UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
Departamento de Geodinámica



TESIS DOCTORAL

Contribución al estudio de la recarga natural en el sistema acuífero de los Llanos de Albacete

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

María Casado Sáenz

Directores

Manuel Ramón Llamas Madurga
Joaquín Cruces de Abia

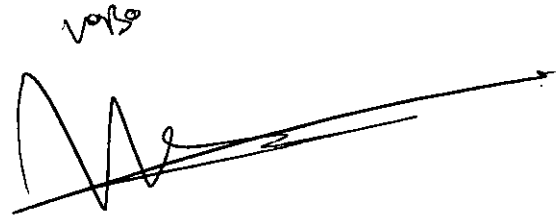
Madrid

© María Casado Sáenz, 1996

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA RECARGA NATURAL EN EL SISTEMA ACUÍFERO DE LOS LLANOS DE ALBACETE.

Tesis Doctoral Realizada por:
María Casado Sáenz
Bajo la dirección de los profesores:
Dr. M. R. Llamas Madurga (Universidad Complutense de Madrid)
Dr. J. Cruces de Abia (Universidad de Cantabria)



Mayo de 1996

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis doctoral.

En primer lugar a mis dos directores de tesis, **D. M. R. Llamas Madurga**, Catedrático de Hidrogeología, de la Universidad Complutense de Madrid **y D. D. J.Cruces de Abia,** Catedrático de Física Aplicada, de la Universidad de Cantabria, sin cuyo interés y asesoramiento constante no se hubiera llevado a cabo este estudio.

A los profesionales y personal del Instituto Técnico Agrícola Provincial (ITAP), de la Excma. diputación de Albacete, sin cuya inestimable ayuda no hubiera podido realizarse esta tesis. En particular deseo manifestar mi más vivo agradecimiento **D. Prudencio López Fúster** por su constante apoyo material y humano. También a **D. Horacio López Córcoles**, a **D. Daniel Gil**, y a **D.Wenceslao Lorenzo.**

A **D. Jesús Sáez** por sus lecciones magistrales, ayuda, asesoramiento y apoyo técnico, y a **D. Manuel Pintado,** del laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

A **Dña. Carmen Pou**, del laboratorio de suelos del IRYDA, por su asesoramiento y ayuda.

A **D. Sebastián Fernández**, por toda su amabilidad y ayuda, del Laboratorio de Geotecnia de la Facultad de CC. Geológicas.

Al grupo investigador del Institute of Hydrology (IH), y en particular a **Mr. Martin Hodnett** por todo su apoyo y asesoramiento científico. A **Mr. Sam Boyle, Mr. David Cooper, Mr. Athul Haria**, y a **Mr. John Bromley** por sus enseñanzas. A **Mr. Andrew Marshall**, por su amigable compañía.

Al los investigadores del Instituto de Desarrollo Regional de Albacete, así como a los profesores de la escuela Técnica de Ingenieros Agrícolas de Albacete y coordinadores del proyecto EFEDA, a **D. Francisco Martín de Santa Olalla, D. Arturo de Juan, D. Antonio Legorburo, D. Santiago Castaño** y **D. Antonio Brasa**, por todas las atenciones y ayuda prestada y a **D. Emilio Zarranz** por su inestimable colaboración en la toma de datos.

A **D. Juan Manuel Aragonés**, Comisario de Aguas del Júcar, por toda la información tan gentilmente proporcionada. A **Dña. Juana Baeza** y a sus colaboradores del ITGE por atender siempre amablemente todas nuestras solicitudes. A **D. José Fuster**, director de la empresa INAGESA, por la valiosa información facilitada. A **Dña. María Luisa Fernández**, del Departamento de Estratigrafía de la Facultad de CC. Geológicas.

A los dueños y empleados de la finca Labor de Acequión, por su desinteresada colaboración y muy en particular a **D. Joaquín**, encargado de la finca, y A **D. Agustín**, su guarda, por todas sus amabilidades.

A todos mis compañeros de trabajo.

De forma muy especial quiero agradecer su apoyo y ayuda a **D. Roberto Gil de Mingo**, una de las personas que más apoyo me ha prestado, en la ejecución, redacción y finalización de este trabajo.

A mis padres por todo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS PROPUESTOS 1

1.2 MARCO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO 2

1.3 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA: MARCO GENERAL 2
1.3.1 CLIMATOLOGÍA 2
1.3.2 HIDROLOGÍA 5

1.4 SITUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS LLANOS DE ALBACETE 7
1.4.1 INTRODUCCIÓN 7
1.4.2 ESTRATIGRAFÍA GENERAL 7
1.4.3 GEOMETRÍA Y TECTÓNICA DE LA CUENCA 11

1.5 MARCO HIDROGEOLÓGICO DE LOS LLANOS DE ALBACETE 12
1.5.1 INTRODUCCIÓN 12
1.5.2 ANTECEDENTES 12
1.5.3 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 12
1.5.4 LÍMITES DEL SISTEMA 13
1.5.5 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO 13
1.5.6 BALANCE HIDRÁULICO 16

2. HIDROGEOLOGÍA DE DETALLE DE LA ZONA PILOTO DE BARRAX

2.1 COMENTARIOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO 17

2.2 HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE 18

2.3 INTERPRETACIÓN DE LAS COLUMNAS LITOLÓGICAS DE LOS PUNTOS DE AGUA 19

2.4 UNIDADES GEOLÓGICAS 20

2.5 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 24
2.5.1 GEOMETRÍA DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 24
2.5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS 29

2.6 COMENTARIO SOBRE EL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA 29

2.7 PIEZOMETRÍA Y LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA 30
2.7.1 PERFILES HIDROGEOLÓGICOS 31
2.7.2 LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA 31
2.7.3 PIEZOMETRÍA 37
2.7.3.1 PIEZOMETRÍA GENERAL DEL ACUÍFERO 37
2.7.3.2 PIEZOMETRÍA GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO 39
2.7.3.3 REGISTROS PIEZOMÉTRICOS 42
2.7.3.3.1 Evolución piezométrica en la unidad acuífera del Lías Superior-Dogger 42
2.7.3.3.2 Evolución piezométrica en la unidad acuífera Cretácica 42
2.7.3.3.3 Evolución piezométrica en la unidad acuífera del Neógeno 44

2.8 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO 46

2.9 EXTRACCIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO 48

2.10 LA LAGUNA DEL ACEQUIÓN 49

3. MODELIZACIÓN DE UN PERFIL VERTICAL

3.1 MODELO MATEMÁTICO 51

3.2 RELACIÓN ENTRE EL MODELO CONCEPTUAL Y MATEMÁTICO 51
3.2.1 CONDICIONES DE CONTORNO 52
3.2.2 ASIGNACIÓN DE PARÁMETROS 52
3.3.2.1 PERMEABILIDAD 52
3.3.2.2 FACTOR DE ALMACENAMIENTO 53
3.3.3 CRITERIOS DE ERROR Y PASO DE TIEMPO 53

3.3 EJECUCIÓN DEL MODELO 53

3.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO 54

3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO 55
3.5.1 DIFERENCIA DE PERMEABILIDAD ENTRE EL ACUÍFERO Y EL SEMIPERMEABLE 58
3.5.2 BOMBEOS 58
3.5.3 APORTACIONES DEL RÍO LEZUZA 58
3.5.4 LÍMITE DE LAS CALIZAS NEÓGENAS 60

3.6 CONCLUSIONES 60

4. FUNDAMENTOS TEORICOS

4.1 ¿QUÉ ES LA ZONA NO SATURADA? 63

4.2 LA ZONA NO SATURADA 63
4.2.1 PROPIEDADES 63
4.2.2 COMO SE EXPRESA EL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO 64
4.2.3 FUERZAS QUE RETIENEN EL AGUA EN EL SUELO 65
4.2.3.1 FUERZAS DE ATRACCION OSMOTICA EN DOBLES CAPAS DIFUSAS 65
4.2.3.2.FUERZAS CAPILARES 66
4.2.4 COMO SE ENCUENTRA EL AGUA EN EL SUELO 68

4.3 EL AGUA EN LA ZONA SATURADA 68
4.3.1 EL POTENCIAL DEL AGUA 68
4.3.2 POTENCIAL DEL AGUA POR UNIDAD DE MASA 69
4.3.3 EL POTENCIAL POR UNIDAD DE PESO 70
4.3.4 EL POTENCIAL POR UNIDAD DE VOLUMEN 70

4.4 EL AGUA EN LA ZONA NO SATURADA 70
4.4.1 EL POTENCIAL DEL AGUA EN LA ZONA NO SATURADA 70
4.4.2 EL POTENCIAL MATRICO 70
4.4.2.1 CURVAS DE RETENCION 71
4.4.2.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA FORMA DE LAS CURVAS 73
4.4.2.3 CAPACIDAD Y DIFUSIVIDAD 73
4.4.3 EL POTENCIAL GRAVITACIONAL 74
4.4.4 EL POTENCIAL OSMÓTICO 74
4.4.5 EL POTENCIAL TOTAL EN LA ZONA NO SATURADA 76

4.5 FLUJO DE AGUA EN ZONA NO SATURADA 76
4.5.1 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA NO SATURADA 77
4.5.2 CAPACIDAD Y DIFUSIVIDAD 78
4.5.3 DETERMINACIONES EMPIRICAS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA NO SATURADA 78
4.5.3.1 MEDIDA DIRECTA DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA NO SATURADA 81
4.5.4 LA ECUACION DE LA CONTINUIDAD 81
4.5.4.1 REGIMEN ESTACIONARIO 82

4.5.4.2 REGIMEN VARIABLE....83
4.6 INFILTRACIÓN Y RECARGA....84
4.6.1 INFILTRACIÓN....84
4.6.1.1 TASA DE INFILTRACIÓN E INFILTRACIÓN ACUMULADA....84
4.6.1.2. DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD EN UN PERFIL DE INFILTRACIÓN....86
4.6.2 CONCEPTO DE RECARGA....86
4.6.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECARGA....86

4.7 MÉTODOS EXISTENTES PARA ESTIMAR LA RECARGA....87
4.7.1 MÉTODOS FÍSICOS INDIRECTOS....87
4.7.1.1 BALANCE HIDRÁULICO....87
4.7.1.2 MÉTODO DEL PLANO DE FLUJO NULO....87
4.7.1.3 CÁLCULO DE LAS TASAS DE INFILTRACIÓN....88
4.7.2 MÉTODOS FÍSICOS DIRECTOS....89
4.7.3 TRAZADORES NATURALES Y APLICADOS....89
4.7.3.1 POR LA POSICIÓN DEL PICO DEL TRAZADOR....89
4.7.3.2 BALANCE DE MASAS....89
4.7.3.2.1 Métodos del tritio....89
4.7.3.2.2 Método de los cloruros....90

5. SÍNTESIS DE MÉTODOS PARA MEDIR HUMEDAD Y POTENCIAL EN ZONA NO SATURADA

5.1 MEDIDAS DE HUMEDAD....93
5.1.1 MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS....93
5.1.2 TÉCNICAS NUCLEARES....94
5.1.2.1 SONDA DE NEUTRONES....94
5.1.2.2. ATENUACIÓN DE RAYOS GAMMA....96
5.1.3 TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS....96
5.1.3.1.SONDA DE CAPACITANCIA....96
5.1.3.2. TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY)....98

5.2 MEDIDAS DE SUCCIÓN....99
5.2.1 BLOQUES DE RESISTENCIA....99
5.2.2 MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO....103
5.2.3 TÉCNICAS TENSIOMÉTRICAS....103
5.2.4 CÁMARA DE RICHARDS....105
5.2.5 TÉCNICAS HIGROMÉTRICAS....106
5.2.5.1 CONTROL DE LA SUCCIÓN CON UNA SOLUCIÓN SALINA....106
5.2.5.2 PSICRÓMETROS....107

5.3 TOMA DE MUESTRAS....108

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1 ANTECEDENTES Y METODOLOGIA....111
6.1.1 ANTECEDENTES....111
6.1.2 PLANTEAMIENTO Y METODOLOGÍA DE UN ESTUDIODE RECARGA EN LA ZONA DE BARRAX....112
6.1.2.1 METODOLOGÍA....113

6.2 SELECCIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES....113
6.2.1 PARCELA EXPERIMENTAL DEL ACEQUIÓN....114
6.2.2 PARCELA EXPERIMENTAL DE LAS TIESAS....115
6.2.3. PARCELA EXPERIMENTAL DE ALGIBARRO....115
6.2.4 PARCELA EXPERIMENTAL BX8....116
6.2.5 PARCELA BX2 Y BX6....116

6.3 TOMA DE DATOS DE CAMPO....116
6.3.1 MEDIDAS DE SUCCIÓN....116

6.3.1.1 BLOQUES DE YESO....117
6.3.1.2 TENSIÓMETROS....119
6.3.1.2.1 Manómetro de espiral....119
6.3.1.2.2 Tensiómetros transductores....120
6.3.2 MEDIDAS DE HUMEDAD....124
6.3.3 LA INSTRUMENTACIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES....126
6.3.4 TOMA MANUAL DE MUESTRAS....127
6.3.4.1 PROCEDIEMIENTO....127
6.3.5 TOMA MECÁNICA DE MUESTRAS:EJECUCIÓN DE UN SONDEO GEOTÉCNICO EN BX8....131
6.3.5.1 MATERIAL UTILIZADO....131
6.3.5.2 PERFORACIÓN....132
6.3.5.3 MUESTRAS TOMADAS....133

6.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO....133
6.4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD....133
6.4.2 CALIBRACIÓN DE LOS BLOQUES DE YESO....133
6.4.2.1 CALIBRADO MEDIANTE LA TÉCNICA DEL PAPEL DE FILTRO....134
6.4.3 CURVAS DE RETENCIÓN....137
6.4.3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS....138
6.4.3.1.1 Cámara de Richards....138
6.4.3.1.2 Procedimiento de Clapp y Hornberger (1978)....138
6.4.3.1.3 Método del papel de filtro....139
6.4.3.1.4 Curvas de retención de la parcela experimental del Acequion....139
6.4.3.1.5 Curvas de retención de la parcela experimental de Las Tiesas....139
6.4.3.1.6 Curvas de retención de la Parcela experimental de Algibarro....139
6.4.3.1.7 Curvas de retención de la parcela experimental BX8....139
6.4.3.2 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN DE LOS BLOQUES DE YESO....139
6.4.3.2.1 Control de la succión mediante una solución salina....140
6.4.4 ANALISIS DE PERMEABILIDAD....143
6.4.5 CALIBRACIÓN DE LA SONDA DE NEUTRONES....143

7. RESULTADOS OBTENIDOS E INTERPRETACIÓN

7.1 RIEGOS Y PRECIPITACIONES
7.1.1 PRECIPITACIÓN EN LAS PARCELAS BX2, BX6, BX8, LAS TIESAS Y ALGIBARRO....147
7.1.2 PRECIPITACIÓN EN LA PARCELA DE ACEQUIÓN....147
7.1.3 RIEGOS....150

7.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL DEL ACEQUIÓN....154
7.2.1 CURVAS GRANULOMÉTRICAS Y ANÁLISIS DE SEDIMENTACIÓN....154
7.2.2. COLUMNA LITOLÓGICA....157
7.2.3. CURVAS DE RETENCIÓN....157
7.2.3.1 CÁMARA DE RICHARDS....157
7.2.3.2 MÉTODO DE CLAPP Y HORNBERGER....157
7.2.3.3 MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO....159
7.2.3.4 RESULTADOS OBTENIDOS....161
7.2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA....162
7.2.5 RESULTADOS PROPORCIONADOS POR LOS BLOQUES DE YESOS....163
7.2.5.1 POTENCIAL TOTAL....163
7.2.5.2 PERFILES DE POTENCIAL TOTAL....166
7.2.6 RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TOMA DE MUESTRAS....169
7.2.6.1 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO....169
7.2.6.2 MÉTODO DE DE CLAPP Y HORNBERGER....171
7.2.6.3 RESULTADOS....171
7.2.6.4 CONTENIDO DE HUMEDAD....171
7.2.6.5 CÁLCULOS DE FLUJO....174
7.2.6.6 CONCLUSIONES....176

7.3 PARCELA EXPERIMENTAL DE LAS TIESAS 177
7.3.1 COLUMNA LITOLÓGICA 177
7.3.2 CURVAS DE RETENCIÓN 177
7.3.3 CONDUCTIVIDADA HIDRÁULICA 179
7.3.4 POTENCIAL TOTAL 181
7.3.4.1 PERFILES DE POTENCIAL 181
7.3.5 CONTENIDO DE HUMEDAD 182
7.3.6 CÁLCULOS DE FLUJO 184
7.3.7 CONCLUSIONES 184

7.4 PARCELA EXPERIMENTAL BX6 186
7.4.1 PERFIL LITOLÓGICO 186
7.4.2 POTENCIAL TOTAL 186
7.4.2.1. PERIODO: PLANO DE FLUJO NULO DIVERGENTE 02/02/95 - 27/04/95 188
7.4.2.2. PERIODO INTERMEDIO: ESTABLECIMIENTO DE UN PERFIL DE DRENAJE: 27/4/95-06/06/95 190
7.4.2.3. TERCER PERIODO: PERFIL DRENAJE06/06/95-PRINCIPIOS DE SEPTIEMBRE 191
7.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD 192
7.4.3.1 EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO 193
7.4.3.2 PERFILES DE HUMEDAD 197
7.4.3.3 CÁLCULO DE CAUDALES 198
7.4.3.4 CONCLUSIONES

7.5 PARCELA EXPERIMENTAL BX2 200
7.5.1 COLUMNA LITOLÓGICA 200
7.5.2 EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL TOTAL 200
7.5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD 200
7.5.4 CONCLUSIONES 205

7.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL BX8 205
7.6.1 COLUMNA LITOLÓGICA 205
7.6.2 CURVAS DE RETENCIÓN 205
7.6.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA 205
7.6.4 TENSIÓMETROS TRANSDUCTORES Y BLOQUES DE YESO 208
7.6.4.1 POTENCIAL TOTAL MEDIDO CON LOS TENSIÓMETROS TRANSDUCTORES 208
7.6.4.2 POTENCIAL TOTAL MEDIDO CON LOS BLOQUES DE YESO 210
7.6.4.3 PERFILES DE POTENCIAL TOTAL 212
7.6.5 CONTENIDO DE HUMEDAD 212
7.6.6 CÁLCULOS DE FLUJO 215
7.6.7 CONCLUSIONES 216

7.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL DE ALGIBARRO 217
7.7.1 TOMA DE MUESTRAS EN ALGIBARRO 217
7.7.2 COLUMNA LITOLÓGICA EN ALGIBARRO 217
7.7.3 MEDIDA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN ALGIBARRO 217
7.7.4 CURVAS DE RETENCIÓN EN LA PARCELA DE ALGIBARRO 217
7.7.5 INTERPRETACION DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL DE ALGIBARRO 219
7.7.5.1 COMENTARIOS GENERALES 219
7.7.5.2 PERFILES DE POTENCIAL TOTAL 220
7.7.5.3 EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE HUMEDAD 220
7.7.5.4 CÁLCULO DE CAUDALES 220
7.7.6 CONCLUSIONES 222

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

8.1 RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO 223

8.2 RESUMEN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS 225
8.2.1 PRIMERA FASE: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO 225
8.2.1.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 225
8.2.1.2 LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA Y PIEZOMETRÍA 226
8.2.1.3 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO 226
8.2.1.4 MODELIZACIÓN DE UN PERFIL 227
8.2.2 SEGUNDA FASE: ESTUDIO DE RECARGA 228
8.2.2.1 PRECIPITACIONES Y RIEGOS 228
8.2.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS ANÁLISIS EN LABORATORIO 228
8.2.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA DE ACEQUIÓN 229
8.2.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA DE LAS TIESAS 229
8.2.2.5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA BX6 229
8.2.2.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA BX2 229
8.2.2.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA BX8 230
8.2.2.8 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA DE ALGIBARRO 230

8.3 CONCLUSIONES 230

8.4 PERSPECTIVAS FUTURAS 233

BIBLIOGRAFÍA

PLANO 1

ANEXOS

ANEXO 1:
Columnas litológicas descritas
Difractograma

ANEXO 2
Fichas de Inventario de puntos de agua
Interpretaciones de geofísica

ANEXO 3
Registros piezométricos

ANEXO 4
Archivos de entrada y salida de algunas pasadas del modelo

ANEXO 5
Cálculo de caudales en BX6 y BX8

ANEXO 6
Parte diario del sondeo realizado en BX8
Pliego de condiciones del sondeo

GLOSARIO

SIMBOLOGÍA UTILIZADA

RELACIÓN DE ILUSTRACIONES

CAPÍTULO 1

FIGURA 1.1: Situación geográfica de la zona de estudio.
FIGURA 1.2: Posición de la Llanura Manchega de acuerdo con Pérez González (1982).
FIGURA 1.3: Desviaciones acumuladas de lluvia anual en la estación pluviométrica del Aeródromo de Albacete. Serie de años: 1870-1992.
FIGURA 1.4: Superficies encharcadas a finales de 1863 en los alrededores de Albacete. Según Roa Erostarbe (1891).
FIGURA 1.5: Encuadre geológico del área de estudio. Según Aracil (1988).
FIGURA 1.6: Cartografía geológica correspondiente a la zona de estudio. Según IGME (1988).
FIGURA 1.7: Disposición del basamento mesozoico en los Llanos de Albacete, estructurado por bloques, sobre los que descansan los sedimentos terciarios. Según Aracil (1988).
FIGURA 1.8: Esquema hidrogeológico del Sistema Hidrogeológico de Albacete. Según IGME (1979).
FIGURA 1.9: Perfil hidrogeológico esquemático del S.Acuífero de Albacete en situación no perturbada por los bombeos.

CAPITULO 2

FIGURA 2.1: Comparación entre las aportaciones del río Lezuza en Tiriez (Estación Foronómica 137) y la pluviometría en la Estación Meteorológica del Aeródromo de los Llanos (Albacete).
FIGURA 2.2: Perfiles geológicos de la zona de estudio.
FIGURA 2.3: Mapas de **a)** isopacas y **b)** del techo de la unidad acuífera del Lías-Dogger (2).
FIGURA 2.4: Mapas de **a)** isopacas y **b)** del techo de la unidad acuífera del Cretácico (3 y 4).
FIGURA 2.5: Mapas de **a)** isopacas y **b)** del techo de la unidad acuífera del Neógeno (Plioceno Inferior, 5).
FIGURA 2.6: Geometría de las distintas unidades acuíferas en la zona de estudio.
FIGURA 2.7: Perfil hidrogelógico. NW-SE.
FIGURA 2.8: Límite superior de la zona saturada en la década de los años 70
FIGURA 2.9: Límite superior de la zona saturada en 1992
FIGURA 2.10: Isoespesores de zona no saturada en 1992.
FIGURA 2.11: Isodescensos de la superficie freática con respecto a la década de los años 70 en 1992.
FIGURA 2.12: Isopiezas generales del acuífero de Albacete para el año 1982. Según IGME (1982).
FIGURA 2.13: Isopiezas generales del acuífero de Albacete para el año 1985. Según IGME (1985).
FIGURA 2.14: Isopiezas generales del acuífero de Albacete para el año 1988. Según SGOP (1988).
FIGURA 2.15: Piezometría de las unidades del Plioceno Inferior (5) y Lías Superior-Dogger (2) en el año 1970
FIGURA 2.16: Piezometría del acuífero en la década de los años 70.
FIGURA 2.17: Piezometría del acuífero en 1992.
FIGURA 2.18: Evolución piezométrica en el sondeo 765/5/3.
FIGURA 2.19: Evolución piezométrica en el sondeo 765/5/4.
FIGURA 2.20: Evolución piezométrica en el sondeo 765/6/11
FIGURA 2.21: Evolución piezométrica en el sondeo 765/6/20.
FIGURA 2.22: Evolución piezométrica en el sondeo 765/6/12. a) Registro histórico. b) Registro contínuo del año 95.
FIGURA 2.23: Modelo conceptual del acuífero en la zona de estudio.
FIGURA 2.24: Esquema del funcionamiento hidrogeológico de la laguna del Acequión, según Navarro et alt.(1988).

