se desconoce la columna. Gracias a la testificación se determinó su profundidad (11 m).

Tal como se comprueba en el gráfico adjunto, las aguas en los tres meses de registro muestran un ligero aumento en los parámetros desde enero a marzo. En cuanto a las variaciones en la vertical, son mínimas, debido en gran medida a que el flujo ascendente mezcla los posibles flujos laterales que pudieran llegar a la captación con calidades distintas.

Su escasa profundidad, permite asignar este registro al acuífero arenoso superior (AS), de modo que en este sector las aguas de este acuífero presentan una conductividad eléctrica en comprendida entre los 1100 $\mu\text{S/cm}$ y los 1200 $\mu\text{S/cm}$.

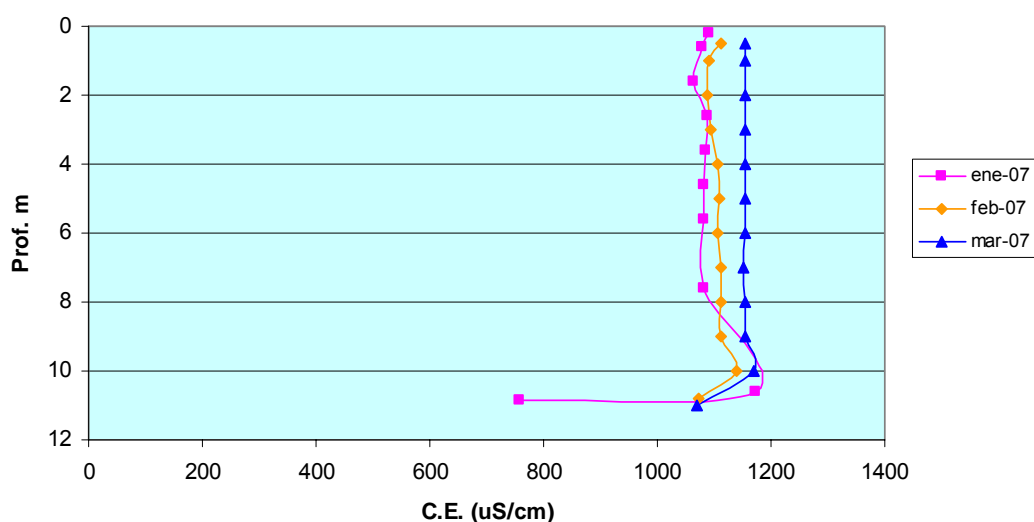


Gráfico nº 12: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-90 / Ullal de Bullens

El descenso en el registro producido a partir del metro 10 es consecuencia de la finalización del sondeo y de que la sonda queda apoyada en el fondo y o afectada por los depósitos semisólidos acumulados en este punto que distorsionan las medidas. Esta situación se produce en la mayoría de los registros, tal como se verá a continuación.

- 3031-6-99 / Les Mondes

Este sondeo se emboquilla sobre las calizas del Cenomaniense-Turonense del afloramiento de Les Mondes, y pese a no contar con una columna litológica se considera que únicamente atraviesa materiales de esta formación.

Su profundidad, como en el caso anterior se conoció tras la ejecución de la primera testificación (45 m)

La calidad del agua, valorada en función del parámetro de conductividad eléctrica, no sufre variaciones a lo largo de la columna del sondeo. Se aprecia, no obstante, una disminución de la salinidad entre los registros de enero y febrero de 2007 y marzo del mismo año, de forma que los valores de conductividad eléctrica pasan de los 19.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 16.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

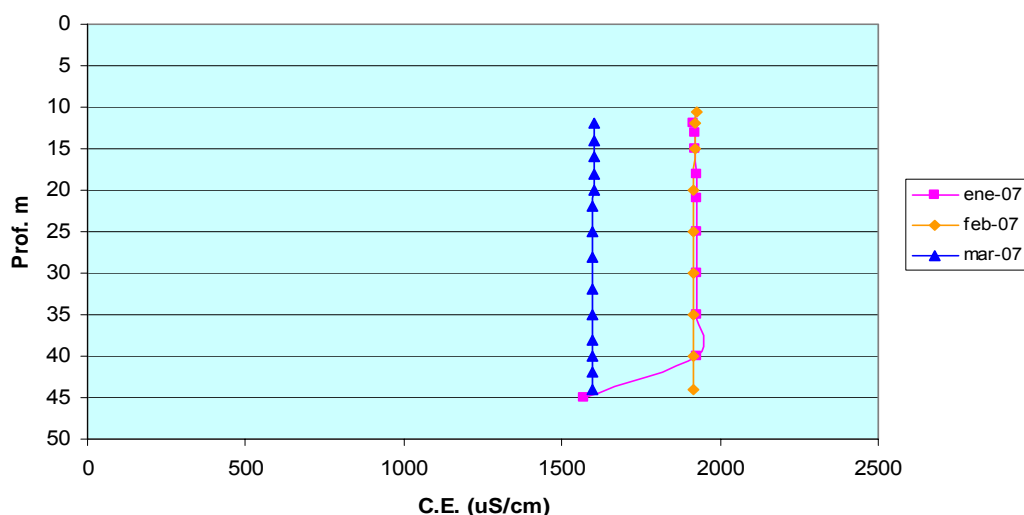


Gráfico nº 13: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-99 / Les Mondes

- 3031-6-100 / SGOP-SX

Esta perforación cuenta con columna litológica detallada, lo que permite una interpretación mucho más completa de los resultados de la testificación.

En primer lugar se comprueba en el gráfico adjunto que los registros de conductividad eléctrica no sufren variaciones en los diferentes meses, y como nota destacada se establecen dos saltos en estas curvas a las profundidades aproximadas de 75 y 125 metros que permiten diferenciar tres tramos con valores similares de este parámetro. Desde la superficie piezométrica a los 70 metros de profundidad la conductividad eléctrica es de aproximadamente 1460 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entre los 70 y 85 metros se produce el primer escalón; de los 85 a los 125 metros de profundidad la conductividad eléctrica muestra valores en torno a los 2455 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y tras un segundo escalón, se establece el tercer tramo de, con conductividades eléctricas entre los 3.500 y 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Al comparar estas curvas con la columna litológica del sondeo (ver ficha correspondiente en el anejo de "Registro en la vertical de T° y C.E.") se comprueba que los cambios en la conductividad eléctrica coinciden con cambios litológicos. El primer tramo descrito corresponde a un tramo de gravas y arcilla del Cuaternario y a un paquete de margas del Tap.

Tras estas litologías se pasa a una formación arcillosa que se ha asignado a las facies Keuper y que se prolonga hasta los 127 m de perforación. Por debajo se atraviesan las calizas y dolomías del Cenomaniense-Turonense, que se ajustan al último tramo de conductividades eléctricas por encima de los 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El hecho de que se trate de un sondeo no instalado y poco afectado por bombeos cercanos permite una clara estratificación por salinidades de sus aguas.

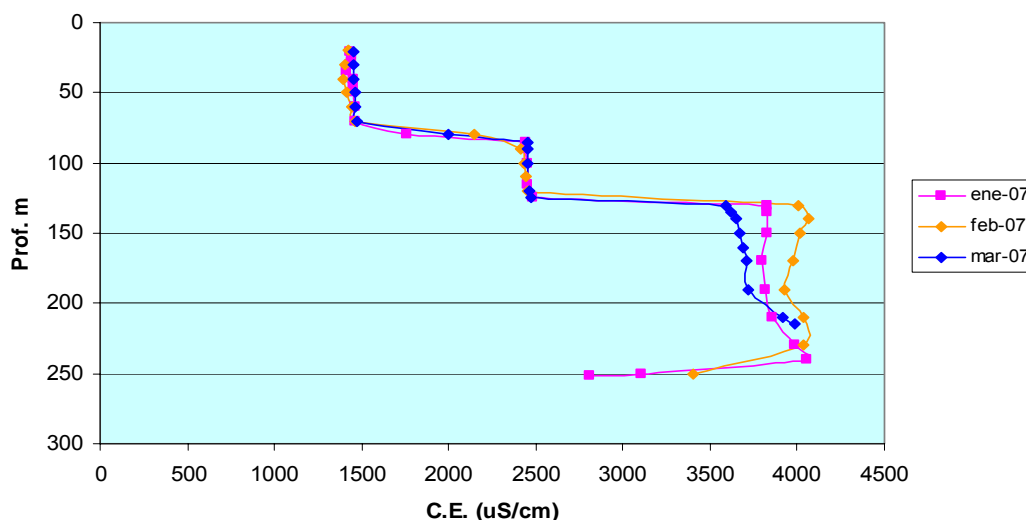


Gráfico nº 14: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-100 / SGOP-SX

- 3031-6-113 / PDGEST-1

Se trata de uno de los sondeos de investigación realizado con motivo del presente proyecto, por lo que cuenta con una columna litológica muy detallada.

Se ubica sobre la restinga, por lo que es uno de los sondeos más próximos a la costa, ya que se encuentra a sólo 900 m de la misma.

Se han realizado testificaciones desde diciembre de 2006 a marzo de 2007.

Este hecho se ha relacionado con la variación de cota piezométrica, de modo que la conductividad en la vertical es mayor con piezometrías bajas y disminuye al ascender el nivel piezométrico, es decir, las modificaciones estacionales en la posición de la interfase quedan reflejadas en los distintos registros de conductividad eléctrica. Los meses en los que la cuña salina retrocede, (febrero-marzo), en los que las piezometrías son elevadas, se alcanzan salinidades menores que en los periodos en los que ésta avanza (diciembre), en los que la piezometría es más baja. Es una respuesta lógica a la hidrodinámica agua dulce-agua salada en el sector de la restinga

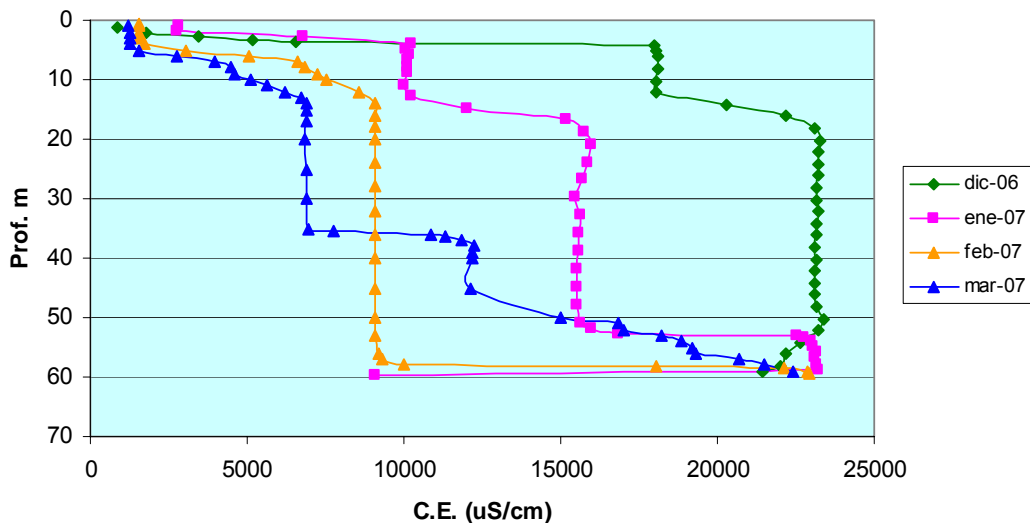


Gráfico nº 15: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-113 / PDGEST-1

En cuanto a las variaciones en la vertical, se identifican tres tramos de conductividades eléctricas diferentes. El primero muy superficial, hasta los 4-5 primeros metros de columna de agua, toma valores comprendidos entre los 840 y los 1.550 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este pequeño nivel de agua, en el que las variaciones mensuales son menos acusadas, no se asocia directamente a un paquete litológico y responde a una estratificación superficial del agua.

En un segundo tramo, la conductividad aumenta de forma progresiva o mediante un escalón brusco (según los meses) hasta los 18 metros de profundidad y se asocia claramente al paquete de arena fina más superficial. Se alcanzan valores de 18.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en diciembre de 2006 a 1.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en marzo de 2007.

Un tercer escalón en el que la conductividad permanece constante (salvo las variaciones mensuales) alcanza los 52-56 metros de profundidad y coincide con el conjunto litológico formado por arcillas (20,5 – 47,5 m) y calcarenitas y areniscas (47,5 – 54,3 m). Los registros de conductividad varían entre los 23.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de diciembre de 2007 y los 6.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de marzo de 2007.

Finalmente, puede establecerse un tercer escalón, en el que la salinidad alcanzan valores de 23.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en todos los meses, que se asocia aun paquete de gravas y cantos situado entre los 57 y 60 m de profundidad.

- 3031-6-114 / PDGEST-2

Esta perforación también cuenta con una detallada columna litológica.

Se ubica también en la restinga litoral, a 300 m de la playa, pero muy próxima a la desembocadura del río Racons por lo que se encuentra influenciado por el mismo, de forma que las variaciones piezométricas son menos significativas.

En el mes de febrero de 2007 no se pudo realizar el registro de parámetros por imposibilidad de accesos al punto, sin embargo, en los resultados de las otras tres campañas permiten comprobar que en este caso, las variaciones mensuales son mínimas y no se asocian como en el caso anterior a variaciones piezométricas.

La comparación entre los valores de conductividad eléctrica y la columna litológica permiten establecer un primer tramo de entre 1.600 y 3.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ asociado al nivel de arenosos superficial.

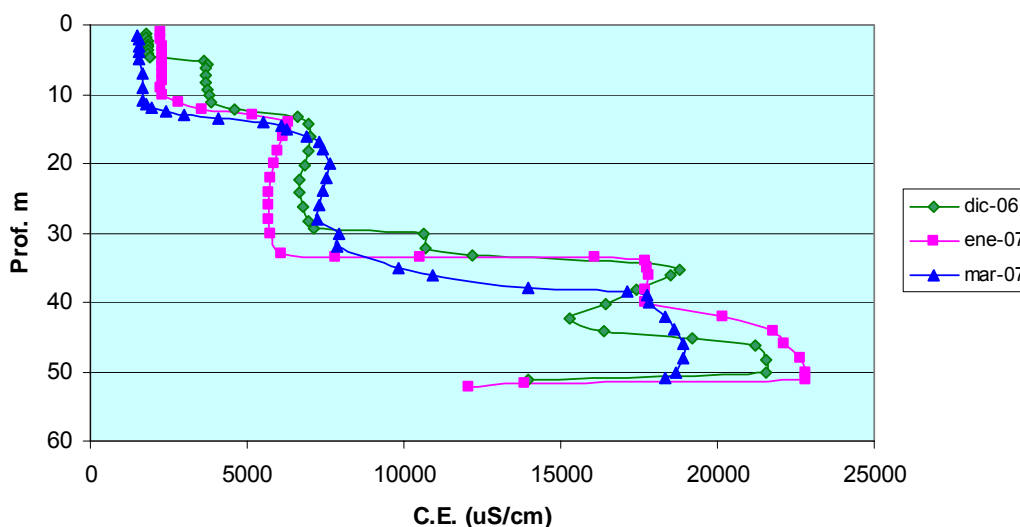


Gráfico nº 16: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-114 / PDGEST-2

Un segundo escalón, hasta los 34 m de profundidad fija conductividades eléctricas de entre 5.600 y 7.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y es consecuencia del paquete de arenisca situado entre los 29 y los 35 m de profundidad. Entre este paquete detrítico y el superficial se sitúa un tramo impermeable de arcillas limosas.

Finalmente la conductividad eléctrica asciende hasta valores de entre 18.000 y 22.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reflejo de la salinidad de las aguas de dos paquetes areniscosos situados entre los 38 y 56 m de profundidad.

- 3031-6-115 / PDGEST-5a

Esta perforación se encuentra alejada de la línea de costa y se considera poco influenciada por bombeos próximos.

El registro de marzo de 2007 no pudo realizarse por problemas técnicos.

La respuesta mensual es casi idéntica en el resto de registros y se establece un único tramo de conductividad eléctrica a lo largo de toda la perforación debido a que sólo el

paquete carbonatado situado entre 115 y 130 m de perforación se acondicionó con tubería rajada. Los pequeños paquetes permeables atravesados en el sondeo se aislaron mediante cementación.

Los tres perfiles realizados, tal como puede observarse en el gráfico adjunto, marcaron valores de conductividad eléctrica entre 1320 y 1380 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las variaciones piezométricas durante los meses de medida son pequeñas, sin embargo, se produce una leve disminución de la salinidad al aumentar la cota piezométrica.

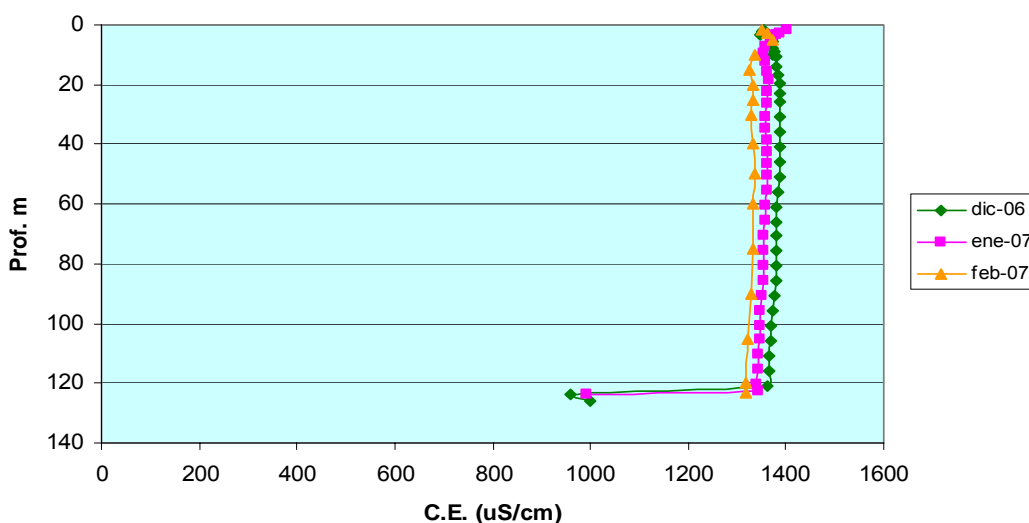


Gráfico nº 17: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-115 / PDGEST-5a

- 3031-6-116 / PDGEST-5b

Esta perforación se sitúa junto a la anterior, pero únicamente tiene una profundidad de 60 metros y en ella se recogen las aguas de varios niveles detríticos de gravas y cantos, situados entre los 13 y los 53 m.

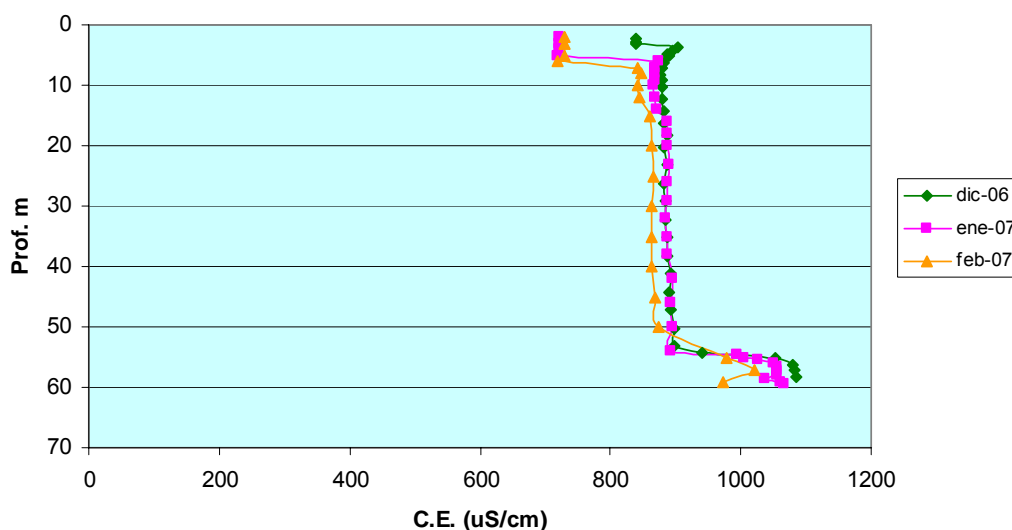


Gráfico nº 18: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-116 / PDGEST-5b

Como en el caso anterior el registro de marzo de 2007 no pudo realizarse.

Se comprueba como el tramo analizado apenas sufre variaciones estacionales ni en la vertical, con valores siempre en torno a los 860-890 $\mu\text{S/cm}$.

La comparación entre los dos gráficos anteriores permite corroborar las diferencias de salinidad entre las aguas de los dos paquetes litológicos registrados, mientras que en el sondeo PDGEST-5a, las calizas del fondo superan los 1.300 $\mu\text{S/cm}$, en el caso de los tramos detríticos más superficiales del PDGEST-5b, no se alcanzan los 900 $\mu\text{S/cm}$.

- 3031-6-117 / PDGEST-6b

Este sondeo, ubicado en la zona central del marjal, tiene la particularidad de que es surgente, salvo en épocas de marcada escasez de precipitaciones. Sólo presenta tramo ranurado a partir de los 45 m. de perforación, con objeto de captar las aguas del denominado acuífero conglomerático basal (CB).

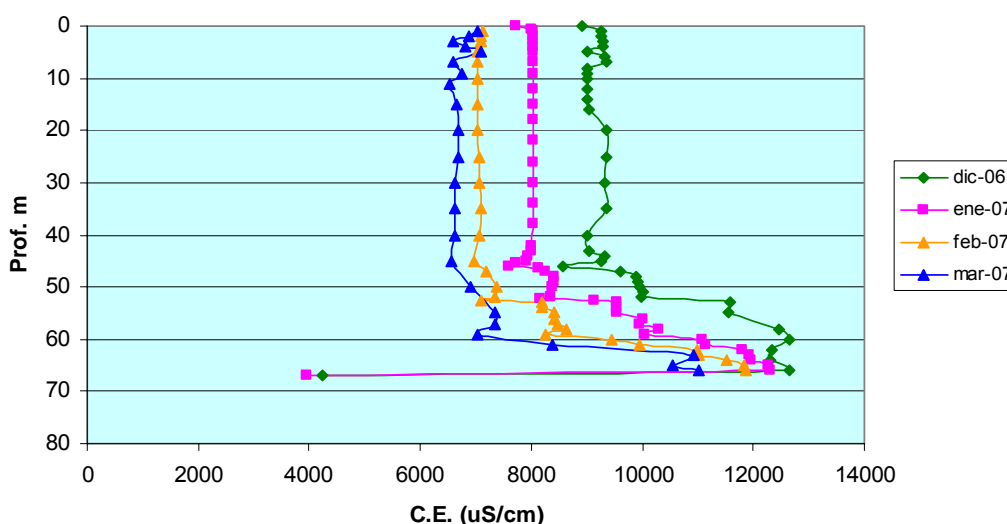


Gráfico nº 19: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-117 / PDGEST-6b

Los distintos registros muestran un descenso de la conductividad eléctrica entre diciembre de 2006 y marzo de 2007. El carácter surgente del sondeo no ha permitido correlacionar esta tendencia con variaciones piezométricas concretas, pero, atendiendo a la evolución general de la piezometría en el entorno no parece que pueda establecerse la correspondencia indicada en el caso del sondeo PDGEST-1, sino más bien la contraria, es decir, conductividades altas para piezometrías altas.

En la vertical no se producen variaciones hasta alcanzar el mencionado acuífero conglomerático. En ese momento y hasta el final del registro los valores aumentan progresivamente hasta superar los 12.000 $\mu\text{S/cm}$.

- 3031-6-118 / PDGEST-6c

Este sondeo, de apenas 12 metros de profundidad, se ubica junto al anterior y únicamente capta el nivel de arenas más superficial.

En los registros realizados se puede comprobar la mínima variación estacional, es decir, no se aprecian diferencias significativas entre los registros de los distintos meses.

También es clara la estratificación de las aguas de este paquete litológico, con un nivel menos salino situado entre la superficie y los 9 metros de profundidad, de 4.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y otro tramo inferior, hasta el fondo del sondeo, en el que se superan claramente los 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

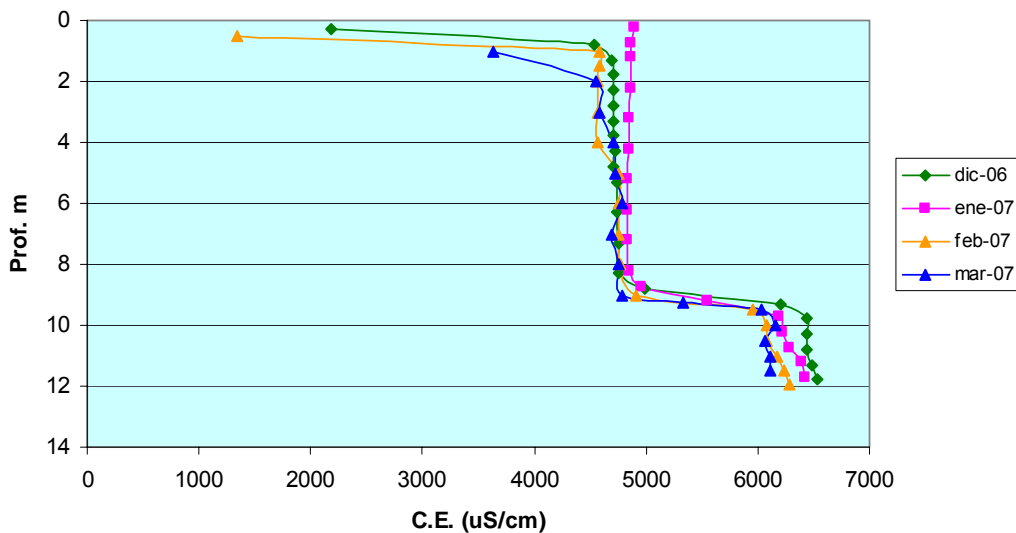


Gráfico nº 20: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-118 / PDGEST-6c

- 3031-6-119 / PDGEST-7a

Este sondeo, de 100 metros de profundidad está acondicionado con tubería rajada sólo en su tramo final, entre los 70 y 93 m de perforación, con el fin de captar las aguas del paquete detrítico de areniscas y arenas situado a esa altura. El resto de tramos permeables cortados por el sondeo se aislaron mediante tubería ciega e inyección de cemento por el espacio anular.

Los registros en los distintos meses son prácticamente idénticos, únicamente en marzo de 2007 se produce una pequeña disminución de la conductividad eléctrica de las aguas.

La estratificación es muy clara. Desde la superficie hasta los 60 metros de profundidad se obtienen valores del orden de 3.700 a 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Después se atraviesa la interfase en la que la conductividad aumenta con rapidez hasta alcanzar a la profundidad de 75 m. valores

de 14.600 a 15.000 $\mu\text{S/cm}$ (en marzo algo menores, de 12.900 $\mu\text{S/cm}$). Este segundo escalón es el que coincide con el tramo litológico abierto al pozo

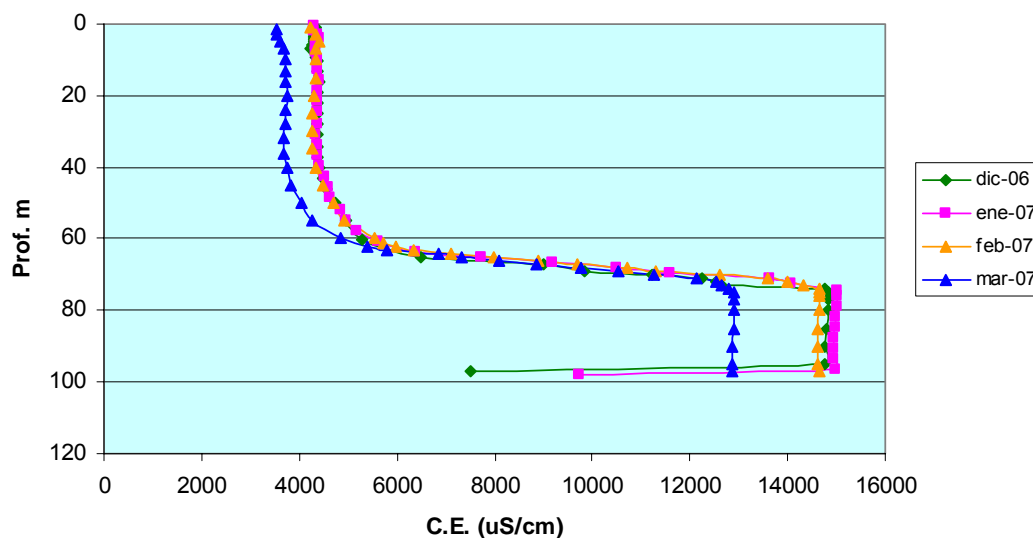


Gráfico nº 21: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-119 / PDGEST-7a

- 3031-6-120 / PDGEST-7b

Como en casos anteriores este sondeo se sitúa junto a su homólogo PDGEST-7a y capta un nivel acuífero distinto, en concreto el arenoso superficial (AS). Tiene 30 metros de profundidad y sus registros de conductividad eléctrica muestran pequeñas variaciones mensuales.