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1: Orientación de la malla en un modelo areal y en un modelo de perfil vertical. Según Anderson y Woessner (1994), p.175.
FIGURA 3.2: Malla del perfil hidrogeológico modelizado.
FIGURA 3.3: Red de flujo de la pasada B58
FIGURA 3.4: Red de flujo de la pasada B60
FIGURA 3.5: Red de flujo de la pasada B61

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1: Esquema de una superficie freática invertida y de una zona saturada colgada. Modificado de Freeze y Cherry (1979).
FIGURA 4.2: Clasificación textural de suelos según la International Society os Soil Sciences (ISSS)). Arcilla < 0,002

mm. Limo (0,002-0,02 mm). Arena >0,2 mm.
FIGURA 4.3: Disposición de cationes en torno a una lámina de arcilla seca, y disposición en torno a una lámina mojada.
FIGURA 4.4: Fenómenos de floculación y peptización en las arcillas.
FIGURA 4.5: Fuerzas cohesivas actuando sobre moléculas situadas en el interior y en la superficie de un líquido. Modificado de Hillel, 1971.
FIGURA 4.6: Ascenso capilar en tubo capilar. Modificado de Koorevaar et alt.1983, p.64.
FIGURA 4.7: Tipos de agua que se presentan en la zona no saturada. Según Cruces de Abia (1989), p.67.
FIGURA 4.8: Energía que hay que gastar para elevar una partícula de agua de un punto «P_0» a P». Según Freeze y Cherry (1979).
FIGURA 4.9: Diagrama de potenciales del agua en el interior de un tubo capilar. Según Koorevaar et alt.1983, p.67.
FIGURA 4.10: Curvas de retención y de pF de un suelo arenoso. Según Koorevaar et alt. (1983), p.80 y 107.
FIGURA 4.11: Ilustraciones de los efectos «tintero» (a) y «variación del ángulo de contacto» (b). Modificado de Marshall y Holmes (1988), p.54.
FIGURA 4.12: Curva de pF de un suelo, con fenómenos de histéresis. Modificado de Freeze y Cherry (1979), p.42.
FIGURA 4.13: Efectos de la textura sobre la curva de retención de un suelo. Modificado de Hillel (1971), p.76.
FIGURA 4.14: Efectos de la estructura sobre la curva de retención de un suelo. Modificado de Hillel (1971), p.77.
FIGURA 4.15: Aparato para ilustrar el concepto de potencial osmótico. Según Koorevar et alt. (1983), p.89.
FIGURA 4.16: Distribución bimodal del tamaño de poros de una muestra de suelos y su curva de retención. Mod. de Durner (1994).
FIGURA 4.17: Diagrama de flujo estacionario en un perfil de suelo en equilibrio con una superficie libre. Flujo ascendente o evaporación. Modificado de Koorevaar et alt. (1983), p.145
FIGURA 4.18: Diagrama de flujo estacionario en un perfil de suelo en equilibrio con una superficie libre. Flujo descendente o drenaje. Modificado de Koorevaar et alt. (1983), p.147.
FIGURA 4.19: Posibles perfiles de potencial mátrico para un perfil de suelo en equilibrio con una superficie libre estable. Modificado de Koorevaar et alt.(1983), p.148.
FIGURA 4.20: Variación del potencial total, mátrico y gravitacional en un perfil de suelo en régimen no estacionario en el que tras un período de evaporación ha comenzado a llover. Según Koorevaar et alt. (1983), p.149.
FIGURA 4.21: Esquema de cálculo para el análisis de contenido volumétrico de humedad de un perfil de suelo. Según Koorevaar et alt. (1983), p.151.
FIGURA 4.22: Variación de las tasas de infiltración e infiltración acumulada con el tiempo. Según Koorevaar et alt. (1983), p.153.
FIGURA 4.23: Humedecimiento de un perfil de suelo durante un episodio de infiltración. Modificado de Hillel (1982), p.216.
FIGURA 4.24: Posición del plano de flujo nulo en primavera y otoño. Según Wellings y Bell (1982).
FIGURA 4.25: Posición del plano de flujo nulo en primavera. Modificado de Wellings y Bell (1982).
FIGURA 4.26: Método del plano de flujo nulo. Modificado de Wellings y Bell (1982).

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1: Pérdida de peso de los minerales de arcilla en función de la temperatura. El porcentaje en función de la masa se obtiene restando 1 de la ordenada y multiplicando por 100. Modificado de Nutting, 1943 en Gardner 1965, p.85.
FIGURA 5.2: Esquema de una sonda de neutrones. (Mod. de Bell, 1987, p.1).
FIGURA 5.3: Partes de un sensor de capacitancia.
FIGURA 5.4: Aspecto de un TDR, tipo Tectronix 1502 C. Tomado de propaganda de Tectronix.
FIGURA 5.5: TDR, tipo TRIME, con lector, cable coaxial y sensores. Mod. de Tryme System, 1993.
FIGURA 5.6: Esquema de un sistema de TDR monitorizado con sensores instalados a distintas profundidades y con sistema automático de medidas. Mod. de Baker y Allmaras (1990).
FIGURA 5.7: Fotografía de un bloque de yeso tipo cilíndrico, con resistencias concéntricas.
FIGURA 5.8: Esquema de un puente de Wheatstone (Mod. de Alonso y Finn, 1987, p.640).
FIGURA 5.9: Relación entre resistencia y succión para dos tipos deferentes de materiales a 20°C. Mod. de Croney et elt., 1951.
FIGURA 5.10: Fotografía de un tensiómetro con manómetro de espiral.
FIGURA 5.11: Esquema de un tensiómetro de mercurio. Mod. de Stannard, 1986.
FIGURA 5.12: Detalle de un transductor de presión para tensiómetros.
FIGURA 5.13: Esquema de una cámara de Richards en el que se pueden apreciar sus diferentes partes. Mod. de Aitchinson y Richards, 1965.
FIGURA 5.14: Fotografía de tres aparatos de Richards. Tomado de Soil Moisture (1980).

FIGURA 5.15: Campana de desecación de vacío con una disolución de ácido sulfúrico o cloruro sódico. Mod. de Aitchinson y Richards, 1965.
FIGURA 5.16: Relación entre potencial total y la densidad de una disolución de ClNa en equilibrio con la atmósfera. Datos: J.Sáez (1992), comunicación personal.
FIGURA 5.17: Sección longitudinal esquemática de un psicrómetro. Mod. de Hillel (1982), p.84.
FIGURA 5.17: Barrenas y tomamuestras utilizados.

CAPITULO 6

FIGURA 6.1: Situación de las parcelas experimentales dentro de la zona de estudio. Situación del sondeo geotécnico y de puntos de muestreo ocasional.
FIGURA 6.2: Planta y perfil de los instrumentos instalados en la parcela de Acequión. Fotografía de dicha parcela.
FIGURA 6.3: Esquema de la disposición de los instrumentos en la parcela de Las Tiesas.
FIGURA 6.4: Esquema de la ubicación de los distintos sondeos perforados en la parcela de Algibarro.
FIGURA 6.5: Proceso seguido en la instalación de los bloques de yeso. A) Marcado del bloque. B) Saturación del mismo. C) Colocación de una pasta de barro para asegurar un buen contacto. D) Perforación del sondeo. E) Colocación del bloque con la ayuda de un tubo hueco en el sondeo abierto. F) Disposición final de una tanda de bloques. H) Colocación de una arqueta protectora.
FIGURA 6.6: Fotografía de un bloque antes de ser introducido en el terreno. 2ª tanda de bloques, parcela de Acequión.
FIGURA 6.7: a) Humidímetro **b)** Puente de Wheatstone de EIJKELKAMP.
FIGURA 6.8: Conversión del potencial mátrico en potencial total, para el caso de un bloque de yeso. Plano de referencia Z=0, tomado en el suelo.
FIGURA 6.9: Procedimiento seguido para la instalación de los tensiómetros de espiral.
FIGURA 6.10: Barrena utilizada para la instalación de tensiómetros transductores. Diseño original «Institute of Hydrology», Wallingford, UK.
FIGURA 6.11: Fotografía del aspecto de los tensiómetros transductores instalados en BX2. Se pueden apreciar los tubos protectores de PVC, que en su interior llevan una fibra aislante, para proteger los tensiómetros de los cambios de temperatura.
FIGURA 6.12: Dibujo esquemático de un tensiómetro de agujero. Diseño original «Institute of Hydrology», Wallingford, UK.
FIGURA 6.13: Proceso de la instalación de un tensiómetro de agujero.
FIGURA 6.14: Disposición final del tensiómetro de agujero una vez instalado. Fotografía del estado final del tensiómetro de agujero en BX8. Se puede apreciar también la arqueta hacia la que se condujeron los cable, el registrador automático de datos y el panel solar de alimentación.
FIGURA 6.15: Conversión del potencial mátrico en potencial total, para el caso de un tensiómetro. Plano de referencia Z=0, tomado en el suelo.
FIGURA 6.16: Fotografía de la máquina de perforación y equipo utilizado por el Institute of Hydrology, de Wallingford. a) en un momento de la perforación. b) Introducción del tubo de acceso en el suelo. c) Detalle del tubo de acceso, pieza cónica que se fija en el externo inferior para sellar el tubo.
FIGURA 6.17: Vista general de la parcela. Disposición de los instrumentos en la parcela experimental BX2 y sistema automático de adquisición de datos utilizado, junto con el panel solar que proporciona energía a todo el sistema.
FIGURA 6.18: a) Vista general de la parcela. b) Disposición de los instrumentos en la parcela experimental BX6.
FIGURA 6.19: a) Fotografía de la ejecución del sondeo profundo. Máquina e instrumentos utilizados. El trépano de la fotografía es de 180 kg. **b)** Esquema explicativo del sistema utilizado.
FIGURA 6.20: Esquema del tomamuestras empleado en la perforación de un sondeo profundo en la parcela BX8. Tipo de tomamuestras GMPV de pared gruesa, seccionado.
FIGURA 6.21: Curva de relación grado de saturación en los bloques medida con el humidímetro-succión en los bloques de yeso.
FIGURA 6.22: Curvas de relación medida del puente de impedancias-succión en los bloques de yeso.
FIGURA 6.23: Curvas de retención de los bloques de yeso.
FIGURA 6.24: Relación entre el contenido volumétrico de humedad en los bloques de yeso y la medida proporcionada por el humidímetro.

CAPITULO 7

FIGURA 7.1: Precipitación en la Estación de Las Tiesas, año 1993.
FIGURA 7.2: Precipitación en la Estación de Las Tiesas, año 1994.
FIGURA 7.3: Precipitación en la Estación de Las Tiesas, año 1995.
FIGURA 7.4: Precipitación en la Estación de Acequión, año 1993.
FIGURA 7.5: Precipitación en la Estación de Acequión, año 1994.

FIGURA 7.5: Precipitación en la Estación de Acequión, año 1994.
FIGURA 7.6: Riegos en la parcelas BX6 y Las Tiesas. a) Dosis de riego en BX6, en el año 1994, según datos procedentes del ITAP (Albacete). b) Dosis de riego en BX6, en el año 1995, según datos del pluviógrafo instalado en BX6, y según datos del ITAP. c) Dosis de riego en la parcela experimental de Las Tiesas, año 1994.
FIGURA 7.7: Curvas granulómetricas de la parcela experimental de Acequión.
FIGURA 7.8: Curvas granulómetricas de la parcela experimental de Acequión.
FIGURA 7.9: Clasificación de las muestras alteradas tomadas en las parcela experimentales de Acequión y Las Tiesas según la ISSS. Tamaño grava: > 0.2 mm. Tamaño arena: 0.2 - 0.05 mm. Tamaño limo: 0.05 - 0.002. Tamaño arcilla < 0.002. 1 MXX, 2 MXXI, 3 MXXII, 4 MXXIII, 5MXXIV, 6 MXXV, 7 MXXVI, 8 MXXVII, 9 MXXVIII, 10 MXXIX, 11MXXX, 12 MXXXI, 13 MXXXII, 14 MXXXIII, y 15 MXXXVI. Muestras 1 a 12, de la parcela de Acequión. Muestras 13 a 15, de la parcela de Las Tiesas.
FIGURA 7.10: Curvas de pF, parcela experimental de Acequión. Determinadas en Cámara de Richards.
FIGURA 7.11: Curvas de pF, parcela experimental de Acequión. Determinadas utilizando el método de Clapp y Hornberger (1978).
FIGURA 7.12: Curvas de pF, parcela experimental de Acequión. Determinadas utilizando el método del Papel de Filtro.
FIGURA 7.13: Curvas de conductividad hidráulica no saturada, para la parcela experimental del Acequión.
FIGURA 7.14: Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 1ª tanda de bloques, 150, 200, 250 y 300 cm de profundidad.
FIGURA 7.15: Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 1ª tanda de bloques, 50 y 100 cm de profundidad.
FIGURA 7.16: Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 2ª tanda de bloques, 200, 250, 300 y 420 cm de profundidad.
FIGURA 7.17: Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 2ª tanda de bloques, 50, 100 y 150 cm de profundidad
FIGURA 7.18: Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 9/3/93, hasta el día 9/7/93. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.
FIGURA 7.19: Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 3/11/93, hasta el día 4/6/94. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.
FIGURA 7.20: Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 2/7/94, hasta el día 14/1/95. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.
FIGURA 7.21: Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 6/9/95, hasta el día 17/10/95. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.
FIGURA 7.22: Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 22/2/94, hasta el día 4/6/94. Parcela de Acequión. 2ª Tanda de bloques.
FIGURA 7.23: Evolución del potencial total en un perfil, los días 6/9/95 y 17/10/95. Parcela de Acequión. 2ª Tanda de bloques.
FIGURA 7.24: Evolución del potencial total los días 4/6/94 y 9/9/94. Datos procedentes de muestras inalteradas, utilizando a) las curvas de retención estimadas con el método del papel de filtro, b) utilizando el método de Clapp y Hornberger (1978), c) bloques de yeso.
FIGURA 7.25: Evolución del contenido de humedad en el perfil de 300 cm en Acequión. 1ªTanda de bloques.
FIGURA 7.26: Evolución del contenido de humedad en el perfil de 420 cm en Acequión. 2ªTanda de bloques.
FIGURA 7.27: Evolución del contenido de humedad en el perfil, medido en muestras inalteradas los días 18/4/93, 8/11/93. Columna litológica de cada uno de los sondeos efectuados. 1: Tramo ACQ1. 2: Tramo ACQ 2. 3: Tramo ACQ 3.2. 4: Tramo 3.3. 5: Cantos calcáreos.
FIGURA 7.28: Evolución del contenido de humedad en el perfil, medido en muestras inalteradas los días 5/12/93, 4/6/94 y 9/9/94. Columna litológica de cada uno de los sondeos efectuados. 1: Tramo ACQ1. 2: Tramo ACQ 2. 3: Tramo ACQ 3.2. 4: Tramo 3.1. 5: Tramo 3.3. 6: Cantos calcáreos.
FIGURA 7.29: Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil del Acequión, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1993.
FIGURA 7.30: Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil del Acequión, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1994.
FIGURA 7.31: Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil del Acequión, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1995.
FIGURA 7.32: Curvas de pF, parcela experimental de Las Tiesas. Determinadas utilizando el método del Papel de Filtro y de Clapp y Hornberger (1978).
FIGURA 7.33: Curvas granulométricas de la parcela experimental de Las Tiesas.
FIGURA 7.34: Curvas de conductividad hidráulica no saturada, para la parcela experimental de Las Tiesas.
FIGURA 7.35: Evolución del potencial total en la parcela de Las Tiesas, a lo largo del tiempo. a) Tanda primera de

bloques de yeso, a 40, 70, 95, 115 y 150 cm. b) a) Tanda segunda de bloques de yeso, a 40, 72, y 100 cm.s
FIGURA 7.36: Evolución del potencial total en un perfil de 150 cm a) Perfiles con flujo ascendente desde diciembre de 1993, hasta febrero de 1995. b) Perfiles de drenaje.
FIGURA 7.37: Evolución del contenido volumétrico de humedad a lo largo del tiempo, en la parcela experimental de Las Tiesas.
FIGURA 7.38: Evolución del contenido de humedad en el perfil de Las Tiesas, los día 2/7/95 y 29/7/95.
FIGURA 7.39: Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil de Las Tiesas, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1993.
FIGURA 7.40: Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil de Las Tiesas, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1994.
FIGURA 7.41: Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil de Las Tiesas, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1995.
FIGURA 7.42: Evolución del potencial total en la parcela BX6 a lo largo del tiempo. a) Tensiómetros situados a 60, 100, 150, 200 y 300 cm. b) Tensiómetros situados a 20, 40 y 60 cm (falta por hacer).
FIGURA 7.43: Evolución diaria del potencial mátrico en un transductor.
FIGURA 7.44: Evolución del potencial total en un perfil de 300 cm entre los días 2/02/95 y 27/04/95.
FIGURA 7.45: Fenómeno de infiltración registrado en BX6, el día 4 de febrero de 1995. Entre las 1.00h y las 6.00h.
FIGURA 7.46: Fenómeno de infiltración registrado en BX6, el día 4 de febrero de 1995. Entre las 9.00h y las 14.00h.
FIGURA 7.47: Fenómeno de infiltración registrado en BX6, el día 4 de febrero de 1995. Entre las 15.00h y las 20.00h.
FIGURA 7.48: Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 7 de mayo hasta día el 12 de mayo de 1995.
FIGURA 7.49: Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 29 de mayo hasta el día 3 de junio de 1995.
FIGURA 7.50: Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 9 hasta el día 10 de junio de 1995, de 12 en 12 h.
FIGURA 7.51: Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 16 de junio hasta el día 21 de junio.
FIGURA 7.52: Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 6 de julio hasta el día 11 de julio.
FIGURA 7.53: Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 26 hasta el día 31 de agosto.
FIGURA 7.54: Evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 920 cm, y desde agosto de 1994, hasta julio de 1995 en BX6.
FIGURA 7.55: Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX6. Entre 0 y 160 cm de profundidad y entre 160 y 220 cm.
FIGURA 7.56: Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX6. a) Entre 260 y 520 cm de profundidad. b) Entre 520 y 840 cm.
FIGURA 7.57: Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX6. Entre 840 y 920 cm.
FIGURA 7.58: Evolución de la humedad en un perfil de 920 cm en BX6.
FIGURA 7.59: Evolución temporal del potencial total, a 60, 100, 150, 200 y 300 cm de profundidad en la parcela experimental BX2.
FIGURA 7.60: Evolución temporal del potencial total a 20, 40 y 60 cm de profundidad en la parcela experimental BX2.
FIGURA 7.61: Evolución del potencial total en el perfil de 100 a 300 cm de profundidad, en BX2, entre el 26 de abril de 1995 y el 24 de junio de 1995.
FIGURA 7.62: Evolución del potencial total en el perfil de 300 cm en BX2, entre el 6 de junio de 1995 y el 12 de junio de 1995.
FIGURA 7.63: Evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 560 cm, y desde julio de 1994, hasta julio de 1995 en BX2.
FIGURA 7.64: Evolución del contenido total medio de humedad desde 10 hasta 150 cm, y desde 150 hasta 560 cm, en BX2. Desde agosto de 1994, hasta julio de 1995.
FIGURA 7.65: Evolución del contenido de humedad en el perfil de BX2, entre 10 y 560 cm de profundidad.
FIGURA 7.66: Columna litológica sintética para un perfil de 13 m en BX8.
FIGURA 7.67: Curvas de retención de las muestras inalteradas procedentes en el sondeo realizado en BX8.
FIGURA 7.68: Curvas de conductividad hidráulica no saturada, para las muestras inalteradas procedentes del sondeo realizado en BX8.
FIGURA 7.69: Evolución temporal del potencial total a 665, 765, 865, 965 y 1065 cm de profundidad. Parcela experimental BX8, de acuerdo con los tensiómetros transductores.
FIGURA 7.70: Evolución temporal del potencial total a 265, 365, 465 y 565 cm de profundidad. Parcela experimental BX8, de acuerdo con los tensiómetros transductores.

FIGURA 7.71: Evolución del potencial total en BX8 a 1065, 965 y 865 cm, de acuerdo con los tensiómetros transductores, comparación con los registros de presión atmosférica, durante febrero y marzo de 1995.
FIGURA 7.72: Evolución del potencial total en un perfil de 10 m en BX8. De acuerdo con los tensiómetros y los bloques de yeso conjuntamente.
FIGURA 7.73: Evolución del potencial total en el perfil de 10 m en BX8.Desde enero de 1995 hasta julio de 1995, de acuerdo con los bloques de yeso.
FIGURA 7.74: Evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 920 cm, y desde octubre de 1994, hasta julio de 1995 en BX8.
FIGURA 7.75: Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX8 entre 10 y 180 cm.
FIGURA 7.76: Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX8, entre 180 y 600 cm y entre 600 y 770 cm.
FIGURA 7.77: Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX8, entre 770 y 920 cm.
FIGURA 7.78: Evolución de la humedad en un perfil de 920 cm en BX8, desde 12/10/94 hasta 20/6/95.
FIGURA 7.79: Evolución del contenido volumétrico de humedad en BX8 a 260, 360, 480,560 y 660 cm.
FIGURA 7.80: Evolución del contenido volumétrico de humedad en BX8 a 760, 880, y 920 cm.
FIGURA 7.81: Curvas de retención de la parcela de Algibarro, estimadas mediante Cámara de Richards. a) M1, M2, M3, M4, M5 y M7; b) M8, M9, M18, M6, M35 y M36; c) M37 y M38.
FIGURA 7.82: Curvas de conductividad hidráulica no saturada para la parcela de Algibarro.
FIGURA 7.83: Evolución del potencial total en un perfil de 330 cm en la parcela de Algibarro, para las fechas 16/2, 3/5 y 12/3 de 1992.
FIGURA 7.84: Evolución del contenido de humedad en un perfil de 330 cm en la parcela de Algibarro, para las fechas 16/2, 3/5 y 12/3 de 1992.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas más polémicos que actualmente preocupan a gran parte de los países europeos, especialmente a los meridionales, es el cambio climático.

Diversos países pertenecientes a la Comunidad Económica Europea desarrollaron el programa EPOCH (European Programme and Natural Hazards) y dentro del mismo como un componente importante del mismo el ECHIVAL (European Programme on Climatic Change and Hydrological Interactions between de the Vegetation, the Atmosphere and the Land-surface), cuyos objetivos prioritarios son estudiar la interrelación atmósfera, suelo y vegetación; la posible influencia que las alteraciones en el suelo pueden ocasionar en el clima y las respuestas de la atmósfera ante cambios en el suelo.

Con objeto de acometer una primera aproximación a este problema, y dentro del **ECHIVAL**, un grupo de científicos europeos propusieron llevar a cabo un estudio preliminar sobre la interacción suelo-vegetación-atmósfera, mediante una campaña de toma de datos en campo intensiva. De esta manera surgió el proyecto **EFEDA** (ECHIVAL Field Experiment in a Desertification threatened Area).

De acuerdo con los objetivos generales del ECHIVAL se plantearon los propios objetivos del EFEDA, y fueron los siguientes:

1.- Estudio de los procesos superficiales que afectan a los suelos e interacción vegetación-suelo, vegetación-atmósfera.

2.- Parametrización de los procesos superficiales en los modelos climáticos, que mejoren las predicciones de los mismos.

3.- La necesidad de recoger datos relativos a suelo, vegetación y atmósfera, que permitan calibrar modelos de predicción global basados en información obtenida vía satélite.

4.- La necesidad de poder inferir de los modelos climáticos las consecuencias del cambio climático en la superficie de la tierra.

El Proyecto se planteó en tres fases diferentes:

1.- Una primera en la que se establecería los intercambios de energía y agua entre suelo-atmósfera y vegetación. El estudio sería fundamentalmente experimental y se desarrollaría en una serie de zonas piloto de una manera intensiva, durante un corto período de tiempo (mensual).

2.- En una segunda fase se correlacionarían estas medidas con datos existentes para largos períodos de tiempo.

3.- En una tercera fase se correlacionarían estos resultados con los resultados proporcionados con modelos climáticos de carácter global.

Para la primera fase del proyecto, (llevada a cabo experimentalmente durante junio de 1991), se consideraron especialmente favorables, tres áreas piloto de 100 km^2 de superficie comprendidas dentro del ámbito de la comunidad de Castilla-La Mancha: Barrax, Tomelloso y Belmonte-Rada de Haro. Estas tres zonas han sido consideradas favorables debido a la desertificación incipiente que sufren, la homogeneidad topográfica que presentan y la estacionalidad de las precipitaciones que se registran.

Dentro del marco del proyecto EFEDA se planteó la presente tesis doctoral. Las aguas subterráneas son un componente importante dentro del ciclo hidrológico y surge la necesidad de realizar un estudio hidrogeológico de detalle de las tres áreas de estudio. Uno de los parámetros hidrogeológicos que reviste una mayor dificultad en su determinación es la recarga. A esta dificultad hay que sumarle, que es uno de los parámetros de decisiva importancia, ya que de la exactitud con la que se determine depende la correcta gestión que se haga en un acuífero.

La presente tesis doctoral se centra en la zona del proyecto EFEDA de Barrax, y con este trabajo de investigación se pretende mejorar el conocimiento hidrogeológico que se tiene de la zona de estudio.

1.1 OBJETIVOS PROPUESTOS

Dentro del marco del proyecto ya mencionado los objetivos que se plantearon para la presente tesis doctoral fueron los siguientes:

1.- En primer lugar: se pretende proporcionar un soporte hidrogeológico básico sobre la zona de Barrax para los distintos estudios relacionados con el balance suelo-atmósfera-agua que se lleva a cabo en este proyecto. El interés básico es el determinar la posición del límite superior de la zona saturada tanto en la actualidad, cuando el acuífero se encuentra perturbado por los bombeos que se vienen efectuando desde principio de la década de los

años 80, como en régimen natural antes de verse afectado por la intervención humana.

2. En segundo lugar se pretende conseguir una base hidrogeológica suficiente que permita enfocar adecuadamente el estudio de la recarga natural en el área de estudio.

3. En tercer lugar y por último se pretende mejorar la estimación de la recarga en la zona de estudio.

Este trabajo consta de dos partes claramente definidas. Una primera, consiste en el estudio hidrogeológico convencional, desarrollado fundamentalmente durante los años 1991 y 1992. Una segunda segunda parte es la realizada fundamentalmente desde 1993 hasta 1995, en la que se ha llevado a cabo un estudio de recarga, utilizando fundamentalmente técnicas experimentales y medidas "in situ".

El **primer capítulo** consiste en un resumen bibliográfico de las principales características del área de estudio.

El **segundo capítulo** se dedica al estudio hidrogeológico de detalle de la zona de trabajo.

En el **tercer capítulo** se analizan los resultados de un modelo numérico sencillo, realizado con el código PRICKETT, modificado para un perfil vertical, con el que se pretende verificar de alguna forma el modelo hidrogeológico conceptual propuesto para la zona de estudio.

En el **cuarto capítulo** se realiza una recopilación bibliográfica de los fundamentos teóricos necesarios para llevar a cabo un estudio de recarga con medidas experimentales e "in situ".

El **quinto capítulo** consiste en un resumen de las técnicas e instrumentación básica que existen en la actualidad para estudiar la zona no saturada de un acuífero.

En el **sexto capítulo** se describe el estudio de recarga realizado, procedimientos seguidos y trabajos experimentales.

Por último en el **séptimo capítulo** se analizan los resultados obtenidos, y se extraen las conclusiones fundamentales del estudio.

1.2 MARCO GEOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona que ha constituido el objeto de estudio de esta tesis, "Zona de Barrax", por su proximidad a dicho pueblo (ver fig 1.1), se sitúa en la provincia de Albacete, al NW de la capital. Abarca un cuadrado de 10 km de lado, que se ubica entre las localidades de Barrax, La Gineta y La Roda, todos pueblos pertenecientes a esta misma provincia. El límite occidental lo constituye el trasvase Tajo-Segura, y los límites correspondientes a los demás puntos cardinales no se encuentran definidos por ningún punto singular. Una situación más precisa se puede contemplar en el plano 1 de inventario de puntos de agua.

El presente estudio se centra en la comarca de la Mancha. En la fig. 1.2 se presenta la posición de la Llanura Manchega de acuerdo con Pérez González (1982), p.7. Este autor considera La Mancha como "una región natural de límites poco precisos", para cuya delimitación además de atender a criterios morfológicos, geológicos y topográficos es preciso también considerar vegetación, cultivos, agricultura, fauna, etc. Este mismo autor define la Llanura Manchega "como una unidad fisionómica cuyo distintivo fundamental es su planitud". Se extiende desde el Río Júcar hasta Ciudad Real de E a O. Sus bordes norte-sur están delimitados por marcos montañosos o relieves de Montes de Toledo, Campo de Montiel y las estribaciones meridionales de la sierra de Altomira.

La zona concreta de nuestro estudio, zona de Barrax, se ubica en Los Llanos de Albacete cuya característica más notable es la falta de relieve que presenta; ocupan la porción oriental de la Llanura Manchega.

La zona de Barrax se encuentra recorrida de W-SW a E-NE por la carretera de La Gineta-Barrax (L-6) y de W-NW a E-SE por la de Albacete-Barrax (N-430). El pueblo más próximo es Barrax, situado a una distancia aproximada de 2 kilómetros, en las inmediaciones del canal del trasvase. Las hojas topográficas de Hoya del Pozo (765-I) y Casa Capitán (765-III)del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:25000, comprenden la zona de trabajo.

1.3 CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA

1.3.1 CLIMATOLOGÍA

Se va a tratar en este apartado la climatología general de los Llanos. Se considera también representativa de la zona de estudio, y con más motivo si se tiene en cuenta que los datos provienen de la estación del aeródromo de Albacete, a unos 30 km del área de Barrax, con una orografía completamente semejante.

La zona de los Llanos presenta un típico clima mediterráneo con acentuada tendencia continental. Las precipitaciones medias en la zona son aproximadamente de 350 mm/año. Sin embargo, las variaciones locales son grandes y en el límite norte las precipitaciones medias alcanzan los 450 mm/año. La media para estimada para un año húmedo es de 750 mm/año, y 150 para un año seco (cfr. IGME, 1980).

La precipitación, se distribuye uniformemente a lo largo de los meses de otoño, invierno y primavera, siendo octubre y mayo los meses más lluviosos, (cfr.IGME, 1980, p.14). Según Sánchez Sánchez (1978), p.14 en la zona de la Meseta la estación más lluviosa es la primaveral, mientras que en otras áreas de la provincia de Albacete señala que es la otoñal. Los meses más secos son julio y agosto, señalando que especialmente julio en algunas estaciones como la de los Llanos, situada en el aeródromo de Albacete. Explica además que las variaciones interanuales son grandes pudiendo ser la precipitación algunos años hasta 5 veces superior que la habida en los menos lluviosos.

La fig 1.3 presenta las desviaciones acumuladas de la precipitación de la serie de años (1870-1994), y se ha realizado con los datos de la estación pluviométrica

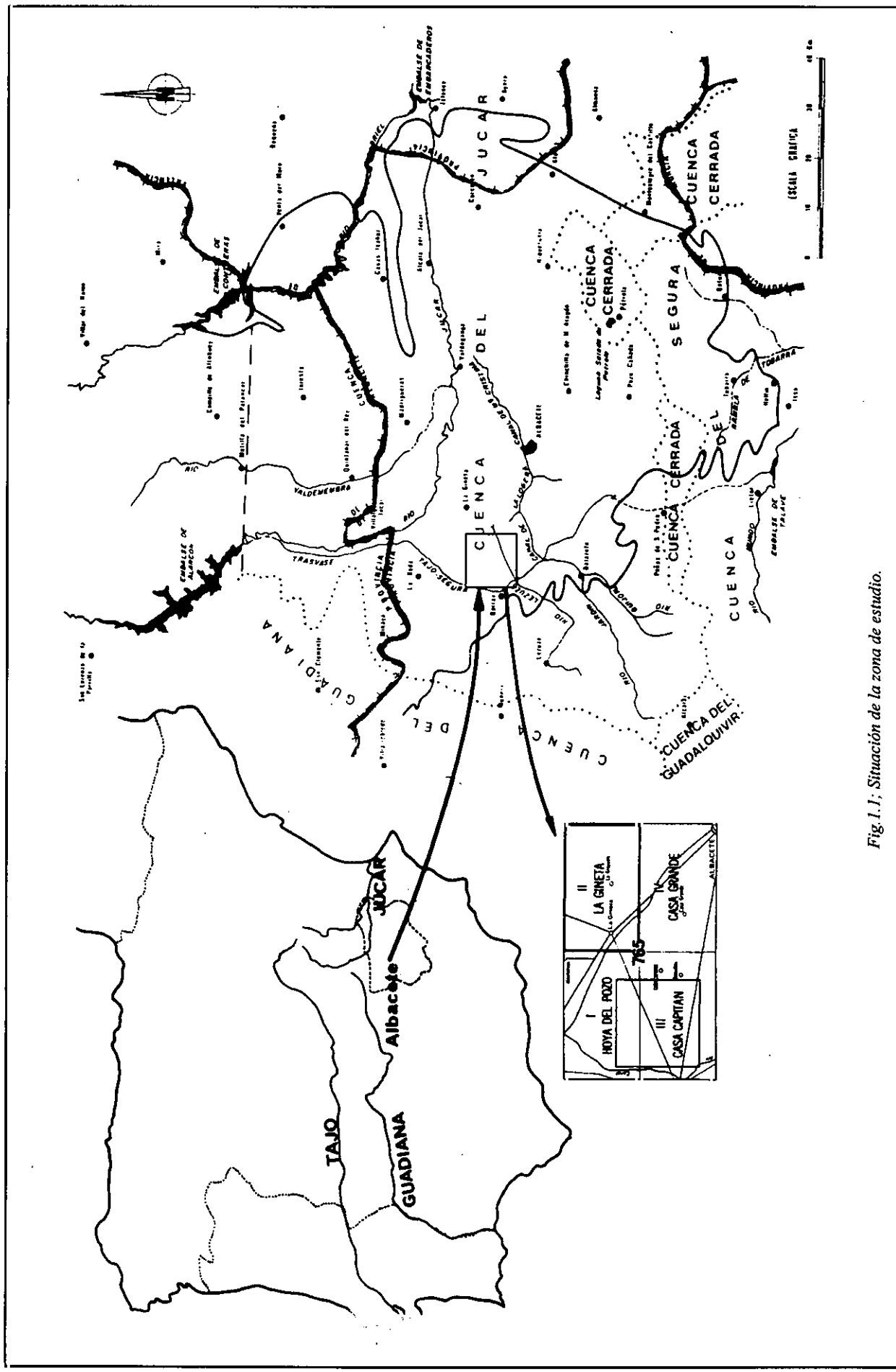
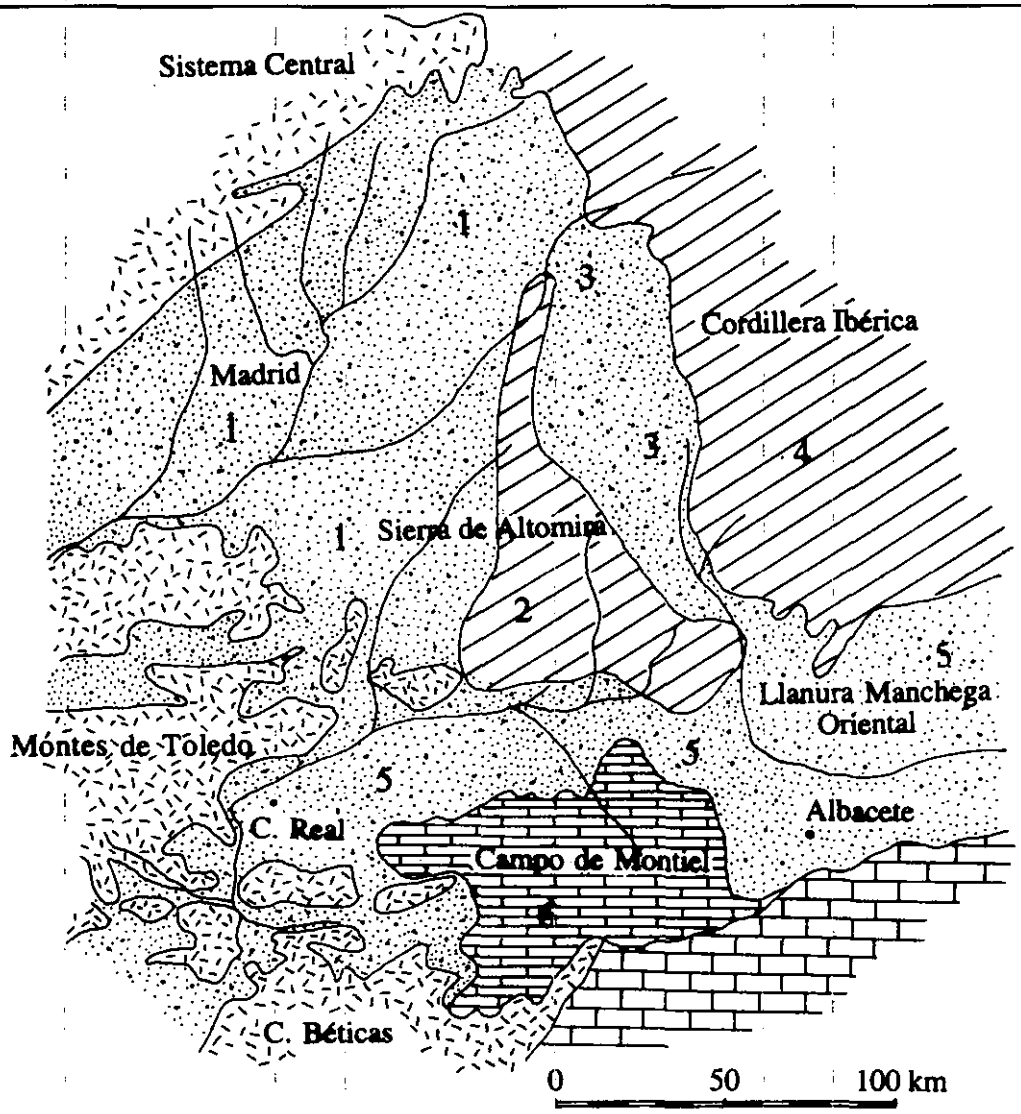


Fig.1.1; Situación de la zona de estudio.



Cordilleras Hercínicas

Dominios Precámbricos y Paleozoicos

Cordilleras Alpinas

Mesozoico y Terciario (Cordilleras Intermedias)

Mesozoico y Terciario (Cordilleras Béticas)

Áreas de Plataforma

Mesozoico poco ó nada deformado

Terciario poco ó nada deformado

1.Cuenca del Tajo
2.Sierra de Altomira
3.Cuenca Intermedia
4.Cordillera Ibérica
5.La Mancha
6.Campo de Montiel

Fig.1.2; Posición de la Llanura Manchega, de acuerdo Pérez Gonzáles, (1982).

del aeródromo. Hay que señalar que la serie del aeródromo comienza en el año 1961. Los datos precedentes, según la información verbal del observador de la estación de Albacete ciudad, provienen de un colegio ubicado en la ciudad, no pudiendo precisar exactamente de qué colegio se trataba.

La fig 1.3 tiene un notable interés. En primer lugar indica que es muy difícil, prácticamente imposible deducir ciclos o períodos repetitivos, húmedos y secos a lo largo de los 120 años representados. Se aprecia un intervalo de tiempo especialmente húmedo entre los años 1883 y 1895; se trata de 12 años en los que la pluviometría fue superior a la media (con una desviación acumulada de 1500 mm, es decir con un valor medio anual de exceso igual a 100 mm aproximadamente). Por el contrario, desde 1908 hasta 1928 hay un período seco de 21 años de duración; en realidad de 28 años, si descontamos el año 1929 ligeramente húmedo, y que llega casi hasta 1935. El déficit acumulado durante estos 28 años alcanza unos valores de 1200 mm, es decir un valor medio anual de 40 mm.

Como fenómeno más significativo se puede señalar la existencia de secuencias de tres ó cuatro años húmedos o secos, en los que no se puede apreciar periodicidad alguna. Hay que hacer notar sin embargo que hubo una secuencia muy húmeda de 12 años seguidos y otra relativamente seca de casi 30 años de duración.

La temperatura media anual es de 13 ó 14°C. Existen marcadas diferencias entre las temperaturas veraniegas e invernales, rasgo que se debe precisamente a la continentalidad especialmente acusada en las zonas meseteñas. Según Sánchez (1978), p.14, la continentalidad disminuye con la altitud. Los veranos registran medias comprendidas entre 22 y 26°C en julio y agosto, habiéndose registrado temperaturas extremas de hasta 45°C. En invierno la media oscila entre 4 y 6°C, registrándose mínimas absolutas de hasta -10°C en algunas ocasiones.

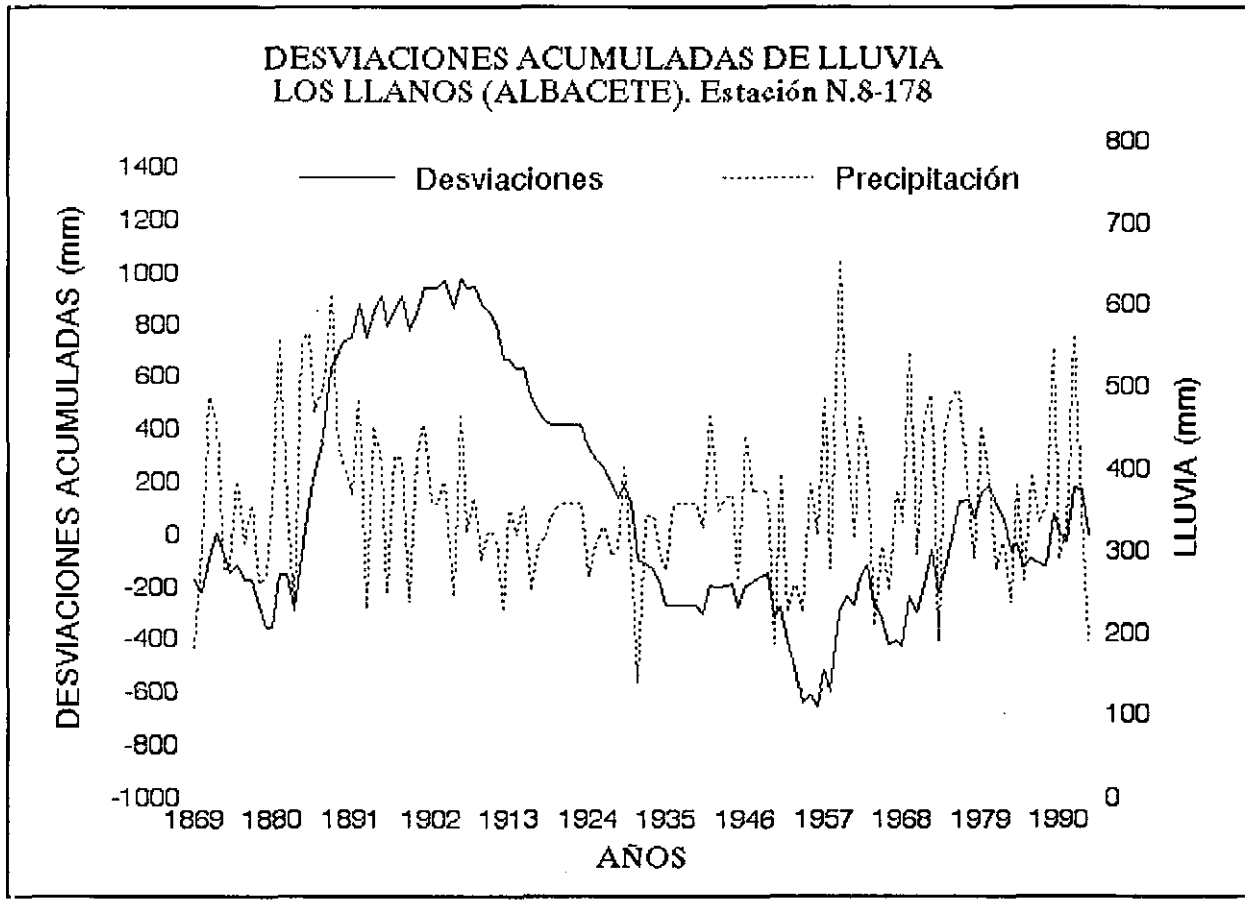


Fig.1.3; Desviaciones acumuladas de lluvia anual en la estación pluviométrica del Aeródromo de Albacete.Serie de años: 1870-1994.

1.3.2 HIDROLOGÍA

Desde un punto de vista hidrológico la zona de trabajo pertenece a la Cuenca del Río Júcar. En este capítulo, se van a precisar una serie de puntos referentes a dicho río, y en segundo lugar, se tratará el carácter endorreico de Los Llanos desde el punto de vista de diferentes autores.

En cuanto al río Júcar se van a señalar los siguientes aspectos:

- El Júcar fluye encañonado en una profunda garganta que discurre a favor de una fractura, y dentro de la provincia de Albacete el nivel de su cauce desciende unos 260 m, según Sánchez Sánchez (1978), p.15.
- Su afluente más importante es el río Cabriel que confluye con el Júcar a la altura del embalse de

Embarcaderos. Casi la totalidad de los tributarios del Júcar, a diferencia suya, no se encuentran apenas encajados y la mayor parte se infiltran en los sedimentos neógenos mucho antes de alcanzar su cauce. De las estribaciones de los Campos de Montiel parten así los Ríos Lezuza y Jardín que pierden sus aguas por infiltración en la Llanura Manchega, antes de alcanzar el Río Júcar.

En este sentido, López Bermúdez (1978) *puntualiza que "La horizontalidad topográfica, y la mayor* o menor permeabilidad de los sectores más bajos hacen que las aguas de escorrentía fluyan lentamente y sean incapaces de incidir y organizar el drenaje del territorio al estancarse e infiltrarse".

- Según Pérez González (1982), p.452, el río Júcar presenta sus aguas altas en la temporada primaveral, alcanzando su período de estiaje en la época de verano, con mínimos en agosto. Dado que gran parte de los tributarios de este río se pierden por infiltración en la Llanura Manchega la mayor parte de las aguas que circulan por su cauce proceden de aportaciones subterráneas.

- Aragonés et alt. (1989) estiman que la media de las aportaciones del río Júcar en la estación foronómica del embalse de Alarcón para el período 46/47-85/86 se cifra en 430 hm^3/año. La media para ese mismo período aguas abajo en la estación foronómica del Molinar (antes de la confluencia con el Cabriel) la cuantía de las aportaciones se cifra en 750 hm^3/año, con lo que esos 320 hm^3/año provienen de la descarga del acuífero en éste río. En este mismo trabajo analizan la incidencia de la explotación de las aguas subterráneas en los caudales del Júcar en el mismo período de tiempo. Mediante un modelo de simulación que considera casi 7000 km^2 de la cuenca del Júcar a su paso por la Mancha Oriental, deducen que la disminución de las aportaciones actuales del Júcar se debe sólo en un tercio a los efectos de los bombeos, *atribuyen el resto a la menor recarga de aguas subterráneas* debido a que los años simulados las precipitaciones han sido inferiores a la media. Sitúan el inicio de las afecciones en el año 1982/83, "habiéndose estimado el volumen de detracciones (al río Júcar) desde su origen hasta septiembre de 1986 en 350 hm^3 (totales)".