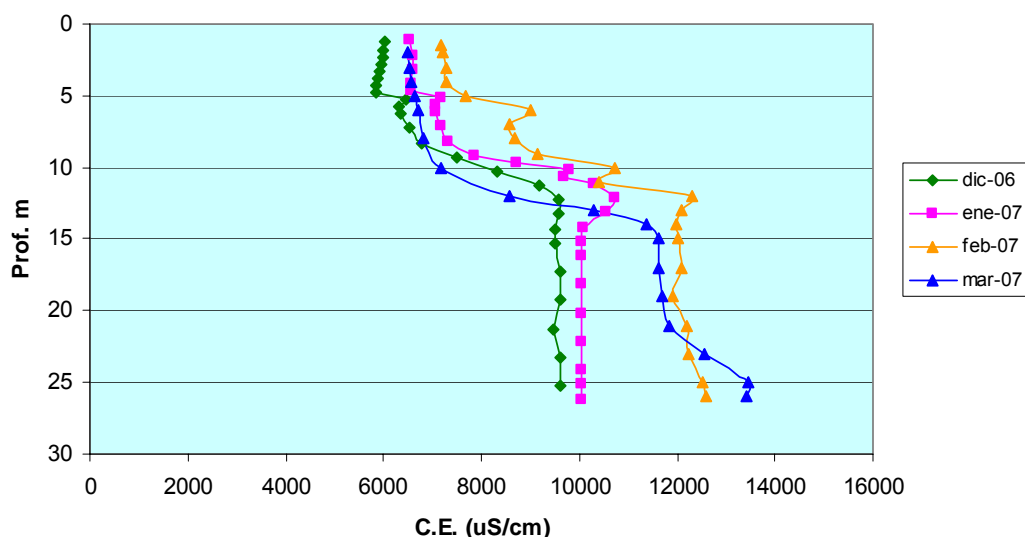


Gráfico nº 22: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-120 / PDGEST-7b

En la vertical, desde que se entra en el tramo arenoso, la conductividad va aumentando progresivamente hasta los 12 m de profundidad, para permanecer relativamente estable hasta el fondo de la perforación.

Se pasa así de valores superficiales de 6.000-7.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, hasta registros en torno a los 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (meses de diciembre de 2006 y enero de 2007) e incluso superiores a los 13.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (meses de febrero y marzo de 2007).

- 3031-6-121 / SGOP P-7

En este sondeo se caracteriza el nivel arenoso superficial, que alcanza los 15 metros de profundidad y un paquete margoso con niveles de yesos que alcanza los 39 metros finales de la perforación.

La perforación se sitúa en la zona interior de la restinga, en su unión con los depósitos típicos del marjal, a una distancia de 1,6 km de la costa.

Sólo se han realizado registros en los meses de enero y febrero de 2007.

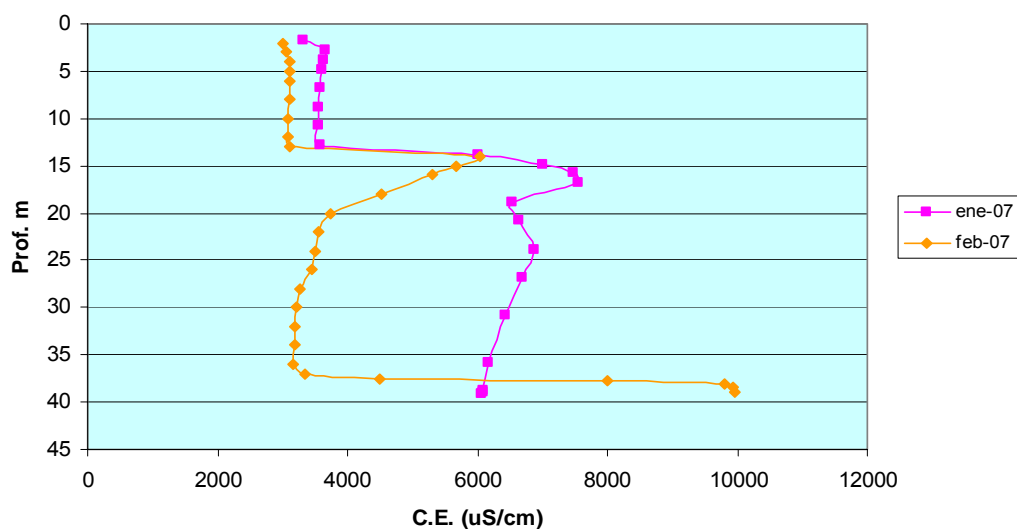


Gráfico nº 23: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-121 / SGOP P-7

La variación mensual es pequeña, y se puede asociar para estos dos registros una salinidad mayor a una cota piezométrica más baja.

La estratificación de las aguas con diferente salinidad es muy significativa, tal como refleja la variación de la conductividad eléctrica. Así, en el tramo arenoso los valores de conductividad oscilan entre 3.000 y 3.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el tránsito entre esta litología y las margas con yesos se produce un ascenso brusco de la conductividad eléctrica que alcanza valores de entre 6.000 y 7.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que desciende posteriormente a valores de 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de enero y de 3.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en febrero.

- 3031-6-122 / SGOP P-5

Este sondeo se sitúa en la zona de confluencia entre el glacis de Pego y los depósitos del marjal. Atraviesa hasta los 26 m de profundidad un paquete de gravas, bolos y arcilla y posteriormente una serie margosa.

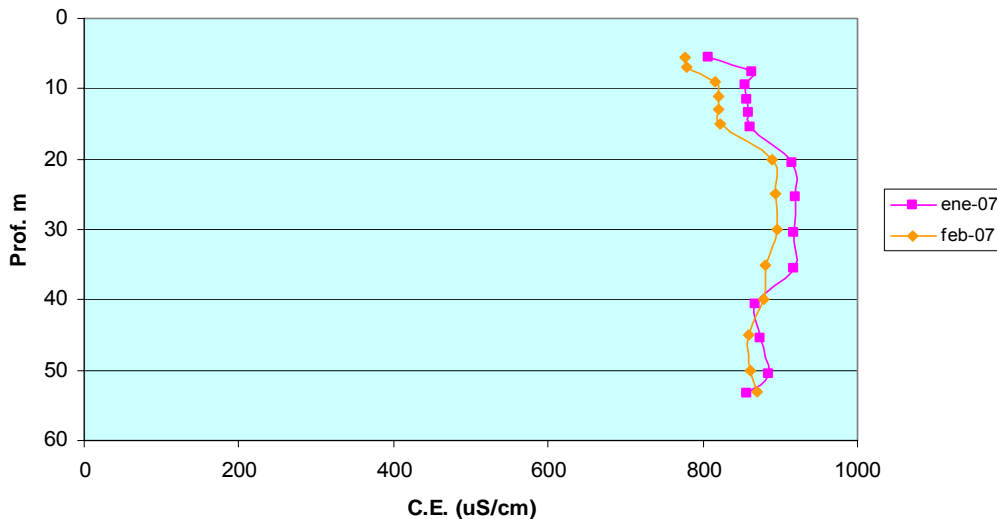


Gráfico nº 24: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-122 / SGOP P-5

Aunque se producen pequeños saltos en el registro de conductividad eléctrica, las variaciones son muy pequeñas, del orden de decenas de $\mu\text{S/cm}$. En ambos perfiles, los valores están comprendidos entre los 800 y los 920 $\mu\text{S/cm}$.

- 3031-6-125 / Calpero-2

Esta perforación, situada sobre las calizas y dolomías del Cenomaniense-Turonense de la cara noreste de la sierra de Segaria, atraviesa sólo estos materiales y está muy influenciada por la zona de depresión piezométrica creada entorno a la finca Rincón del Rosario, que provoca una cuña significativa de intrusión marina.

Se han realizado perfiles los meses de febrero y marzo de 2007 con resultados prácticamente idénticos.

Se identifican tres tramos de conductividad eléctrica. El primero con registros en torno a los 10.000-11.000 $\mu\text{S/cm}$, desde los 10 a los 29 m de profundidad. Un segundo estrato, entre los 29 y los 58 m de perforación en el que las conductividades eléctricas fijan valores de 20.000 a 22.000 $\mu\text{S/cm}$.

Por último, en los dos metros finales de perforación se produce un aumento significativo de la conductividad, que llega a superar los 35.000 $\mu\text{S/cm}$.

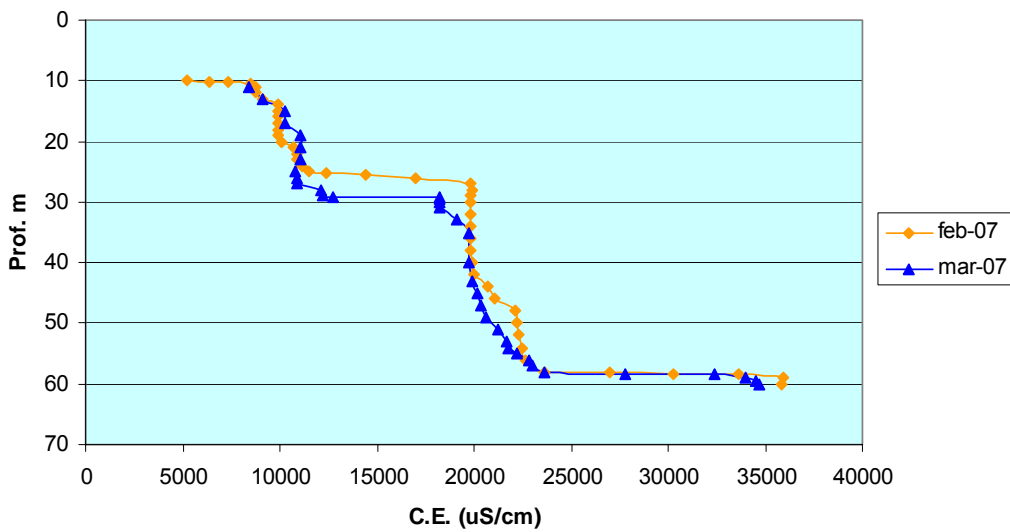


Gráfico nº 25: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-125 / Calpero-2

Estos perfiles marcan la base de la zona de interfase, que se situaría sobre los 58 m de profundidad.

- 3031-6-129 / SGOP-SL

Se trata de una perforación de gran profundidad en la que se atraviesan margas del Tap desde la superficie hasta los 106 m, después unas arcillas atribuidas a las facies Keuper hasta los 257 m de perforación, para finalmente cortar las calizas y dolomías del Cenomaniense-Turonense.

Sólo se han realizado dos perfiles en este sondeo, de respuesta muy similar, que han permitido comprobar la entrada a la captación de aguas de baja mineralización (525-550 μ S/cm) justo a la profundidad en la que se cortan los materiales carbonatados cretácicos. El resto del registro, fija conductividades continuas del orden de 650 μ S/cm.

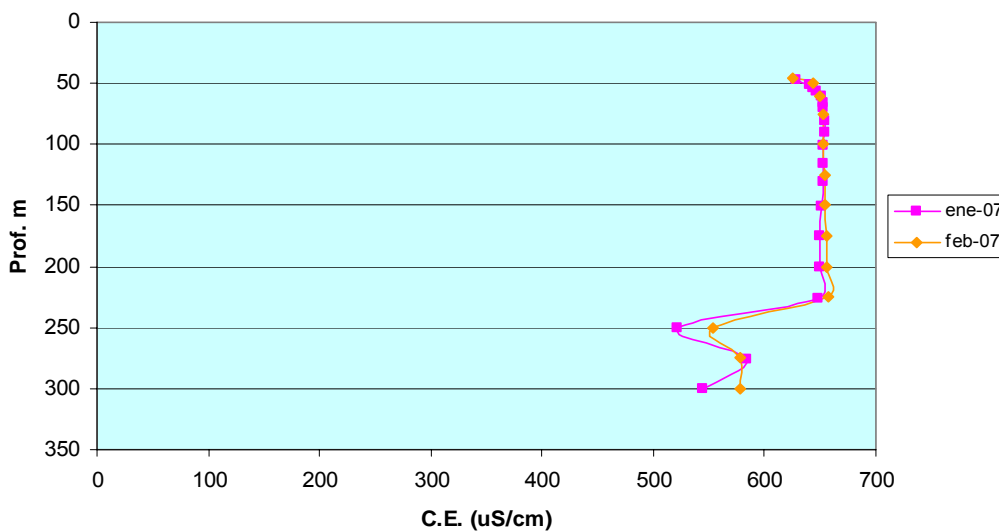


Gráfico nº 26: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-129 / SGOP-SL

- 3031-6-133 / SGOP-SV

Esta perforación, de 403 m de profundidad, atraviesa materiales impermeables hasta los 280 m (margas del Tap y arcillas con gravas del Keuper).

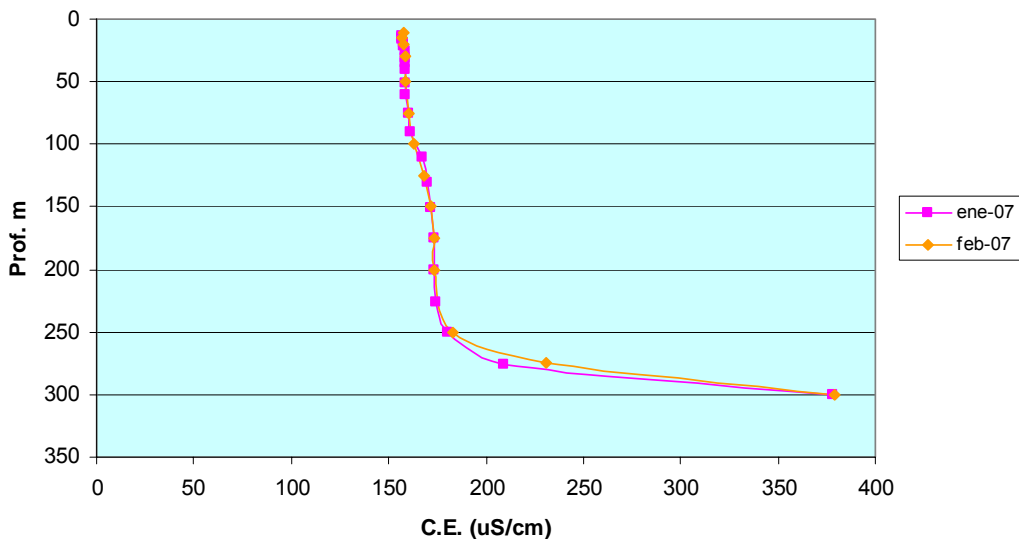


Gráfico nº 27: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-133 / SGOP-SV

Los registros de los dos meses de muestreo (enero y febrero de 2007) son idénticos. Toda la columna de agua presenta valores de conductividad eléctrica muy bajos (160-180 μ S/cm), sólo al alcanzar las calizas cretácicas sube a parámetros más habituales (380 μ S/cm).

- 3031-6-141 / SGOP P-3

En este sondeo, de 45 m de profundidad, que se sitúa en la parte centro-sur del marjal, sólo se ha realizado registro en la vertical de conductividad eléctrica en el mes de febrero de 2007.

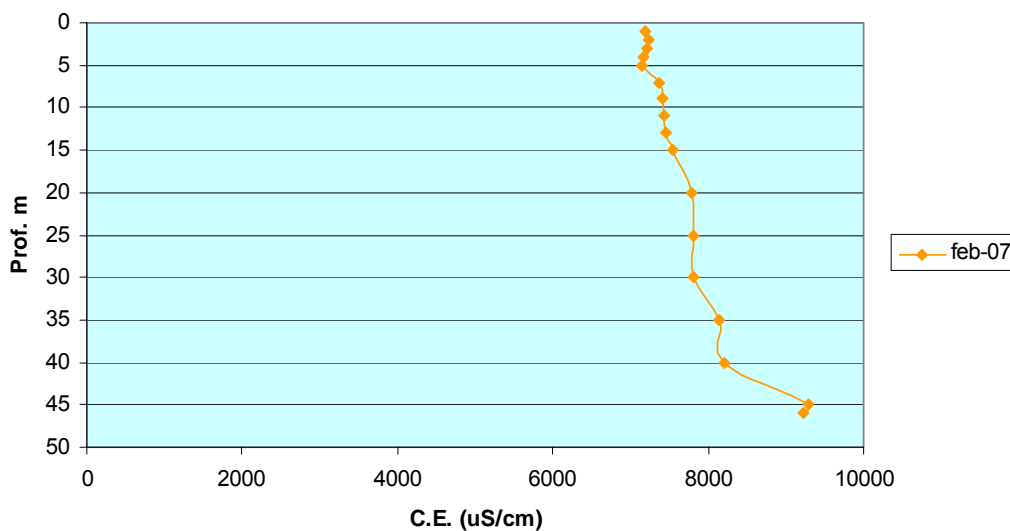


Gráfico nº 28: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-141 / SGOP P-3

De su perfil no se puede asociar ningún cambio en la conductividad eléctrica con un determinado estrato litológico.

Se atraviesa en primer lugar el nivel de arena fina típico de esta zona y un paquete de calizas bioclásticas que alcanza los 18 m de profundidad. Posteriormente se corta un tramo margoso, con otra pequeña intercalación entre los 30 y 32 m de profundidad de calizas bioclásticas muy porosas.

Sólo se produce un ligero y progresivo aumento en los registros, desde valores superficiales de 7200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 9300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ medidos a 45 metros de profundidad.

- 3031-6-144 / Ullal de Macareno

Sólo se ha realizado registro en el mes de enero de 2007.

Se trata de un sondeo surgente de 11 metros de profundidad que atraviesa el nivel acuífero arenosos superficial.

En su parte inferior se observan dos entradas de agua a la captación. Una, situado sobre el metro 10 de perforación de agua de menor salinidad (2379 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y otra algo más profunda (metro 11) de salinidad más elevada (2971 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La mezcla de ambos flujos en su ascenso hacia la superficie provoca la emergencia de aguas de salinidad intermedia (2650 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

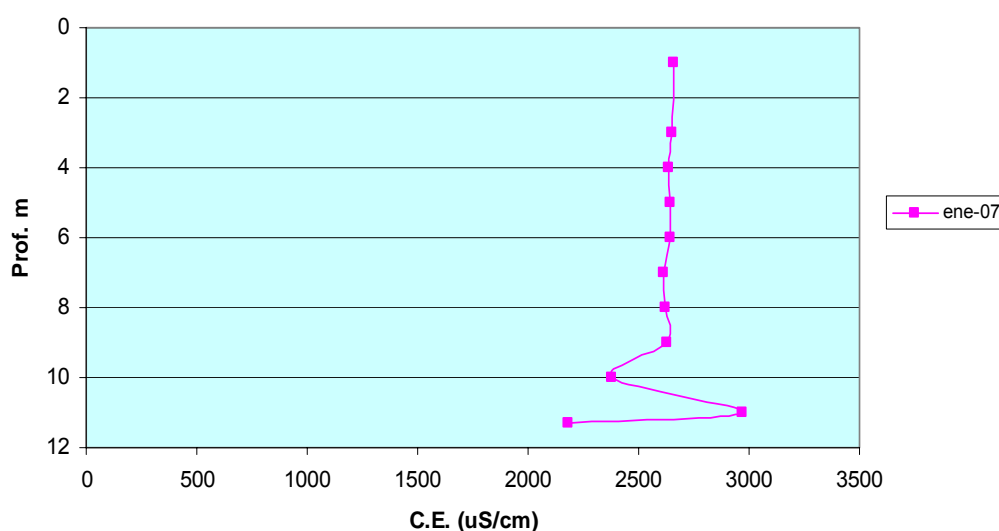


Gráfico nº 29: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-144 / Ullal de Macareno

- 3031-6-145 / Desaladora de Dénia

Se trata de una perforación que originalmente pretendía comprobar las posibilidades de extracción de agua para el abastecimiento a la desaladora de Dénia, pero cuyo uso para este fin se desestimó finalmente.

Los dos perfiles realizados en este sondeo (febrero y marzo de 2007) son idénticos, y marcan un salto brusco de salinidad a la profundidad de 56 metros. Este escalón no coincide con ningún cambio litológico y responde únicamente a que se trata de la situación de la interfase. Esta perforación se sitúa a sólo 600 metros de la línea de costa.

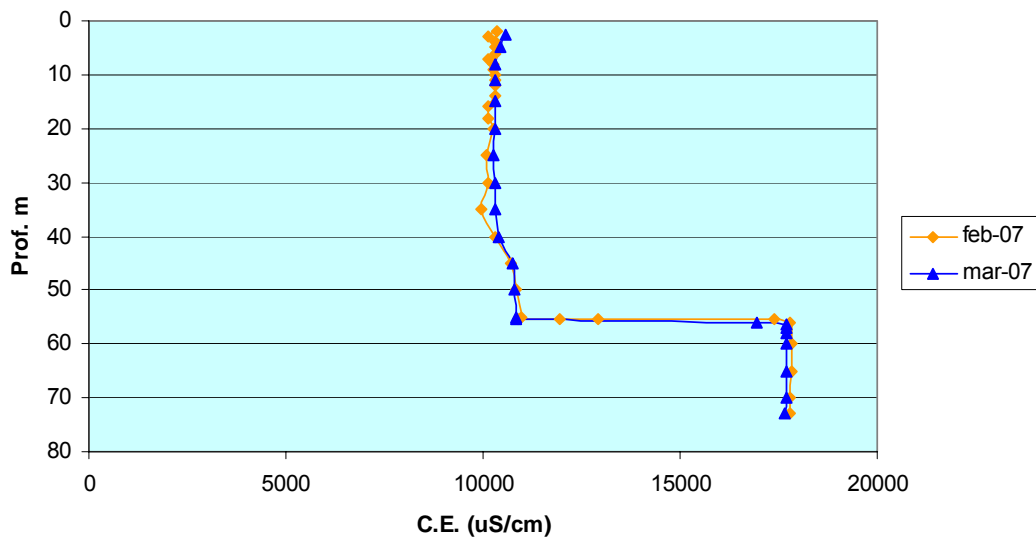


Gráfico nº 30: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-6-145 / Desaladora de Dénia

- 3031-7-105 / Calpero-1

Esta perforación, se encuentra próxima al Calpero-2, pero unos 500 metros más cercana a la costa.

También corta los materiales carbonatados del Cenomaniense-Turoninense de la sierra de Segaria, e igualmente está influenciada, aunque en menor medida, por la cuña salina provocada por los bombeos intensivos del Rincón del Rosario.

Su profundidad es algo menor (48 m), pero igualmente se identifican tres tramos de conductividad eléctrica. Uno hasta los 10 metros de profundidad con valores entre 4.500 y 4.800 μ S/cm. Desde esa profundidad hasta los 43 metros la conductividad en los tres perfiles realizados es prácticamente constante en torno a los 6.300-6.600 μ S/cm

El tramo final presenta un incremento brusco de la conductividad, con registros por encima de los 14.200 μ S/cm en los tres perfiles realizados

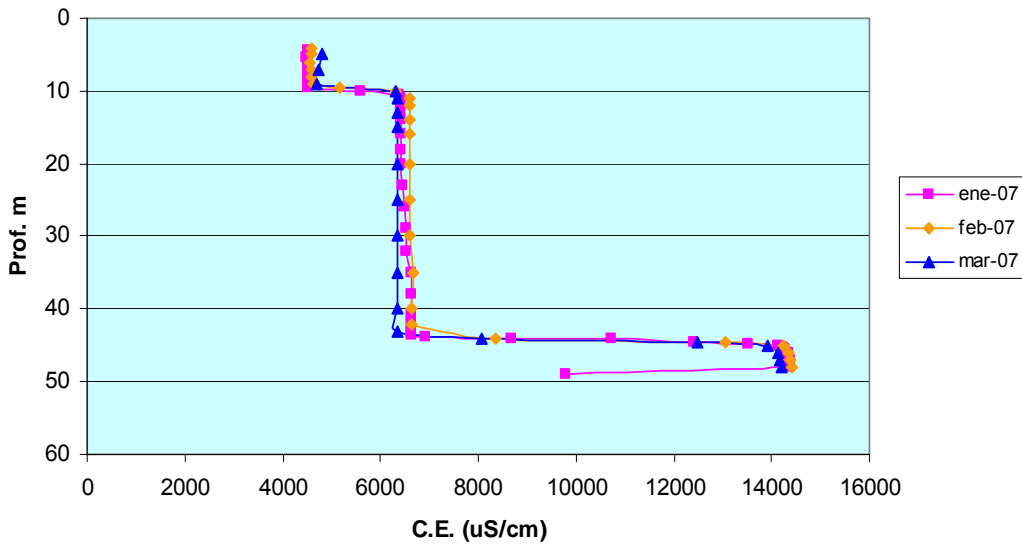


Gráfico nº 31: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-7-105 / Calpero-1

- 3031-7-107 / PDGEST-3

Es una perforación de 100 metros de profundidad situada a escasos 500 metros de la costa, sobre la restinga arenosa y en el vértice noreste de la finca Rincón del Rosario.

Los perfiles realizados en los cuatro meses de registro no presentan diferencias significativas, por lo que parece que las aguas subterráneas en este sector no sufren variaciones estacionales importantes. Aún así, en el último escalón de los perfiles, el que marca salinidades más altas, puede observarse una ligera disminución de la conductividad eléctrica entre diciembre de 2006 y marzo de 2007. Como a lo largo de estos meses la cota del nivel del agua en el sondeo fue aumentando puede asociarse grosso modo que se dan mayores concentraciones salinas con piezometrías más bajas.

El registro en la vertical y su correlación con los niveles litológicos atravesados es muy interesante ya que se aprecian saltos de conductividad en varios tramos asociados a cambios litológicos.

El primer acuífero cortado, el arenoso superior, que llega hasta los 11 metros de profundidad muestra aguas con una conductividad eléctrica de 2.000-2.300 µS/cm.

El tramo impermeable siguiente, que alcanza los 15,4 m de profundidad, compuesto por limos arcillosos, se refleja por un progresivo aumento de la conductividad eléctrica, hasta marcar un nuevo escalón con valores de 18.000-21.000 µS/cm, entre los 17 y 23 metros, que coincide con un paquete de calcarenitas ocreas.

A partir de esta profundidad y hasta el final del registro, a los 73 m de perforación, se supera la base de la interfase y se entra en un estrato de aguas salinas de conductividades eléctricas por encima de los 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todo este tramo está constituido por una alternancia de niveles de arenas y areniscas con pequeñas intercalaciones de margas e incluso algún tramo de gravas y cantos, como el situado entre los 33 y 35 metros de profundidad y que queda reflejado en los perfiles de conductividad eléctrica de diciembre de 2006 y enero de 2007 con un pequeño aumento de la salinidad, lo que puede interpretarse como una entrada directa de agua marina al sondeo.

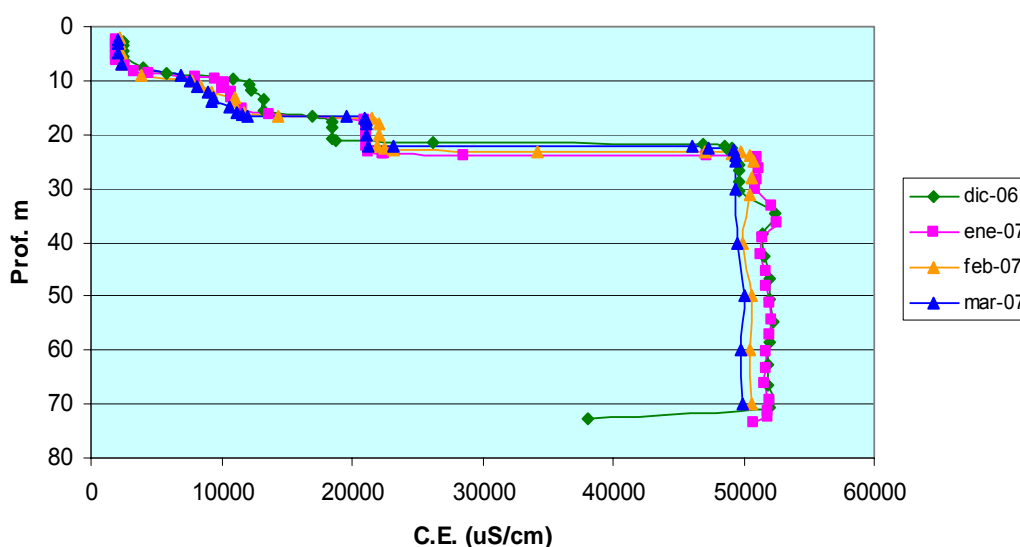


Gráfico nº 32: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-7-107 / PDGEST-3

- 3031-7-108 / PDGEST-4

Es la perforación más suroriental de la zona, y se sitúa a caballo entre el cierre sur de la restinga y el abanico aluvial del río Girona.

La práctica totalidad de su columna litológica está compuesta por materiales detríticos permeables. De los 5 a los 27 metros se cortan gravas y cantos, dentro de una matriz arcillo-arenosa y por debajo se encuentra un tramo arenoso que llega casi hasta el final de la perforación.

Los perfiles realizados son muy similares en los tres meses de 2007, sin embargo, en diciembre de 2006 el registro, además de no marcar unos escalones o tramos diferenciados, alcanza conductividades eléctricas comparativamente muy superiores, ya que se superan en varios puntos los 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En este mes la cota del agua en el sondeo se sitúa varios centímetros por debajo del nivel del mar, lo que puede ser un hecho significativo.

En el resto de perfiles se pueden distinguir tres tramos de conductividad eléctrica, entre los 5 y 10 metros de profundidad don valores en torno a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; entre los 10 y los 20 metros se fija un nuevo escalón de valores de 3.000 a 3.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos dos primeros tramos coinciden con el paquete de gravas y cantos. Por debajo, al entrar en las arenas finas, la conductividad eléctrica aumenta hasta situarse en registros del orden de 5.200-5.900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

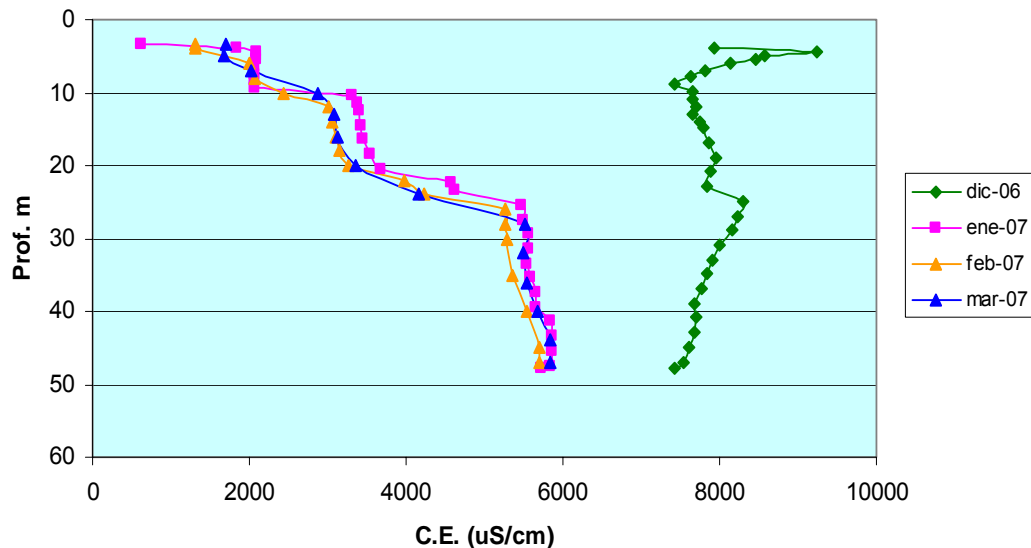


Gráfico nº 33: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3031-7-108 / PDGEST-4

- 3032-1-27 / SGOP S-4

Esta perforación, de 370 metros de profundidad se encuentra en la vertiente noreste de la sierra de Mediodía. Se emboquilla sobre un frente de cabalgamiento y atraviesa básicamente materiales carbonatados del Cretácico. El tramo final de perforación alcanza materiales arcillosos que se ha interpretado como pertenecientes a las facies Keuper.

El nivel del agua se encuentra normalmente sobre los 140 metros de profundidad, por lo que el único registro realizado, en febrero de 2007, se inicia aproximadamente a esta profundidad.

En este perfil sólo se registran valores bajos de conductividad eléctrica, entre 235 y 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que no permiten realizar asociaciones con cambios litológicos significativos o identificar fisuras o puntos de entrada de aguas de distinta salinidad.

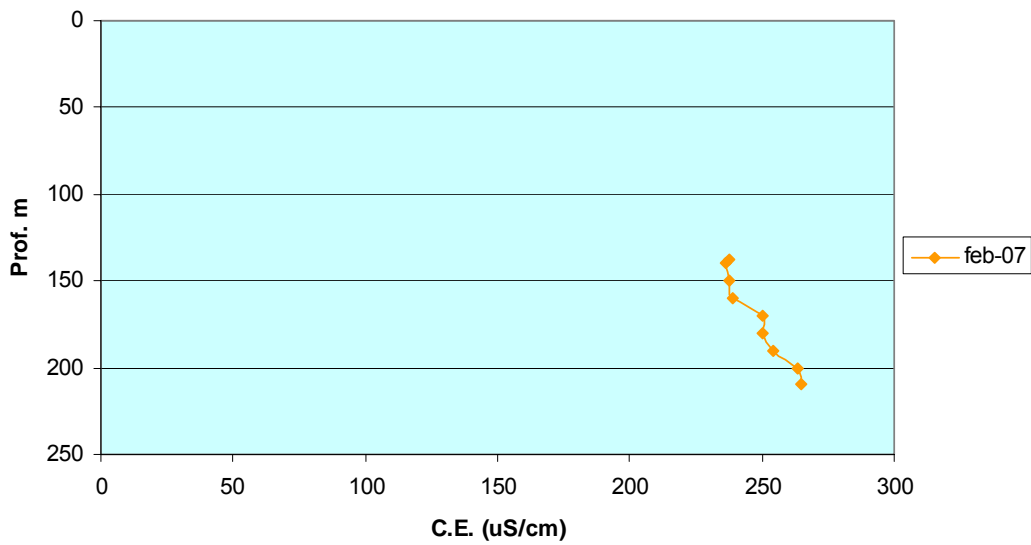


Gráfico nº 34: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3032-1-27 / SGOP S-4

- 3032-2-110 / SGOP S-2

Como en el caso anterior, se trata de un sondeo de gran profundidad (485 m) situado en el extremo oriental de la sierra de Mediodía.

Atraviesa principalmente materiales cretácicos, constituidos por calizas margosas, margas, areniscas y calizas, aunque también se intercalan, a techo y muro de éstos, dos tramos arcillosos con yesos atribuidos al Keuper triásico.

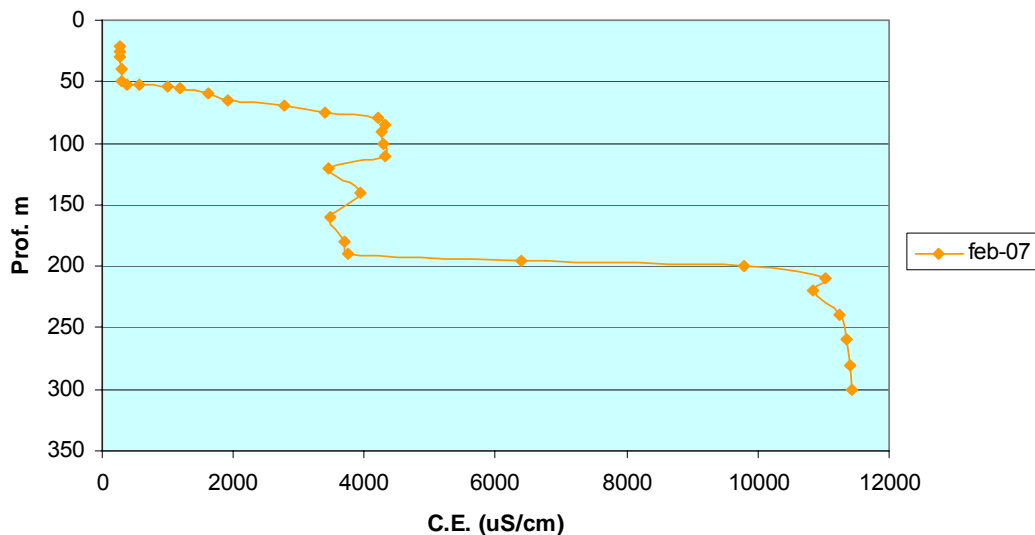


Gráfico nº 35: testificación de la conductividad eléctrica en el sondeo 3032-2-110 / SGOP S-2

Si se compara el perfil de conductividad con la columna litológica se observa (ver ficha adjunta en el anejo) que la conductividad eléctrica es baja (250-370 μ S/cm) en la parte más superficial, hasta alcanzar los niveles de arcillas con yesos que se encuentran a los 60

metros de perforación. En este punto se produce un escalón y se llega a valores de entre 3.500 y 4.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta los 190 metros de profundidad en donde atraviesa un nivel de areniscas y calizas y se produce un nuevo escalón, tras el cual el registro de conductividad es prácticamente constante, con valores siempre por encima de los 10.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

18.2. CATERIZACIÓN DE PERFILES GEOFÍSICOS

La realización de perfiles de conductividad eléctrica ha permitido caracterizar los diferentes tramos acuíferos captados por los sondeos y en algunos casos establecer una relación entre la evolución piezométrica y la salinidad de las aguas.

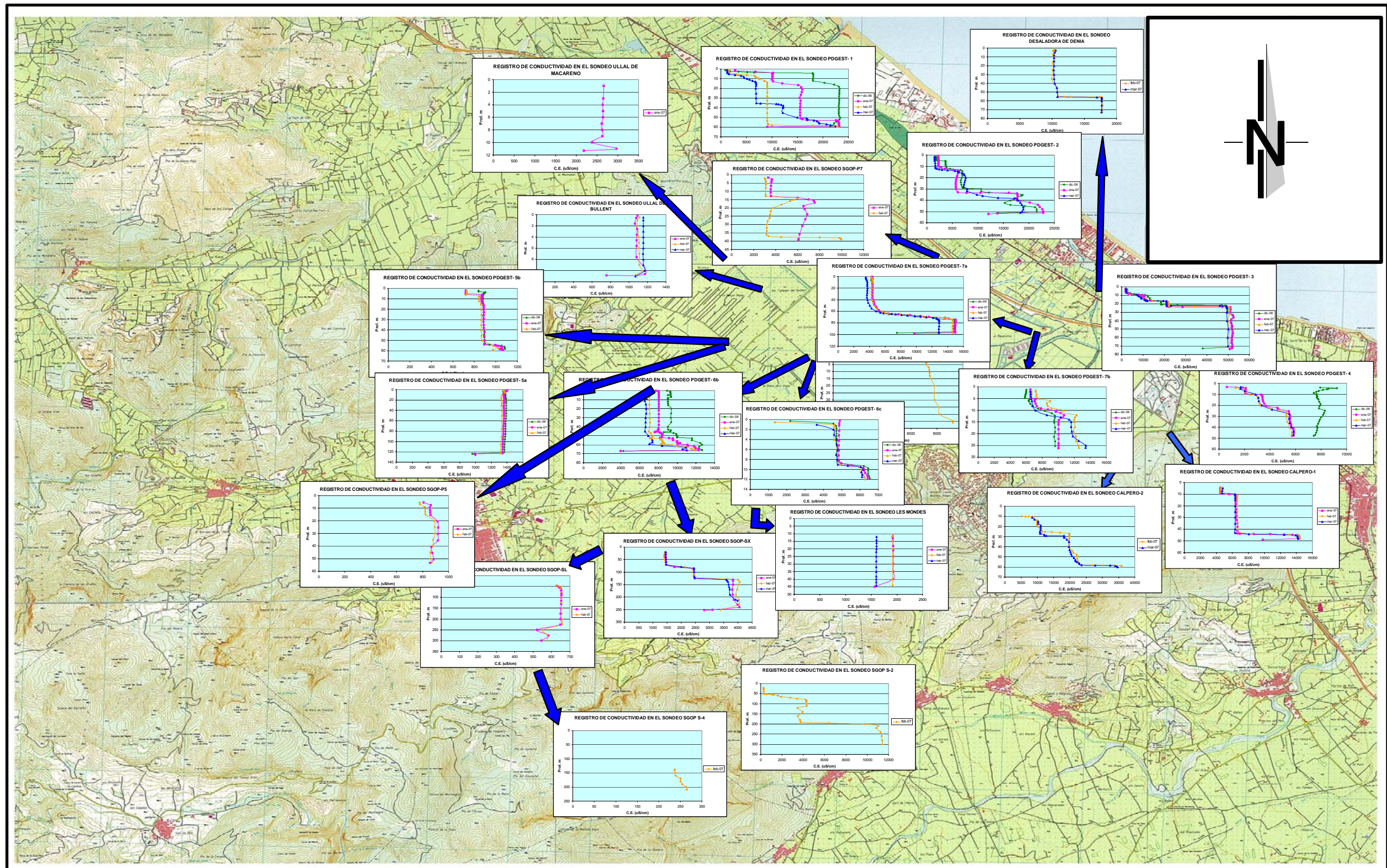
Se ha comprobado que los sondeos que presentan conductividades eléctricas más altas, en muchas ocasiones por encima de 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, son los más próximos a la costa, situados sobre la restinga. En estos casos (PDGEST-1, PDGEST-3, PDGEST-4, SGOP P-7) se produce además la circunstancia de que a bajas piezometrías la salinidad es más elevada, es decir, en los meses en los que los aportes de aguas continentales son menores la cuña de intrusión avanza y modifica la posición de la interfase de manera que a igual profundidad de registro la conductividad eléctrica es mayor.

Esta relación no se aprecia en los sondeos situados lejos de la franja costera, donde las variaciones de salinidad a lo largo del tiempo son menores y pueden estar influenciadas en mayor medida por la litología del acuífero captado.

No obstante, también presentan valores altos de conductividad eléctrica las captaciones que se encuentran cerca del área de intrusión de la finca Rincón del Rosario, como las del extremo noreste de la sierra de Segaria (3031-6-125; 3031-7-105), que atraviesan materiales carbonatados o el sondeo de la desaladora de Dénia (3031-6-145).

En sondeos más interiores los registros presentan valores bajos ($< 1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$), sobre todo en aquéllos no influenciados por bombeos cercanos (3031-6-122; 3031-6-129; 3031-6-133; 3032-1-27).

Por último se encuentran sondeos en los que la presencia evidente de materiales yesíferos ocasiona valores de conductividad eléctrica intermedios, de entre 2.000 y 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3031-6-100; 3032-2-110).



Indicación de la ubicación del sondeo

FIGURA 27: MAPA DE TESTIFICACIONES EN LA VERTICAL (C.E. y T°)

19. EVOLUCIÓN DE LA INTRUSIÓN MARINA

Ya se ha realizado un análisis espacial de la intrusión marina, en donde se ha tenido en cuenta la disposición de los diferentes tramos acuíferos y especialmente la configuración estructural del basamento mesozoico. También se han descrito las variaciones de salinidad en los diferentes tramos acuíferos a escala anual.

A continuación se estudia la evolución de la intrusión marina y en el siguiente apartado se determinarán sus causas.

Para ello se presta especial atención a la evolución de la salinidad de los manantiales asociados a los acuíferos de Mustalla, concretamente al manantial de Font Salada y de Segaria (Balsa Sineu).

El objetivo es definir la respuesta hidroquímica e hidrodinámica de los mismos en las distintas épocas del año. Se establecen correlaciones de salinidad y altura piezométrica en los acuíferos, de forma que épocas consideradas húmedas estarán ligadas a niveles piezométricos altos y las secas a bajos.

Para explicar el funcionamiento de manantiales salinos costeros existen varias teorías, entre ellas A. Maramathas et al. (2006) sostienen que un manantial kárstico se vuelve salobre (o incrementa su salinidad) cuando los conductos que le suministran agua dulce interceptan con otros conductos provenientes del mar que contienen agua salada, bajo la condición de que la presión del agua salada en la intersección sea mayor que la del agua dulce. Este origen de la salinidad coincide básicamente con el propuesto por Ballesteros et al. para los manantiales de Pego-Oliva.

Otros autores basan la dinámica de las aguas de la interfase en las diferencias de densidad del agua dulce y salada. Así, M. Pool et al. en 2007 hablan de que la diferencia de densidad entre el agua dulce y la salada hace que la primera flote sobre la segunda. Sin embargo, en la realidad no se establece una interfaz brusca entre ellas, ya que ambos fluidos son miscibles y se genera una celda de convección vertical. En este entorno confluyen dos flujos de sentido contrario y características diferentes. El flujo de entrada en la base del acuífero es de pequeña magnitud y salinidad elevada, mientras que el flujo de salida en la parte superior de la zona saturada del acuífero es elevado y con pequeña concentración salina.

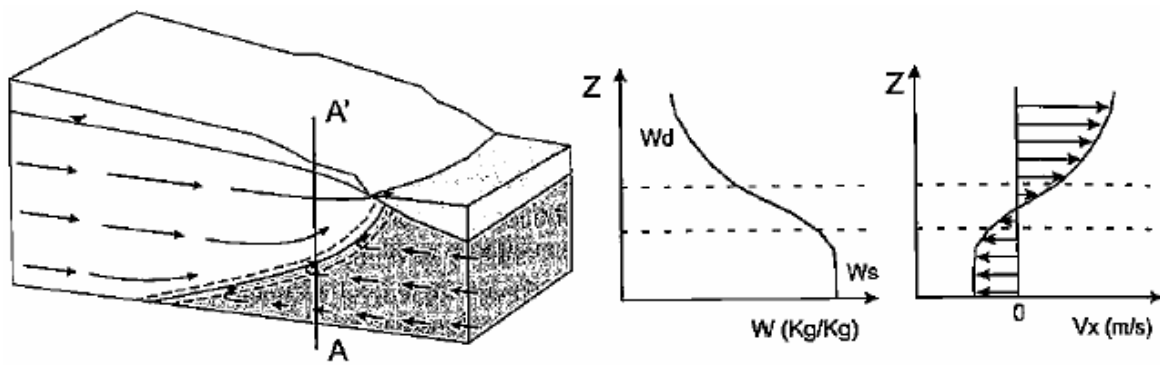


Figura nº 28: esquema tridimensional de la cuña de intrusión marina. Variación en la vertical de la fracción másica (W) y del flujo horizontal (Vx) en una cierta sección A-A' (Extraído de M. Pool, et al. 2007)

En definitiva, y de modo simplificado, se puede afirmar que el movimiento del flujo agua subterránea en la zona de la interfase de los acuíferos costeros se debe a la interacción entre los procesos debidos a las variaciones de densidad y a los relacionados con la dispersión hidrodinámica del medio, especialmente relevantes en acuíferos fisurados y kársticos, que se traduce en la generación de distintas cargas hidráulicas en diferentes conductos favoreciendo los procesos de mezcla.

19.1. DATOS DE PARTIDA

Para establecer la dinámica evolutiva del contenido salino de los manantiales que dan origen a los ríos Bullens y Racons, se ha partido de diferentes tipos de series de datos temporales, como son el contenido en ión cloruro y caudales de los propios ríos, la precipitación de la zona, la temperatura y el contenido en cloruros de las aguas de Font Salada y Balsa Sineu y, por último, el nivel piezométrico de varios sondeos que captan la zona saturada de ambos acuíferos.

19.1.1. DATOS DE PRECIPITACIÓN

Se han obtenido de la estación termopluviométrica de Pego Convento, tal como se ha referido en el apartado de "Encuadre Climático".

La media de precipitación anual, según los datos históricos de este observatorio desde 1975 a 2003 es de 792 mm, con dos periodos de máximas precipitaciones entre septiembre y noviembre y abril-mayo y dos mínimos en julio-agosto y enero-febrero. El año de menor precipitación fue en 1983 con 289 mm, mientras que el más lluvioso resultó el de 1989 con 1.616 mm.

19.1.2. CAUDALES Y DATOS HIDROQUÍMICOS DE LOS RÍOS BULLENS Y RACONS

Los datos proceden de los trabajos llevados a cabo para la ejecución del presente estudio, en el que desde diciembre de 2005 se realizan con cadencia mensual aforos directos en los ríos Bullens y Racons y de los registros continuos de las estaciones de aforo fijas que la Exma. Diputación de Alicante tiene instaladas cerca de las desembocaduras de ambos cauces y que miden el caudal medio totalizado y la conductividad eléctrica de forma diaria.

Las secciones de aforo directo coinciden con las de telemetría y sus resultados permiten calibrar los resultados de los sensores permanentes.

El periodo de registro de estas estaciones fijas, con algunos intervalos de ausencia de datos, se extiende para el río Bullens desde mayo de 2004 hasta julio de 2007 y para el río Racons desde abril de 2004 hasta mayo de 2007.

También de forma mensual el IGME viene tomando datos de la calidad de las aguas de ambos ríos desde finales de 2001.

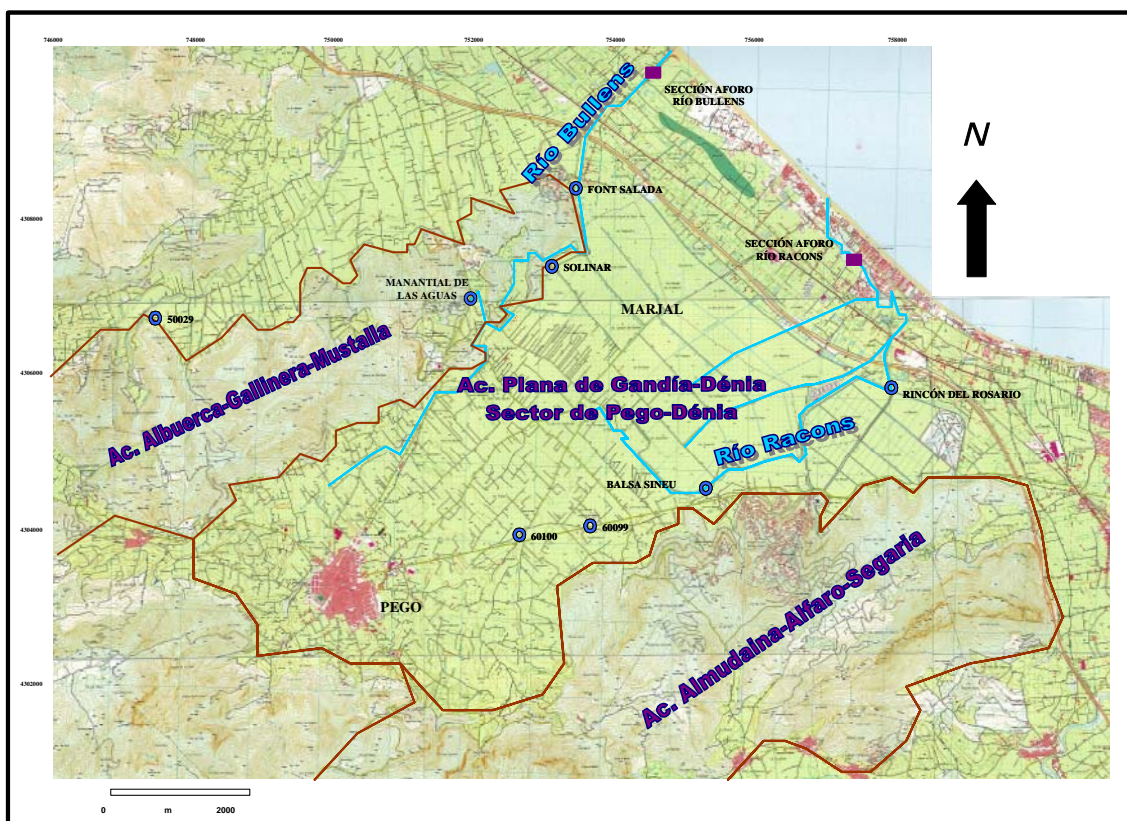


Figura nº 29: mapa de situación de los manantiales y sondeos de toma de datos y de las secciones de aforo en los ríos Bullens y Racons

19.1.3. DATOS PIEZOMÉTRICOS Y DE CALIDAD DE LOS ACUÍFEROS

Se han utilizado series de datos históricos del periodo comprendido entre mayo de 1974 y abril de 2001, de cadencia semestral, del sondeo 3031-5-29, también los registros mensuales del mismo del periodo diciembre de 2005 a septiembre de 2007. Este sondeo pertenece al acuífero cretácico de la sierra de Mustalla y capta las formaciones carbonatadas en la zona libre del mismo, por lo que resulta un punto acuífero que refleja perfectamente la evolución hidroquímica y piezométrica de éste.

En la tabla adjunta se refleja la información a correlacionar:

Nº IGME	303160001	303160002	303160099	303160100	303220113	303150029	303170002
Toponim.	Font Salada	Balsa Sineu	Les Mondes	SGOP S-X	SGOP S-3		
Dato	Cl (mg/L)	Cl (mg/L)	N.P. (m s.n.m.)	N.P. (m s.n.m.)	N.P. (m s.n.m.)	N.P. (m s.n.m.)	N.P. (m s.n.m.)
6-7-05	8900	1240	1,74	2,93	2,94	40,8	12,19
9-11-05	3020	2520	2,97	4,11	4,55	40,36	12,85
8-2-06	5600	2450	2,9	3,82	5,04	39,6	
29-5-06	4360	2533	2,39	2,96	5,19	34,26	2,79
26-6-06	8900	2080	2,25	3,1	4,04	33,8	1,36
24-7-06	7400	960	2,09	2,82	2,84	30,71	0,28
27-9-06	2740	1000	1,7	2,49	-0,02	27,93	-1,07
25-10-06	1886	1180	1,85	2,56	-0,96	27,8	-0,71
24-11-06	6750	2380	2,5	3,02	1,24	28,15	1,09
18-12-06	4590	2330	2,25	3,03		28,96	
20-2-07	8400	3010	3,99	4,79		32,22	3,38
23-3-07	4470	2010	2,55	3,42		32,3	2,86
19-4-07	6400	2940	4,52	4,18		34	3,36
25-5-07	8000	2000	3,68	4,12		34,45	4,66
22-6-07	8300	1230	3,39	3,93		33,55	4,37
21-9-07	5575	1740	2,02	2,82		25,8	2,15
23-10-07	4840	2640	4,02	2,88		29,46	4,97

Los registros del sondeo 3031-5-29 son coetáneas en el tiempo con medidas del contenido en ión cloruro del manantial de la Font Salada y su correlación ha aportado valiosa información sobre el tema analizado en este apartado.