La característica más llamativa de los Llanos de Albacete desde un punto de vista hidrológico es el marcado endorreismo que presenta, hasta tal punto, que las inmediaciones de la ciudad de Albacete se inundaban periódicamente hasta hace apenas unas décadas. Roa Erostarbe (1891) en su descripción fisionómica de la provincia de Albacete proporciona un pequeño mapa de la superficie encharcable a finales del siglo pasado, que se puede ver la fig.1.4

López Bermúdez (1978) considera que los factores desencadenantes de este endorreísmo son los siguientes:

- la morfoestructura tabular de Los Llanos

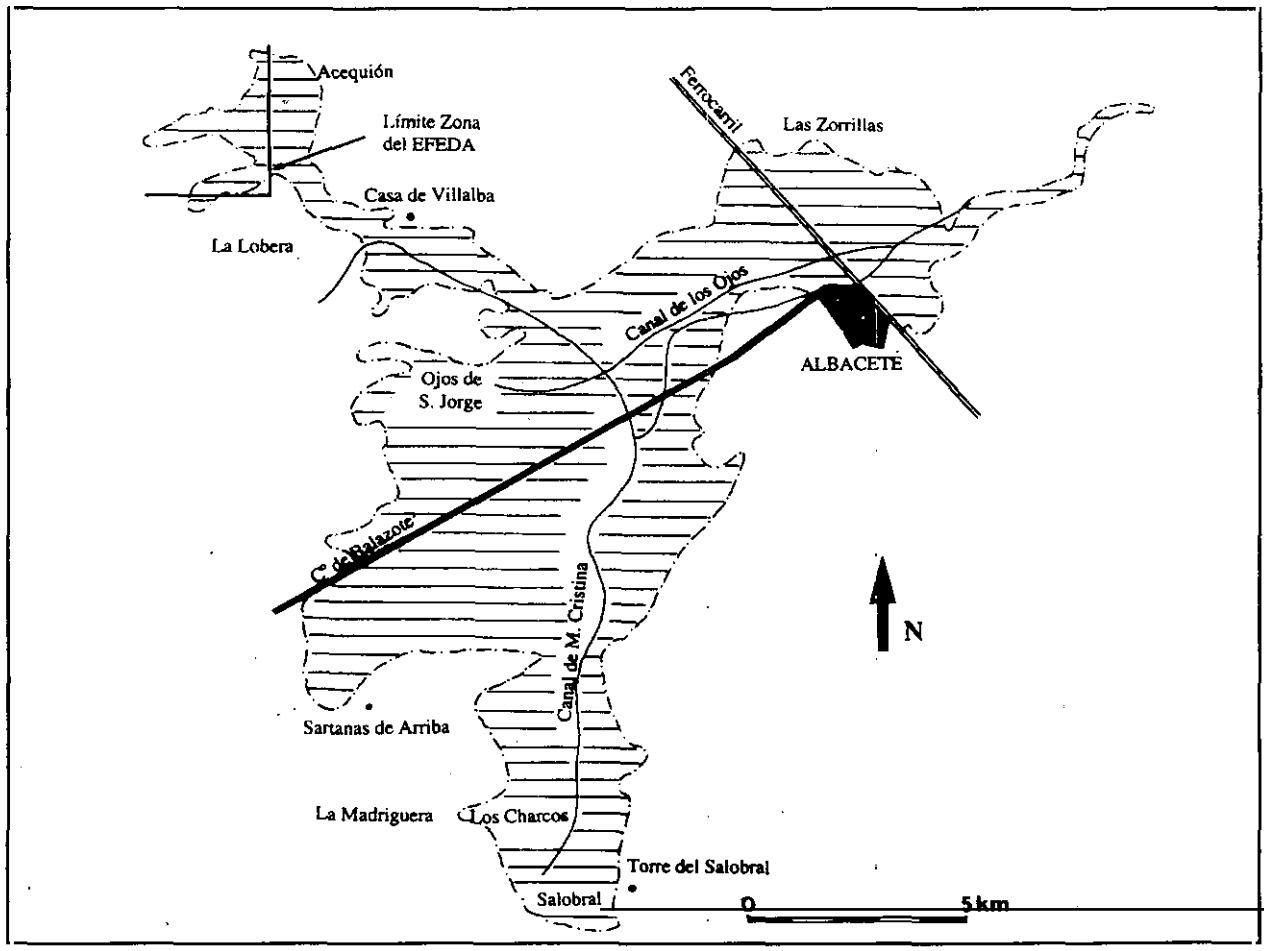


Fig.1.4: Superficies encharcadas a finales de 1863 en los alrededores de Albacete. Según Roa Erostarbe (1891).

-la naturaleza calcárea de las costras superficiales que recubren gran parte de esta región, como se comentará más adelante.

- la carstificación que estas costras presentan,
- la marcada tendencia a la **aridez** del clima
- el **drenaje deficitario**, motivado por la ausencia de cursos fluviales permanentes
- y por último la posición de la **superficie freática**

La conjugación de todos los factores señalados provocaban antaño la inundación y estancamiento del agua en depresiones y hondonadas, originando las zonas pantanosas que rodeaban a la ciudad de Albacete. A lo largo de la historia se hicieron diversos intentos para eliminar estas zonas encharcadas (Ojos de S.Jorge, El Acequión), hoy desaparecidas, y vestigio de los mismos son los canales del Acequión, el de los Ojos de S.Jorge, el de Mª Cristina que todavía persisten.

Pérez González (1982), p.566, buscando una explicación a este mismo fenómeno considera que el encajamiento del Júcar, que deja la red desconectada, la lenta subsidencia de la Llanura, que propicia la erosión lateral frente al crecimiento de los valles y la carstificación de las costras calcáreas son los factores determinantes del endorreismo. Señala también el control que ejercen las costras sobre las direcciones del flujo de los escasos cauces que surcan esta llanura.

A modo de conclusión y en cuanto a la red de drenaje actual se van a transcribir las ideas de diferentes autores.

López Bermúdez (1978) comenta que "es de destacar (refiriéndose a la zona comprendida entre Albacete y La Gineta) el gran número de paleocanales y cauces fluviales abandonados que se detectan en el terreno y en la fotografía aérea, herencia de épocas más húmedas que la actual".

Pérez González (1982), p.451 considera que la red de drenaje actual en la Llanura Manchega no es sino una red residual, testigo de una época pasada mucho más húmeda. Los fondos de valle planos de sus cauces, las terrazas y los aluviones que se extienden por muy amplias extensiones son testigos de una "Mancha más lluviosa, surcada por numerosos y perennes ríos".

La red fluvial según Aracil y Vilas (1987) se encuentra condicionada por las direcciones principales de fracturación, y así lo expresan en el trabajo citado "conviene resaltar la influencia que ejerce la estructura en la distribución de la red fluvial, que muy probablemente se deba a una tectónica actual capaz de provocar cambios en la red hidrográfica"

1.4 SITUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS LLANOS DE ALBACETE

1.4.1 INTRODUCCIÓN

El área de estudio, se encuentra comprendido dentro de la hoja de La Gineta, cuya cartografía geológica ha sido recientemente publicada, cfr.IGME (1988). En la figura 1.5 se presenta el encuadre geológico del área de estudio.En la figura 1.6, se puede ver la cartografía geológica correspondiente, que es poco ilustrativa debido a la escasez de relieve de la zona (oscila entre los 700 y 730 s.n.m.).

Desde un punto de vista geológico, la zona de Barrax se halla situada dentro de una gran depresión rellena de sedimentos Terciarios que conforman los conocidos Llanos de Albacete y su característica más acusada es precisamente la escasez de relieves que presenta; constituyen una zona de confluencia de tres grandes dominios, los extremos meridionales de la Cordillera Ibérica, las estribaciones septentrionales de la Cordillera Bética y los bordes occidentales de la Meseta Castellana (cfr. Arias et alt., 1979).

Ha sido denominada esta planicie "Mancha Oriental" por Martín Serrano y García Abad (1979), y consideran que constituye una prolongación de las grandes depresiones terciarias de la submeseta sur. Bajo el potente relleno de sedimentos Neógenos, se interrumpen bruscamente los afloramientos meridionales mesozoicos de la Ibérica, ocultando las conexiones estructurales de estos dominios con las unidades más externas del prebético.

La geología de los llanos de Albacete ha sido ampliamente estudiada por gran número de autores. Dado que el objeto de este informe no es el estudio geológico propiamente, se han consultado exclusivamente los trabajos que se han considerado especialmente significativos. No obstante, en las publicaciones citadas se pueden encontrar gran número de referencias relativas a estudios anteriores.

Los trabajos más antiguos consultados, corresponden a los de Arias et alt.(1979), relativos a la distribución de las fácies del Cretácico Inferior en la Provincia de Albacete. Martín Serrano y García Abad (1979), analizan los relieves montañosos que flanquean la depresión de los Llanos, diferenciando una serie de unidades en función de los dominios de influencia que presentan. Perez González (1982), realiza una síntesis litoestigráfica de la serie neógena en la cuenca del Júcar. Santos García (1984) define cuatro unidades tectosedimentarias diferentes para la misma cuenca. Aracil y Vilas (1987), y Aracil (1990) realizan un mapa de isobatas correspondiente a la base del neógeno de los Llanos de Albacete, y analizan la estructura del basamento.

1.4.2 ESTRATIGRAFÍA GENERAL

Los Llanos de Albacete, son el resultado de la denudación de una serie de sierras mesozoicas, que los flanquean y su posterior deposición en una gran cuenca deprimida; por tanto, la litología presentes en superficie corresponden a sedimentos Neógenos y cuaternarios. Tanto en profundidad como en superficie en las áreas limítrofes, aparecen facies de distinta litología correspondientes a Triásico, Jurásico y Cretácico.

Los materiales más antiguos conocidos en la zona, se remontan al **Triásico**. Afloran exclusivamente

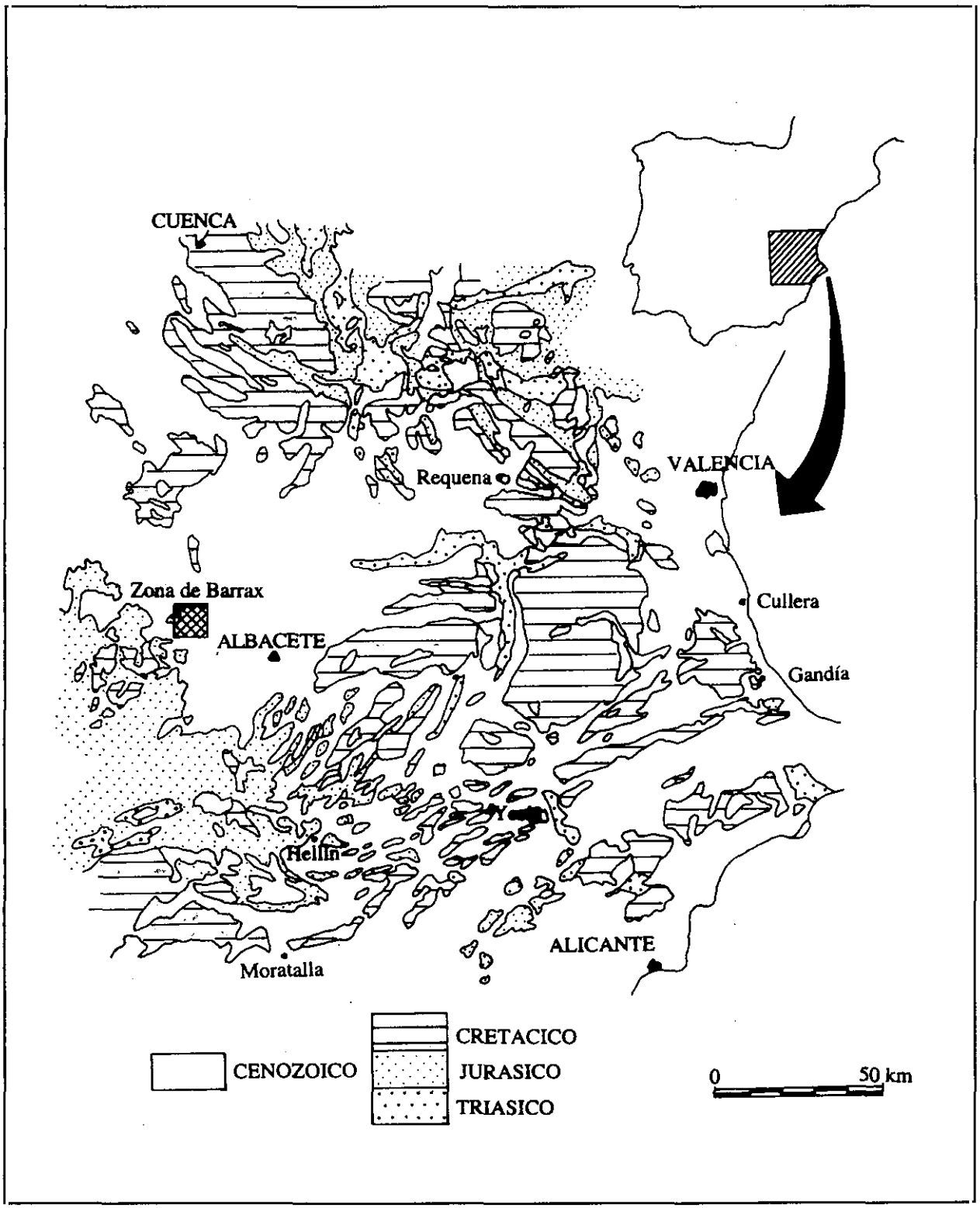
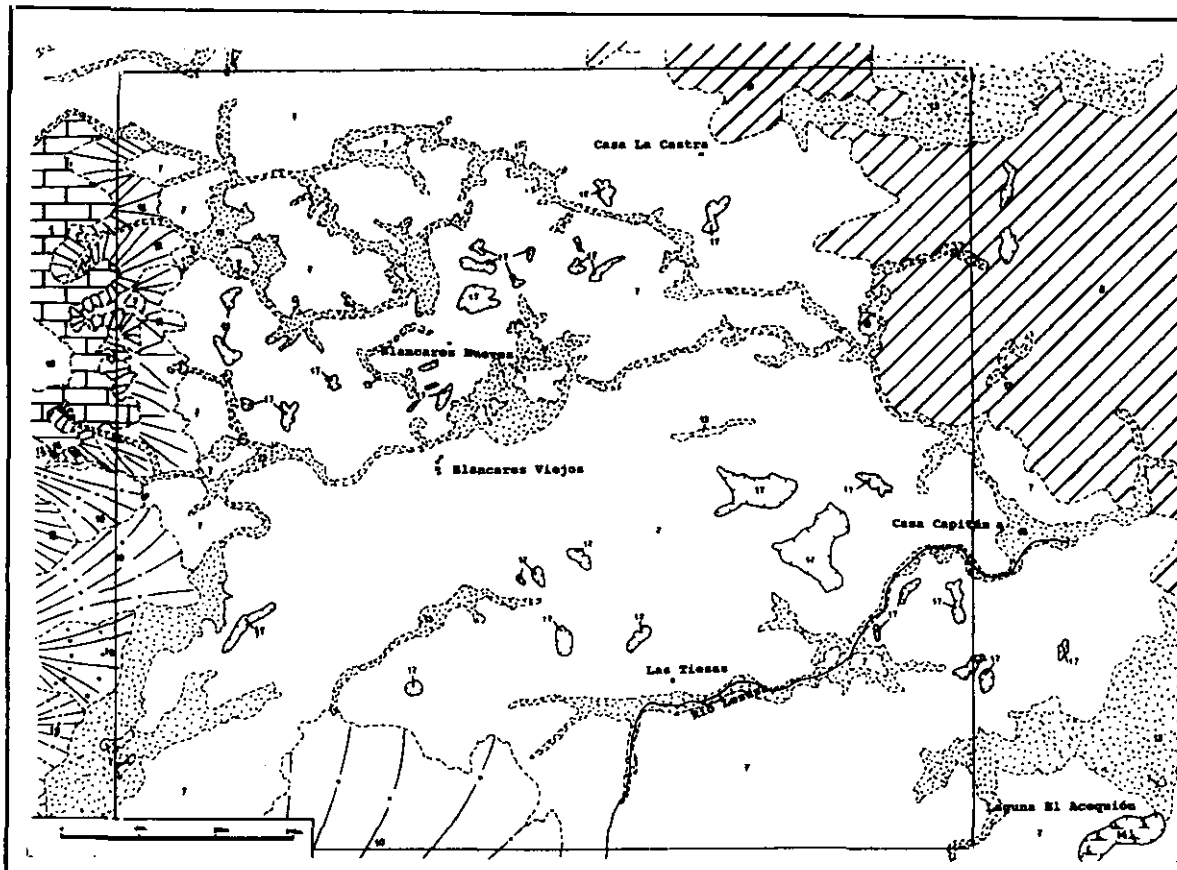
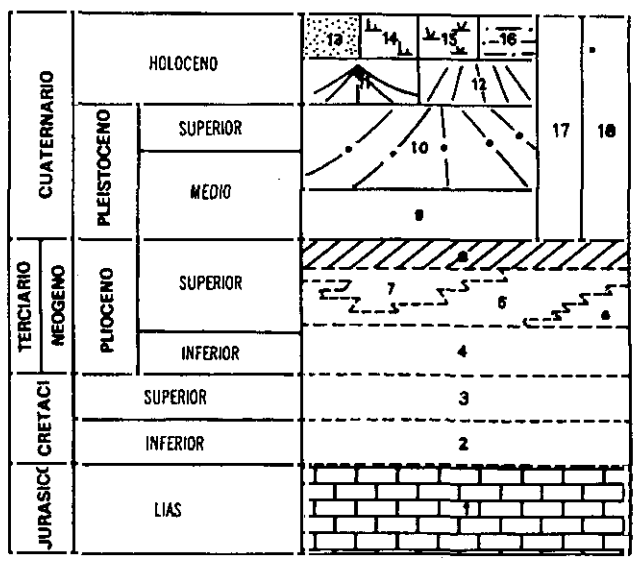


Fig.1.5; Encuadre geológico del área de estudio. Según Aracil (1988),.





18 Suelos, costras, productos de ladera
17 Fondos de dolina
16 Fangos, arenas y gravas (Llanura aluvial)
15 Fangos, arcillas con cantos y suelos vérticos (Fondos endorreicos)
14 Arcillas y limos con suelos grises (Fondos de laguna)
13 Gravas poligénicas, arenas y arcillas (Fondos de valle)
12 Gravas poligénicas, arenas y arcillas (Coluviones)
11 Gravas, arenas con cantos y arcillas (Conos Aluviales)
10 Gravas poligénicas y arenas (Abanicos aluviales)
9 Gravas y arenas. Sistema aluvial del Río Júcar
8 Gravas y arenas con encostramientos carbonatados a techo
7 Calizas y margas con encostramientos laminares a techo
6 Lutitas, margas, suelos calcimorfos, calizas y margocalizas
5 Areniscas, conglomerados, lutitas, suelos calcimorfos y arcillas pardo-rojizas
4 Calizas blancas, margas arcillas, arenas y gravas
3 Calizas, dolomías y margas
2 Arenas, areniscas y arcillas
1 Calizas oolíticas

Fig.1.6; Cartografía geológica correspondiente a la zona de estudio. Según IGME (1988).

en el borde oriental de los Llanos aunque aparecen manifiestos en profundidad debido a ascensos diapíricos del Keuper, que pueden incluso individualizar unidades acuíferas dentro de la cuenca. Las potencias máximas asignadas a las facies del Bundsandstein alcanzan hasta los 650 m, 25 para el Muscheskalk, y 300 m para el Keuper, (cfr. IGME 1979).

Nótese que la numeración que a continuación aparece entre paréntesis coincide con las unidades cartográficas definidas en la columna geológica de la figura 1.6.

El **Jurásico** (1) aparece bien representado en la zona de los Llanos, (ver su disposición en el bloque diagrama de la fig.1.7), perô dado que se encuentra a grandes profundidades en la mayoría de los puntos, su estudio presenta dificultades. El techo de estos materiales, es más moderno hacia el este, (cfr. Arias, 1979 y Aracil y Vilas, 1987), no obstante la sedimentación jurásica no se llegó a realizar de una manera completa en toda el área. Los sedimento más modernos que se pueden encontrar pertenecen al Dogger, (cfr. Aracil 1990, p.113).

Según Arias et alt.,1979 el **Lías inferior**, de muro a techo estaría constituido por:

- Dolomías
- Margas y arcillas,
- Calizas.

Estas litôlogías serían correlacionables (según IGME, 1988 p.10) con las formaciones Carretas (de García Rodrigo, o.c. en IGME, 1988) y el conjunto Dolomías Tableadas de Imón y Carniolas de Cortes de Tajuña (de Gómez et alt., o.c. en IGME, 1988).

El **Lías Medio** lo constituye una alternancia de margas y dolomías, que según IGME, 1988 p.10, sería correlacionable con las formaciones Madroño (de García Rodrigo, o.c. en IGME, 1988), y Calizas y Dolomías de Cuevas Labradas, (de Gómez et alt., o.c. en IGME, 1988).

El **Lías Superior** lo constituirían calizas oolíticas que localmente aparecen dolomitizadas, y que Arias et alt.(1979) las asignan al Dogger s.l.. Esta formación, según IGME, 1988 p.11, sería correlacionable con alguna de las litologías del Grupo Ablanquejo (de Gómez et alt., o.c. en IGME, 1988). Encima de éstas suele aparecer un paquete dolomítico del Dogger, que se corresponde con la formación Chorro de García Rodrigo, o.c. en IGME (1988).

Aunque en la zona concreta de nuestro estudio las dolomías del Dogger no aparecen, conviene señalar que en aquellos puntos en los que se encuentra presente llega a alcanzar en algunos casos hasta 400 m de potencia, y constituye una de las unidades acuíferas de mayor interés.

El **Cretácico** (2) y (3): aparece escasamente representado en los llanos, y solamente se ha detectado en los bloques hundidos en los que se fragmenta el Jurásico. Según Aracil, 1988 p.111, «en los bloques que se han supuesto elevados, estos depósitos fueron erosionados previamente a la sedimentación Neógena.

Las facies del Cretácico que aparecen de muro a techo, según Arias et alt., 1979 son:

Cretácico Inferior (2): Facies Weald: Arcillas y margas de color rojo, en facies weald .

Cretácico Superior (3): a) Calizas y dolomías del Aptense-Albense. b) Facies Utrillas: conglomerados, arenas y arcillas del Albense. c)Facies dolomítico margosas del Cretácico superior.

El **Neógeno** (4), (5), (6), (7) y (8): aparece representado en prácticamente toda la extensión de los

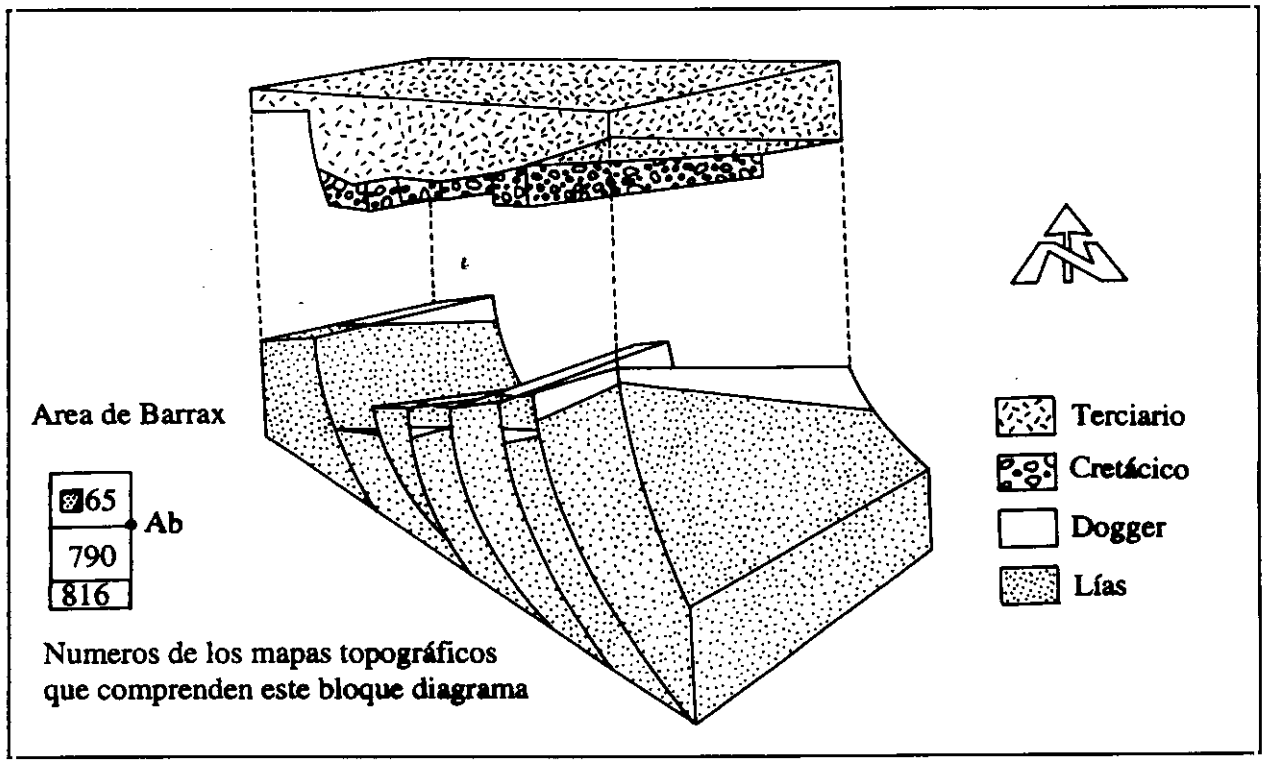


Fig.1.7; Disposición del basamento mesozoico en los Llanos de Albacete, estructurado por bloques, sobre los que descansan los sedimentos terciarios. Según Aracil (1988).

Llanos, y puede ser cartografiado.

El Neógeno se dispone en la mayor parte de los casos directamente sobre el Jurásico «sobre un enérgico paleorrelieve» (cfr. Pérez González, 1982); este mismo autor define dos series litoestrátigráficas Neógenas en la parte oriental de los Llanos:

a) **Calizas del Río Júcar**

b) **Areniscas y Arcillas rojas de Villalgordo del Júcar.**

Las **calizas del río Júcar** (4), se apoyan directamente sobre el Jurásico, aunque en los bloques hundidos del sustrato puede aparecer directamente sobre el Cretácico. Esta unidad está formada por calizas micríticas en capas delgadas o masivas y con planos de estratificación muy discontinuos. Alternan con margas y margas arcillosas de diversos colores y con limos carbonatados. En ocasiones aparece una secuencia inferior formada por margas limo-arenosas, gravillas y gravas de caliza.

El techo es impreciso. Esta unidad no aparece claramente identificable entre Albacete y La Herrera, sin embargo, aparece muy bien representada entre Barrax, La Roda y La Gineta.

Esta unidad se identifica con la Unidad litoestratigráfica Calizas Blancas, Margas, Arcillas, Arenas y Gravas del Rusciniense-Villafranquiense inferior según IGME (1988). En este mismo trabajo afirman que la serie disminuye de espesores en las inmediaciones de La Roda, pasando de presentar potencias de 100 m a sólo 40 m. De acuerdo con IGME (1988) p.23, esta unidad no parece sobrepasar el meridiano de La Roda, aunque según comunicación personal de López Fúster (1992) existe constancia de que estas calizas no sólo sobrepasan este meridiano, sino que enlazan con el acuífero 23, por la parte de Minaya y Villarrobledo, llegando hasta Ciudad Real.

La unidad **Areniscas y Arcillas rojas de Villalgordo del Júcar,** se dispone sobre la anterior en clara ruptura sedimentaria, existiendo entre ambas una suave discordancia angular. Está constituida por arenas, arcillas y a veces gravas con tonalidades que varían del blanco al rojo pasando por el amarillo.

Esta unidad está formada por dos ciclos sedimentarios diferentes; uno inferior de grano más fino, constituido por arenas de gran tamaño con lentejones de cantos y arcillas con nodulizaciones a techo. La serie aparece rematada por calizas margosas y arcillosas equivalentes a suelos calcimorfos.

El ciclo superior lo constituyen gravas poligénicas de tamaño medio y matriz arenosa. A techo aparecen limos arenosos y una costra laminar bandeada.

El ITGE (1988) diferencia y separa estos dos ciclos en tres unidades cartográficas diferentes:

- Ciclo inferior:

(5) "Areniscas y arcillas de Villalgordo del Júcar".

(6): Lutitas, margas, suelos calcimorfos, calizas y margocalizas.

(7): calizas y margas con encostramientos laminares a techo; "Calizas y Margas de Minaya".

- Ciclo superior:

(8) "Gravas y arenas con encostramientos laminares a techo".

Señala que existe convergencia de facies entre el ciclo inferior y las Calizas del río Júcar como hacia el oeste, zona de La Roda, considerando muy difícil diferenciar las dos unidades. El ciclo inferior aparece constituido ahora por margas y calizas lacustres de color blanco, que han sido datadas como Villafranquiense Superior. Individualizan esta unidad como "Calizas y Margas de Minaya".

El **Cuaternario** (9 a 18): Aunque son numerosos los depósitos de esta edad que se pueden describir, sólo se va a hacer referencia a una serie de costras carbonatadas que recubren la mayor parte de las facies descritas. Van asociadas a distintas formaciones superficiales, entendiendo como tales aquellas que contribuyen a la configuración del relieve. En la zona concreta de estudio el Cuaternario aparece representado por este tipo de fácies, además de los depósitos correspondientes a un abanico aluvial, como ya se verá más adelante.

1.4.3 GEOMETRÍA Y TECTÓNICA DE LA CUENCA

Los materiales más antiguos aparecen flanqueando los sedimentos Terciarios que constituyen Los Llanos de Albacete, bajo los que se sumergen; ocasionan relieves más acusados y constituyen los "marcos montañosos" que encuadran esta depresión.

Martín Serrano y García Abad (1979) distinguen una serie de unidades limítrofes, que clasifican según el estilo tectónico de cada una de ellas y que se pueden contemplar en la fig.1.2:

1.- Campo de Montiel: presenta la clásica tectónica de cobertera, donde las calizas jurásicas recubren el zócalo Hercínico.

2.- Diferencian otras cuatro unidades, localizadas al sur de los llanos, en las que aprecian una clara influencia prebética.

3.- Por último distinguen, enclavada en el medio, la "Unidad de los Llanos", que no se encuentra «exenta de deformaciones recientes».

Según Aracil y Vilas (1987) y Aracil (1990) p.111, los máximos y mínimos espesores de sedimentos se alinean en direcciones NE-SW, coincidentes con las principales directrices de fracturación. El basamento mesozoico, constituido por bloques, sobre el que descansan los sedimentos Terciarios se estructura en surcos y elevaciones de idénticas directrices, delimitados por fallas lístricas que se sumergen hacia el NE. Ver fig. 1.7.

Existe una fracturación subordinada de dirección SE-NW, que afecta principalmente al interior de los bloques, más que al conjunto de los mismos.

El Cretácico aparece presente sólo en los bloques

T30926T738X

deprimidos, alcanzando sus máximos espesores en la zona noroccidental de Los Llanos de Albacete. Al contrario de lo que sucede con las facies Jurásicas y Cretácicas, los sedimentos Neógenos no presentan en general deformación alguna; sin embargo, Martín Serrano y García Abad (1979) consideran que "Afloran en esta unidad materiales Neógenos y Cuaternarios sin deformaciones tectónicas significativas, pero no inexistentes", y citan por ejemplo el anticlinal de Tinarejos.

1.5 MARCO HIDROGEOLÓGICO DE LOS LLANOS DE ALBACETE

1.5.1 INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista hidrogeológico, la zona de Barrax se enmarca en el Sistema Hidrogeológico de Albacete. Este se sitúa en el extremo oriental de la llanura manchega, distribuyéndose por gran parte de las provincias de Albacete, Cuenca, Valencia y Murcia y abarcando una superficie total de 8500 km^2.

En la figura 1.8, se puede ver el esquema hidrogeológico general.

En la figura 1.9 se presenta un modelo conceptual de todo el acuífero. Esta figura se ha elaborado fundamentalmente con datos bibliográficos. De acuerdo con la misma, se aprecia como:

- El sistema hidrogeológico es un sistema multicapa.
- Está formado por una superposición de tres grandes unidades acuíferas carbonatadas de extensión regional, pertenecientes al Jurásico, Cretácico y Neógeno.
- Existen también una serie de unidades a veces también importantes, pero de distribución exclusivamente local.

Las grandes unidades pueden presentarse también aisladamente, como sucede en la parte meridional del sistema, donde el macizo cretácico del Carcelén, situado en el esquema hidrogeológico general de la fig.1.8, constituye una unidad hidrogeológica desconectada

1.5.2 ANTECEDENTES

El sistema hidrogeológico de Albacete ha sido ampliamente estudiado principalmente por los organismos oficiales en un intento de racionalizar las explotaciones de agua subterránea.

Algunos de los trabajos más antiguos consultados corresponden a los realizados por el IGME (1979) y (1980), en los cuales se basa gran parte de la introducción hidrogeológica, dada la magnitud y alcance de los mismos. Con motivo de estos estudios mencionados se definieron las distintas unidades hidrogeológicas del sistema, se estableció el funcionamiento hidrogeológico de las mismas, se realizaron ensayos de bombeo que permitieron establecer los parámetros hidráulicos de las distintas unidades, se estudió la hidrología de superficie, se realizaron campañas de aforos, planos de isopiezas de las distintas unidades hidrogeológicas, etc. Se realizó también un modelo matemático cuyas principales conclusiones fueron publicadas por Fernández et alt.(1983).

Como prolongación de este amplio estudio se continuaron controlando niveles piezométricos y calidad química de las aguas (cfr. IGME 1982, 1985, 1990). Otra de las aportaciones más recientes, lo constituye un mapa de vertidos y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas realizado por el IGME (cfr.IGME, 1988b).

Por su parte el SGOP ha llevado a cabo también diferentes estudios. Como resumen de un trabajo de mayor amplitud, Corchón y Delgado (1976) analizan mediante isótopos las aguas de las distintas unidades hidrogeológicas del acuífero de Albacete, extrayendo como conclusión más relevante que las aguas del Júcar tienen origen subterráneo fundamentalmente. Con motivo de la construcción y control del Acueducto Tajo-Segura el SGOP realizó diversas campañas de control piezométrico en piezómetros expresamente perforados con esta motivación. (cfr. SGOP, 1986). Recientemente, (cfr.SGOP 1988), ha realizado un amplio estudio sobre las afecciones que la detracción de agua subterránea ha provocado en los caudales del río Júcar. Comprende un amplio trabajo que abarca aspectos hidrológicos, estudios de recursos y demandas y un modelo matemático final que simula las afecciones a dicho río. Un resumen de este trabajo ha sido publicado por Aragonés et alt.(1989).

1.5.3 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Dentro del sistema hidrogeológico de Albacete (cfr.IGME, 1979,1980,1982,1985 y SGOP 1988) se han definido las siguientes unidades hidrogeológicas:

1. **Jurásico:** Se han diferenciado dos unidades acuíferas y su disposición se ha esquematizado en el perfil hidrogeológico de la figura 1.9. Una unidad margosa (Lias Medio) de notable entidad individualiza estas dos unidades.

1.1 La primera de ellas, es una formación dolomítica perteneciente al **Lías Inferior**. No se ha podido estudiar adecuadamente, al existir pocos sondeos que la atraviesen y haber pocas referencias relativas a la misma.

1.2 La segunda se corresponde con los **tramos superiores del Lías y del Dogger**. Esta constituida por calizas oolíticas y dolomías, respectivamente equivalentes a las Formaciones Colleras y Chorro definidas por García Rodrigo, (cfr.ITGE, 1988, p. 12). Presenta potencias comprendidas entre 250 y 350 m (cfr.IGME 1979, e ITGE 1989) Se encuentra confinada en casi toda su extensión.

Se encuentra carstificada y fisurada. Según el IGME (1979), en el sector septentrional se encuentra completamente saturado excepto en los bordes occidentales de este mismo sector. En la zona meridional se encuentra parcialmente vacío. Consideran que presenta unos volúmenes saturados aproximados de 2000 x 10^3 hm^3.

Estiman una porosidad para la zona donde el acuífero se comporta como libre, comprendida entre 3%-5% (según IGME 1979) y unas trasmisividades entre 100

y 500 m^2/h, pudiendo alcanzar localmente los 2000 m^2/h.

2. Cretácico: Calizas y dolomías de edad Turonense. Su aparición se encuentra restringida a los bloques hundidos del basamento Mesozoico (tal y como se ha representado en la figura n.1.8. Son pocos los sondeos en la zona que alcanzan las profundidades necesarias para llegar esta formación.

Presenta potencias comprendidas entre 100 y 50 m (cfr.IGME, 1979) y sus parámetros hidráulicos son muy semejantes a los del acuífero Jurásico. Se encuentra también como el anterior confinado en la mayor parte de su extensión.

3. El acuífero Neógeno más importante son las calizas pertenecientes a la Formación Calizas del río Júcar, de edad Rusciniense (cfr.ITGE, 1988, p.72), y que han sido consideradas en estudios anteriores de edad Pontiense, (cfr. IGME, 1979, 1980).

Sus espesores son variables y alcanzan espesores de hasta 150 m en las partes centrales del acuífero. Conforman un acuífero libre según el IGME (1980), afirmación que contrasta con el hecho de encontrarse delimitado por paquetes areno-arcillosos tanto a techo como a muro.

Presenta unos volúmenes saturados de 160×10^3 hm^3. Su coeficiente de almacenamiento varía del 1% al 2% y la trasmisividad entre 50 y 300 m^2/h. (Cfr.IGME, 1979).

4. En los 40 primeros m desde la superficie topográfica aparece una unidad acuífera carbonatada y superficial. En algunos casos puede dar lugar a acuíferos muy locales. Esta formado por los lentejones carbonatados, y arenas y gravas de los ciclos inferior y superior de las Arenas y Arcillas de Villalgordo del Júcar.

También los materiales de algunas formaciones pertenecientes a los tramos inferiores del cretácico constituyen acuíferos de interés local.

1.5.4 LIMITES DEL SISTEMA

El Sistema hidrogeológico de Albacete se encuentra individualizado por una serie de materiales impermeables que afloran en superficie a lo largo de la mayor parte de su contorno. El esquema Hidrogeológico se puede ver en la fig.1.8.

Las facies arcillosas y evaporíticas impermeables del keuper constituyen los límites del sistema, tanto en profundidad, como en superficie debido a fenómenos de diapirismo. En algunos sectores el límite impermeable lo constituyen las margas pertenecientes al Lías medio, y equivalentes a las Formaciones Madroño y Cuevas Labradas (según Gómez et alt. o.c. en IGME, 1988).

Según IGME (1979) el sistema queda delimitado de la siguiente manera:

1.- Los afloramientos impermeables del Trías delimitan los bordes oriental y meridional.

2.- El sector de Ontur (situado al sur del Sistema Hidrogeológico de Albacete, ver fig 1.8) se halla individualizado por una serie de cabalgamientos, que condicionan la aparición de importantes manantiales.

3.- El borde occidental se encuentra delimitado por el afloramiento de las facies margosas del Jurásico medio equivalentes a la Formación Madroño.

4.- El sistema se encuentra abierto al NW, encontrándose en contacto con el sistema hidrogeológico de la Mancha Oriental (S.Acuífero n.23).

1.5.5 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

El modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico se ha representado en el perfil hidrogeológico de la fig.1.9.

Como ya se ha dicho el Sistema Hidrogeológico de Albacete se define como un sistema multicapa en el que se superponen con o sin conexiones laterales una serie de unidades acuíferas. Los frecuentes cambios de espesores, la tectónica y el papel de acuitardos que juegan a veces las distintas unidades, complican extraordinariamente el funcionamiento hidrogeológico de todo el sistema.

La **recarga** se produce fundamentalmente por:

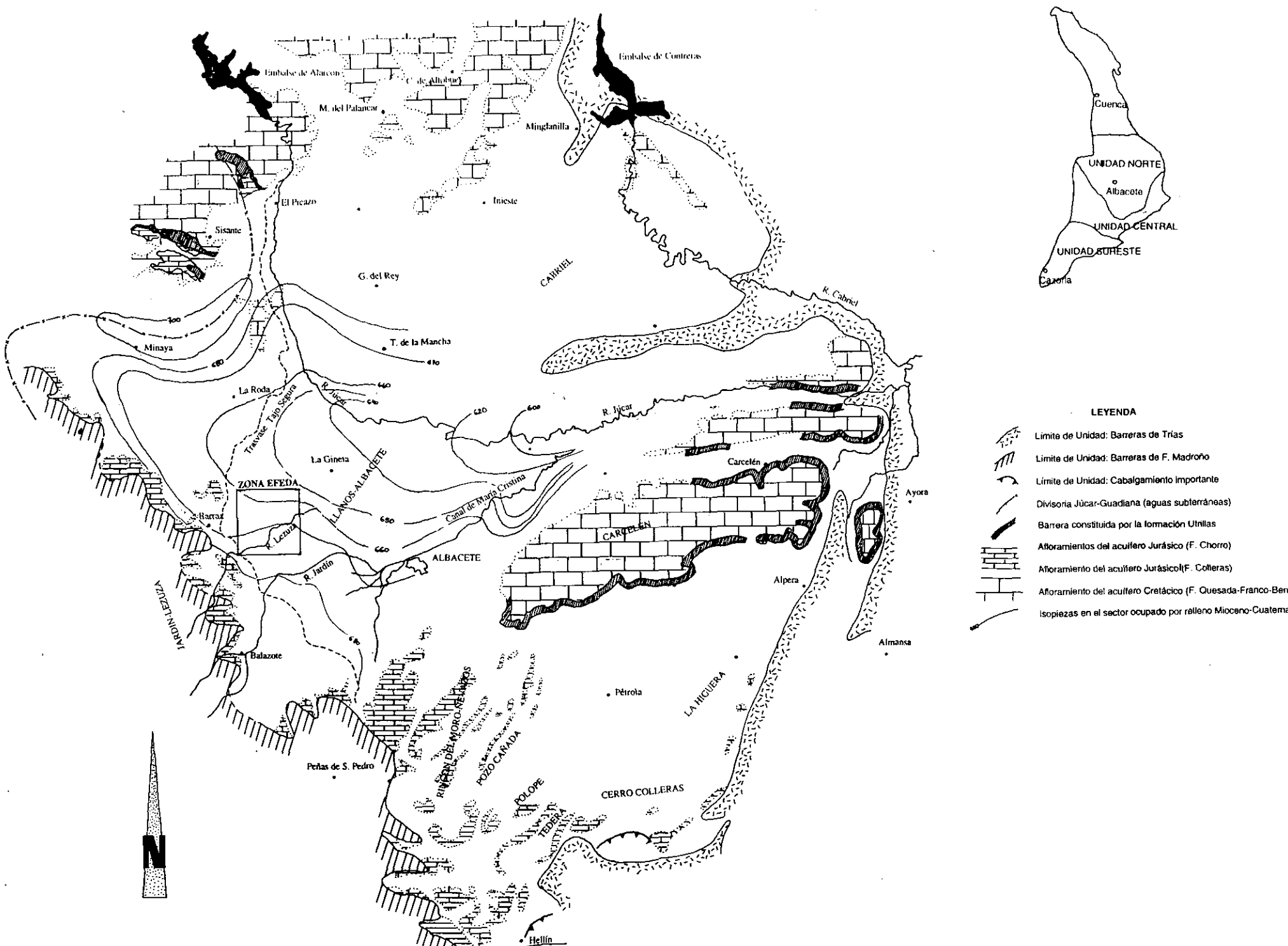
- Infiltración del agua de lluvia
- Infiltración en Los Llanos de los ríos Lezuza y Jardín, que incluso llegan a desaparecer.
- Por las aportaciones subterráneas procedentes de los bordes abiertos septentrional y noroccidental.
- La zona sur de cabalgamientos constituye otro borde abierto del sistema a través del cual se reciben aportaciones externas al mismo.
- Las salidas procedentes del macizo cretácico del Carcelén que constituye una unidad aislada dentro del sistema.
- Los retornos procedentes de las acequias de regadío.

Las **salidas** del sistema se producen fundamentalmente a través de (ver esquema hidrogeológico de la fig.1.9):

- Una serie de manantiales que drenan el macizo del Carcelén en la zona de Alpera-Ayora, así como los manantiales de la zona de Hellín-Tobarra que drenan el acuífero por la zona meridional.
- Escorrentía superficial de los ríos Cabriel y Júcar.
- Extracciones de aguas subterráneas por bombeos.
- Evaporación en cuencas cerradas.