De la sierra de Segaria se han recopilado los datos de calidad y piezometría de las captaciones 3032-2-113 y 3031-7-2, además de contar con los registros históricos del manantial de Balsa Sineu (3031-6-2).

También se han estudiado los registros mensuales de piezometría y calidad (periodo diciembre-2005 a septiembre-2007) de las captaciones 3031-6-99 y 3031-6-100, localizadas sobre el acuífero Pliocuaternario detrítico de Pego-Dénia, pero que cortan en profundidad calizas cretácicas probablemente conectadas tanto con el acuífero de Mustalla como con el de Segaria.

19.1.4. DATOS HIDROQUÍMICOS Y DE TEMPERATURA DE FONT SALADA y Balsa SINEU

De estos manantiales se han tomado medidas mensuales del contenido en ión cloruro entre noviembre de 2005 y septiembre de 2007 y de la temperatura de sus aguas desde mayo de 2006 a noviembre de 2007.

Como ya se ha comentado, se dispone también de una serie de datos históricos, de cadencia asimilable a trimestral, sobre estos mismos parámetros, procedentes de la base de datos del IGME, así como de diversos informes realizados por éste, para el periodo comprendido entre febrero de 1977 y mayo de 2001.

19.1.5. CAUDALES DE FONT SALADA Y Balsa SINEU

En cuanto al caudal de estos manantiales, los registros históricos son escasos por lo que no han podido ser utilizados para su correlación con el resto de parámetros.

De la información recopilada, la mayor densidad de datos corresponde al periodo comprendido entre julio de 2005 y octubre de 2007.

19.2. ANÁLISIS DE LAS RELACIONES PARAMÉTRICAS

Como ya se ha mencionado, las aguas de los ríos Bullens y Racons proceden en gran medida de los aportes de varios manantiales que drenan los acuíferos carbonáticos de las sierras de Mustalla y Segaria.

En concreto el río Bullens recibe aportes de los manantiales de Les Aigües, El Solinar y Font Salada, mientras que el río Racons, además de aportes procedentes del marjal de Pego-Oliva, recibe las aguas del manantial de Balsa Sineu y los bombeos de la finca agrícola Rincón del Rosario.

El “especial” comportamiento hidroquímico de estos manantiales según la época del año, tal como analizó Ballesteros, et al en 2005, que presenta un aumento en el contenido salino al pasar de épocas secas a húmedas, es decir, con aumento de los caudales drenados, se

analiza a continuación mediante diversas correlaciones de parámetros que permitirán establecer el mecanismo que provoca dichos cambios de salinidad.

19.2.1. PRECIPITACIÓN - CAUDAL DE LOS RÍOS BULLENS Y RACONS

El análisis comparativo de los caudales obtenidos mediante telemedida y aforos directos en las secciones de control de drenaje de los ríos Bullens y Racons muestra que un 35% de las medidas difieren notablemente entre sí, lo que puede explicarse por la existencia de numerosos factores físicos externos, principalmente por la acumulación de vegetación arrastrada por los cauces en dichos puntos. Tras eliminar éstos resultados anómalos, y realizadas las operaciones de calibración a partir de los datos de aforo reales que indicaban una sobrevaloración en un 20 % de los registros de telecontrol, los caudales drenados en 2006 por el río Bullens, un año con precipitaciones inferiores a la media, han sido de 36 hm³ y de 64 hm³ por el río Racons.

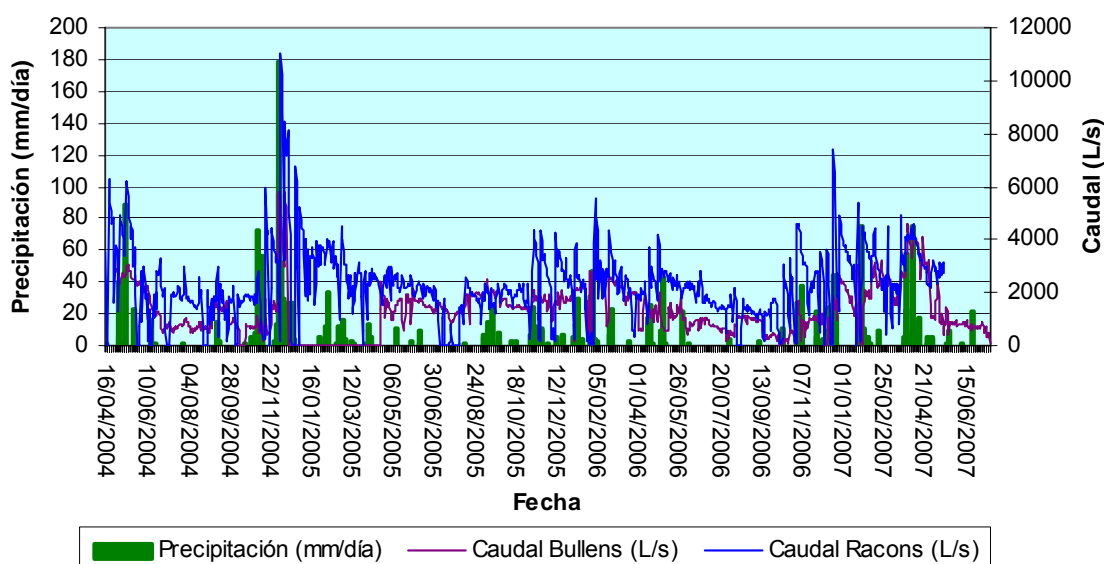


Gráfico nº 36: Caudales drenados por los ríos Bullens y Racons y precipitaciones diarias registradas en el observatorio de Pego Convento 8057^a

En el gráfico anterior se observa la clara relación que existe entre los caudales drenados y la precipitación. Los episodios lluviosos de la primera quincena de diciembre de 2004, que sumaron más de 450 mm, generan caudales máximos de más de 5.800 L/s en el Bullens y 11.000 L/s en el Racons. Los periodos de mayor drenaje se centran entre diciembre-febrero y abril-mayo de cada año, con momentos de grandes avenidas que llegan a multiplicar por seis los caudales normales, como en diciembre de 2004 y más recientemente los episodios de octubre de 2007 con un registro de caudal en el río Bullens el día 24 de 7.368 L/s. Por el contrario, los periodos en los que el agua evacuada es menor, coinciden con el comprendido entre junio y principios de octubre. En estos meses los caudales diarios del río Bullens son inferiores a los 80.000 m³, mientras que los del Racons rondan los 170.000 m³.

19.2.2. CAUDAL-CALIDAD DE LOS RÍOS BULLENS Y RACONS

Una de las primeras relaciones analizadas ha sido la que trata de determinar la correspondencia entre los caudales drenados por los ríos Bullens y Racons, y la calidad de sus aguas a partir del contenido en ión cloruro.

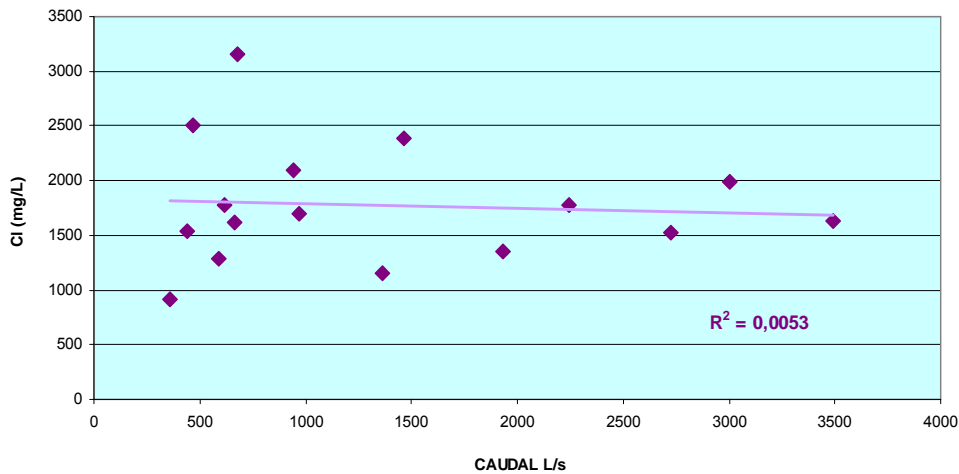


Gráfico 37: Correlación entre el contenido en cloruros de las aguas del río Bullens y su caudal

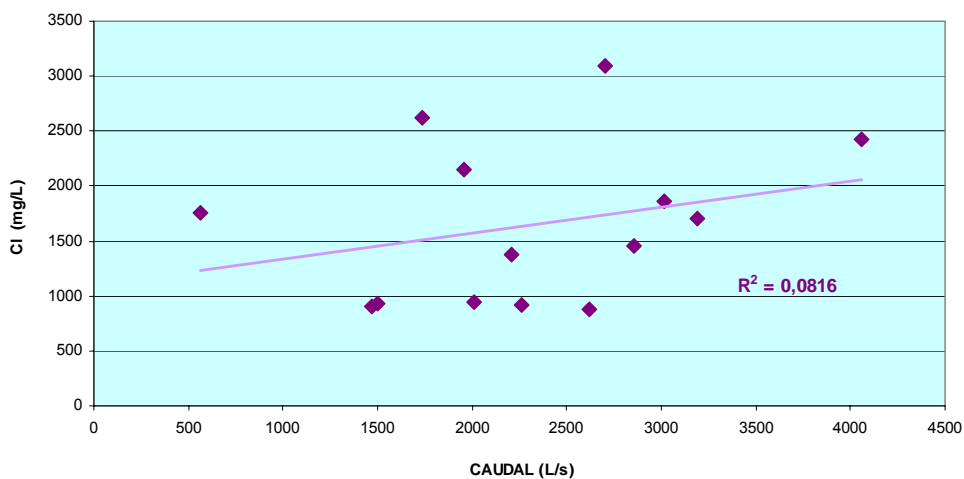


Gráfico 38: Correlación entre el contenido en cloruros de las aguas del río Racons y su caudal

Como se puede comprobar en los gráficos anteriores, la correlación establecida de esta forma entre ambos parámetros no ofrece resultados positivos e indica que, en principio, la calidad del agua de ambos ríos es independiente del volumen drenado por éstos.

19.2.3. CAUDAL DE LOS RÍOS - CALIDAD DE LOS MANANTIALES DE FONT SALADA Y Balsa SINEU

Los resultados obtenidos por las relaciones anteriores no han resultado satisfactorios y no aportan luz al fin investigado.

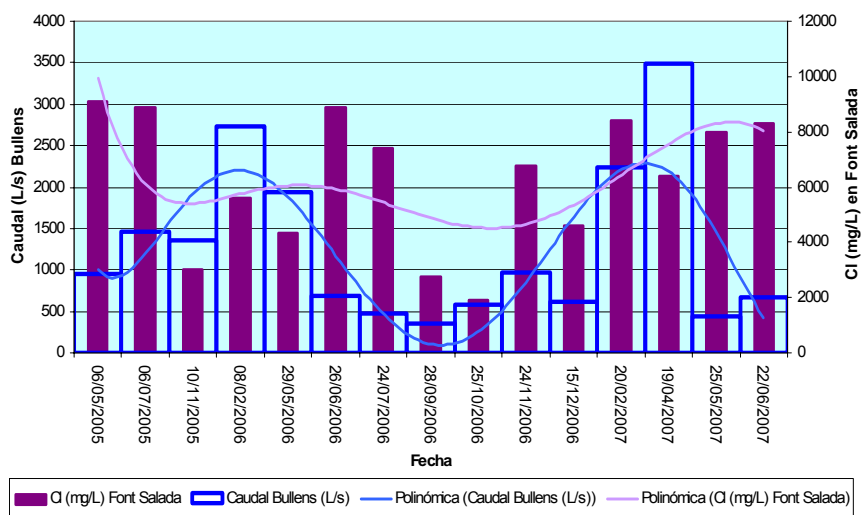
Como se ha indicado anteriormente, la ausencia de registros lo suficientemente largos de caudales de estos manantiales, impide la correlación directa caudal-calidad en los mismos. Ante esta situación se buscan nuevas alternativas, nuevas relaciones entre los diferentes parámetros que posibiliten obtener resultados satisfactorios.

En este sentido, y dado que el manantial de Font Salada pertenece al conjunto de surgencias que dan origen al río Bullens y el manantial de Balsa Sineu al Racons, se puede establecer que el caudal de estas surgencias es directamente proporcional al de los cauces que en mayor o menor proporción originan.

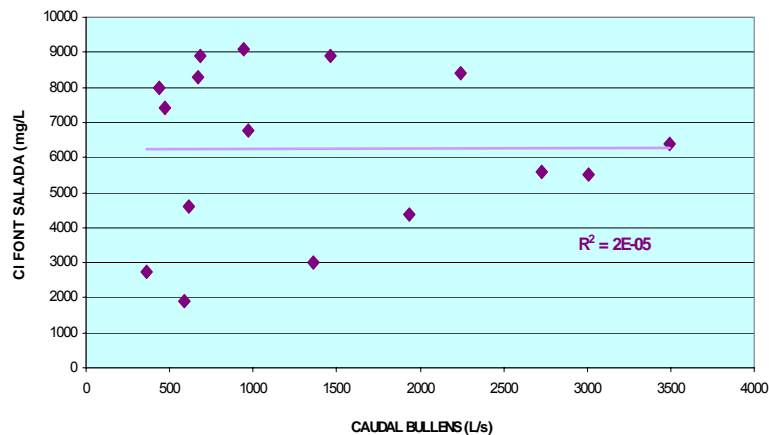
Así, se ha buscado establecer por un lado la relación existente entre la salinidad del manantial de Font Salada, a partir del ión cloruro, con el caudal drenado por el río Bullens, y por otro la relación del caudal del río Racons y la salinidad del manantial de Balsa Sineu.

- Font Salada – río Bullens

La representación de la evolución de ambos parámetros y su correlación (gráficos 19 y 20) tampoco arroja resultados favorables, hecho que en principio sorprende.



Gráficos 39: Evolución comparativa entre el caudal del Bullens y el contenido en cloruros de Font Salada



Gráficos 40: relación entre el caudal del río Bullens y el contenido en cloruros del manantial de Font Salada

Para el periodo mayo de 2005 y junio de 2007 se registran al mismo tiempo salinidades altas con caudales elevados y también con caudales reducidos. Así, por ejemplo, picos de salinidad se corresponden con caudales muy bajos en los meses de mayo a julio de los años considerados, y por el contrario se obtienen salinidades bajas con caudales también bajos en los meses de septiembre a noviembre. El hecho queda reflejado de forma clara en el gráfico 4 y muestra la inexistencia de correlación alguna entre estos parámetros.

La causa de esta nula relación es atribuida a que las variaciones más importantes y bruscas en el caudal del río Bullens son causadas por las aguas de escorrentía generadas en su cuenca vertiente ($20,4 \text{ km}^2$) tras precipitaciones intensas, fenómeno característico de la climatología de la zona, y a que la respuesta de los manantiales, tanto en su quimismo como en su caudal, es mucho más lenta por la dinámica inercial del acuífero que drenan (hecho analizado en el apartado siguiente). A esto también contribuye el caudal medio del manantial de Font Salada (70 L/s), el cual representa una mínima parte de la media total del río Bullens ($1,14 \text{ m}^3/\text{s}$)

- Balsa Sineu – río Racons

Se han realizado los mismos gráficos para el caso del caudal del río Racons y la calidad del agua del manantial de Balsa Sineu (gráficos 21 y 22)

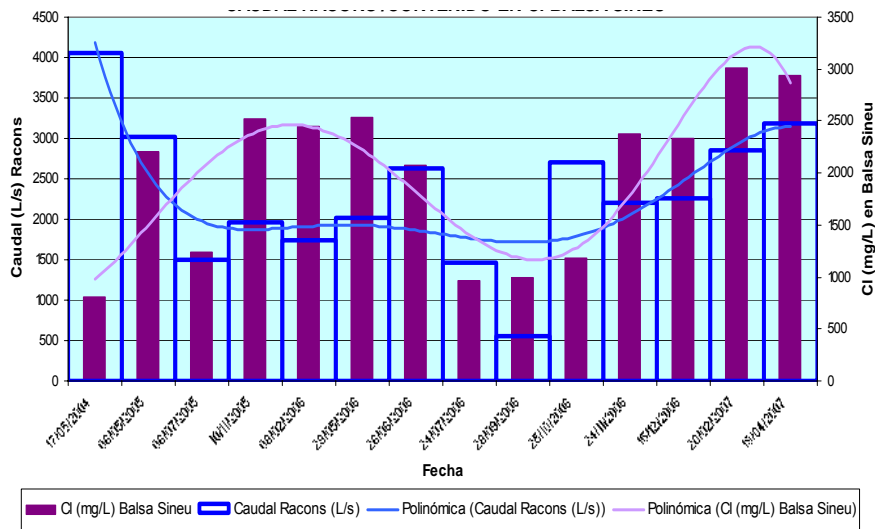


Gráfico 41: Evolución comparativa entre el caudal del Racons y el contenido en cloruros de Balsa Sineu

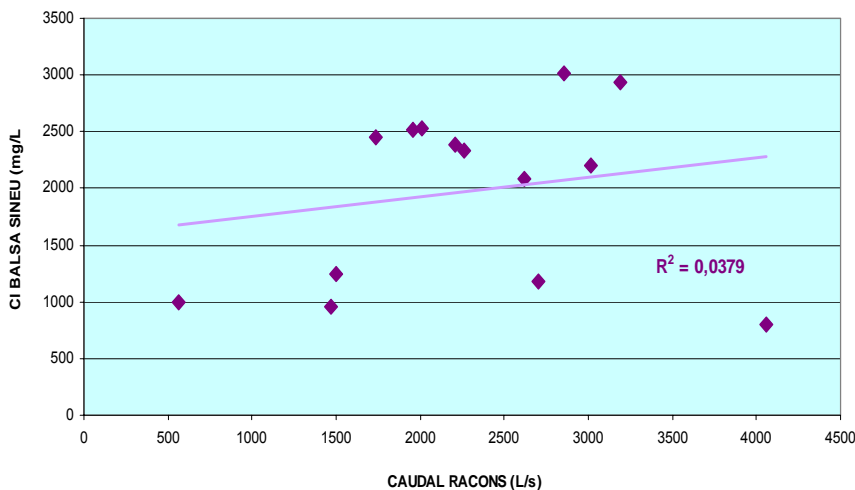


Gráfico 42: relación entre el caudal del río Racons y el contenido en cloruros del manantial de Balsa Sineu

Como en el caso anterior, la respuesta química de las aguas del manantial a las variaciones de caudal del río no guarda una relación. Se dan indistintamente caudales muy elevados con salinidades muy bajas (mayo de 2004); medidas de caudales medios con salinidades relativamente altas e incluso cierta sincronía en los registros correspondientes al año 2007 en donde caudales altos se corresponden con salinidades elevadas.

En este caso, la no correlación era más previsible, ya que el caudal del río Racons está considerablemente influenciado por los bombeos realizados en la finca Rincón del Rosario (16-17 hm³/año), que se producen de forma periódica a intervalos irregulares en función del nivel piezométrico en el acuífero, así como por las aguas de escorrentía que se generan en su cuenca, de aproximadamente 41 km². Estas causas junto con la inercia del acuífero de

Almudaina-Alfaro-Segaria impiden una relación más clara, tal como se demuestra en el gráfico nº 22.

19.2.4. PRECIPITACIÓN-PIEZOMETRÍA

La falta de relación entre los caudales de los ríos Bullens y Racons con la salinidad de sus aguas, así como con la calidad de las aguas de los manantiales de Font Salada y Balsa Sineu, respectivamente, ha llevado a pensar que tal circunstancia se debe a un posible retardo en la respuesta de los acuíferos de Mustalla y Segaria frente a las precipitaciones.

Para comprobarlo se ha comparado la precipitación acumulada para intervalos temporales crecientes de 10, 20, 30, 40 y 60 días con las medidas piezométricas de puntos representativos de ambos acuíferos y de sondeos que captan materiales carbonatados bajo el recubrimiento Pliocuaternario.

- Precipitación – piezometría en Albuerca-Gallinera-Mustalla (3031-5-29)

Se han tomado datos de la piezometría del sondeo 3031-5-29 por considerarlo representativo del acuífero de la sierra de Mustalla, si bien, hay que tener muy en cuenta, los posibles registros anómalos debidos a niveles dinámicos o estáticos influenciados por bombeos próximos.

Su análisis ha establecido que a partir de un intervalo temporal comprendido entre 40 y 60 días ambas series de datos presentan el mismo patrón de comportamiento.

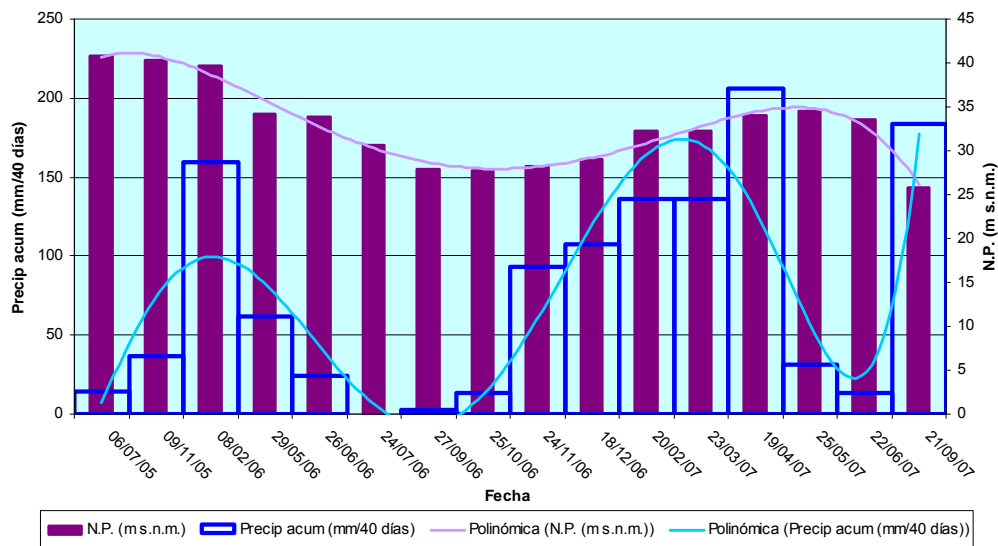


Gráfico 43: Precipitaciones acumuladas en los 40 días previos al dato de piezometría del sondeo 3031-5-29

Este desfase entre la precipitación y la piezometría se observa con mayor claridad en los gráficos siguientes, en los que la piezometría sólo mantiene una pequeña correlación con los volúmenes de precipitación acumulados en 40 días. Todo ello justifica la ausencia de correlación en las comparativas analizadas en los apartados anteriores.

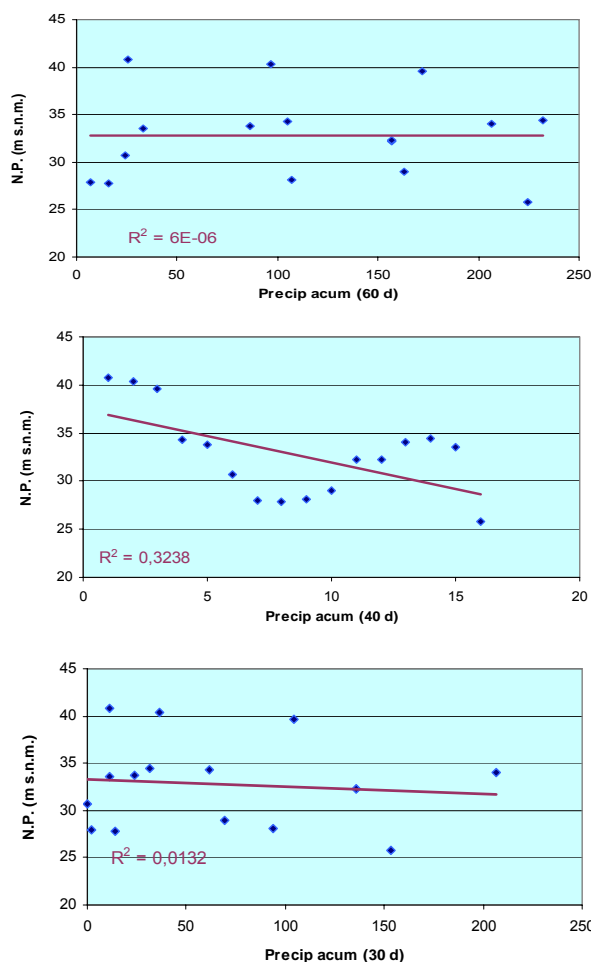


Gráfico 44: Gráficos de relación precipitación acumulada (30, 40 y 60 días) y piezometría (sondeo 3031-5-29)

- Precipitación – piezometría en Almudaina-Alfaro-Segaria (3031-6-99 y 3031-6-100)

Se ha realizado la misma correlación en el acuífero de la sierra de Segaria, a partir de los datos de dos piezómetros, que pese a situarse sobre el acuífero detrítico Pliocuaternario de Pego-Dénia, captan calizas cretácicas relacionadas con este acuífero.

Estos sondeos cuentan con la ventaja de que sus registros corresponden a niveles estáticos, sin apenas influencia de bombeos próximos.

Al igual que en el caso anterior, la comparación entre las precipitaciones acumuladas en diferentes intervalos temporales (40 y 60 días en los gráficos siguientes) y la piezometría, permite observar que ésta última presenta un patrón similar al de ambos registros de precipitación acumulada.

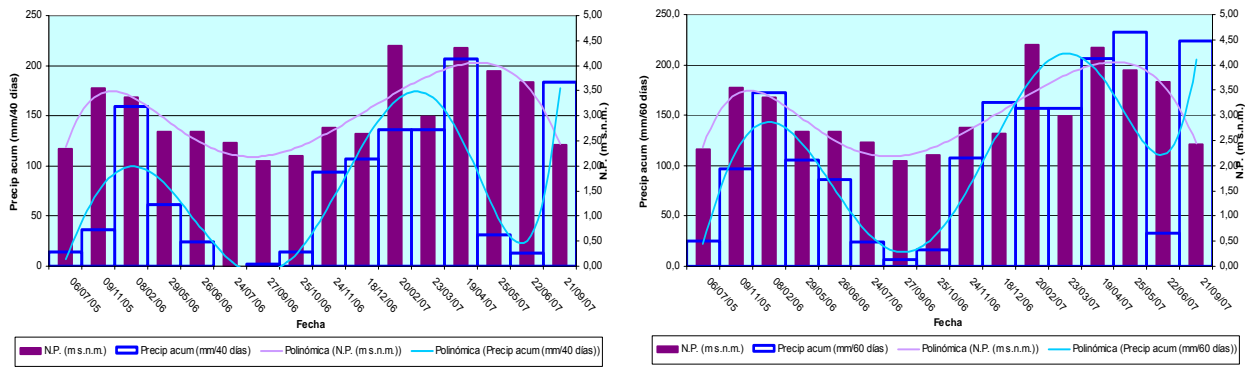


Gráfico 45: Precipitaciones acumuladas en los 40 y 60 días previos al dato de piezometría media de los sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100

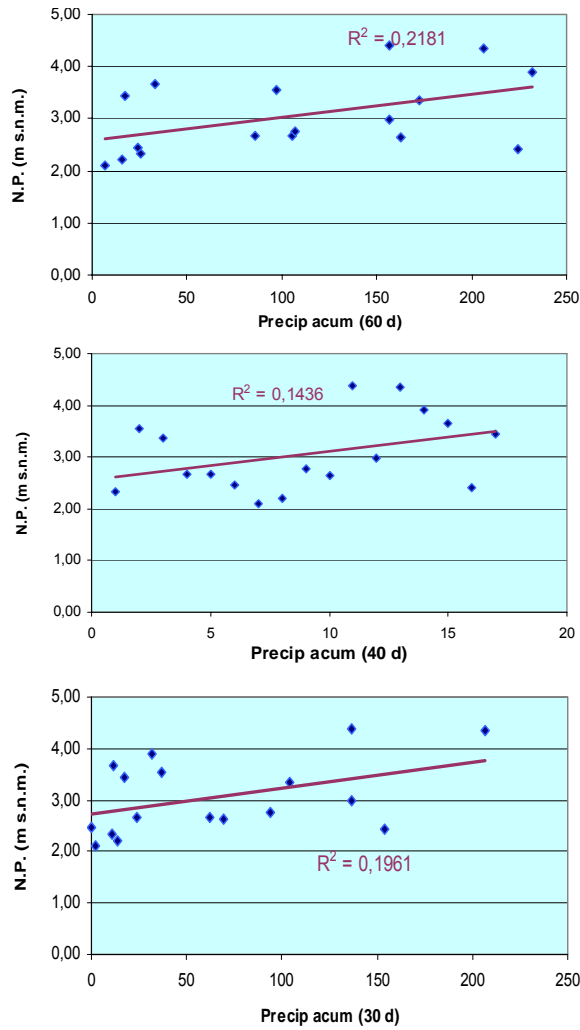


Gráfico 46: Gráficos de relación precipitación acumulada (30, 40 y 60 días) y piezometría media (sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100)

La correlación es pequeña para las tres precipitaciones acumuladas analizadas, aunque las nubes de datos se ajustan siempre a una recta con pendiente positiva.