De acuerdo con Corchón y Delgado (1976) en función de los resultados obtenidos mediante una serie de estudios isotópicos realizados en el acuífero de los Llanos:

1) Las unidades más importantes que aparecen son dos, tal y como se puede apreciar en el perfil hidrogeológico de la fig. 1.9; un acuífero Neógeno superficial que funciona como acuífero libre, y que descarga por goteo en la unidad acuífera profunda, o en el Júcar; un acuífero profundo, constituido por calizas Jurásicas, calizas Cretácicas y calizas Neógenas, confinado o semiconfinado que descarga en el Júcar a través del acuífero superficial. Fernández et alt. (1983) en este


Embalse de Alarcón
Embalse de Contreras
M. del Palancar
Minglanilla
El Picazo
Sisante
Iniesta
G. del Rey
CABRIEL
R. Cabriel
Minaya
T. de la Mancha
La Roda
R. Júcar
Trasvase Tajo-Segura
La Gineta
ZONA EFEDA
LLANOS-ALBACETE
Canal de María Cristina
Barrax
Lezuza
R. Jardín
ALBACETE
JARDIN-LEZUZA
Balazote
Peñas de S. Pedro
Carcelén
Ayora
CARCELÉN
Alpera
Almansa
Pétrola
LA HIGUERA
RINCÓN DEL MORO-RETAMOS
POZO CAÑADA
POLOPE
TEDERA
CERRO COLLERAS
Hellín
N
Cuenca
UNIDAD NORTE
Albacete
UNIDAD CENTRAL
UNIDAD SURESTE
Cazorla
LEYENDA
Límite de Unidad: Barreras de Trías
Límite de Unidad: Barreras de F. Madroño
Límite de Unidad: Cabalgamiento importante
Divisoria Júcar-Guadiana (aguas subterráneas)
Barrera constituida por la formación Utrillas
Afloramientos del acuífero Jurásico (F. Chorro)
Afloramiento del acuífero Jurásico(F. Colleras)
Afloramiento del acuífero Cretácico (F. Quesada-Franco-Ben
Isopiezas en el sector ocupado por relleno Mioceno-Cuaterna

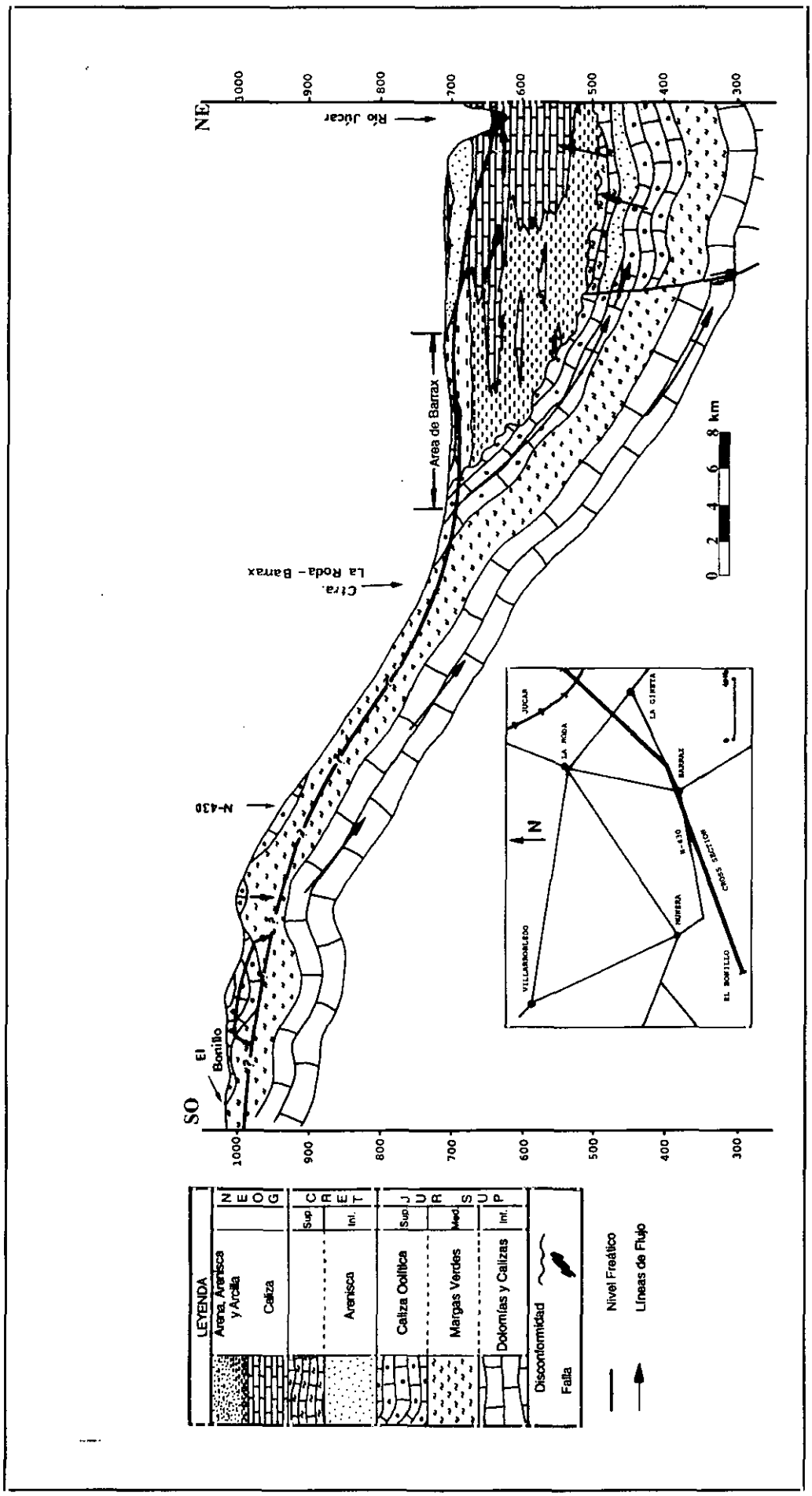


Fig.1.9; Perfil hidrogeológico esquemático del S.Acuífero de Albacete en situación no perturbada por los bombeos.

sentido opinan "que hay que admitir que se produce algún tipo de flujo en sentido ascendente a través del paquete del Neógeno basal", lo que quiere decir que tanto Jurásico como Cretácico descargan sus aguas hacia el Júcar a través de las Calizas Neógenas del Río Júcar.

2) Las aguas del acuífero superficial son más modernas que las del profundo, debido a las elevadas concentraciones en tritio que presentan, frente a las del acuífero profundo. Habiéndose calculado para este último un tiempo de residencia superior a 20 años.

3) Mediante el empleo de trazadores determinan que las velocidades de flujo en el acuífero profundo (entre 16 y 54 cm/día) son superiores a las velocidades de flujo en el superficial (entre 7 y 31 cm/día).

1.5.6 BALANCE HIDRÁULICO

La tabla 1.1 presenta el balance hidráulica del sistema según IGME (1980). Este balance está realizado para una superficie de 8500 km^2.

Tabla 1.1; Balance hidraúlico del Sistema Acuífero de La Mancha Oriental. Según IGME 1980.

APORTACIONES hm3/a			SALIDAS hm3/a		
PROPIAS	Lluvia útil	400		Tr. Alarcón-Molinar	
				- E. Superficial	30
				- E. Subterránea	350
	SUPERFICIALES		**R. Júcar**		
	- R. Jardín	35		Tr. Molinar-Cofrentes	
	- R. Quéjola	15		- E. Superficial	30
EXTERNA	- R. Lezuza	16		- E. Subterránea	10
	- C. Quintanar	4			
	SUBTERRÁNEAS			- E. Superficial	22
	- Límites N-NO (ac. 23)	80	**R. Cabriel**		
				- E. Subterránea	25
				- E. Superficial	5
			Zona Sur		
				- Manantiales	35
			Cuencas Cerradas	- Evaporación	2
			Carcelén	- Manantiales	15
			Regadíos	- Tradicionales	16
TOTAL		**540**	**TOTAL**		**540**

2 HIDROGEOLOGÍA DE DETALLE DE LA ZONA PILOTO DE BARRAX

Se dedica este capítulo al estudio hidrogeológico de detalle en la zona de Barrax, una de las áreas pilotos del proyecto EFEDA, marco en el cual se ha realizado este estudio y cuyos objetivos han sido detallados en el capítulo anterior.

Hay que señalar que la zona de trabajo, no responde a ningún límite hidrogeológico o hidrológico concreto, dado que no es sino una zona piloto experimental del proyecto europeo EFEDA.

El trabajo llevado a cabo ha tenido varias vertientes. En **primer lugar** se ha recopilado gran parte de la información bibliográfica disponible del acuífero de La Mancha Oriental, consistente en diversos estudios realizados por organismos públicos casi en su totalidad, así como diversas publicaciones relativas a la zona y que se citan a lo largo de estas líneas.

Un **segundo paso** ha sido la adquisición de valiosa información proporcionada por el inventario de puntos de agua de la base de datos del ITGE, así como las medidas de piezometría periódicas que dicha institución realiza. En el anexo 2 se puede ver el inventario de puntos de agua, y la situación de dichos puntos en el plano 1

Se ha revisado en **tercer lugar** la fotografía aérea de la zona realizada en 1987 por el Instituto Geográfico Nacional, con la intención de cartografiar en la medida de lo posible los fenómenos de disolución que afectan a la costra carbonatada que recubre el área. Esta cartografía no se presenta por estar incompleta.

Por último se ha realizado un reconocimiento geológico e hidrogeológico de campo. Se han levantado columnas en los lugares dónde ha sido posible (ver anexo 1). Se han comprobado y medido aquellos puntos de agua que se han considerado significativos, por alguno de los siguientes motivos:

- Disponer de un amplio registro piezométrico
- Descripción detallada de la columna litológica y posición de enrejillado.
- Sondeos o pozos con datos de medida piezómetrica anterior a 1980.

Se han visitado prácticamente todos los puntos de agua inventariados e incluidos en el anexo 2. El que algunas carezcan de medida piezométrica reciente se debe a los siguientes motivos:

- Prohibición expresa de los dueños para visitar y medir el punto de agua.
- Sondeo clausurado, desaparecido o mal situado por lo que no se pudo localizar.

La localización geográfica de los puntos que se mencionan a lo largo de todo este capítulo puede consultarse en el plano 1

2.1. COMENTARIOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Como ya se ha explicado en el capítulo anterior, la zona piloto de Barrax se localiza al SW de la ciudad de Albacete. Comprende un cuadrilátero de 10 km de lado (10000 ha). El principal acceso a este lugar se tiene a través de la N-430, que comunica Albacete y Ciudad Real.

La característica más llamativa de la zona de Barrax, es la falta de relieve. La zona concreta de trabajo es casi plana y las altitudes sobre el nivel del mar oscilan entre 690 y 730 m. Hay que reconocer, sin embargo, que en el borde occidental aparecen las estribaciones de una serie de elevaciones de las que parten ríos como el Lezuza que se pierde poco después de alcanzar la zona plana de los Llanos por infiltración.

Las actividades principales de los habitantes de la zona son la agricultura y la ganadería. Pese a que los cultivos de regadío aumentan progresivamente, en la zona de estudio existe todavía un 65% de cultivos de secano. El sistema de cultivo "año y vez" hace que anualmente quede un 15% de la superficie en barbecho (cfr. Abellán et alt. 1994), p.152. Según este mismo autor los cultivos de secano y regadío se distribuyen en porcentajes de la siguiente manera: la cebada es el cultivo de secano dominante, siendo casi inapreciables los de leguminosas o maíz; en cuanto al regadío el cultivo dominante es el de maíz, con un 75%, le sigue la cebada de regadío con un 15% y minoritariamente ajo, cebolla, ó alfalfa. Según SGOP (1988), el 100% de los cultivos de regadío en esta zona se efectúan con aguas subterráneas.

Parece importante señalar para evitar confusiones, que se ha comprobado la presencia en la zona de una serie de lo que aparentemente se podrían llamar pozos excavados. Pues bien, este tipo de

captaciones no son más que el acceso a pequeños aljibes subterráneos que ubicados en amplias hondonadas recogen y almacenan parte del agua de lluvia. Es por esto frecuente encontrar "pozos" con "niveles" a apenas 1 m de la superficie del terreno.

2.2. HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE

Desde un punto de vista hidrológico la zona de estudio es una área de carácter endorreico. Una pequeña porción de la zona, concretamente toda la parte deprimida comprendida entre la Laguna del Acequión y la Casa de las Monjas, se encuentra incluida dentro del mapa de superficie encharcable de finales del siglo pasado, realizado por Roa Erostarbe en 1891, como se puede apreciar en la fig.1.4.

El único cauce significativo que surca la zona es el Río Lezuza que desaparece debido a su completa infiltración en las vecindades de Casa Capitán. En la fig. 2.1 se pueden contemplar las aportaciones específicas de este río en la estación foronómica de Tiriez. Obsérvese como han disminuido las aportaciones del Lezuza en la estación de aforos. Desde hace algo más de 10 años este río ya casi no llega a la zona de estudio, desapareciendo poco después de sobrepasar el pueblo de Tiriez. Según la información proporcionada por la gente del lugar los regadíos que se efectúan en la vega con aguas superficiales es el motivo principal de la desaparición de este río.

El gráfico de la figura 2.1, parece corroborar estas suposiciones se puede observar como las precipitaciones no han variado sustancialmente en las dos últimas décadas, mientras que las aportaciones han disminuido perceptiblemente a partir de 1980. Sin embargo merece la pena señalar la necesidad que existe de realizar un estudio de aportaciones y precipitaciones para poder determinar la influencia que la pluviometría puede tener.

Toda el área se encuentra recubierta por una costra calcárea de edad cuaternaria. La red de drenaje se encuentra muy condicionada por la carstificación de la costra. Mediante fotografía aérea se puede ver que los escasos cauces existentes se adaptan a las zonas con disolución.

En relación con la infiltración del río Lezuza aparece en la parte suroriental del área de estudio la **"Laguna del Acequión"** seca desde hace más de diez años. En el apartado 2.10 se darán más detalles relativos a la misma; su origen se piensa que está relacionado con aguas subterráneas. Esta laguna no siempre tenía agua, según se ha podido saber gracias a los habitantes de la zona, y en verano a veces se secaba. En los inviernos especialmente nivosos el agua se mantenía incluso en verano.

Es de relativo interés la pequeña laguna circular (un ojo) localmente conocida por la **"Laguna de la Torca"** (ver Plano 1). La gente del lugar comenta que esta laguna es producto del estancamiento en un fondo de dolina de aguas superficiales. En la actualidad se encuentra seca, y aunque se carece de datos que demuestren esta afirmación, se puede apreciar que se ubica en una hondonada.

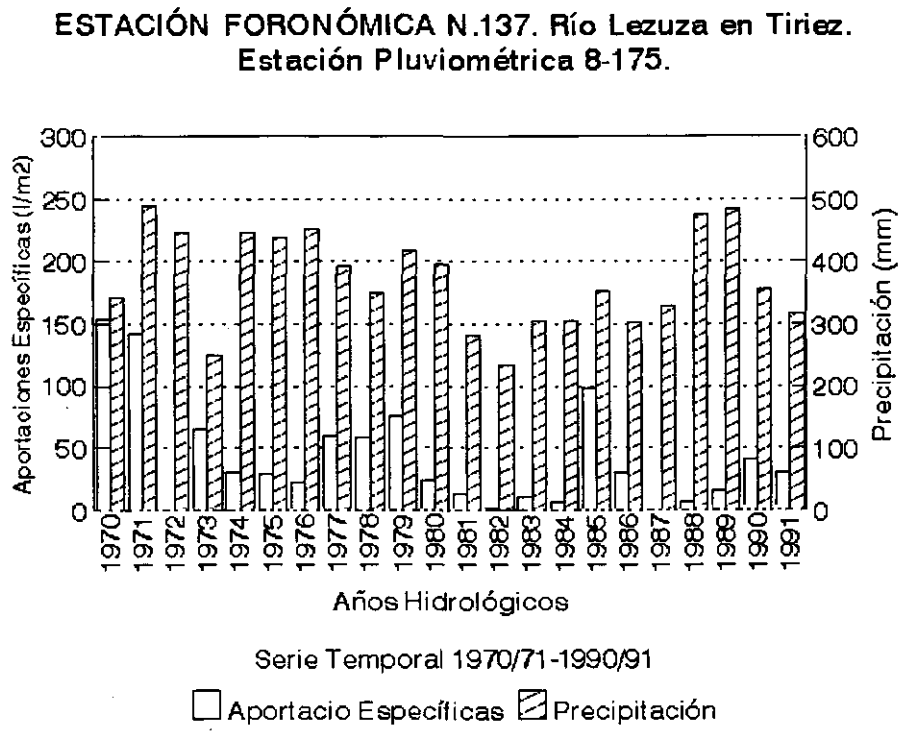


Fig.2.1: Comparación entre las aportaciones del río Lezuza en Tiriez (Estación Foronómica n.137) y la pluviometría en la Estación Meteorológica del Aeródromo de los Llanos (Albacete).

2.3. INTERPRETACIÓN DE LAS COLUMNAS LITOLÓGICAS DE LOS PUNTOS DE AGUA INVENTARIADOS

Se ha realizado un inventario de puntos de agua bastante completo. Gran parte de los pozos inventariados disponen de registro geológicos. Los datos de dichos registros proceden, aunque no todos, de la base de puntos de agua del ITGE. Partiendo del conocimiento previo bibliográfico que se tiene se ha realizado la siguiente interpretación de las columnas litológicas del inventario de puntos acuífero (anexo 2).

Se presenta en la tabla 2.1 la interpretación dada a cada una de las columnas litológicas de los sondeos inventariados.

Tabla 2.1: Unidades hidrogeológicas que atraviesan los sondeos perforados inventariados y de los que se dispone de una descripción litológica. Los números corresponden, el primero al número de octante y el segundo al nº de pozo dentro del octante.

NEÓGENO	CRETÁCICO	LIAS SUPERIOR	LIAS INFERIOR	NEOGENO INDIFERENCIADO
1/10, 1/12, 1/13, 1/3, 1/15		1/1, 1/2, 1/14, 1/15, 1/16, 1/18		1/17, 1/11
2/6, 2/8, 2/10	2/7, 2/10	2/6, 2/7, 2/10		
5/14		5/2, 5/3, 5/4, 5/5, 5/6, 5/7, 5/8, 5/14, 5/15, 5/17, 5/20, 5/21	5/5, 5/17	5/16
6/5, 6/18, 6/19, 6/20, 6/22	6/9, 6/10, 6/11	6/4, 6/5, 6/18, 6/19, 6/30		6/13

Una gran parte de los sondeos inventariados y con columna litológica se encuentran interpretados correctamente por la persona que controló su ejecución. No obstante, hay algunos cuya interpretación es dudosa o bien no es acertada. Se expone a continuación las razones por las que se ha decidido que tales sondeos están perforados en una u otra unidad. La columnas litológicas e información sobre los sondeos puede consultarse en el anexo 2.

Dentro del **octante 1** se encuentran inventariados una serie de sondeos (765/1/10, 1/12 y 1/13) que interceptan un paquete de calizas cuya pertenencia no queda clara. Por la posición en la que se encuentran estas formaciones carbonatadas queda claro que pueden corresponder a la unidad acuífera del Neógeno o a la del Lías Superior-Dogger.

Resulta verosímil que la unidad a la cual pertenezcan sea la unidad acuífera del Neógeno por los siguientes motivos:

- el escaso espesor que presentan estos paquetes, comparados con el espesor del Jurásico en sondeos vecinos (véase el 1/3, p.e).
- En su proximidad hay sondeos de más de 100 m (véase los sondeos 1/17 y 1/11), que no cortan ninguna capa de calizas.

Otro sondeo cuya interpretación resulta conflictiva es el 1/14 que ha sido perforado prácticamente en calizas. Ha sido interpretado como Jurásico a partir de 48 m, ya que en las proximidades se localiza la finca de "El Retallo". Fuster (1987), realiza una serie de perfiles geofísicos en esta finca y detecta la unidad acuífera del Lías Superior a unos 50 m.

En el **octante 2**, son escasos los sondeos con descripciones litológicas. Los sondeos 2/7 y 2/10 atraviesan prácticamente todas las unidades acuíferas presentes en la zona de trabajo. Estos sondeos no se encuentran descritos con precisión, de manera que aun sabiendo las unidades que corta, no se puede precisar la altura a la que se halla el neógeno calcáreo, por ejemplo, en esos dos puntos.

Por último queda por mencionar el sondeo 2/8. En este sondeo aparece descrito un paquete de calizas con arcillas rojizas en su base. Me inclino a pensar que las calizas que aquí aparecen (a 50 m de profundidad) son Neógenas, ya que el sondeo 2/10, muy cercano a este mismo, presenta las calizas Jurásicas a cota 438 m.s.m.

En el **octante 5**, se encuentran inventariados (765/5/4, 5/6 y 5/17) tres de los sondeos de control perforados por el Servicio Geológico (SGOP) para controlar los niveles en las inmediaciones del Acueducto Tajo-Segura. La descripción de las columnas de 5/6 y 5/17, es suficientemente buena como para proporcionar un criterio fiable, que sirva para interpretar las descripciones geológicas en aquellos sondeos con litología dudosa. Así pues, los paquetes de caliza que presentan los sondeos vecinos 5/7, 5/15, y 5/20 que tanto pudiera ser neógena como jurásica, han sido interpretados como Jurásica (Lías Superior). La interpretación del paquete de calizas que presenta el sondeo 5/21 tampoco estaba clara. Posiblemente son las calizas del Lías Superior, por dos motivos; el primero, las calizas neógenas apenas han sido descritas en el octante 5; en segundo lugar, aparece debajo un potente paquete de margas verdes, que inconfundiblemente corresponde a las margas del Lías medio.

La interpretaciones realizadas en el **octante 6** no ofrecen tantos problemas como en los demás octantes. La posible confusión entre las calizas del Neógeno y las del Jurásico, en este octante es casi

impensable, ya que la unidad calcárea del Neógeno es prácticamente inexistente. En los sondeos en los que aparece se puede comprobar la existencia de un paquete calcáreo muy potente en la base indicando que la unidad jurásica se halla a mayor profundidad (ver sondeos 6/18 ó 6/19). Quizás los únicos sondeos que presentaban problema fueran los sondeos 6/22 y 6/20, ambos muy próximos. Dado que el sondeo 6/22 fue interpretado como Neógeno por el geólogo que describió su columna, se ha considerado que las calizas del 6/20 son semejantes.

2.4 UNIDADES GEOLÓGICAS$_1$

De acuerdo con la interpretación hecha de las columnas litológicas de los sondeos se han reconocido las unidades geológicas que se describen a continuación. La distribución espacial de las distintas unidades aparece representada en los perfiles geológicos de la fig 2.2. Se destaca que no se dispone de datos relativos a direcciones y buzamientos de los distintos materiales representados en los perfiles, por lo que cabe la posibilidad de que los espesores representados no sean muy exactos. Hay que tener en cuenta que esta interpretación es una aproximación a la realidad, siempre más compleja, y que la aparición de nuevos datos podría introducir cambios considerables.

Las unidades definidas de muro a techo son (notar que la numeración coincide con la de la leyenda de los perfiles geológicos):

(0). **DOLOMÍAS (LÍAS INFERIOR; JURÁSICO)** Aunque se ha detectado la formación dolomítica del Lías Inferior (Jurásico) en algunos sondeos (ver anexo 2, sondeo 765/5/17), la escasez de datos no permite realizar ninguna conjetura acerca de la misma.

(1). **MARGAS VERDES (LÍAS MEDIO; JURÁSICO)**: No es posible deducir el espesor de las mismas, en parte por que no se ha podido localizar la base del paquete y en parte por que se desconoce el grado de plegamiento que presentan. Se piensa que corresponden a las Margas Verdes de IGME (1988) del Lías Medio, también denominada Formación Madroño. Uno de los dos sondeos de nuestro inventario, que parece haber cortado el muro de esta formación es el inventariado con el número 765/5/17 (consultar anexo 2), según estos datos la potencia aparente de estos materiales es de algo más de 80 m. Según el 6/18 el espesor aparente sería de 72 m. El sondeo 1/1 que también atraviesa una sección completa de la unidad presenta un espesor aparente de 54 m ó según el sondeo 5/6 el espesor aparente de la unidad es de 59 m.

(2). **CALIZAS Y DOLOMÍAS (LÍAS SUPERIOR Y DOGGER; JURÁSICO)**: Por encima de las margas aparece un paquete calcáreo de potencia variable que puede llegar a alcanzar los 100 m. El techo es irregular, y aparece carstificado. Se encuentra fracturado por numerosas fallas lístricas, responsables de estos fenómenos y de dirección NE-SW, que individualizan en bloques estos materiales. Previsiblemente estas calizas se corresponden con las descritas en esta zona en IGME (1988) como pertenecientes al Lías Superior-Dogger.

Los datos relativos a esta formación sólo pueden ser deducidos de las columnas procedentes de sondeos por lo que es difícil apreciar tanto el espesor real de las mismas como el grado de fisuración y plegamiento que puedan presentar. Se encuentran carstificadas.

Una falla de notable entidad fractura la parte suroriental de la zona de estudio, como refleja el perfil 1 de la fig.2.2 y bloque diagrama de la figura 2.6.

(3). **ARENISCAS Y GRAVAS (CRETÁCICO INFERIOR)**: Aparecen bien representadas en los bloques fracturados y hundidos por encima de las calizas del Lías superior (ver perfiles 1 y 2 de la fig.2.2). De acuerdo con Aracil (1990) estos materiales fueron eliminados por la erosión en los bloques levantados. Se piensa que corresponden al Cretácico en Facies Utrillas. En algunas fallas de menor entidad aparecen también algunos retazos del Cretácico Inferior.

(4). **CALIZAS, DOLOMÍAS Y MARGAS (CRETÁCIC0 SUPERIOR)**: El Cretácico Superior aparece exclusivamente representado en la parte suroriental de la zona de estudio (ver fig.2.2, perfil 1 y 2 y figura 2.6). Aparece exclusivamente en el bloque hundido de la falla ya mencionada y son sólo atravesadas por el sondeo 765/6/11.