19.2.5. CLORUROS DE LOS MANANTIALES - PIEZOMETRÍA

Para definir el comportamiento hidroquímico e hidrodinámico de los manantiales de Font Salada y Balsa Sineu, y por extensión de las salidas generales de los acuíferos que drenan, y ante la ausencia de datos de aforo en estas surgencias que permitieran ser correlacionados directamente con el contenido salino de sus aguas, se ha procedido a utilizar como sustituto de los primeros la serie de medidas de nivel piezométrico de los acuíferos. Desde el punto de vista hidrogeológico, en régimen natural existe una relación indiscutible y directa entre el nivel piezométrico de un acuífero y el volumen drenado por sus manantiales. Esto implica que a piezometrías elevadas corresponden caudales de drenaje elevados y viceversa. Por tanto, el valor de la correlación entre los niveles piezométricos del acuífero y la salinidad del agua de sus manantiales será indicativo, y un buen sustituto, de la relación existente entre el caudal drenado y la calidad de sus aguas en aquellos casos en los que no se disponga de datos fiables de los volúmenes de descarga, o no se puedan obtener por diversos motivos.

- Font Salada – piezometría en Albuerca-Gallinera-Mustalla (3031-5-29)

Como el acuífero relacionado con los manantiales del río Bullens permanece en régimen cuasi-natural la afirmación realizada en el párrafo anterior es plenamente válida para ser aplicada. En consecuencia, se ha procedido a analizar la relación entre las salinidades obtenidas en el manantial de Font Salada y las cotas piezométricas del acuífero carbonatado al que pertenece, tanto a escala plurianual como anual a partir de los registros del sondeo 3031-5-29, situado unos 6 km del manantial hacia el interior.

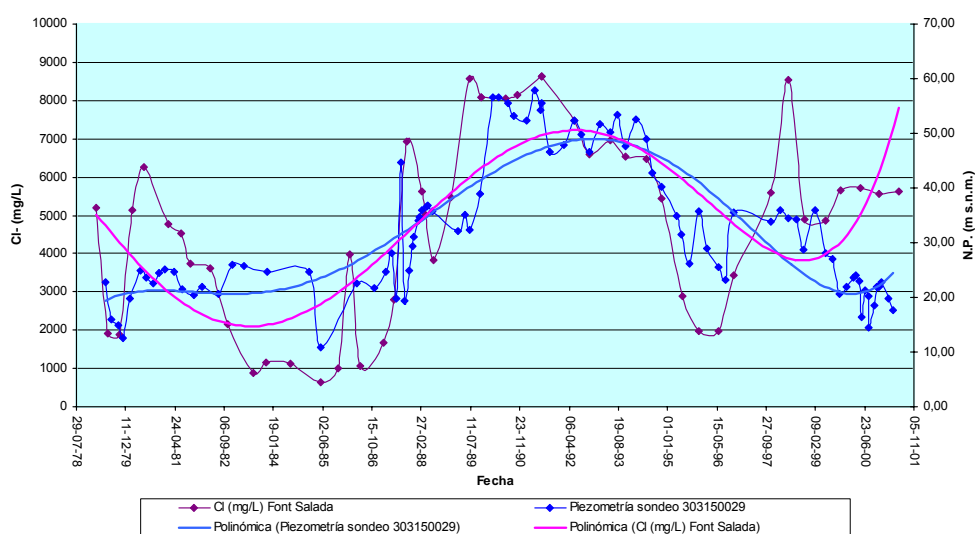


Gráfico 47: Evolución comparativa plurianual (periodo 1979-2001) de la piezometría en el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla (sondeo 3031-5-29) y salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Del gráfico anterior se desprende que para piezometrías altas la salinidad en el manantial es igualmente alta, aunque se producen algunos picos que no se correlacionan, probablemente debidos a causas locales. Se puede asociar así, que para épocas secas la salinidad en el manantial es menor que la registrada en periodos húmedos.

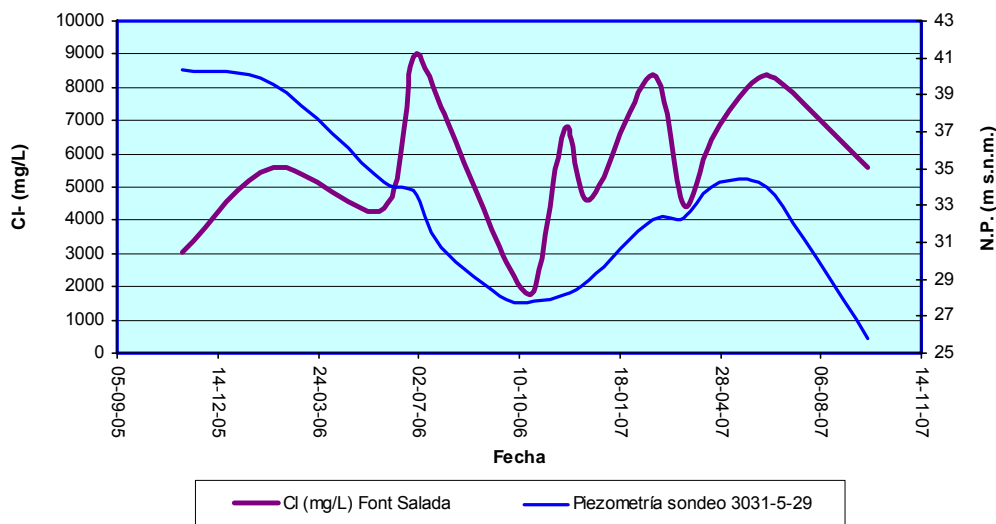


Gráfico 48: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a septiembre-07) de la piezometría en el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla (sondeo 3031-5-29) y salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

El gráfico nº 46 muestra como, a lo largo del año 2006 se produce un descenso continuado de los niveles hasta cotas por debajo de los 29 m s.n.m., lo que se traduce en contenidos mínimos de salinidad en el manantial. Ese año, la lluvia total registrada en el observatorio de Pego Convento fue de 631 mm, cuando la precipitación media es de 792 mm., es decir, se produjo una precipitación sensiblemente inferior a la media. Por otra parte, las épocas en las que el acuífero se recupera, coincidentes con periodos de mayores precipitaciones y consecuentemente con niveles piezométricos elevados (invierno y primavera), la respuesta de la hidroquímica del manantial se dirige hacia un incremento en su contenido salino, con picos destacados. Hacia finales del año 2007, un nuevo descenso piezométrico va acompañado de una bajada acusada de la salinidad en el manantial.

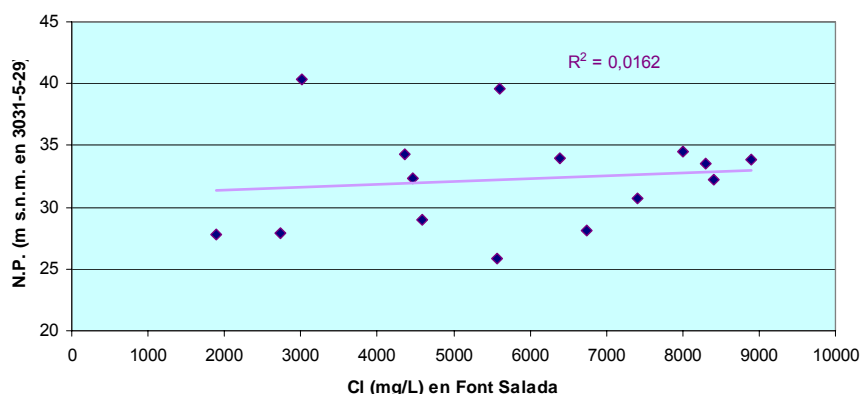


Gráfico 49: relación piezometría en Mustalla (3031-5-29) salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

En cualquier caso, tal como se observa el gráfico nº 47, si se intenta ajustar una recta de regresión a la nube de puntos correspondiente a la relación entre piezometrías en el sondeo y salinidad (ión cloruro) en el manantial, se comprueba que la bondad del ajuste realizado es mala, es decir, se obtiene un coeficiente de correlación muy pequeño. Ante este hecho, se ha intentado realizar esta misma correlación con sondeos que cumplieran una doble condición, a saber, estar más próximos al manantial y no presentar influencia por bombeos cercanos. Así, se ha podido comparar la evolución entre el contenido en cloruros en dicho manantial y los registros de piezometría de los sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100, que pese a no emboquillarse sobre el acuífero de la sierra de Mustalla, captan en profundidad las calizas cretácicas que se sitúan bajo el acuífero pliocuaternario.

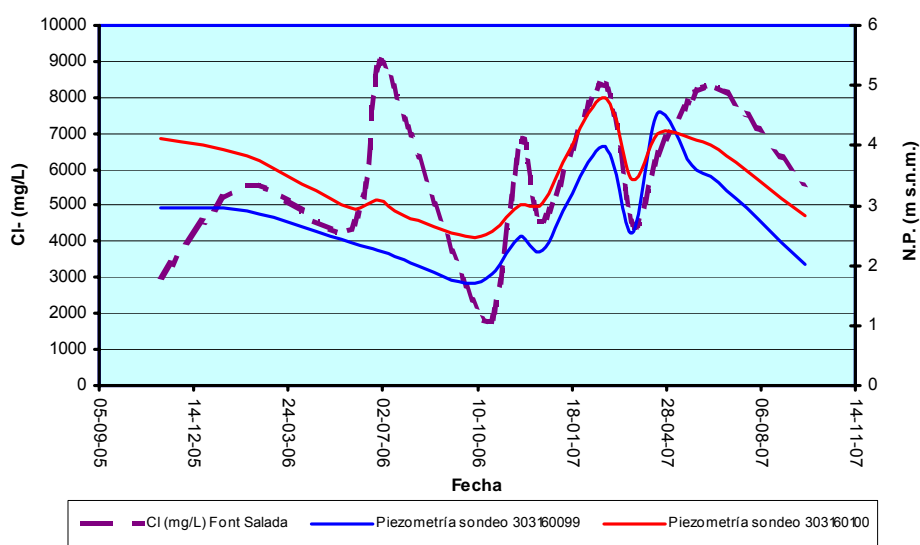


Gráfico 50: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a septiembre-07) de la piezometría en el acuífero carbonatado bajo el Pliocuaternario de Pego-Dénia (sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100) y salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

En este caso las curvas obtenidas siguen evoluciones muy similares. Es muy significativa la respuesta de la salinidad del manantial a ascensos piezométricos en el acuífero.

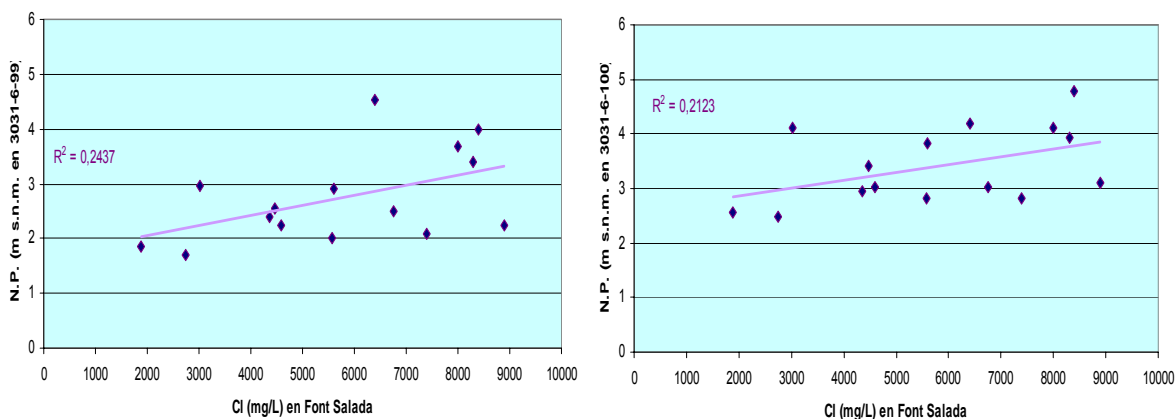


Gráfico 51: relación piezometría en el ac. carbonatado bajo el Pliocuaternario de Pego-Dénia (3031-6-99 y 3031-6-100) salinidad (mg/L de Cl-) en Font Salada

- Balsa Sineu – piezometría en Almudaina-Alfaro-Segaria

Para este acuífero se ha relacionado a escala hiperanual la calidad de las aguas del manantial de Balsa Sineu, en función de su contenido en ión cloruro, y las cotas piezométricas de diversos sondeos (3031-6-7; 3031-6-8 y 3031-6-78) de los que se cuenta con registros históricos.

En este caso se puede comprobar, que además de conseguir mejores correlaciones entre la salinidad en el manantial y la piezometría en el acuífero cuando los puntos de control se encuentran próximos al mismo, como influye negativamente el hecho de que dichos puntos se encuentren cerca de áreas de bombeo (conos de depresión). Así, la línea evolutiva de la piezometría del sondeo 3031-6-7, situado en el extremo noreste de la sierra de Segaria y junto a la finca Rincón del Rosario, y la de la salinidad del manantial, no guardan relación, tal como se observa en el gráfico siguiente.

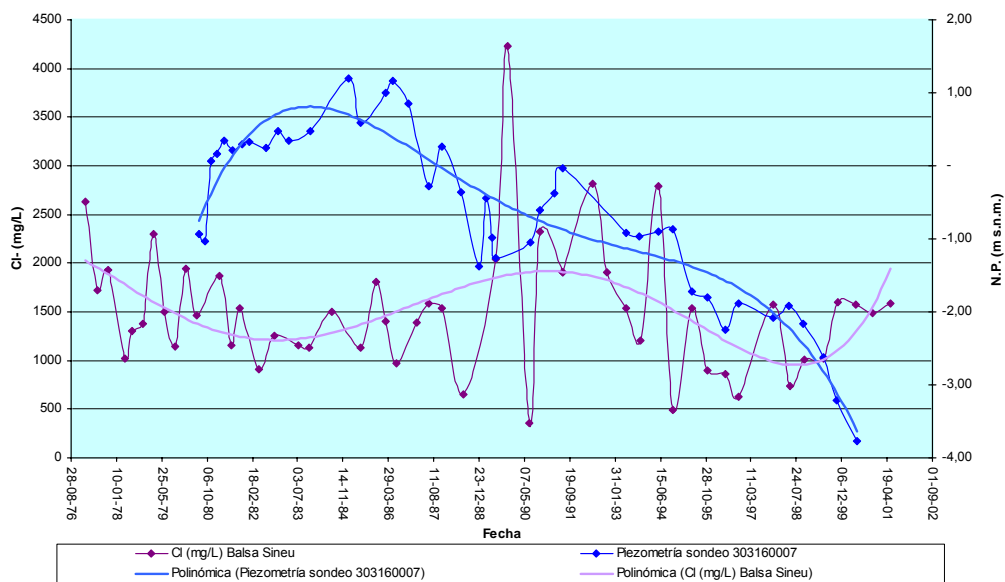


Gráfico 52: Evolución comparativa plurianual (periodo 1976-2001) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeo 3031-6-7) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

Sin embargo, en los dos gráficos siguientes, sí se aprecia claramente la similitud entre las líneas evolutivas de piezometría en las captaciones y salinidad en el manantial. Se trata de sondeos, por un lado más cercanos al manantial, y por otro no influenciados por bombeos próximos. En estos casos la relación salinidades altas con niveles piezométricos altos y viceversa es evidente y las líneas evolutivas niveles-salinidad son prácticamente paralelas.

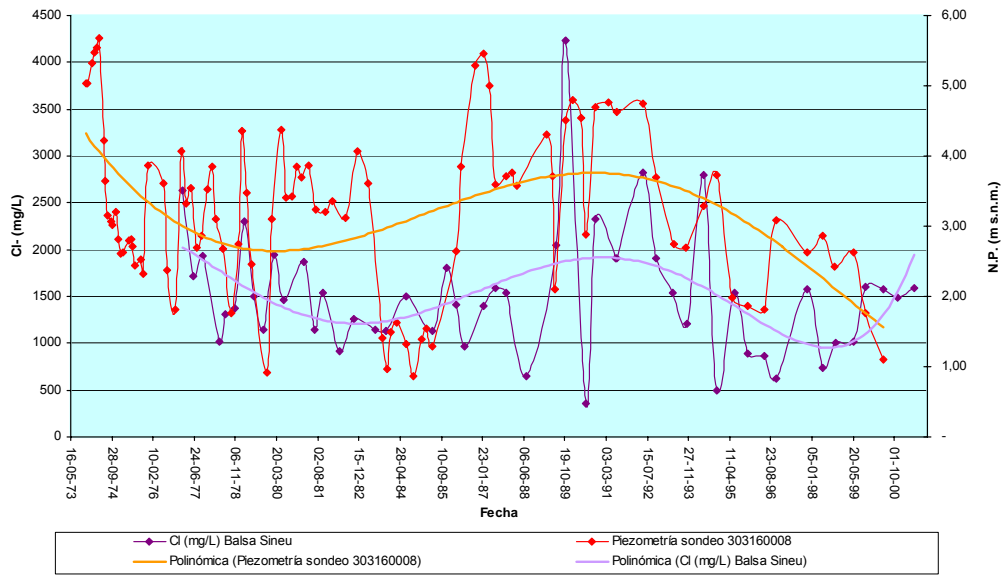


Gráfico 53: Evolución comparativa plurianual (periodo 1973-2001) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeo 3031-6-8) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

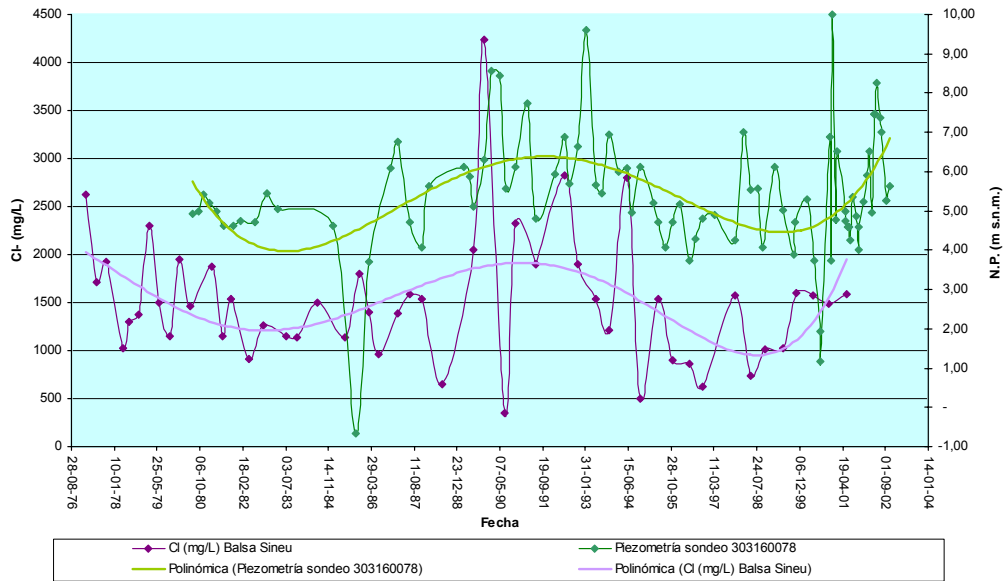


Gráfico 54: Evolución comparativa plurianual (periodo 1976-2001) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeo 3031-6-78) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa Sineu

También se ha realizado la correlación a escala anual, entre noviembre de 2005 y septiembre de 2007, con datos de los sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100, que están poco influenciados por áreas de bombeo y se encuentran próximos al manantial de Balsa Sineu.

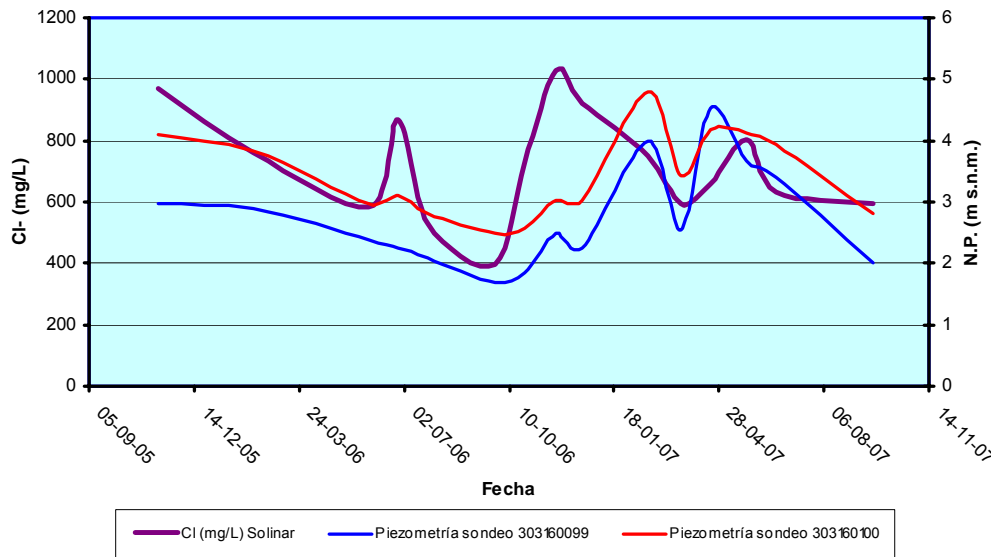


Gráfico 55: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a septiembre-07) de la piezometría en el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria (sondeos 3031-6-99 y 3031-6-100) y salinidad (Cl-) del manantial de Balsa sineu

Los sondeos de referencia, como ya se ha comentado, se ubican sobre el acuífero detrítico de Pegó-Oliva, aunque se considera que en ambos casos están relacionados con el acuífero de la sierra de Segaria, ya que el sondeo 3031-6-99 está emboquillado sobre un afloramiento de dolomías y calizas del Cenomaniense-Turonense (afloramiento de Les Mondes) muy próximo a la misma y el 3031-6-100 aunque capta esta formación a los 127 m. de profundidad también se sitúa cercano a esta sierra.

En este gráfico nº 53 se comprueba la notable similitud entre las líneas evolutivas de la piezometría de ambos sondeos y la correspondencia con la salinidad del manantial de Balsa Sineu. En líneas generales, tendencias descendentes o ascendentes en la piezometría están acompañadas por descensos o ascensos progresivos de la salinidad en la surgencia, y de forma puntual, variaciones al alza o baja en la piezometría también se reflejan en el contenido en cloruros de Balsa Sineu, que responde con altos y bajos en la concentración de este elemento.

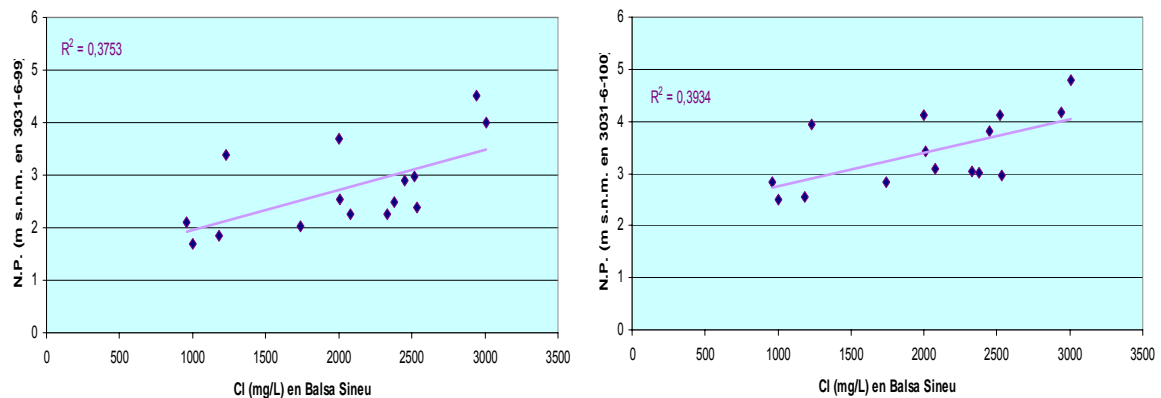


Gráfico 56: relación piezometría en el ac. carbonatado bajo el Pliocuaternario de Pegó-Dénia (3031-6-99 y 3031-6-100) salinidad (mg/L de Cl-) en Balsa Sineu

El gráfico anterior permite observar que al ajustar una recta de regresión a la nube de puntos los coeficientes de correlación son mayores que en los casos previos, esto se debe a la cercanía de los puntos de control al manantial.

19.2.6. TEMPERATURA - CLORUROS DE LOS MANANTIALES

Finalmente se ha valorado la relación entre las salinidades (contenido en ión cloruro) y la temperatura de los dos manantiales más característicos de las sierras de Mustalla y Segaria.

- Cloruros / Temperatura en Font Salada

A partir de los registros mensuales desde noviembre de 2005 a octubre de 2007 se ha estimado las variaciones tanto en el contenido en cloruros del manantial de Font Salada, como en su temperatura.

Se comprueba como las líneas evolutivas de ambos parámetros son paralelas, de forma que incrementos en la salinidad están asociados a ascensos de la temperatura.

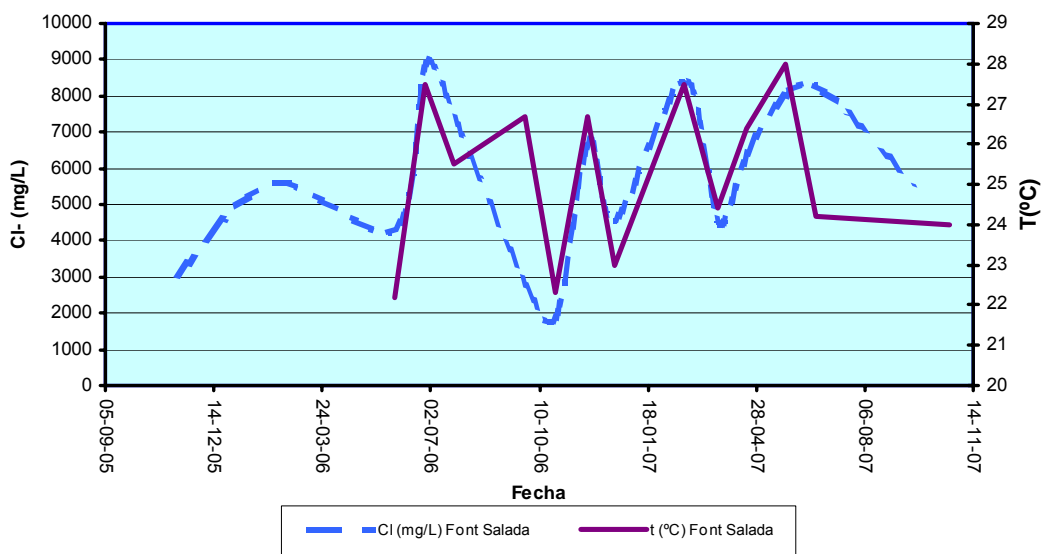


Gráfico 57: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a octubre-07) de la temperatura y la salinidad (Cl-) del manantial de Font Salada

Es además, interesante el rango de temperaturas en el que afloran las aguas de esta surgencia, entre 22 °C y 28 °C, es decir, se trata de aguas consideradas termales, ya que emergena a una temperatura 5 °C superior a la ambiental en superficie y se englobarían dentro del grupo de las hipotermales por situarse dentro del rango de aguas aflorantes entre 21 °C y 35 °C.

Esta temperatura elevada indica que existe influencia de aguas que alcanzan en su recorrido por el acuífero profundidades suficientemente grandes como para elevar significativamente su temperatura.

En el gráfico siguiente se comprueba la relación directa existente entre temperatura y salinidad en este manantial.

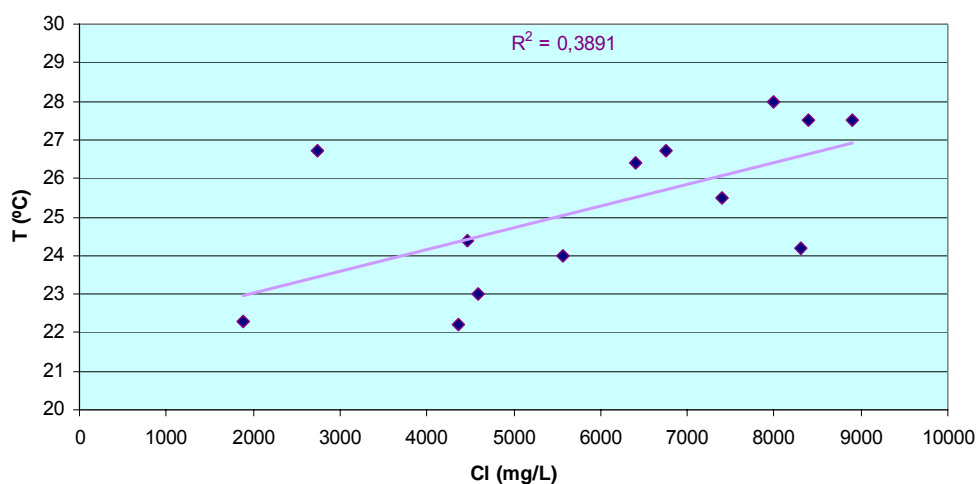


Gráfico 58: relación temperatura (°C) / salinidad (mg/L de Cl⁻) en Font Salada

- Cloruros / Temperatura en Balsa Sineu

Se ha procedido de igual manera para analizar las aguas del manantial de Balsa Sineu.

En este caso se observa que la relación entre la temperatura y la salinidad es inversa, de tal forma que salinidades altas coinciden en general con temperaturas bajas y viceversa.

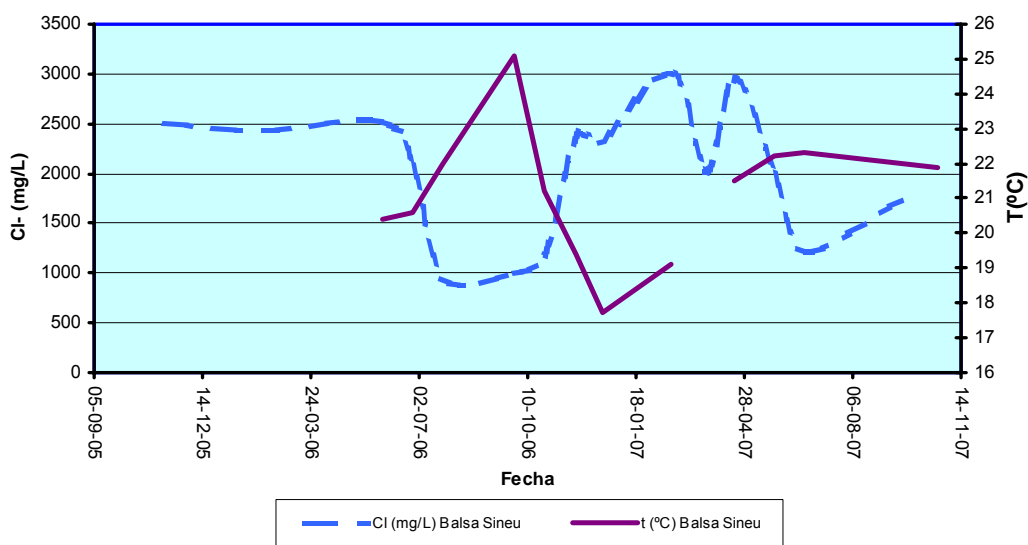


Gráfico 59: Evolución comparativa anual (noviembre-05 a octubre-07) de la temperatura y la salinidad (Cl⁻) del manantial de Balsa Sineu

El rango de temperatura de emergencia de las aguas es algo inferior al de Font Salada, en este caso las temperaturas mínimas se sitúan en torno a los 17 °C, mientras que las máximas rondan los 25 °C. Se podría hablar, no obstante, de aguas hipotermales, ya que generalmente su temperatura supera los 21 °C.

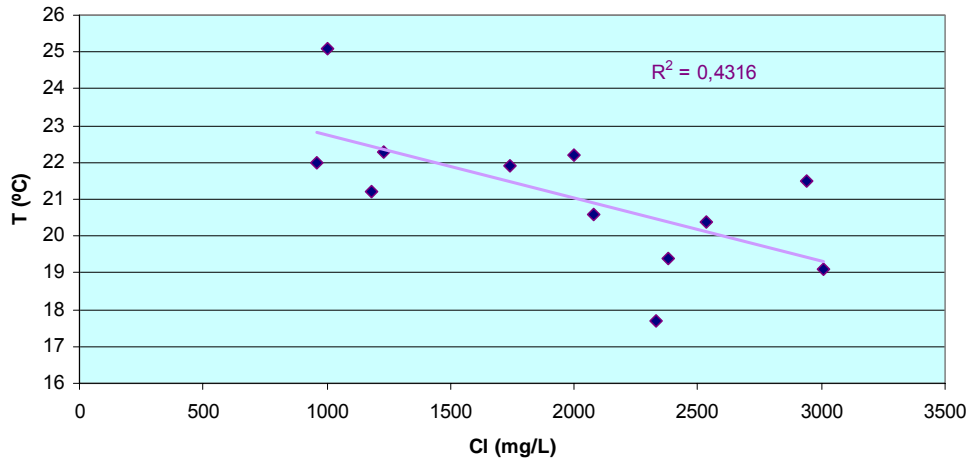


Gráfico 60: relación temperatura (°C) / salinidad (mg/L de Cl⁻) en Balsa Sineu

El hecho de que las aguas presenten una temperatura más o menos elevada, es indicativo de la influencia de aguas profundas. Sin embargo la relación inversa entre temperatura y salinidad indica una hidrodinámica distinta a la que se produce en el manantial de Font Salada. Este tema es analizado en el apartado siguiente.

20. DINÁMICA DE LA INTRUSIÓN MARINA

En los apartados anteriores se ha demostrado la relación entre las áreas de intrusión marina preferencial y la disposición tectónica del basamento. Se ha concluido que es a través de la red de fracturas y oquedades, más o menos desarrolladas, de los acuíferos karstificados de las sierras de Mustalla, al norte, y Segaria, al sur, por donde se produce una entrada mayor de agua marina tierra adentro, es decir, donde los frentes de intrusión están más desarrollados y donde la variación de los diferentes parámetros hidrodinámicos que los rigen ocasionan modificaciones más significativas.

Igualmente se ha demostrado la relación entre piezometrías elevadas en estos acuíferos carbonatados, asimilables a periodos húmedos, y contenidos salinos también altos en los manantiales de Font Salada y Balsa Sineu y piezometrías bajas (periodos secos) y salinidades bajas.

La dinámica hidroquímica de los manantiales analizados registra mayores contenidos salinos en las épocas de niveles piezométricos altos (periodos húmedos en los que los manantiales drenan caudales superiores) y menores concentraciones en las épocas en las que la piezometría es más baja y las surgencias presentan caudales más pequeños. Así pues, cualquier variación en la hidroquímica y la temperatura de los diversos tramos permeables y de los manantiales que drenan estos acuíferos es consecuencia de modificaciones en la posición y morfología de la interfase agua dulce – agua salada, y a su vez estos cambios son el resultado de la evolución de la piezometría en los acuíferos, que favorecen en mayor o menor grado el avance de la cuña salina.

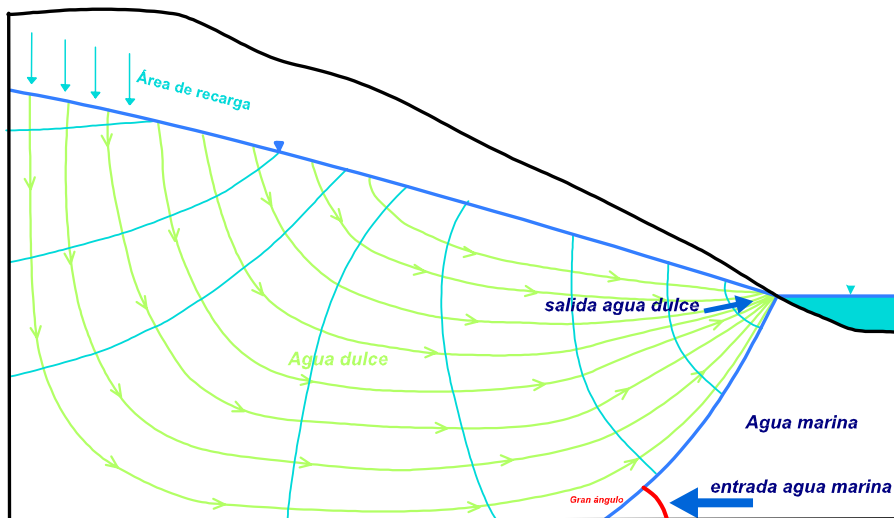
La dinámica natural establece piezometrías elevadas en los periodos húmedos o tras intensas precipitaciones y descensos más o menos acusados en las épocas de sequía o escasez de lluvias, dependiendo de la inercia del acuífero. Piezometrías elevadas van asociadas a mayores diferencias de carga hidráulica en la zona de la interfase, de forma que conductos más profundos, llenos de agua marina presentan una carga hidráulica superior, que permite una entrada mayor de aguas cargadas en sales al acuífero. En esta situación sin embargo la intrusión marina está dificultada por el mayor empuje de las aguas continentales hacia el mar.

En las épocas secas, con piezometrías bajas, las diferencias de carga hidráulica entre los canales de circulación del flujo de entrada de agua marina y salida de agua dulce son menores. El aporte hacia el acuífero de agua salada disminuye, pese a que el frente de intrusión encuentra menos resistencia para su avance tierra adentro.

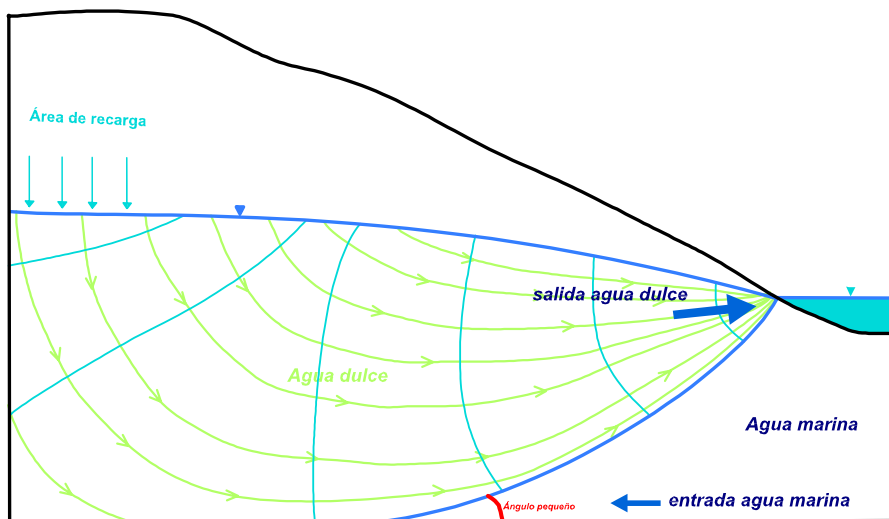
En las épocas húmedas, la cota piezométrica media del acuífero es mayor debido a que el mayor volumen de recarga eleva el gradiente hidráulico. Las líneas de flujo adoptan

morfologías más cóncavas y marcan recorridos más largos a través del acuífero ya que la carga hidráulica mayor permite el movimiento de flujos más profundos. En esta situación y la interfase presenta una disposición más vertical. En el esquema que se muestra a continuación se establece un ángulo de la interfase respecto a la horizontal grande. El avance de la intrusión marina en esta situación es menor.

Por el contrario, en épocas en las que la recarga es menor, periodos secos, de escasas precipitaciones, se produce un descenso generalizado del nivel piezométrico, la carga hidráulica es menor debido a los menores gradientes y el flujo subterráneo recorre el acuífero sin alcanzar zonas muy profundas. En estas circunstancias se produce un avance de la cuña salina que adopta una morfología más inclinada de forma que el ángulo con la horizontal es más agudo.



Periodo húmedo: niveles piezométricos altos, mayor carga hidráulica y mayor gradiente el flujo subterráneo recorre áreas más profundas



Periodo seco: niveles piezométricos bajos, menor carga hidráulica y menor gradiente el flujo subterráneo recorre áreas poco profundas

Figura nº 30: esquema de la circulación del flujo subterráneo en los periodos húmedo y seco

Este régimen puede verse alterado en gran medida y básicamente por actuaciones antrópicas, especialmente por los bombeos o los retornos de riego.

A continuación se analiza la evolución del frente de intrusión en los dos acuíferos carbonatados que circundan la zona húmeda del marjal de Pego-Oliva.

20.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INTERFASE EN EL ACUÍFERO DE MUSTALLA.

Como ya se ha comentado, el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla, tiene una superficie de 165 km² y presenta permeabilidad por fisuración y karstificación. Está constituido por calizas y dolomías del Aptiense-Maastrichtiense con una potencia media de 800 metros. Su extremo oriental, la sierra de Mustalla, constituye la principal zona de descarga del sistema y es donde se encuentran los manantiales de Les Aigües, Solinar y Font Salada, situados a cota 0,49 m s.n.m., 1,01 m s.n.m. y 1,84 m s.n.m. respectivamente, y separados de la costa entre 1,5 y 4,4 km.

La superficie piezométrica se sitúa entre los 4 m s.n.m. y la cota cero, con oscilaciones estacionales inferiores al metro y diferencias máximas históricas de 2 m. El sentido del flujo subterráneo es WSW-ENE.

En las épocas húmedas, el flujo subterráneo es más profundo. La interfase no avanza o encuentra mayores dificultades para hacerlo y su morfología es más vertical (ángulo grande). En esta situación llegan a los manantiales aguas profundas, más calientes y más influenciadas en su trayecto ascendente final por las aguas salinas que entran al acuífero por la base del frente de la cuña salina.

El flujo subterráneo que alcanza los manantiales, fundamentalmente los más próximos a la costa (Font Salada), presenta una componente vertical más importante que la horizontal, de forma que la proporción de aguas profundas domina sobre las provenientes de flujos más superficiales. Como la entrada de agua salada se produce mayoritariamente por la base de la cuña salina, con esta disposición la influencia de este agua sobre la descarga total de los manantiales es mayor y se refleja tanto en el incremento en el contenido salino como en unas temperaturas más elevadas.

En los periodos de bajas piezometrías (épocas secas), se produce un efecto contrario, el pie de la cuña salina avanza tierra adentro de forma que el ángulo que se puede establecer entre la interfase y la horizontal es más agudo (ángulo pequeño).

Los flujos subterráneos presentan una componente horizontal más destacada que minimiza la llegada de aguas profundas a los manantiales. Se reduce así la influencia de las aguas profundas del acuífero, de mayor temperatura, así como la de las aguas salinas que entran por la base de la cuña de intrusión y que representan un menor porcentaje del caudal drenado por los manantiales costeros.

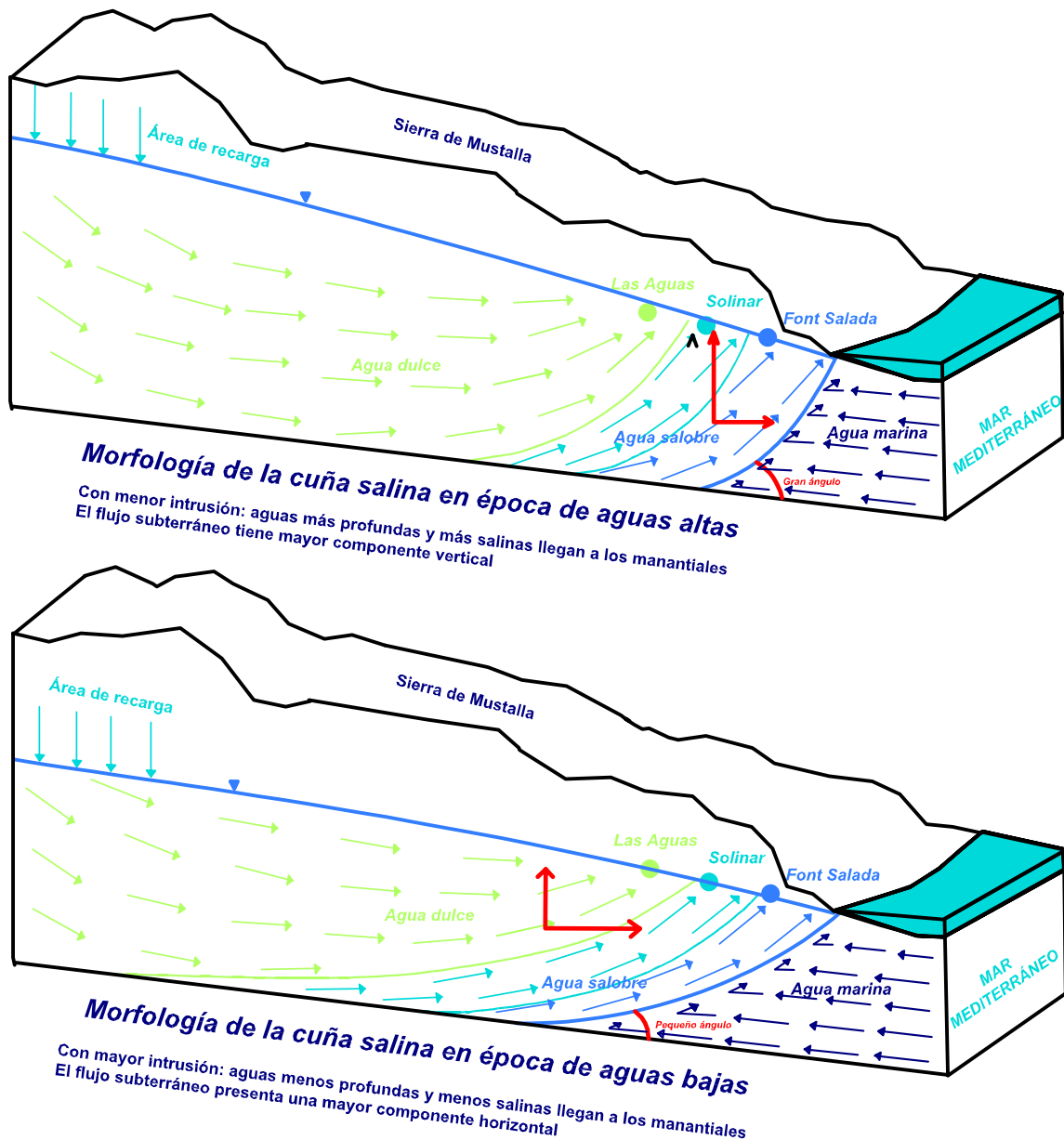


Figura nº 31: variaciones estacionales de la disposición de la cuña salina en el entorno del manantial de Font Salada

20.2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INTERFASE EN EL ACUÍFERO DE SEGARIA.

El acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria tiene una extensión de 190 km², es igualmente un acuífero carbonático con permeabilidad por fisuración y karstificación y está formado básicamente por calizas y dolomías cretácicas con un espesor aproximado de 700 m. El flujo subterráneo presenta también sentido WSW-ENE en dirección a la sierra de Segaria, que se localiza en el extremo más oriental del acuífero y es donde se produce la principal surgencia, el manantial de Balsa Sineu, situado a cota 0,64 m s.n.m. y a 4,2 km de la costa.

La dinámica de las aguas subterráneas y su relación con dicho manantial es similar a la descrita en el apartado anterior para el manantial de Font Salada, sin embargo, presenta ciertas características propias.

Así, en los periodos de aguas altas, épocas húmedas, el flujo subterráneo alcanza en su recorrido por el acuífero zonas más profundas y la interfase agua dulce-agua salada encuentra dificultades para su avance de forma natural. Sin embargo, esta misma situación de piezometría elevada, obliga a un bombeo mayor en la finca Rincón del Rosario, que como ya se ha comentado, drena sus campos de cultivo mediante un sistema de zanjas que posibilitan mantener el nivel freático por debajo de la cota radicular de los cultivos.

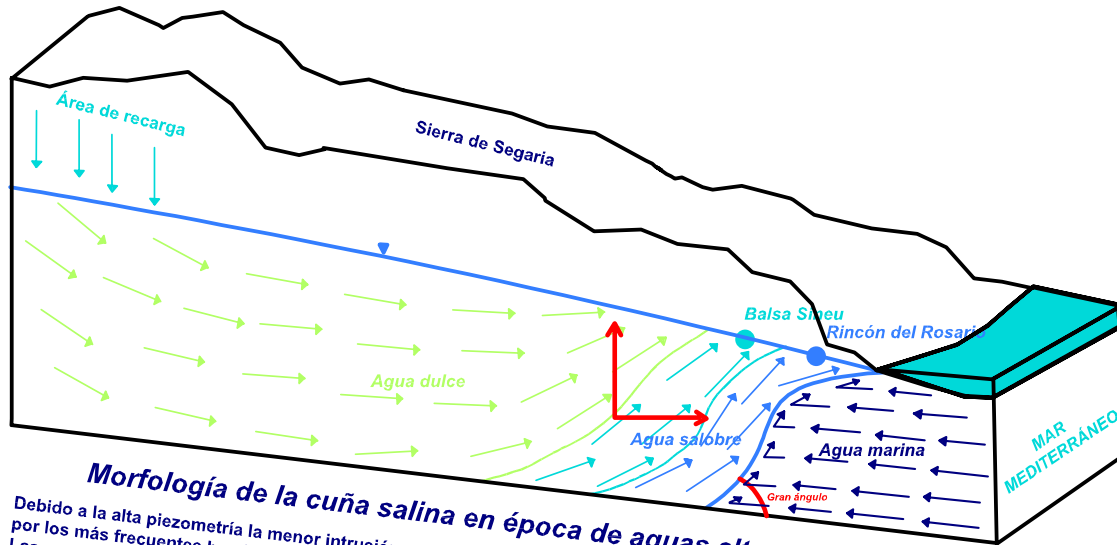
En esta situación, la base de la cuña no avanza en exceso tierra adentro, pero se origina un penacho salino más superficial, una intrusión antrópica (la cuña salina se abomba), que altera la hidrodinámica del flujo subterráneo al minimizar la componente vertical del mismo.

Se produce un aumento de salinidad en los pozos del entorno de la finca y en el propio manantial Balsa Sineu. No obstante, este aumento de salinidad no va asociado a un aumento de la temperatura de las aguas de la surgencia ya que las componentes vertical y horizontal del flujo subterráneo se encuentran más compensadas que en el sector de Font Salada, es decir, pese a que el ángulo entre la base de la interfase y la horizontal es "grande", el porcentaje total de aguas profundas salinas y de alta temperatura es menor que en el caso de Font Salada ya que los bombeos de la finca Rincón del Rosario crean flujos horizontales de mar a tierra que contrarrestan la componente vertical del flujo profundo del acuífero.

En los periodos de bajas piezometrías (épocas secas), se reducen los bombeos en la finca Rincón del Rosario, la intrusión antrópica disminuye y la hidrodinámica es muy similar tanto en Balsa Sineu como en Font Salada.

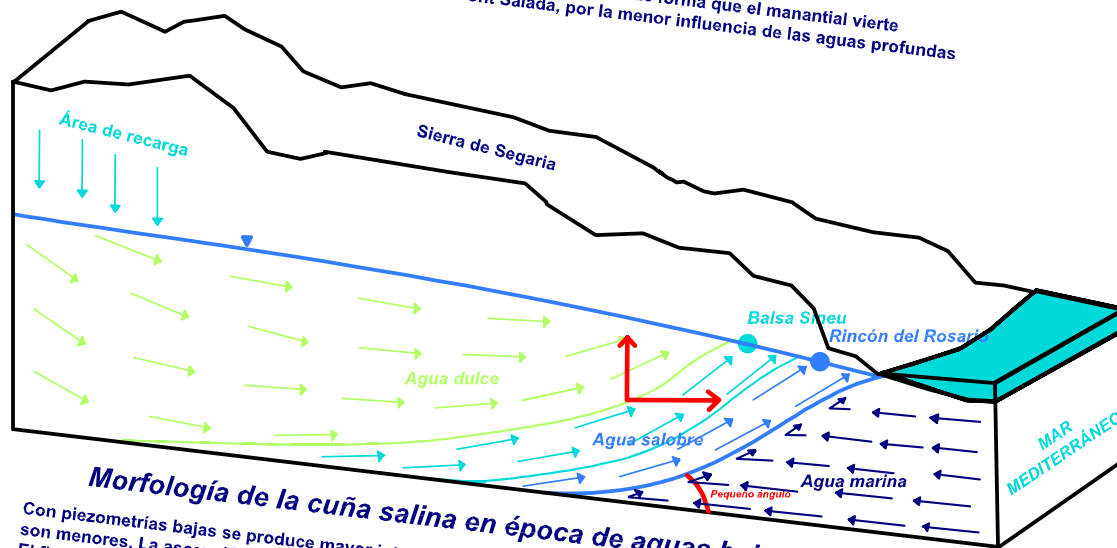
El pie de la cuña salina avanza tierra adentro, el ángulo de la interfase con la horizontal se vuelve más agudo (pequeño) y la componente horizontal del flujo subterráneo es más

destacada que la vertical, por lo que se reduce el porcentaje de aguas profundas en el manantial.