(5). **CALIZAS LENTICULARES, GRAVAS, ARENAS Y ARCILLAS (NEÓGENO-PLIOCENO INFERIOR)**: Esta unidad es difícil de diferenciar de las unidades superiores del Neógeno por la convergencia litológica existente en algunas ocasiones. Es claramente identificable en la parte NE de la zona (ver perfil 2 de la fig 2.2), no siendo así en los restantes, dónde aparece representada mayoritariamente por arcillas con algún lentejón carbonatado. Las calizas de esta unidad presentan gran continuidad y constituyen una importante unidad acuífera. Lateralmente presentan rápidos cambios de facies a margas y arcillas, aunque parecen presentar una gran continuidad en algunas secciones.

La edad de estos materiales es Rusciniense-Villafranquiense, y podrían corresponderse con la Formación Calizas del Río Júcar, de IGME (1988), p.21.

(6). **ARCILLAS, Y MARGAS CON LENTEJONES CALCÁREOS A TECHO (NEOGENO)**:

Es difícil delimitar el techo de la unidad anterior y la base de esta unidad. Está fundamentalmente constituida por arcillas y margas; ocasionalmente pueden aparecer hasta yesos. En los últimos 40 ó 50 m el

contenido en carbonatos aumenta apareciendo tramos calcáreos de escasa extensión longitudinal, pero sí muy frecuentes. Estos niveles más carbonatados aparecen en los perfiles geológicos con el número (7). La potencia parece poder alcanzar hasta casi 100 m, en los bloques hundidos de las fallas. En el perfil 3, no afectado por fallas de gran entidad, la potencia que presenta es considerablemente menor. La unidad lutitas, margas, suelos calcimorfos, calizas y margocalizas, según IGME (1988), descrita en el Capítulo 1, no aparece presente en la zona de estudio.

Esta unidad según IGME (1988) sería de edad Plioceno Superior y se correspondería con las Areniscas y Arcillas de Villalgordo del Júcar.

(8). **ARENAS, GRAVAS Y CARBONATOS (NEOGENO)**: Constituyen el techo de toda la serie y sustituyen al menos los términos superiores de la unidad anterior (6). Estos materiales se han podido encontrar en contacto directo con las calizas Jurásicas en las inmediaciones del Cerro del Obispo y también en la Laguna de La Torca. Para más detalles consultar la descripción de las columnas levantadas en EL Cerro del Obispo y La Laguna de la Torca del anexo 1. Esta unidad podría corresponder a las Gravas y Arenas con encostramientos carbonatados a techo descrita por el IGME (1988, p.28) y de edad Plioceno Superior. Aparece presente en los perfiles geológico 1 y 2 de la fig.2.2.

(9). **COSTRA CARBONATADA (CUATERNARIO)**: Toda la zona de estudio se encuentra recubierta por unas costras calcáreas de espesor variable. En algunos puntos aparece representada por arcilla muy cementada con nódulos carbonatados; en otros lugares aparece como una caliza brechoide muy dura y de color rosado. Ver en el anexo 1 la descripción de las costras, que aparece en superficie en las vecindades de las Casas de la Castra, El Matao, Torrecilla y de los Caballos de Abajo. El perfil de costra más detallado de ha podido visitar en una cantera abierta en las vecindades de la Finca de Las Tiesas. Se tomaron dos muestras de dicha costra para realizar un difractograma y poder conocer su composición. Los resultados, (incluidos en el anexo 1), obtenidos muestran que la costra está fundamentalmente compuesta por calcita, dolomita y cuarzo, aparecen en el difractograma presentes los picos de la paligorskita y de los filosilicatos.

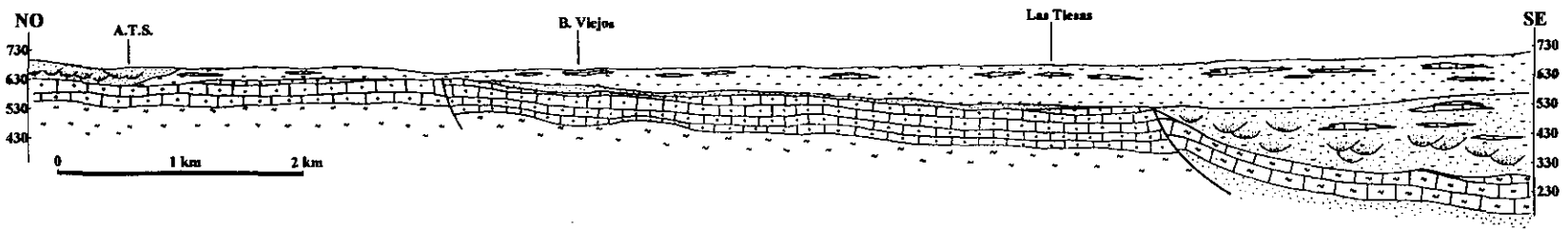
La profundidad a la que aparece es variable, y mientras en algunos lugares aparece en superficie, en otros aparece a cinco ó más metros de profundidad. Hay que señalar que en superficie se ha podido constatar la aparición de unas calizas muy recristalizadas por encima de la unidad 8 (ver columna del Cerro del Obispo en el anexo 1) no se sabe si corresponden a estas costras cuaternarias o a otra de edad Plioceno que según IGME (1988), p.28 aparece por encima de la unidad (8).

No se ha representado ninguna costra en los perfiles geológicos de la fig.2.2 debido a el escaso espesor que presentan.

Merece la pena señalar que en la parte SW de la zona de estudio (ver fig.1.6), esta costra no aparece, y en su lugar se encuentra un gran abanico aluvial. La cartografía de este abanico no se presenta aquí, no obstante puede consultarse en la memoria acompañante del plano geológico de La Gineta, realizado por el IGME (1988). Según IGME (1988), p.33, su potencia puede superar la veintena de metros.

[1] *De ahora en adelante cuando se mencione una unidad geológica o hidrogeológica, se añadirá un número para facilitar su identificación y que se corresponde con los números y descripciones que se dan en este apartado.*

CORTE GEOLÓGICO I-I'



CORTE GEOLÓGICO II-II'

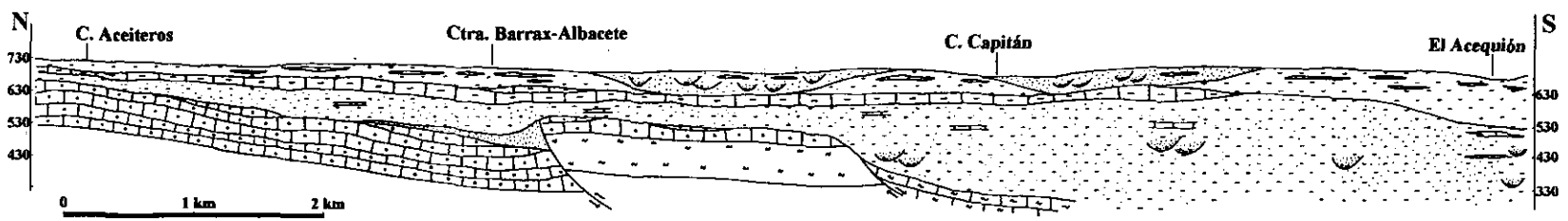
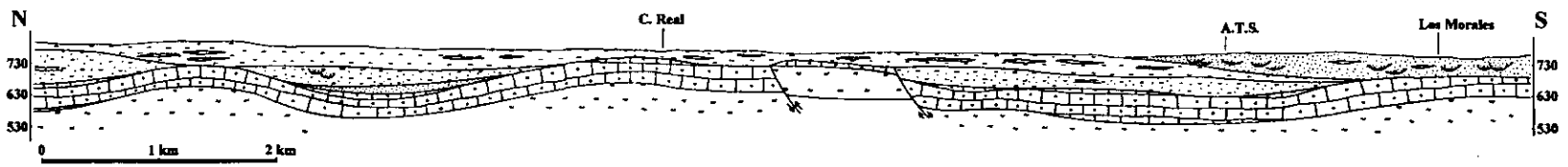
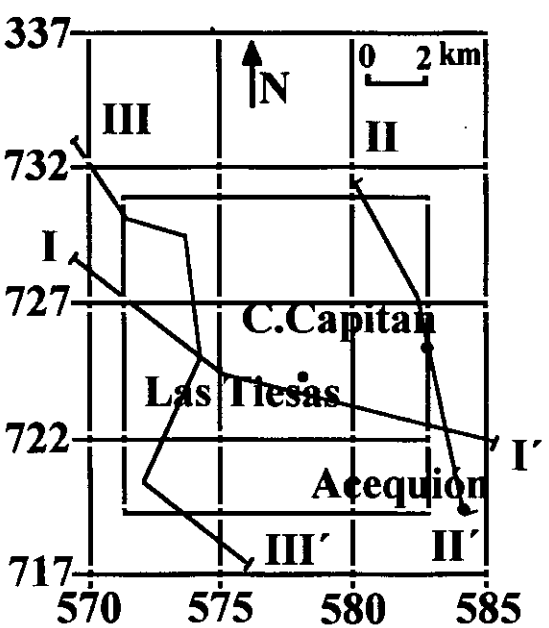


Fig. 2.2; Perfiles geológicos de la zona de estudio.

CORTE GEOLÓGICO III-III'





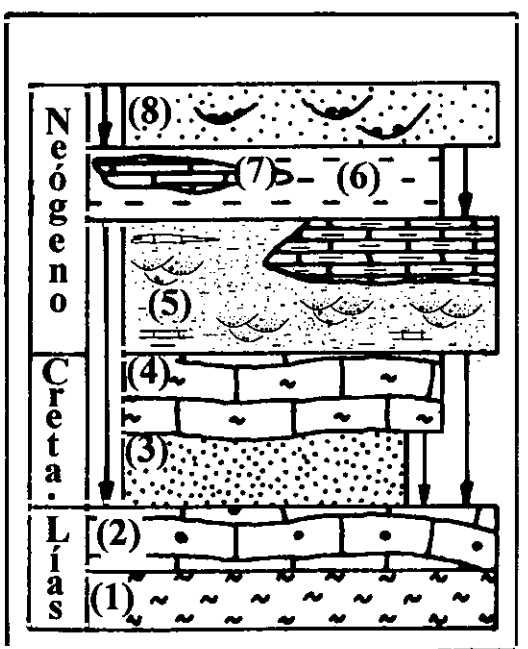


Fig. 2.2; Perfiles geológicos de la zona de estudio.

2.5 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

De acuerdo con la interpretación geológica realizada, parece claro que en la zona de estudio se encuentran representadas cuatro grandes unidades acuíferas:

- Calizas del Lías Inferior.
- Calizas del Lías Superior y Dogger ocasionalmente, en contacto unas y otras. Es muy difícil poder determinar con las descripciones de los sondeos si son Dogger o Lías Superior.
- Arenas y calizas del Cretácico.
- Calizas del Neógeno, Plioceno Inferior, (Fm. Calizas del Río Júcar).

2.5.1 GEOMETRÍA DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para estudiar la geometría de las unidades acuíferas en la zona de estudio se han trazado una serie de planos, de isopacas y de cota de los techos de las unidades acuíferas Neógena, Cretácico, Lías Superior-Dogger (ver fig.2.3, 2.4, y 2.5). La escasez de datos relativa a la unidad del Lías Inferior impide realizar aproximación alguna.

Los planos se han realizado de la siguiente forma:

1. Se han utilizado las columnas litológicas del inventario de puntos acuíferos, una vez interpretadas.

2. Como comprobación se han chequedado los resultados obtenidos con las interpretaciones de una serie de sondeos geofísicos. Cfr. Fuster (1981 a y b) y Fuster (1987 a y b). Esta información no se ha utilizado para la elaboración de los planos, ya que la investigación geofísica proporciona una información aproximada de espesor y techo de las unidades. En el plano 1 se hallan situados los puntos de geofísica estudiados. Las descripciones de los mismos se pueden consultar en el anexo 2.

3. Se ha utilizado el programa SURFER para dibujar las isolíneas. Hay que tener en cuenta a la hora de interpretar que este programa utiliza los 10 datos conocidos más próximos para calcular aquellos puntos de la malla cuyos valores se desconocen. Las isolíneas, por tanto, en las zonas con escasez de datos pueden ser erróneas. En zonas con datos próximos y muy dispares, realiza un promedio de todos los datos.

4. El techo de la unidad acuífera Lías Superior-Dogger, se desconoce en el gran bloque hundido de la parte suroriental de la zona de estudio. Para que se reflejara de alguna forma la gran profundidad que en esta zona alcanza (ver fig.2.3), se le ha asignado una cota de 300 m en el sondeo 6/11, pese a que este sondeo no corta a la mencionada unidad.

Realizando una labor de síntesis con los mapas anteriormente mencionados, se ha realizado un bloque diagrama en el que se realiza una interpretación hipotética de la disposición de las unidades mesozoicas acuíferas dentro de la zona de estudio (ver fig. 2.6).

Obsérvese como las distintas unidades del Jurásico se encuentran fracturadas en diversos bloques. La presencia de bloques levantados y hundidos ocasiona una desconexión lateral de las unidades acuíferas. Las unidades del Cretácico, solo se encuentra presente en los bloque hundidos, o en los puntos deprimidos del zócalo jurásico.

1.- DOLOMÍAS (1) (LÍAS INFERIOR; JURÁSICO)

De la unidad carbonatada del Lías Inferior, se dispone de muy escasa información ya que hay pocos sondeos que la intercepten. Se ha podido detectar en la zona gracias a dos sondeos, 765/5/17, y 5/5, que la atraviesan. Con diversos estudio de geofísica, Fuster (1981, a y b) detecta esta unidad en la parte occidental de la zona de estudio. Como ya se ha mencionado en el apartado geológico, se carece de información suficiente, y no se pueden realizar demasiadas consideraciones sobre ella. Por tanto siempre que se trate mencione Unidad acuífera Jurásica, nos estaremos refiriendo a las calizas y dolomías del Lias Superior-Dogger, que se tratan a continuación.

2.- CALIZAS Y DOLOMÍAS (2) (LÍAS SUPERIOR y DOGGER; JURÁSICO):

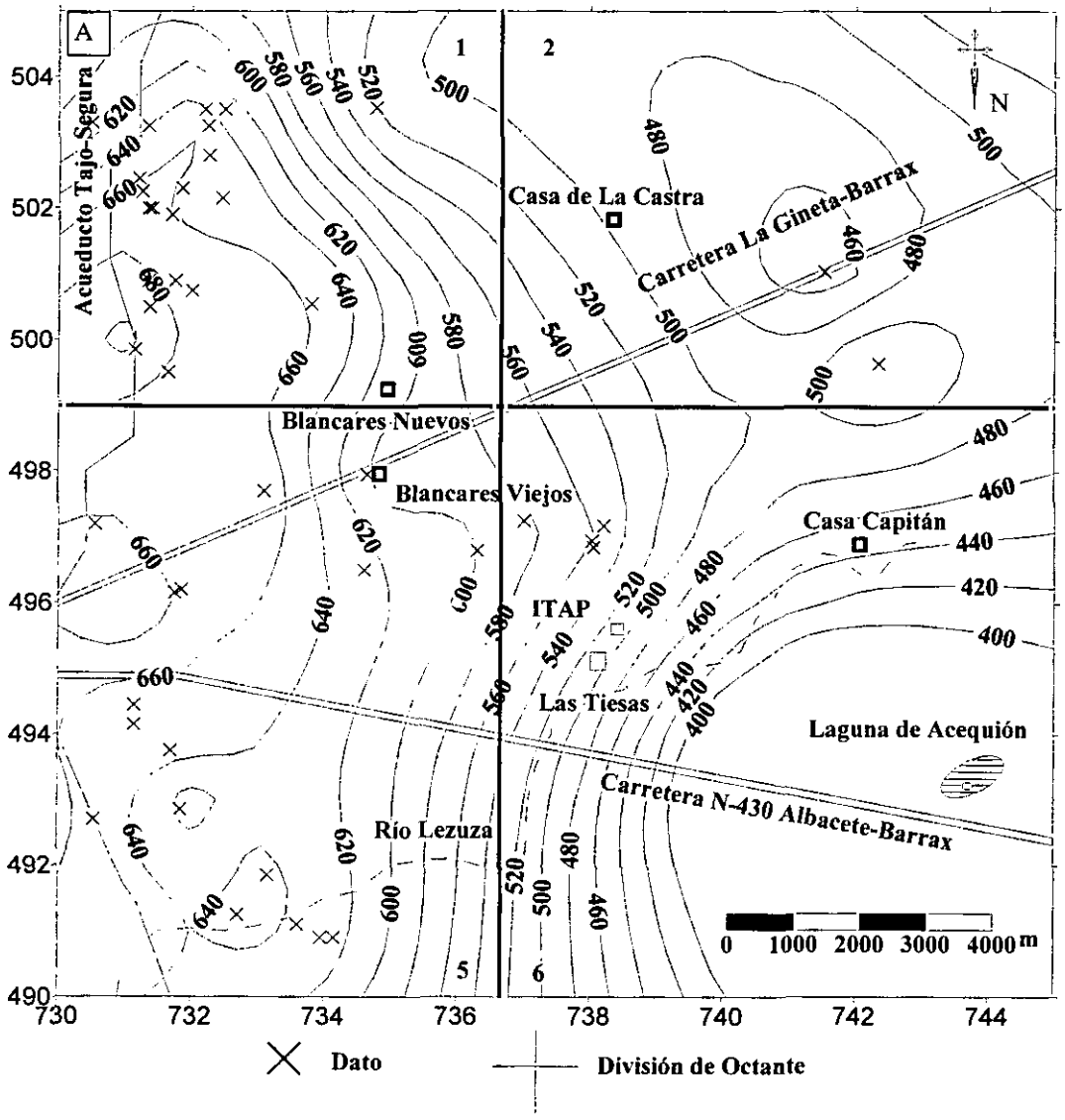
Los cambios de cota en el techo de esta unidad (ver fig 2.3 a) y los frecuentes cambios de espesores observados en las calizas del Lías Superior-Dogger, (ver fig 2.3 b), hacen suponer que la unidad se presenta fracturada en grandes bloques. Obsérvese en la fig 2.6, como en los bloques levantados, el espesor oscila alrededor de 30 m, mientras que en los bloques hundidos llega alcanzar casi 100 m de potencia.

Se encuentra impermeabilizada por margas del Lías Medio (1), en la base. El hecho de que unos bloques estén levantados y otros hundidos origina en algunos puntos una desconexión lateral de las calizas. Parece que puede ser relativamente frecuente, el que las margas del Lías medio constituyan una barrera también lateral que desconecte unos bloques de otros.

El techo de la unidad se encuentra en contacto con arcillas del conjunto Neógeno constituido por calizas lenticulares, arenas, gravas y arcillas (Unidad posiblemente equivalente a la Formación Calizas del Río Júcar,(5)).

Según Fuster (1989), comunicación personal, la unidad del Lías Superior no se encuentra en ningún momento en contacto con la unidad acuífera del Plioceno Inferior (5) suprayacente.

TECHO DE LA UNIDAD ACUÍFERA DEL LÍAS SUPERIOR-DOGGER (2)



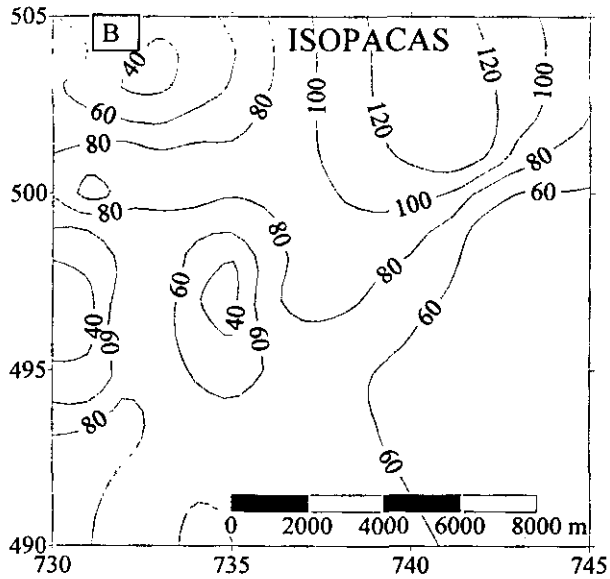


Fig. 2.3; Mapas de ***a)*** *isopacas y* ***b)*** *del techo de la unidad acuífera del Lias-Dogger (2).*

TECHO DE LA UNIDAD ACUÍFERA DEL CRETÁCICO (3 y 4)

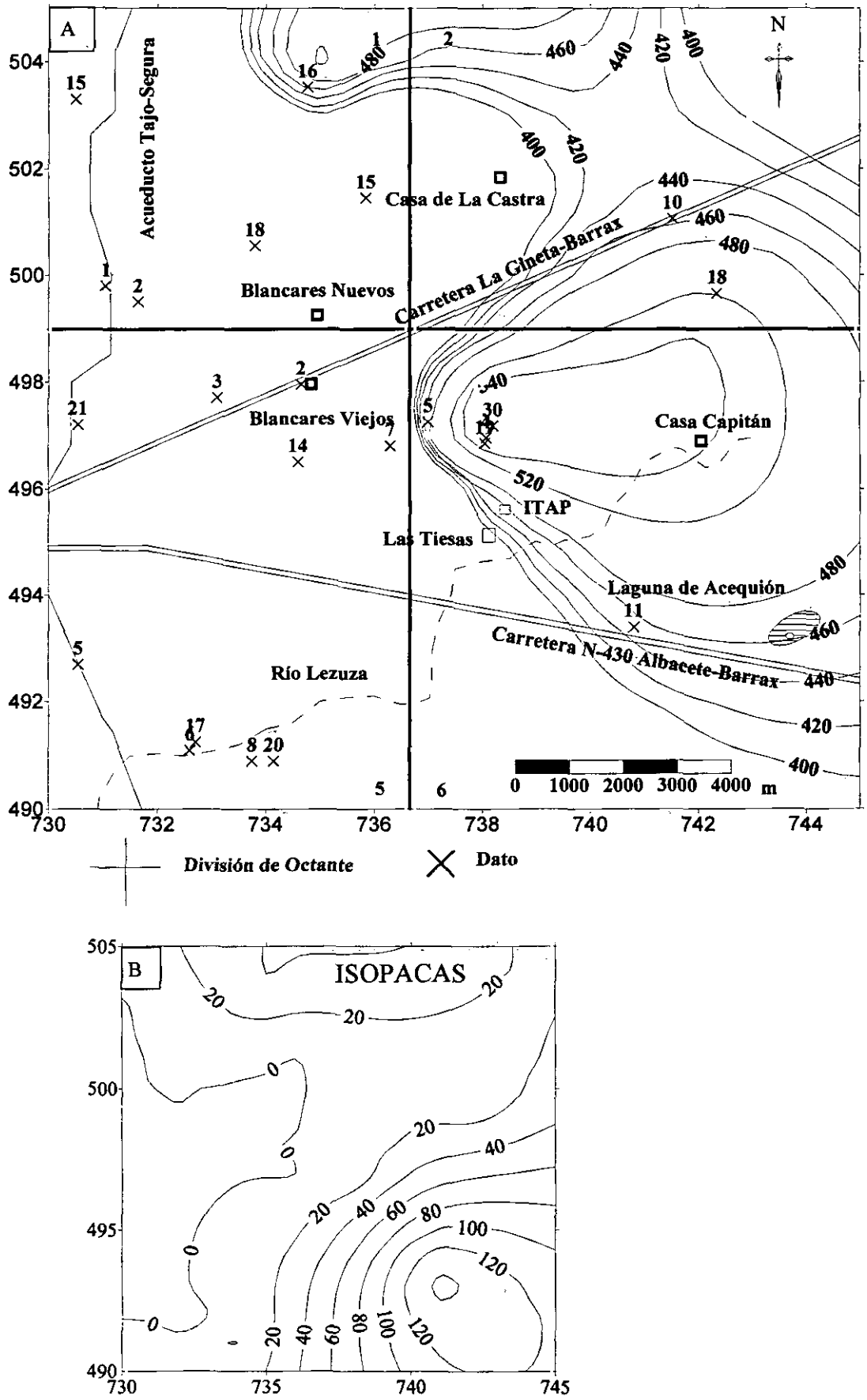


Fig.2.4: Mapas de a) isopacas y b) del techo de la unidad acuífera del Cretácico (3 y 4).