Morfología de la cuña salina en época de aguas altas

Debido a la alta piezometría la menor intrusión natural se altera por la intrusión antrópica provocada por los más frecuentes bombeos en la finca Rincón del Rosario. Las componentes horizontal y vertical del flujo subterráneo se compensan de forma que el manantial vierte aguas salinas pero con temperaturas menores que en Font Salada, por la menor influencia de las aguas profundas



Morfología de la cuña salina en época de aguas bajas

Con piezometrías bajas se produce mayor intrusión natural, pero los bombeos en la finca Rincón del Rosario son menores. La ascensión de aguas profundas disminuye y también la salinidad del Balsa Sineu. El flujo subterráneo presenta una mayor componente horizontal

Figura nº 32: variaciones estacionales de la disposición de la cuña salina en el entorno del manantial de Balsa Sineu

21. BALANCE HÍDRICO PRELIMINAR

21.1. ANÁLISIS HISTÓRICO

Se han realizado a lo largo de las últimas décadas diversas estimaciones del balance hídrico tanto del propio marjal de Pego-Oliva (aguas superficiales) como de los acuíferos relacionados con el mismo, el detrítico de Pego-Dénia, sobre el que se asienta la zona húmeda, y los carbonatados de Albuerca-Gallinera-Mustalla y Almudaina-Alfaro-Segaria.

Se enumeran a continuación algunas de ellas:

- IRYDA - 1979

Realizó un “Estudio hidrogeológico” de la zona Oliva-Pego, en el que se alcanzan las siguientes estimaciones:

- Drenaje conjunto de los río Bullens y Racons: 175 Hm³/año (165 hm³/año manantiales y 10 hm³/año escorrentía superficial)

- Unidad Sierra de Mustalla

Se indican únicamente la los drenajes producidos por bombeo (15 hm³/año) y las salidas por manantiales que originan el río Bullens (75 hm³/año).

- Unidad Sierra de Segaria

Los recursos de la unidad se valoran en 58 hm³/año, de los cuales 50 hm³ proceden de la Unidad Sierra de Mediodía y 8 hm³ por infiltración en la propia sierra de Segaria.

Las salidas se producen por manantiales que dan origen al río Racons.

- Cuaternario de Pego-Oliva

Sus recursos se estiman en 33 hm³/año.

Las salidas se producen por bombeos en sondeos (21 hm³/año) y por descargas subterráneas al mar (12 hm³/año).

- IGME - 1985

Dentro del “Proyecto para la preparación de un informe actualizado de los recursos hidráulicos subterráneos disponibles en el área de Oliva-Pego (Comunidad Valenciana)” realizado por el IGME en 1985 se presentan los siguientes balances hídricos.

- Acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla

Se indican los valores medios a partir de los registros del periodo 1978-1983

Entradas		Volumen (hm³/año)
Infiltración de lluvia		40,7
Infiltración retornos de riego		2,52
Transferencias laterales	(de Ac. Solana-Benicadell)	13,66
	TOTAL (aprox)	56,88

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos		9,98
Transferencias laterales	(al Ac. Detrít de Gandía –Dénia)	6,62
Manantiales		6,6
Drenajes	Al río Bullens	44,98
	Al río Serpis	4,4
	TOTAL (aprox.)	72,58

Según este balance se producen unas salidas superiores a las entradas.

- Acuífero sierra de Segaria
Únicamente se indican una salidas hacia el marjal de Pego-Oliva de 18 hm³/año que incluyen tanto los bombeos como los drenajes de manantiales (Balsa Sineu) y diversos ullales distribuidos en la línea de contacto entre el acuífero carbonatado y el detrítico.
- Acuífero detrítico de Gandia-Dénia
En el proyecto se indica, sin valorar, que las entradas al sistema proceden de transferencias laterales de los acuíferos carbonatados de borde, infiltración del agua de lluvia, de retornos de riego y por recarga de los ríos Bullens y Racons. Las salidas por su parte, se producen por transferencias subterráneas al mar, extracciones por bombeos, evapotranspiración y drenajes a los ríos y canales de desagüe del marjal.
- Marjal de Pego-Oliva
En el estudio indicado se realizó una simulación matemática que dio como resultado el siguiente balance hídrico para la zona húmeda:

Entradas		Volumen (hm³/año)
Transferencias laterales	Sierra de Mustalla y Cuaternario	42,2
	Sierra de Segaria	18
Precipitación		4,5
	TOTAL (aprox)	64,7

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos	del IRYDA	6
	Finca Rincón del Rosario	16,25
Transferencias laterales	al mar	4,6
Drenajes	Al río Bullens (descontados bombeos IRYDA)	25,1
	Al río Racons (descontados bombeos finca Rosario)	13,75
	TOTAL (aprox.)	64,7

- Conselleria de Agricultura y Medio Ambiente - 1995

En el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana, realizado en 1995 por la Conselleria de Agricultura y Medio Ambiente, se establece el siguiente balance hídrico para el acuífero de Pego-Dénia, aunque se centra en el área del marjal de Pego-Oliva:

Entradas		Volumen (hm³/año)
Transferencias subterráneas	Almirante-Mustalla	1,40
	Alfaro-Segaria	22,5
Infiltración de lluvia		15,64
Infiltración de excedentes de riego		3,24
Infiltración aguas superficiales	(río Bullens)	?
	TOTAL (aprox)	42,78

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos para uso agrícola		3,3
Drenaje del marjal		>16
Evapotranspiración		3,74
Salidas al río Racons		>20
Salidas subterráneas al mar		?
	TOTAL (aprox.)	43,04

Se comprueba que la estimación de varios parámetros es aproximada, de forma que se desconoce el volumen de recarga por infiltración de aguas superficiales, que se considera producto de las entradas continuas en el marjal procedentes del río Bullens, y de las aportaciones esporádicas en crecidas de las cuencas hidrográficas vertientes.

En cuanto a las salidas son estimaciones “grosso modo” el drenaje del marjal, las salidas del río Racons y desconocidas las salidas subterráneas al mar.

- IGME-DPA - 2001

En el estudio “ Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices (1ª Fase)” se incluyen los siguientes balances hídricos:

- Acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla

Entradas		Volumen (hm³/año)
Transferencias subterráneas	Solana-Benicadell / Emb. Beniarrés	12,4
Infiltración de lluvia		42
Infiltración de excedentes de riego		2,7
	TOTAL (aprox)	57,1

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos	Agrícolas	9,82
	Urbanos	2,88
Manantiales – salidas al r. Bullens		28,3
Salidas al río Serpis		8,7
Transferencias laterales	Detrít de Oliva (Plana de Pego-Dénia)	4
	Plana de Gandia-Dénia	3,4
	TOTAL (aprox.)	57,1

- Acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria

Entradas		Volumen (hm³/año)
Infiltración de lluvia		25,8
Infiltración de excedentes de riego		0,6
	TOTAL (aprox)	26,4

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos	Agrícolas	2,4
	Urbanos	0,3
Drenaje al marjal, al río Racons (Balsa Sineu)		23,7
	TOTAL (aprox.)	26,4

- Acuífero de Pego-Dénia

Entradas		Volumen (hm³/año)
Infiltración de lluvia		25
Infiltración de excedentes de riego		5
Infiltración del río Girona		6,5
Transferencias laterales	Ac. de Mediodía	1,53
	Ac. de Albuera-Gallinera-Mustalla	4
	Ac. de Orba	1,3
	Ac. de Montgó	0,7
	TOTAL (aprox)	44,03

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos		21
Transferencias laterales	Ac. Cretácico de Girona	2,2
	Ac. Solana de la Llosa	2,5
	Salidas al mar	10,53
Drenaje al marjal, al río Racons y cavas de Ondara y El Verger		7,8
	TOTAL (aprox.)	44,03

- DPA - 2007

Dentro de la publicación “Los manantiales provinciales. Segunda parte” editado por la Diputación Provincial de Alicante en 2007, se incluyen los siguientes balances hídricos:

- Acuífero de Albuera-Mustalla

Entradas		Volumen (hm³/año)
Infiltración de lluvia		48
Infiltración del río Serpis y emb. Beniarrés		5
Infiltración de excedentes de riego		2,7
	TOTAL (aprox)	55,7

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos		12
Manantiales		28
Salidas al río Serpis		8,7
Transferencias laterales	(ac. Pego-Dénia)	7
	TOTAL (aprox.)	55,7

- Acuífero de Almudaina-Segaria

Entradas		Volumen (hm ³ /año)
Infiltración de lluvia		37,43
	TOTAL (aprox)	37,43

Salidas		Volumen (hm ³ /año)
Bombeos	Agrícolas	2,4
	Urbanos	0,3
Drenaje al marjal, al río Racons (Balsa Sineu)		35
	TOTAL (aprox.)	37,43

21.2. BALANCE HÍDRICO ACTUALIZADO

Se ha recopilado información procedente de las comunidades de regantes de la zona, de los Ayuntamientos y empresas de abastecimiento urbano, se ha analizado y se sintetiza a continuación en el siguiente cuadro, que indica la extracciones en diferentes acuíferos pero que repercuten o tienen como destino la zona de Pego-Oliva:

Acuífero	Uso	Destino	Superf.(ha) / Habitantes	Dotación aprox.	Vol. nual (hm ³)	Totales (hm ³ /año)
Albuera-Gallinera-Mustalla	Riego	Naranjos	1324,39	6000 m ³ /ha/año	7,95	9,91
	Abast.	Pego	10878	aprox.= 250 l/hab/día	0,99	
		Playa sur de Oliva	?	?	0,97	
Pego-Oliva	Riego	Naranjos	303,32	6000 m ³ /ha/año	1,82	1,82
	Abast.					
Almudaina-Alfaro-Segaria	Riego	Naranjos	240,57	6000 m ³ /ha/año	1,44	1,44
	Abast.					
Plana de Gandía-Dénia	Riego	de la Finca Oriol o Rincón Rosario	205	6000 m ³ /ha/año	1,23	2,78
		Campo de Golf Oliva nova	50	10000 m ³ /ha/año	0,5	
	Abast.	El Verger	4688	aprox.= 225 l/hab/día	1,05	
Desde el río Bullens	Riego	Arrozales	465	12000 m ³ /ha/año	5,58	5,58
Desde el río Racons	Abast.	Dénia	42699	400* m ³ /hora	3,5	3,5

* La dotación de 400 m³/hora indicada en el abastecimiento de Dénia son las extracciones que desde el río Racons pasan directamente a la planta desaladora que abastece al municipio.

Para el ajuste final del balance se han tenido en cuenta una serie de consideraciones y estimaciones previas:

- Se aplican los recursos estimados por la DPA en 2007 (Los manantiales provinciales. Segunda parte) para los acuíferos de Albuerca-Mustalla (55,7 hm³/a) y Almudaina-Segaria (37,43 hm³/a)
- La superficie de riego de cítricos en el entorno de Pego-Oliva es de 2073.28 ha, a las que se les aplica un volumen de riego de 12,44 hm³/año. Desde el año 2007 el riego es por goteo en toda la zona. Se estima que la eficiencia de este método de irrigación es del 90-95 %, por ello la recarga por retornos de riego (aplicando un 5% del total del riego) representa un volumen de 0,622 hm³/año.
- La superficie de cultivo de arroz es de 465 ha, que se inundan con un volumen de 5,58 hm³/año procedente del río Bullens. De este volumen el 30 % se infiltra (1,67 hm³/a), 1,10 hm³/a se evapotranspira, mientras que el resto (2,8 hm³/a) drena al marjal.
- La ETR de la lámina de agua del marjal se ha asimilado a la ETP, así como la de los campos de arroz en los tres meses que se encuentran inundados.
- Se ha considerado que el vertido de la depuradora de Pego (1 hm³/a) al Bco. Fondo se infiltra en su totalidad al acuífero Pliocuatnario.
- No se ha tenido en cuenta la superficie regada comprendida entre la autopista y la línea de costa en la que existen algunos campos de cítricos y las instalaciones del Club de Golf Oliva Nova.
- Los datos de infiltración y escorrentía en el área de estudio se han obtenido mediante la aplicación de los programas TRASERO y el Soil Conservation Service de los EE.UU, mediante las series de datos completadas de la estación termopluviométrica de Pego Convento nº 8057A. Se ha aplicado en los cálculos una reserva útil del 14 %.
- Los drenajes de los ríos se han estimado a partir de datos históricos y actuales de distintas campañas de aforos directos y datos procedentes de las estaciones de telecontrol fijas de la DPA situadas en los ríos Bullens y Racons.
- La intrusión a los acuíferos carbonatados son el resultado de aplicar el porcentaje de agua de mar (8% en el Bullens y 6% en el Racons) determinado mediante análisis hidroquímicos a los caudales medios anuales drenados por los mismos.
- El cierre del balance se realiza considerando las transferencias entre el acuífero y el mar.

Con todo ello se ha establecido el siguiente balance hídrico actualizado para el sector acuífero de Pego-Oliva:

Entradas		Volumen (hm³/año)
Infiltración de lluvia		11,8
Infiltración de excedentes de riego		2,3
Infiltración aguas depuradas a Bco. Fondo		1
Transferencias laterales	Sierra de Segaria	23,27
	Sierra de Mustalla	6,8
	Intrusión marina	9,15
	TOTAL (aprox.)	54,32

Salidas		Volumen (hm³/año)
Bombeos agrícolas		1,82
Manantiales	Ullal de Bullens, ullal de Macareno y otros	1,5
Drenaje	al río Racons	10,8
	al río Barranquet	22,3
	al canal del Regalatxo	6,3
	al río Bullens	2
	a finca del Rosario	9,6
Transferencias subterráneas	Salidas al mar	0
	TOTAL (aprox.)	54,32

Una de las principales diferencias con respecto al balance realizado en el apartado 10.1 reside en el volumen bombeado, ya que la mayoría de las aguas destinadas a riego y abastecimiento de la zona no se extraen del acuífero de Pego-Oliva, sino del de la sierra de Mustalla, de la de Segaria o del acuífero de la Plana de Gandía-Dénia.

Sin embargo donde los datos resultan más dispares es en el apartado de transferencias subterráneas, donde en el actual balance se estiman unos aportes subterráneos de 30,07 hm³/a, repartidos entre los acuíferos de Mustalla (6,8 hm³/a) y Segaria (23,27 hm³/a), frente a los escasos 4 hm³/a del balance previo, provenientes en exclusiva del acuífero de Albuerc-Gallinera-Mustalla. Igualmente, para ajustar el balance se han debido considerar unas entradas de agua marina de 9,15 hm³/a, frente a las salidas de 3 hm³/a indicadas en el primer balance.

Son también, sensiblemente distintos los drenajes a los ríos Bullens, Racons, Regalatxo y Barranquet, tanto del marjal como de los acuíferos asociados.

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA Y ACUÍFEROS ASOCIADOS

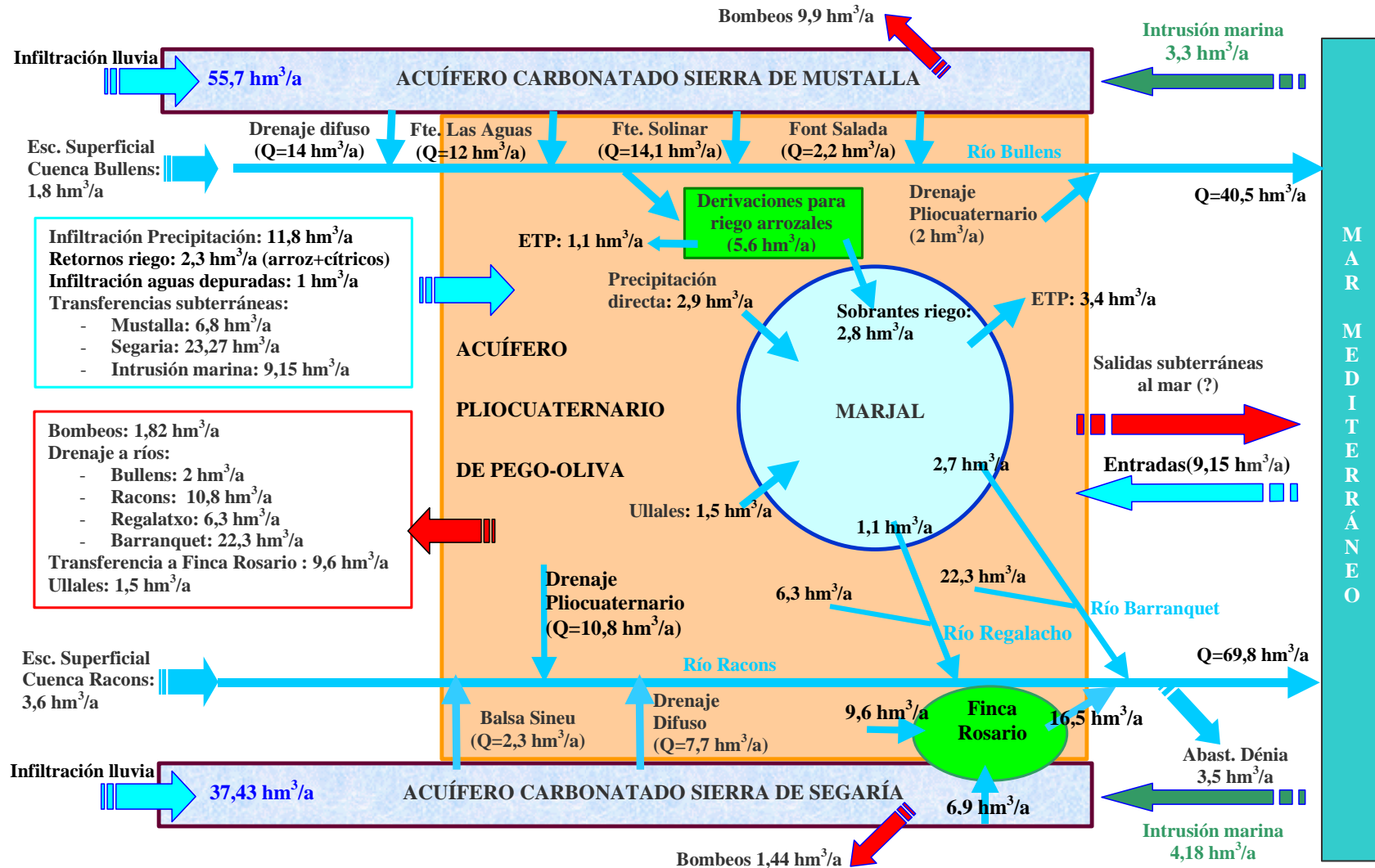


Figura nº 33 : Modelo conceptual actualizado del funcionamiento hidráulico del marjal de Pegu-Oliva. Aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos asociados. Modificada de Ballesteros, B.J. (2005)

22. CONCLUSIONES

Para establecer el funcionamiento hidrogeológico de la zona húmeda de Pego-Oliva, localizada entre las provincias de Alicante y Valencia, es de crucial interés determinar la naturaleza y geometría de las formaciones geológicas que constituyen su soporte físico. Para este cometido se han realizado diez sondeos de investigación a testigo continuo que, junto con la información aportada por perforaciones previas, los estudios geofísicos realizados en la zona y documentación diversa, han permitido establecer la distribución espacial de las facies sedimentarias e interpretar la estructura tectónica del área.

A partir de la investigación realizada se han diferenciado cuatro conjuntos litoestratigráficos permeables, tres de ellos más superficiales de naturaleza detrítica y edad pliocuaternaria, y otro profundo de edad mesozoica.

- Primero se ha diferenciado a un tramo arenoso superficial (AS) dispuesto bajo la turbera del marjal. Esta formación presenta espesores medios del orden de 7 m, aunque llega a superar los 20 m en la línea de costa donde la restinga que cierra el marjal y la playa son depósitos pertenecientes a este nivel. Constituye junto con los depósitos de turbera el cuerpo principal de la masa de agua del marjal
- Por debajo se sitúa un conjunto multicapa intermedio (MI) constituido por gravas, arenas, areniscas y calizas bioclásticas integradas en un paquete eminentemente limoso de unos 60 m de potencia. Este tramo actúa de impermeable de base del anterior.
- Los niveles detríticos del Pliocuaternario finalizan con un conglomerado basal (CB) adaptado a la morfología del basamento que puede superar los 100 m de potencia.
- Por debajo de estos sedimentos, y a profundidad variable condicionada por la tectónica y la presencia de niveles triásicos en facies keuper, se hallan formaciones carbonatadas compuestas por calizas esparíticas y brechoides del Cretácico superior. A esta formación se la ha denominado acuífero mesozoico (AM) y en la mayor parte del territorio queda separada de los horizontes pliocuaternarios por una formación margosa miocena de carácter impermeable.

La piezometría de todos los niveles acuíferos es similar y varía entre los 10 m s.n.m. en las inmediaciones de Pego y los -2,5 m s.n.m. en el área de bombeo de la finca Rincón del Rosario. Sin embargo, es de destacar la tendencia al incremento de la carga hidráulica con la profundidad, circunstancia propia de las áreas de descarga de acuíferos de tipo multicapa, lo que origina la existencia de fenómenos de surgencia en sondeos de cierta longitud. Este hecho

ha sido especialmente puesto de manifiesto en el tramo correspondiente al conglomerado basal (CB).

El funcionamiento hidrodinámico del marjal y de los acuíferos asociados al mismo (Fig. 33) permite establecer la existencia de una intrusión marina directa a la zona húmeda a favor del tramo arenoso superficial (AS) y de forma indirecta a través de los acuíferos karstificados de las sierras de Segaria y Mustalla, donde las vías preferenciales de intrusión son mucho más evidentes.

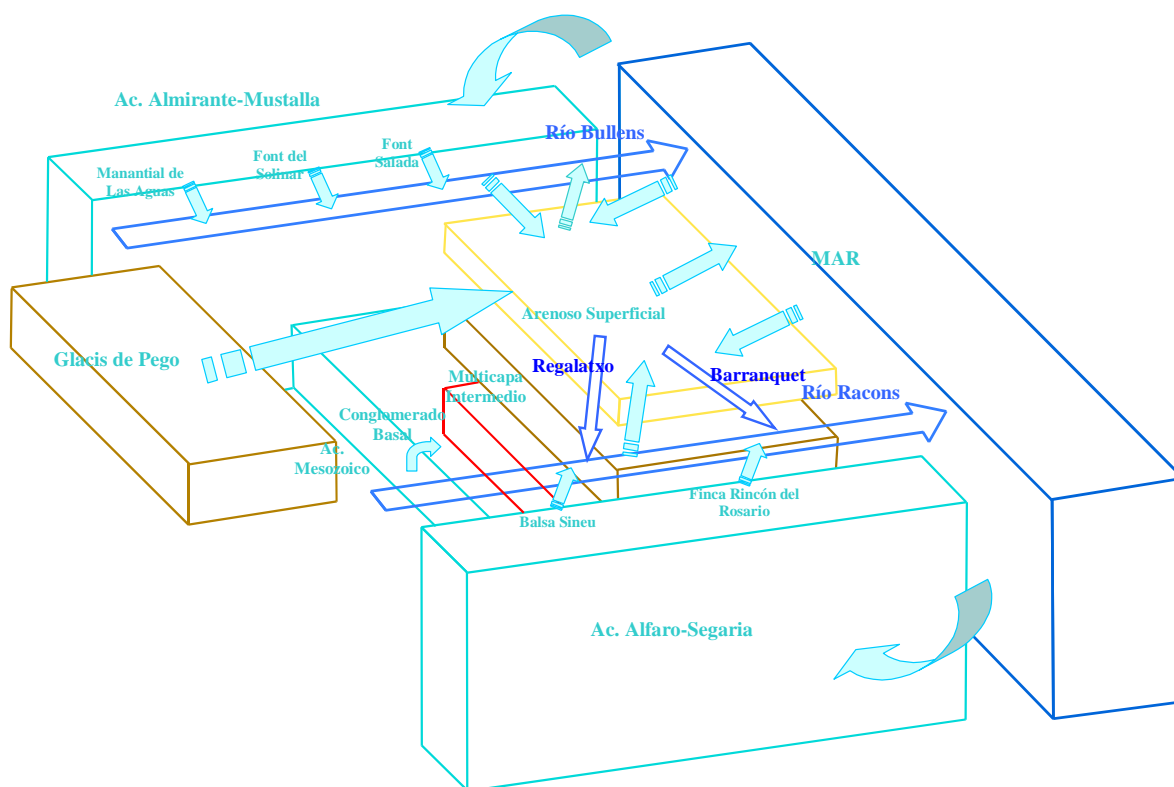


Figura nº 34: esquema del funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos asociados al marjal de Pego-Oliva

Estos acuíferos carbonáticos influyen sobre la hidroquímica de los niveles permeables pliocuaternarios, y por tanto sobre las aguas del marjal.

La conexión hidráulica entre el acuífero mesozoico y el conglomerado basal hace que las aguas del segundo sean dentro de los niveles del Pliocuaternario, las más salinas.

El nivel multicapa intermedio, debido a que está constituido por varios tramos acuíferos, de probable morfología lenticular, embutidos en un paquete de margas, presenta diferentes grados de conexión con los acuífero supra e infrayacentes, aunque se considera que está poco conectado con los mismos. Lateralmente parece tener mayor conexión hidráulica, sobre todo, y

en función de los datos de este estudio, con el acuífero de la sierra de Segaria, tal como indican los registros de conductividad eléctrica y contenido en cloruros, que son más elevados en los puntos cercanos a áreas de intrusión marina.

El acuífero arenoso superficial, se encuentra especialmente afectado por la salinidad en aquellas zonas próximas a los afloramientos cretácicos y en el entorno de la finca Rincón del Rosario. Al constituir el acuífero basal de la zona húmeda, es de especial importancia las variaciones en la química de sus aguas, sobre todo si se tiene en cuenta que los ríos Bullens y Racons actúan tanto de vías de drenaje del marjal y de este nivel acuífero, como de recarga del mismo, en función de las necesidades agrícolas y medioambientales y que estos cauces reciben la mayor parte de sus aportes de los manantiales y surgencias de los acuíferos carbonatados de Mustalla y Segaria, que como ya se ha comentado presentan una salinidad creciente con la proximidad a la línea de costa.

Por el contrario, en las áreas centrales del marjal y alejadas de la costa y de los focos de intrusión, la influencia de las aguas salinas es menor y mayor la de las aguas dulces continentales procedentes del glacis de Pego que se alimenta básicamente de infiltración del agua de lluvia y de transferencias laterales poco mineralizadas.

Se demuestra la considerable influencia que sobre la circulación del flujo subterráneo tiene la disposición estructural del basamento en bloques tectónicos que crean áreas o pasillos de intrusión marina y/o de salida de aguas continentales hacia el mar (Figuras nº 21 y nº 22).

Igualmente se ha demostrado la relación entre piezometrías elevadas en los acuíferos carbonatados, asimilables a periodos húmedos, y contenidos salinos altos en los manantiales que los drenan (Font Salada y Balsa Sineu) y viceversa, piezometrías bajas (periodos secos) y salinidades bajas.

Cualquier variación en la hidroquímica y la temperatura de los diversos tramos permeables y de los manantiales es consecuencia de modificaciones en la posición y morfología de la interfase agua dulce – agua salada, y a su vez, estos cambios son el resultado de la evolución de la piezometría en los acuíferos, que favorecen en mayor o menor grado el avance de la cuña salina.

La hidrodinámica de la interfase se explica de forma similar en los dos acuíferos carbonatados que bordean el marjal, aunque con ciertas diferencias en cada uno.

Así, mientras en el acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla en las épocas húmedas, el flujo subterráneo es más profundo, la interfase no avanza o encuentra mayores dificultades para hacerlo y su morfología es más vertical, pero la componente vertical del flujo subterráneo es

mayor, por lo que los manantiales drenan aguas más calientes y salinas. En los periodos secos (bajas piezometrías), el pie de la cuña salina avanza tierra adentro, los flujos subterráneos presentan una componente horizontal más destacada y las aguas de los manantiales son menos salinas y más frías (Figura nº 30).

Por su parte, el acuífero de Almudaina-Alfaro-Segaria presenta una hidrodinámica similar, aunque con características propias. Así, en los periodos de aguas altas, épocas húmedas, pese a que el flujo subterráneo alcanza en su recorrido por el acuífero zonas más profundas, la interfase agua dulce-agua salada se ve modificada por los más frecuentes bombeos en la finca Rincón del Rosario, lo que provoca un abombamiento de la cuña intrusiva que aumenta la salinidad en el manantial de Balsa Sineu, sin que se produzca un incremento de la temperatura de sus aguas, ya que en este caso la componente vertical y horizontal del flujo subterráneo se encuentran más compensadas que en el sector de Font Salada. En los periodos de bajas piezometrías (épocas secas), se reducen los bombeos en la finca Rincón del Rosario, la intrusión antrópica disminuye y la hidrodinámica es muy similar en ambos acuíferos carbonáticos (Figura nº 31).

En cuanto al balance hídrico actualizado, se ha estimado que el mantenimiento de la zona húmeda es sencillo a partir únicamente de un régimen de precipitaciones normal y los retornos de riego que se producen básicamente en el cultivo del arroz.

El acuífero detrítico de Pego-Oliva es excedentario, ya que presenta unas importantes salidas tanto a los ríos que drenan la zona, como directamente al mar. La influencia de la intrusión marina se circunscribe a la línea de costa, sector de la restinga y sobre todo viene dada por la afección que se produce desde los acuíferos carbonatados de Mustalla y Segaria, que actúan como vías preferenciales de intrusión dadas sus características hidrogeológicas y los bombeos, fundamentalmente en Segaria, a que se ven sometidos en áreas cercanas a la costa.

Respecto a las perspectivas futuras de la zona y las posibilidades hidrogeológicas y socioeconómicas que presenta se considera que tienen tal importancia que se analizan de forma individual en el siguiente apartado.

23. LAS VÍAS DE ACTUACIÓN FUTURAS

23.1. EL MARJAL DE OLIVA-PEGO, UN ÁREA PILOTO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINAR

El entorno del marjal de Pego-Oliva circunscribe dentro de un espacio de reducidas dimensiones una serie de campos de considerable interés tanto de forma individual como conjunta dadas las sensibles interrelaciones entre ellos y la necesidad de éstas para su mantenimiento y desarrollo.

Desde el punto de vista medioambiental, nos encontramos en una zona en la que confluyen ecosistemas marinos y continentales de gran valor ecológico, con unas características climáticas especiales dentro del ámbito del Levante español. El mantenimiento de la zona húmeda del marjal de Pego Oliva es fundamental y debe estar asociado a la evolución y desarrollo socioeconómico de la zona.

La agricultura se encuentra considerablemente vinculada a este espacio natural del que en gran medida depende, sobretodo el cultivo del arroz, basado en la anegación periódica de los campos gracias a la suave topografía ay a los aportes de los río Bullens y Racons.

La proximidad a la costa y la presencia de macizos montañosos que delimitan el marjal permite el establecimiento de un turismo ambivalente de mar y montaña que tiene un reclamo añadido en la propia existencia del parque natural.

Finalmente se incluyen en este entorno diversos polígonos industriales desarrollados a favor de un crecimiento económico basado en gran medida en las segundas residencias y el turismo. En este contexto las posibilidades de investigación en diferentes campos son notables.

23.2. LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA

En el caso de la hidrogeología, los diferentes acuíferos (pliocuaternarios detríticos y mesozoicos carbonatados), sus interrelaciones, la presencia de cursos de agua permanentes pertenecientes a pequeñas cuencas, los manantiales con sus características de salinidad y temperatura, la zona húmeda y la existencia de intrusión marina dan pie a un análisis global por un lado y muy de detalle por otro.

Los numerosos datos obtenidos tanto con el presente proyecto, como en estudios previos, referentes tanto a hidroquímica, clima, piezometría, caudales, etc., permiten el análisis y correlación de series temporales de cierta magnitud.

Las líneas de actuación futuras son diversas, desde estudios contextuales hidrogeológicos o de gestión de recursos a investigaciones de detalle en las que puede ser de especial interés el

análisis de la intrusión marina (en acuíferos detríticos o kársticos), la dinámica de los manantiales y ríos de la zona, la influencia de las variaciones de piezometría en los diversos niveles permeables identificados, sobre otros parámetros o sobre el propio ecosistema. La influencia del cambio climático sobre los elementos anteriores, etc.

Por todo ello y gracias a la existencia de numerosos pozos de fácil acceso, algunos incluso monitorizados para el registro continuo de parámetros como la temperatura y el nivel piezométrico hacen de esta zona, el enclave perfecto para establecer un área piloto de investigación, o dicho en otras palabras, un laboratorio al aire libre que con la figura del parque natural, goza de una mínimas garantías de conservación.

Merece especial atención el hecho de que una política adecuada en la gestión de las aguas subterráneas de este entorno puede repercutir directamente tanto en la agricultura asociada al mismo como en el desarrollo socioeconómico general de la región.

Las implicaciones que la dinámica del movimiento y morfología de la interfase agua dulce-agua salada tiene en el conjunto de la zona húmeda del marjal de Pego-Oliva son considerables y deben tenerse presentes a la hora de gestionar los usos de las aguas superficiales y subterráneas de esta zona.

Para llevar a cabo una gestión adecuada debe realizarse previamente un análisis detallado de la dinámica descrita, de forma que se estudie en detalle la incidencia de posibles modificaciones (antrópicas o naturales) en la posición espacial de la interfase agua dulce-agua salada, que repercutiría en la variación de la salinidad de los manantiales y permitiría estimar la mayor o menor adecuación de su uso en las diferentes épocas del año.

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL MARJAL DE PEGO-OLIVA Y ACUÍFEROS ASOCIADOS

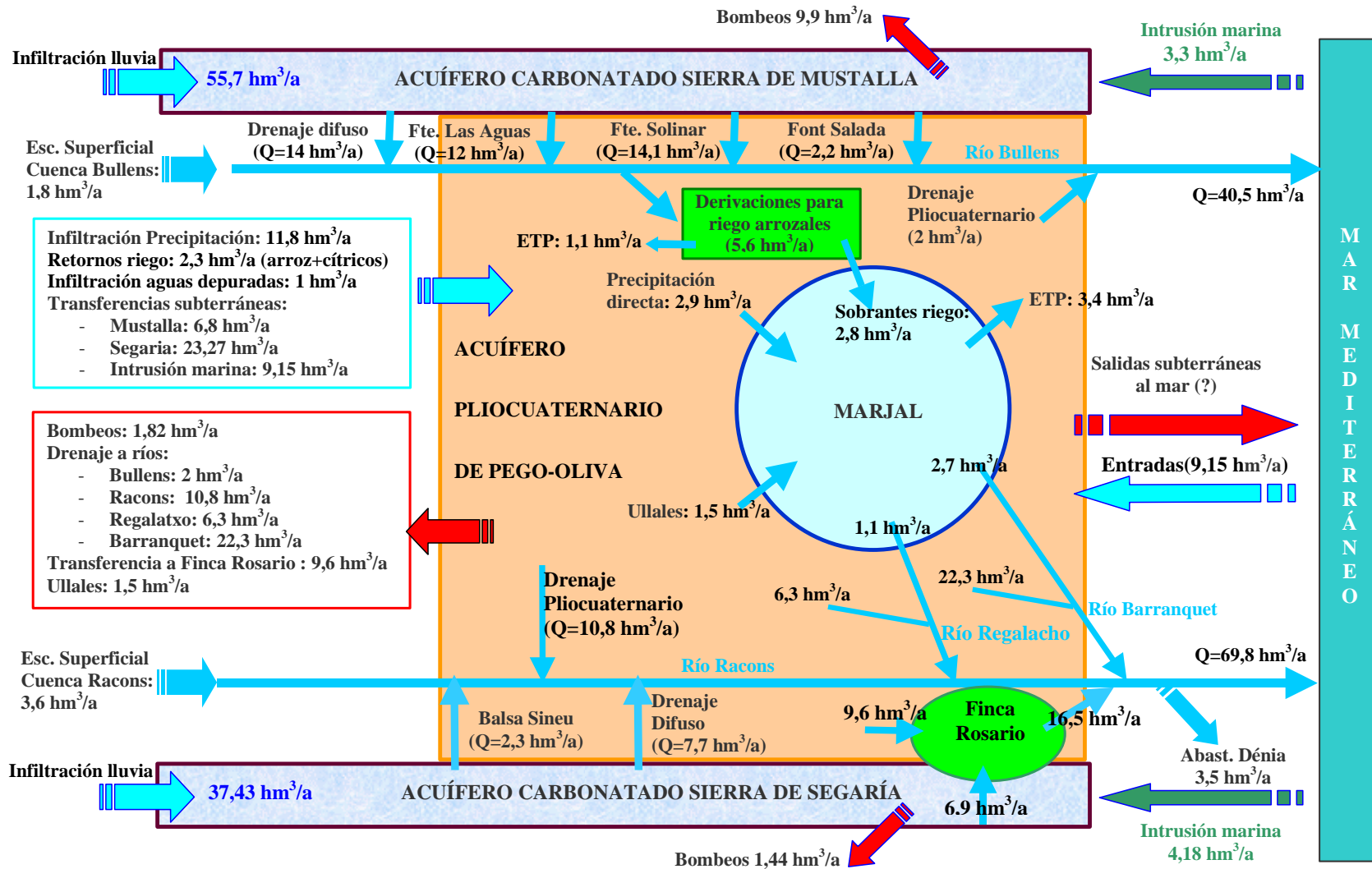


Figura nº 35 : Modelo conceptual del funcionamiento hidráulico del marjal de Pegu-Oliva – datos actualizados. Aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos asociados. Modificada de Ballesteros, B.J. (2005)

24. BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, R. Castro, J. M., Company y De Gea, G A., (1999) - Aptian bio-events-an integrated biostratigraphic analysis of the Almandich Formation, inner Prebetic Domain, SE Spain. *Cretaceous Research* (209, 663-683).
- Alfaro, P., Andreu, J. M., Estévez. A., Tent. J.E y Yébenes, a., (Eds.) (2004)- Geología de Alicante, Libro guía de excursiones del XIII simposio de Enseñanza de la Geología. Universidad de Alicante (Alicante), 267 p.
- Andreo, B. et al. (2004) – Propuesta metodológica para la estimación de la recarga en acuíferos carbonáticos. *Boletín Geológico y Minero*, 115 (2): 177-186.
- Andreo, B. et al. (2007) – Estimación de la recarga mediante el método APLIS en el acuífero jurásico de El Maestrazgo (Castellón, NE España). *Publicaciones del IGME. Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas nº 23.* pp 893-902.
- Ballesteros, B; Ocaña, L; López, J; Rodríguez, L. (2005): Contribución de las técnicas isotópicas y de las relaciones hidroquímicas al conocimiento de los mecanismos que rigen los procesos de salinización en un acuífero kárstico litoral de la provincia de Alicante, España. Ed. Vila X., Cabrera M.C. y Valverde. *Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas (21)*, pp 185-192. Madrid.
- Ballesteros, B.J. y Domínguez, J.A. (2007) - Identificación y caracterización de las formaciones acuíferas que configuran el substrato de la zona húmeda de Pego-Oliva (Alicante-Valencia).
- Ballesteros, B.J.; Domínguez J.A.; Díaz, E. (2007): Determinación de la relación entre zonas húmedas y acuíferos asociados mediante modelos de flujo y transporte. Aplicación a la gestión sostenible del acuífero de Pego-Denia (Alicante). Informe final de los sondeos de investigación. Fondo documental del IGME.
- Box Amorós, M. (1987). Humedales y áreas lacustres de la provincia de Alicante. (Publicaciones de la Universidad de Alicante).
- Buil Gutiérrez, B; Fernández Escalante, E. (2002) – Metodología para la determinación de la conexión hidráulica entre humedales y aguas subterráneas mediante criterios hidroquímicos en el ámbito de la provincia de Jaen.
- Castro, J. M., (1994) - Las Facies de las plataformas de carbonatos del Aptiense-Albiense al NE de la Provincia de Alicante. Zona Prebética, SE de España. *Geogaceta*, (15) 17-19.
- Castro, J. M., y Ruiz-Ortiz., P. A. (1995) - Early Cretaceous evolution of the Prebetic zone in northeast Alicante province: the sierra de Seguil section. *Cretaceous Research* (16) , 573-598.
- Castro. J.M., Company. M. de Gea G.A., Aguado, R. (2002) - Biostratigraphy of the Aptian-Middle Cenomanian Platform to basin domain in the Prebetic Zone of Alicante, SE Spain: calibration, between shallow water benthonic and pelagic scales. *CretaceousResearch* (22) 145-156.

- CHJ (1982). Estudio de recursos hídricos de la zona litoral comprendida entre las cuencas de los ríos Serpis y Algar.
- CHJ (1988). Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del Júcar. Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar.
- CHJ (1995). Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar.
- Company, M., Garcia-Hernandez, M., López-Garrido, A. C., Vera, J. A. Wilke, H. (1982) - Interpretación genética y Paleogeografía de las turbiditas y niveles redepositados del Senoniense Superior en la sierra de Aixorta (Prebético externo, Provincia de Alicante). Cuadernos de Geología, 8. 545-562.
- Company, M., Garcia-Hernandez, M., López-Garrido, A. C., Vera, J. A. Wilke, H. (1982) - Análisis y distribución de facies del Cretácico inferior del Prebético en la provincia de Alicante. Cuadernos de Geología, 8. 563-578.
- Conselleria de Agricultura y Medio Ambiente (1995). Catálogo de zonas húmedas de la Comunidad Valenciana. Parque Natural de Pegó-Oliva.
- CONSORCIO DE AGUAS PARA ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO DE LA MARINA BAJA (1990). Posibilidades de actuación en materia de recursos hidráulicos para mejora y optimización del abastecimiento de agua a la Marina Baja (Alicante).
- COPUT (1990). Estudio integral de las cuencas de los ríos Garona y Gorgos y el posible incremento de sus disponibilidades hídricas mediante métodos de corrección y recarga.
- Costa Mas, J. (1977) – El Marquesat de Denia. Estudio geográfico. “Evolución antrópica y transformación voluntaria del paisaje natural, de la marjal de Pegó-Oliva (País Valenciano)”. Medio Físico, Desarrollo Regional y Geografía. II Coloquio de Geografía. Granada 3-6 de octubre, 1977, pp. 222-227.
- Checa, B. Martín-Chivelert, K.Gräfe. (2004) - Latest Santonian to Upper Maastrichtian Plantifera foraminifera and biostratigraphy of the hemipelagic succession of the Prebetic Zone (Murcia and Alicante Provinces, Southeast of Spain). Cretaceous Research (25) 585-601.
- DGOH-CEDEX (1995). Estudio de la contaminación de origen agrícola en aguas subterráneas de unidades hidrogeológicas detríticas. Cuenca del Júcar. Centro de Estudios Hidrogeológicos.
- DGOH-IGME (1988). Delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características.
- DGOHCA-ITGE (1994). Libro blanco de las aguas subterráneas.
- DGOHCA-ITGE (1997). Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización. Predefinición del programa de actuación.
- DGOHCA-ITGE (1998). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas. Propuestas de protección.
- DGOHCA-ITGE (1998). Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados / salinizados. Formulación de estudios y actuaciones.

- Domínguez. J.A.; Ballesteros, B.J.- Análisis hidrogeológico de manantiales salinos relacionados con el acuífero carbonatado de Albuerca-Gallinera-Mustalla, en el entorno de la zona húmeda de Pego-Oliva (Valencia-Alicante) (2007)
- DPA (1992). Mapa del agua de la provincia de Alicante.
- DPA (2005). Prospección geofísica mediante tomografía eléctrica y sondeos electromagnéticos en el término municipal de Pego (Provincia de Alicante). Fondo documental de la Diputación Provincial de Alicante.
- DPA (2005). Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas.
- DPA (2007). Los manantiales provinciales. Segunda parte.
- DPA-IGT (2001). Estudios Geofísicos mediante Tomografía Eléctrica y SEDT en Parcent y Tárben.
- ENADIMSA (1989). Cartografía e interpretación hidrogeológica del Termino municipal de Gata de Gorgos (Alicante).
- Estevez, A., López-Arcos, M., Castro, J. M., (1994) - Nuevos Datos sobre el Cretácico inferior de la provincia de Alicante. La serie de Castell de la Solana. Zona Prebética. Geogaceta, (15) 20-23.
- Geel, T. (1995) - Oligocene to early Miocene tectono-sedimentary history of the Alicante region (SE, Spain): Implications for Western Mediterranean evolution. Basin Research, 7, 313-336.
- Geel, T. (2000) - Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of Palaeogene deposits in southeastern Spain. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 155, 211-238.
- Gibbons, W.; Moreno, T. (Eds.) (2002) -The Geology of Spain, Geol. Soc. (London), 649 p.
- Gollonet Fernández, J (2003) – Experiencia en la selección, instalación y mantenimiento de equipos de medida. Publicaciones del IGME. Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas nº 9. pp 107-113.
- IGME-IRYDA (1977). PIAS. Proyecto de investigación hidrogeológica de la cuenca media y baja del río Júcar. Tomo X. Sistema 50.1. Zona Sur.
- IGME (1980). Estudio geofísico para la ubicación de un sondeo de abastecimiento en el término municipal de Polop de la Marina (Alicante).
- IGME (1985). Proyecto para la preparación de un informe actualizado de los recursos hídricos subterráneos disponibles en el área de Oliva-Pego (Comunidad Valenciana).
- IGME (1986). Proyecto para el establecimiento de Normas para la Explotación de los acuíferos en la zona de Gandía-Dénia-Jávea y Cabecera del Vinalopó (1984-1985).
- IGME (1986). Proyecto para el inventario de focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas y evaluación de la situación en calidad de los mismos, en las cuencas media y baja del Júcar. Sistema 50.1 Zona Sur.
- IGME (1987). Campañas de aforos para el control del acuífero de Albuerca-Gallinera-Mustalla.

- IGME, (1988). Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización.
- IGME (2003): Modelo matemático del acuífero de Mustalla, unidad hidrogeológica 08.34 Almirante-Mustalla.
- IGME (2005). Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos.
- IGME - DPA (1982). Las aguas subterráneas de la provincia de Alicante.
- IGME-DPA (1987). Estudio hidrogeológico del Vall de Ceta, Alicante (Sistemas acuíferos de Serrella-Aixorta, Benasau, Alt del Alt, Peña Moro, Pla de la Casa, Llosa, Facheca, Millena-Benimassot, Cuatretondeta).
- IGME-DPA (2000). Análisis del estado actual de la regulación de los recursos hídricos de la Marina Baja. Reglas de operación y recomendaciones de gestión.
- IGME-DPA (2001). Determinación de las descargas naturales de los acuíferos de la sierra de Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, de la sierra Albuerca-Gallinera-Mustalla hacia el Parque Natural del Marjal de Oliva-Pego en la Marina Alta (Alicante). Campaña de aforos y piezometría de enero de 2001.
- IGME-DPA (2001). Determinación de las descargas naturales de los acuíferos de la sierra de Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, de la sierra Albuerca-Gallinera-Mustalla hacia el Parque Natural del Marjal de Oliva-Pego en la Marina Alta (Alicante). Campaña de aforos y piezometría de febrero de 2001.
- IGME-DPA (2001). Análisis y ordenación de recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante). Alternativas y Directrices (1ª Fase).
- IGME-DPA (2002). Evaluación y ordenación de recursos hídricos en la Marina Alta (Alicante). Alternativas y Directrices (2ª Fase). Caracterización isotópica e hidroquímica de los acuíferos existentes en el entorno del marjal de Pego-Oliva. Marina Alta (Alicante).
- IGME-DPA (2005). Caracterización isotópica de la línea meteórica local y de los acuíferos de la Marina Alta (Alicante).
- IGME-DPA (2005). Establecimiento del marco geológico para protección de alternativas de gestión de recursos hídricos subterráneos. Aplicación a la comarca de la Marina Alta (Alicante). Revisión y actualización del modelo de flujo del acuífero Almudaina-Alfaro-Segaria (Alicante).
- IGME-DPA (2005). Establecimiento del marco geológico para protección de alternativas de gestión de recursos hídricos subterráneos. Aplicación a la comarca de la Marina Alta (Alicante). Fase final.
- IGME-DPA (2008). Síntesis hidrogeológica y propuestas para la optimización de la gestión de los recursos hídricos de la Marina Alta (Alicante).
- IGME-SGE (2004). Geología de España.
- Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial"(BOE nº 123, de 23 de mayo de 1990).
- IRYDA (1979). Estudio hidrogeológico. Zona Oliva-Pego.
- ITGE (1989). Las aguas subterráneas en España.

- ITGE (1995). Proyecto para el control piezométrico, hidrométrico y de calidad de las cuencas media y baja del Júcar. Análisis de la situación y estado de la red de control hidrométrico.
- ITGE-Generalitat Valenciana (1995). La calidad de los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana.
- ITGE-Generalitat Valenciana (1996). Los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana.
- ITGE (1997). Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, período 1982-1993. Cuenca del Júcar.
- ITGE-DGOHCA (1999). Programa de actualización del inventario hidrogeológico (P.A.I.H.). Análisis del conocimiento actual. Evaluación y programación de estudios en las cuencas intercomunitarias.
- ITGE-DPA (1992). Actualización y control de explotaciones. Acuífero Serrella-Aixorta y acuífero Montgó-Dénia.
- ITGE-DPA (1998). Modelo de intrusión marina en el acuífero de El Verger. Evaluación de los efectos de la recarga artificial. Optimización de las operaciones de recarga.
- ITGE-DPA (1999). Análisis previo de los resultados de las operaciones de recarga artificial en Orba, Jijona y Cuenca del Gorgos.
- ITGE-DPA (2000). Estudio de los recursos subterráneos de agua salobre en la zona sur de la Provincia de Alicante (III Fase).
- ITGE-DPA (2000). Determinación de las descargas naturales de los acuíferos de la sierra de Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaria, de la sierra Albuerca-Gallinera-Mustalla hacia el Parque Natural del Marjal de Oliva-Pego en la Marina Alta (Alicante). Campaña de aforos y piezometría de diciembre de 2000.
- ITGE-INGEMISA (1990). Estudio actualizado de los recursos hídricos subterráneos de la Marina Alta de Alicante.
- Maramathas, A. et al. (2006) - Contribution to the identification of the sea intrusion mechanism of brackish karst springs. *Hydrogeology Journal*. Vol. 14, Nº 5, junio de 2006. pp. 657-662.
- Martínez del Olmo, W., Lere, G., Megías, A. G. (1982) - El límite de la plataforma carbonatada del cretácico superior de la Zona Prebética. *Cuadernos de Geología*, 8. 597-614.
- Martínez del Olmo, W., Lere, G. y Suárez, J. (1985) - Frentes de olistolitos intramiocenos en el Prebético oriental. *Trabajos de Geología*. 1, 147-151.
- MOPU - Servicio Geológico. (1985). Sobre los sondeos de investigación realizados en la unidad Alfaro-Mediodía (Alicante)
- MOPTMA-ITGE (1993). Inventario de recursos de agua subterránea en España. 1ª Fase.
- MOPTMA (1995): Sobre los sondeos, medidas piezométricas y aforos realizados en la marjalería de Oliva-Pego (Alicante). Documento inédito.
- Moseley, F. (1987) - A Geological Field Guide to the Costa Blanca, Spain. *Geologists' Association Guide* (London), 79 p.

- Navarro Matheu, V. (2003) – El Parque Natural del Marjal de Pegó-Oliva. Historia y perspectivas de futuro - Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales : litoral mediterráneo. pp. 77-95.
- Obartí, J. (2001) – Conflictos entre la extracción de aguas subterráneas y la conservación de humedales mediterráneos. Plan de protección hídrica de la zona húmeda de Pegó-Oliva (Alicante).
- Pérez Cueva, A.J. - COPUT (1994).Atlas Climático de la Comunidad Valenciana.
- Pool, M.; Abarca, E.; Hidalgo, J.; Carrera, J. (2007): Simulación bidimensional en planta de la intrusión marina: integración vertical. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas (23), pp 459-470. Madrid
- Pulido, A. (1979). Contribución al conocimiento de la Hidrogeología del Prebético Nororiental (Povincias de Alicante y Valencia) - Tesis Doctoral. Memoria del Instituto Geológico y Minero de España, Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- PULIDO, A., MORELL, I., BENAVENTE, J., PADILLA, A., CALAFORRA, J. M. (1986). Universidad de Granada. Dpto. Hidrogeología de la Facultad de Ciencias. Hidrogeología del marjal de Pegó y su entorno.
- Ruiz-Ortiz., P. A. y Castro, J. M., (1998) - Carbonate Depositional sequences in shallow to hemipelagic platform deposits; Aptian, Prebetic of Alicante (SE. Spain). Bulletin Societe Géologique France, 169,(1) 21-33.
- Samper J, Huguet L, Arés J, García MA. (1999)- Manual del usuario del programa Visual Balan v.1.0. Publicación Técnica de Enresa 05/99
- Sanz, E; Custodio, E; Carrera, J; Ayora, C; Barón, A; González, C. – Modelling coastal salty springs: first aproach in carbonate media (s'Almadrabva, Mayorca, Spain) – Salt Water Intrusion Meeting, Deltt, The Netherlands, 6-10 May 2002.
- Servicio Geológico de Obras Públicas del MOPU (Marzo de 1980). Sobre la ejecución y explotación de las obras realizadas para abastecimiento de la Marina Baja en el valle del río Beniardá.
- Servicio Geológico de Obras Públicas del MOPU (Abril de 1980). Posibilidades de explotación del embalse subterráneo drenado por las Fuentes del Algar.
- Servicio Geológico de Obras Públicas del MOPU (Diciembre de 1983). Situación actual y perspectivas del abastecimiento de agua para usos urbanos y agrícolas en la Marina Baja de Alicante
- Servicio Geológico de Obras Públicas del MOPU (1985). Sobre los sondeos de investigación realizados en la unidad Alfaro-Mediodía (Alicante). Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Documento inédito.
- SGOP (1990). Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000. Informaciones y Estudios nº 52.
- Trabajos geoelectrónicos de apoyo a la investigación hidrogeológica en diversas cuencas. Valles miocenos y zonas de borde permeable del sistema 50 y valles de Ceta y Planes (1983).

- TEYGE, S.A. (1997). Análisis hidrogeológico del sistema de inyección de aguas residuales urbanas depuradas en la urbanización Cumbres del Sol. Benitachell (Alicante).
- Universidad de Granada (1986). Hidrogeología del marjal de Pegó y su entorno.
- UPV-CENTRO VALENCIANO DE ESTUDIOS DEL RIEGO (2003). Informe sobre los pozos de aguas del Bullens, S.A. (Oliva), Valencia) y sus efectos sobre el parque natural del marjal de Pegó-Oliva.
- Vera, J.A. (Ed.) (2004) - Geología de España. Sociedad Geológica de España, Instituto Geológico y Minero de España (Madrid), 890 p.
- Viñals, M. J. (1996): El marjal de Oliva-Pegó (Valencia). Geomorfología y evolución de un humedal costero mediterráneo. Generalitat Valenciana – Consellería de Agricultura y Medio Ambiente.

Cartografía:

- Hojas de Játiva (795) Gandía (796), Alcoy (821), Benissa (822), Javea (823), Villajoyosa (847) y Altea (848). E: 1/50.000. Del SGN y del Servicio Cartográfico de Ejército. Cartografía Militar de España. Serie L).
- Hojas: 795 (I-IV), 796 (I-IV), 821 (I-IV), 822 (I-IV), 823 (I-IV), 847(I-IV) y 848 (I-IV). E: 1/25.000. Mapa Topográfico Nacional de España. Instituto Geográfico Nacional.
- Hojas de Játiva (795) Gandía (796), Alcoy (821), Benissa (822), Javea (823), Villajoyosa (847) y Altea (848). E: 1/10.000. Instituto Cartográfico Valenciano
- Hojas de Játiva (795) Gandía (796), Alcoy (821), Benissa (822) – no publicada, Javea (823), Villajoyosa (847) y Altea (848). Escala 1:50.000. Mapa Geológico de España. Serie IGME.