TECHO DE LA UNIDAD ACUÍFERA DEL PLIOCENO INFERIOR (5)

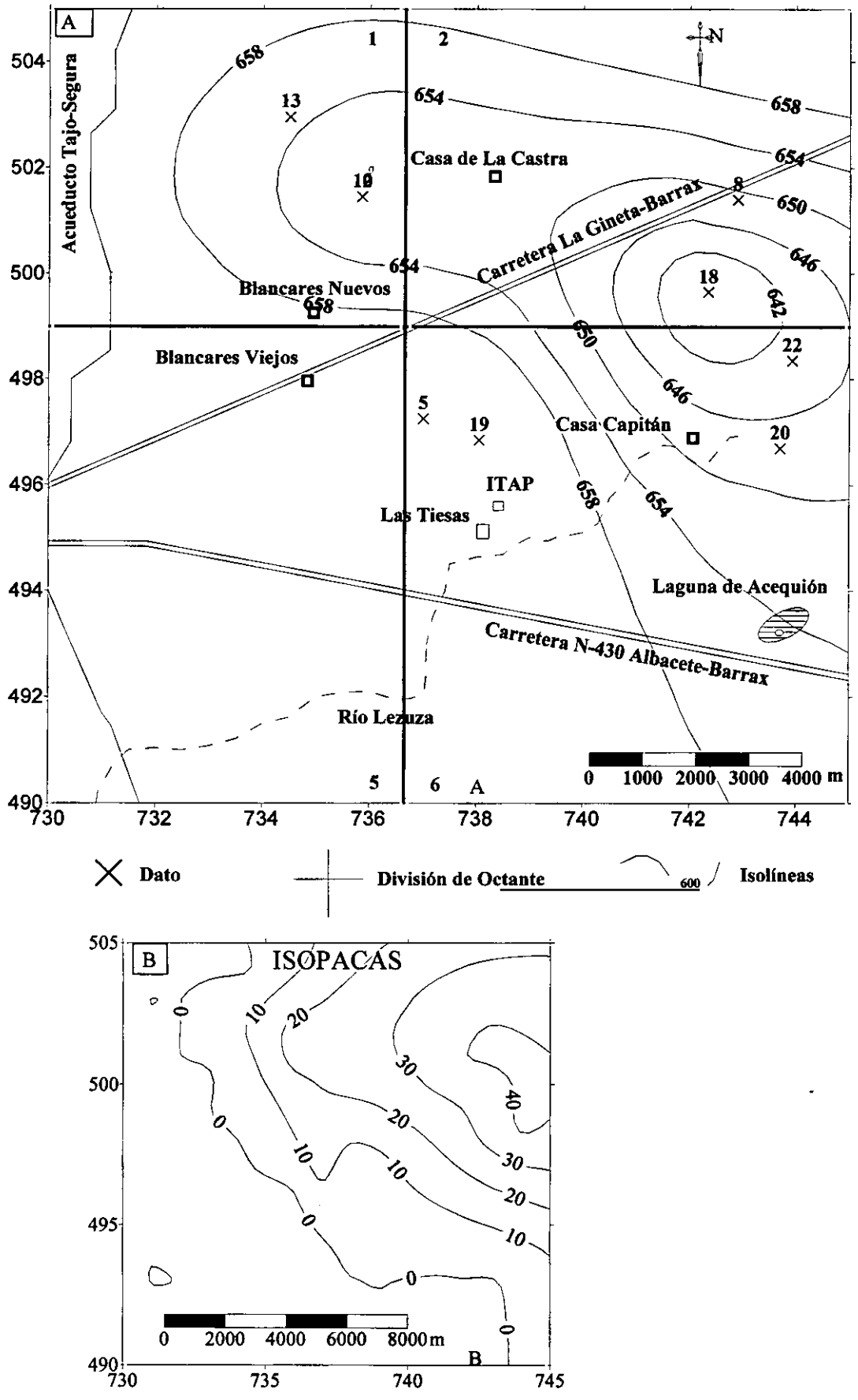


*Fig. 2.5; Mapas de **a)** isopacas y **b)** del techo de la unidad acuífera del Neógeno (Plioceno Inferior, 5).*

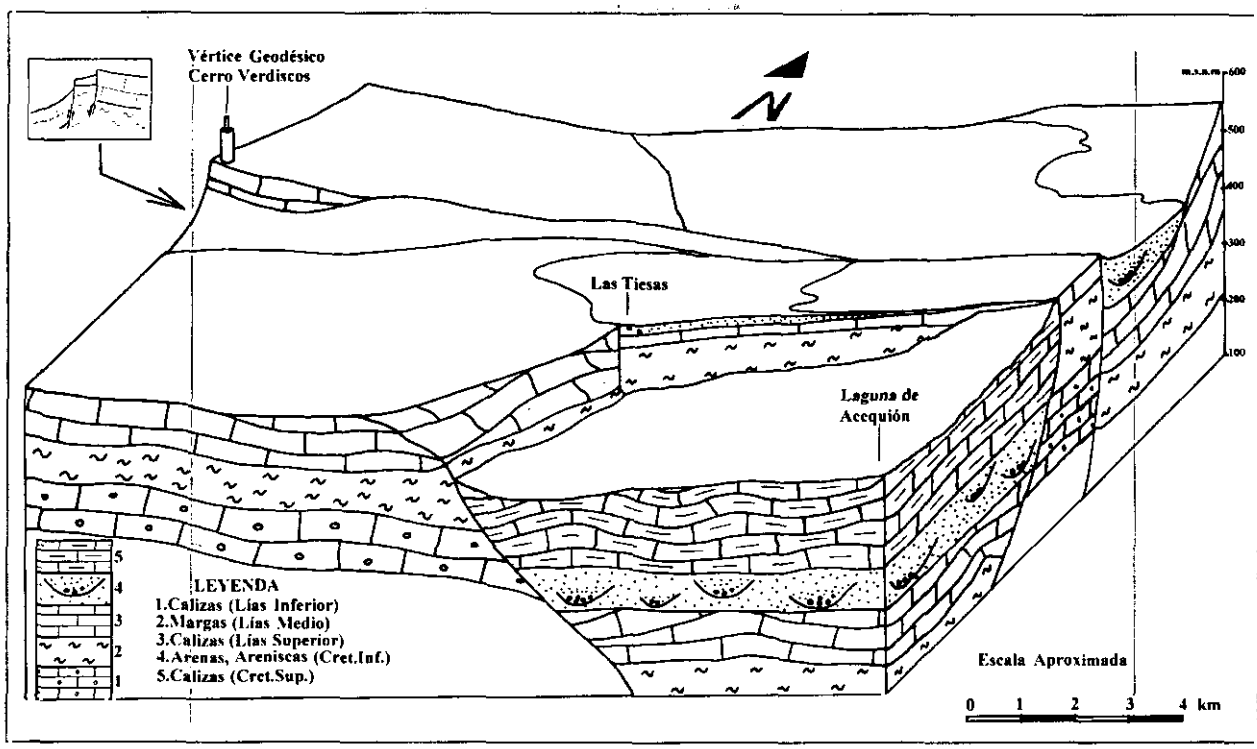


Fig.2.6: Geometría de las unidades acuíferas mesozoicas en la zona de estudio.

3.- ARENAS Y GRAVAS (3), CALIZAS Y DOLOMÍAS (4) (CRETÁCICO)

El cretácico aparece casi exclusivamente en el bloque hundido de una falla de gran entidad que fractura los materiales jurásicos en la parte suroriental de la zona de estudio. El mapa de isopacas del acuífero Cretácico (fig 2.4a) muestra como los máximos espesores se localizan precisamente en esta zona. Esta falla ya ha sido evidenciada por otros autores (cfr. Aracil y Vilas, 1987).

La cota del techo del Cretácico, como es lógico, también es muy variable (ver fig. 2.4 b); así pues, en el bloque hundido de la falla el Cretácico aparece a cota aproximada de 450 m.s.n.m., mientras que en los bloques levantados se encuentra casi 100 m por encima de este nivel.

En algunos puntos deprimidos del zócalo jurásico, aparecen también retazos de las arenas y gravas del Cretácico superior.

4.- CALIZAS (5) (NEOGENO-PLIOCENO INFERIOR)

Dentro de la unidad (5), "Calizas lenticulares, gravas, arenas y arcillas", equivalentes a la "Formación Calizas del Río Júcar", (ver perfil 2, en la fig 2.2) aparece un potente paquete de calizas.

En las figuras 2.5 a y 2.5 b se puede apreciar como la aparición de la unidad acuífera del neógeno se encuentra prácticamente restringida al cuadrante nororiental de la zona de estudio.

La unidad presenta frecuentes cambios laterales de facies a gravas y arenas dispuestos en lentejones, (que a su vez también van a veces acompañadas de lentejones calcáreos de menor entidad). Los cambios laterales son rápidos en el espacio y es muy normal encontrar sondeos relativamente próximos con litologías muy diferentes. Tal es el caso de los sondeos 765/1/11 y 765/1/10 separados apenas por unos km, mientras que la columna litológica del primero evidencia la aparición de arenas, arcillas y gravas, el segundo ha sido perforado en calizas.

Las calizas desaparecen gradualmente, y en el perfil geológico 1, de la fig. 2.2, aparecen una serie de lentejones presumiblemente conectados que no son sino las "estribaciones" de las mismas.

5.- NEOGENO SUPERFICIAL-PLIOCENO SUPERIOR (7) y (8)

En los tramos superiores e impermeables del Plioceno Superior, en la unidad Arcillas y Margas con lentejones calcáreos a techo (6) aparecen frecuentemente Lentejones Calcáreos (7) de escasa continuidad lateral. Estos lentejones suelen ser una alternancia de calizas con un espesor métrico y margas o arcillas.

En algunos lugares, (ver fig. 2.2), aparecen en lugar de estos lentejones calcáreos, gravas y arenas. Se corresponden con la unidad Arenas, Gravas y Carbonatos (8). Parece probable que puedan almacenar agua en

conexión con la unidad acuífera, (7), anteriormente mencionada.

A partir de los 40 ó 60 m de profundidad los lentejones se hacen menos frecuentes y son sustituidos por arcillas. Estos niveles acuíferos son alcanzados por pozos excavados que apenas profundizan 40 m.

Los materiales Cuaternarios de la zona quizás puedan constituir también unidades acuíferas conectadas o no con las unidades acuíferas del Neógeno.

La perforación de un sondeo con motivo de este estudio en una de las parcelas experimentales que se describen en el capítulo 6 (parcela BX8), ha puesto en evidencia que existen realmente algunos niveles colgados, originados por esta alternancia de lentejones más y menos permeables en las unidades del cuaternario y del Neógeno superficial (7) y (8). Los datos relativos a esta perforación se dan en los capítulos 6 y 7.

2.5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Los datos relativos a la **unidad acuífera del Lías Superior-Dogger** son escasos. Se han localizado datos de trasmisividad relativa a dos ensayos de bombeo realizado por el IGME con motivo del estudio Hidrogeológico Cazorla-Hellín-Yecla (cfr.IGME, 1979), en los sondeos 765/5/2 y 765/2/6 del inventario. La trasmisividad en el primer ensayo de bombeo fue de 4000 m^2/día, mientras que en el segundo estaba comprendida entre 380 y 570 m^2/día.

En el sondeo 765/5/17, enrejillado exclusivamente en el Lías Superior, se realizaron pruebas de permeabilidad. Según estos ensayos la permeabilidad se encuentra comprendida entre 9.9 y 23.5 m/día.

Según Fuster (1991) comunicación personal, los sondeos realizados en estas calizas durante el período 1981-1984 han dado normalmente trasmisividades comprendidas entre 900-2400 m^2/día.

Respecto la **unidad acuífera del Cretácico**, se dispone de información relativa a un ensayo de bombeo realizado concretamente en el sondeo 765/6/11. Según los resultados del ensayo la trasmisividad se encuentra comprendida entre 2640 y 7608 m^2/día, (cfr. IGME, 1979, anexo n.II, p.239).

No se han encontrado datos relativos a ensayos de bombeo en sondeos que atraviesan la unidad acuífera del **Plioceno Inferior** (5). La Trasmisividad general de esta unidad es baja, y oscila entre 100 y 500 m^2/día, según SGOP (1988). Sin embargo Fuster (1991), comunicación personal, afirma haber ensayado sondeos en la zona con trasmisividades del orden de 10000 m^2/día en las proximidades de Barrax.

2.6. COMENTARIOS SOBRE EL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se han inventariado un total de 84 puntos de agua, entre sondeos y pozos excavados. En el anexo 2, se puede consultar un resumen del inventario de puntos de agua realizado, así como las fichas del mismo.

La **zona del estudio** comprende los octantes 1,2,5 y 6 de la hoja "La Gineta" (765) Escala 1:50.000. La situación de los puntos de agua se presenta en un plano reducido de escala (ver plano 1) que comprende las hojas de "Hoya del Pozo" (765-I) y "Casa Capitán" (765-III) del IGN de escala 1:25.000.

La información relativa a **columnas litológicas** y detalles de la perforación han sido tomados en su mayor parte de la base de puntos de agua del Instituto Tecnológico y Geominero de España (ITGE), de diferentes trabajos realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP), y de la Diputación de Albacete, que amablemente ha proporcionado los partes de los sondeos de la Finca de Las Tiesas (ITAP), incluida en el área de trabajo. La mayor parte de pozos y sondeos han sido visitados y medidos, pero como ya se ha dicho, no ha sido posible medir el nivel piezométrico en algunos de ellos.

En cuanto a las columnas litológicas que se presentan en las fichas hay que señalar que han sido tomadas en su mayor parte del ITGE. Las interpretaciones litológicas realizadas en la propia columna se deben al geólogo que la describió. No obstante, las interpretaciones que se dan de cada sondeo en la ficha en la parte superior trasera corresponden a interpretaciones personales.

1.- Sondeos perforados

Aunque la posición de las rejillas no está clara en todos los sondeos, por la información proporcionada por los habitantes de la zona, se sabe que la mayor parte de los sondeos se encuentran sin revestir en los tramos acuíferos. Hay numerosos puntos del inventario de los que se conoce la posición de la tubería ciega, (ver p.e. 765/1/2,13,16, etc, por mencionar algunos). Se ha supuesto que los tramos en los que no se indica nada en la ficha de inventario, corresponden a tramos sin revestir. De acuerdo con este criterio se ha podido deducir de que tramos toman los distintos sondeos sus aguas. La litología también ha ayudado a ello; p.e., se desconocen los tramos enrejillados del sondeo 765/1/1, pero observando la columna, se puede deducir que la unidad acuífera que atraviesa es el Jurásico calcáreo, unidad Lías superior-Dogger, (2).

De algunos sondeos no se conoce, ni su columna litológica ni los tramos enrejillados o en su defecto sin entubar; por sondeos vecinos se puede interpretar la unidad acuífera que captan. Por ejemplo, 765/5/18 y 5/19, no disponen de columna litológica, no obstante su proximidad a sondeos que atraviesan la unidad acuífera del Jurásico (2), (765/5/8 y 5/15), hacen suponer que ambos sondeos atraviesan también esta unidad.

En general las **profundidades** de los sondeos se encuentran comprendidas entre 100 y 230 m. Aunque hay alguno, como el 765/6/11, que alcanza los 347 m, o como el 2/10 que llega a los 407 m. En su totalidad se encuentran dedicados al regadío, pero hay un cierto

número que son piezómetros del SGOP, realizados en su mayoría para controlar niveles en la traza del Acueducto Tajo-Segura. p.e. 765/1/1, 5/4 y 17, 6/12. Otros se realizaron exclusivamente con fines de investigación y con motivo de un amplio estudio hidrogeológico realizado por el ITGE en la zona (cfr. IGME, 1979), tales son el 765/5/3 y 765/6/11.

El sondeo 765/6/12 incluye dos tubos piezométricos. Los niveles piezométricos en uno de los tubos han sido medidos repetidas veces (tubería de PVC) y casi siempre se ha obtenido la misma medida; es más, estas medidas coinciden con la efectuada por el ITGE en el año 1979. En Octubre de 1994 se instaló un transductor de presión en el tubo más profundo (tubería de hierro). Los resultados pueden en la figura 2.22.

Los sondeos 765/1/11, 6/9, 6/10, y 6/21, posiblemente se encuentren sin revestir, ya que presentan niveles demasiado altos comparados con los sondeos vecinos, y demasiado bajos si se los compara con los pozos excavados circundantes. Parece probable que corten distintas superficies equipotenciales, marcando un nivel medio para todas ellas. De hecho, se oye agua en cascada en alguno de ellos, como sucede con el 765/6/9.

El sondeo 765/6/23 presenta tubería rajada en toda su longitud, por lo que los niveles en él medidos deben ser mirados con precaución.

En cuanto a los **caudales** que proporcionan tanto los sondeos enrejillados en las calizas Neógenas (5) como los que atraviesan el Jurásico presentan unos caudales específicos comprendidos entre 2 y 100 l/s/m de descenso. En general los sondeos que toman agua de las calizas Jurásicas (2) presentan casi siempre buenos caudales, por el contrario no siempre los sondeos que atraviesan calizas Neógenas son productivos.

Se han localizado sondeos que atraviesa la unidad acuífera neógena del Plioceno Inferior, (5), que no se utilizan por sus bajos rendimientos, y se encuentran clausurados. No aparecen en el inventario al haberse encontrado completamente sellados y no se pudieron medir, ni obtener información. Este tipo de sondeos son más frecuentes en la parte oriental de la zona de estudio.

2.- Pozos Excavados:

Los pozos artesanales captan sus aguas de las unidades superficiales del Neógeno (7) y (8) en la mayor parte de los casos. Hay algunos que también lo hacen de las unidad calcárea del Neógeno (5), en la parte noroccidental de la zona de estudio (p.e. 765/1/4 con 65 m de profundidad).

Las profundidades de los pozos excavados suelen ser bastante elevadas en la parte noroccidental del área de trabajo, (unos 40 m, con un máximo de 65 m.), disminuyendo sus profundidades en el resto de la zona. Las profundidades mínimas se localizan en las vecindades del Río Lezuza y de la laguna del Acequión con profundidades de 10, 15 y hasta 6 m.

Los **caudales de los pozos excavados** son en general muy pequeños, entre 2 y 3 l/s. Se dedican al abastecimiento ganadero, aunque la mayor parte de ellos se encuentran abandonados, y muchos secos (765/2/1, 6/27,31 por poner algún ejemplo). Continúan utilizándose algunos como los siete de la Aldea de Casa Capitán (765/6/2,13,17..etc) y por la información proporcionada por sus habitantes se sabe que:

-Los niveles suben cuando llueve.

-Se agotan tras un bombeo prolongado y se recuperan.

-Unos afectan a los otros al extraer agua.

El dueño del pozo 765/6/3, también en uso, en La Casa del Matao corroboraba estos datos.

Merece la pena comentar, que hay sondeos cuyos niveles en la década de los 70 se presentaban muy por debajo de los sondeos vecinos. Tal es el caso de los sondeos 765/1/10 y 12, ubicados casi en el mismo punto. Mientras que el primero presenta sus niveles a cota aproximada de 660, el segundo a 650 m.s.n.m. Estos dos sondeos parecen estar enrejillados en las calizas del Neógeno (5), y sus profundidades son semejantes.

El sondeo 765/6/11 que alcanza Cretácico, Calizas (4), Arenas y Areniscas (3), y que no se explota, presentaba nivel piezométrico a una cota aproximada de 650 m.s.n.m. en el año 1974, considerablemente inferior a los niveles existentes en aquella época 660 m.s.n.m. Por el contrario la medida del año 1990 es semejante a la de los sondeos vecinos.

Este sondeo dispone de registro piezométrico y por eso se ha podido comprobar que la medida del año 1974 no responde a un suceso aislado, sino que se repite con alguna variación a lo largo de los meses.

2.7 PIEZOMETRÍA Y LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA

El sistema está constituido por tres grandes unidades acuíferas que se superponen -Unidad Jurásica, Lías Superior-Dogger (2), Unidad Cretácica (2) y (3), Unidad Calcárea del Plioceno Inferior (5)- y algunas unidades acuíferas locales Neógenas y Cuaternarias. Las relaciones espaciales de las Unidades Mesozoicas se ha sintetizado en la figura 2.6. Las unidades cretácica y jurásica entran en contacto por medio de fallas que fracturan el basamento. La unidad calcárea del Neógeno (5), no entra en contacto en ningún momento con las unidades mesozoicas y se encuentra separada de las mismas por un paquete arcilloso también neógeno y de potencia variable. (ver perfiles geológicos de la figura 2.2).

En conjunto parece que existen **dos niveles diferentes**, aspecto que parece manifiesto en el perfil hidrogeológico realizado (ver fig.2.7). Uno tan sólo marcado por pozos con profundidad menor de unos 40 m. Otro inferior, evidenciado por los sondeos profundos.

Es muy previsible que el nivel superior corresponda al límite superior de la zona saturada, marcado por pozos que apenas penetran un par de metros en el acuífero. Parece que los pozos excavados atraviesan unidades acuíferas muy superficiales y aisladas de las grandes unidades acuíferas por unidades muy arcillosas. La existencia de niveles diferentes en el acuífero parece venir precisamente justificada por esta alternancia de unidades de distinta permeabilidad. Parece razonable el suponer que las zonas menos permeables presenten gradientes muy fuertes, lo que supone variaciones piezométricas también grandes. Las zonas más permeables, presentaran gradientes pequeños y por tanto piezometría menos variable. No parece necesario recurrir a la existencia de dos acuíferos para explicar la existencia de dos niveles tan marcadamente diferentes.

No obstante, hay que reconocer que se han encontrado evidencias de la existencia de algún acuífero colgado (ver fig.4.1).

2.7.1 PERFILES HIDROGEOLÓGICOS

Con objeto de proponer un modelo conceptual para esta zona se ha trazado un perfil hidrogeológico aproximadamente perpendicular a las líneas de flujo en estado de escasa alteración, esto es S-N (ver fig.2.7). Se han representado las medidas correspondientes a la década de los años 70 y las medidas actuales.

En este perfil se ha representado el límite superior de la zona saturada, marcada como ya se ha dicho por pozos excavados, y se han representado los niveles piezométricos en sondeos:

- Se observa como el límite superior de la zona saturada se encuentra más elevado en las inmediaciones de la laguna de Acequión. La intersección de dicho límite con la superficie topográfica ocasiona la formación de esta laguna.
- No se observan claras diferencias de niveles entre sondeos que atraviesan la unidad neógena (5) y la jurásica (2). Sin embargo sólo hay tres sondeos que atraviesan la unidad jurásica (2) en esta sección, de los cuales uno está enrejillado también en la unidad neógena (5). Los otros dos (765/2/6 y 765/6/18) presentan niveles superiores a los sondeos vecinos enrejillados en el neógeno (5).
- En conjunto los niveles en los sondeos meridionales son superiores a los niveles en los sondeo septentrionales, evidenciando flujo S-N

2.7.2 LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA

Considerando que los pozos excavados marcan el límite superior de la zona saturada, se elaboraron dos planos de isolíneas. Uno correspondiente a la década de los años 70, en los que el acuífero se encontraba en estado de escasa afección y otro correspondiente a la actualidad (ver fig.2.8 y 2.9), así como unos planos de isodescensos y isoespesores de zona no saturada en la actualidad.

Conviene realizar una serie de consideraciones sobre la realización de los planos, antes de analizar los resultados:

- Los datos tienen dos orígenes diferentes; por un lado los históricos recogidos en la base de puntos de agua del ITGE, y por otro lado las medidas de niveles efectuadas en el campo.
- la explotación intensa de este acuífero comenzó a principio de la década de los 80, por lo que los datos anteriores se considerarán como pertenecientes a un estado del acuífero casi en régimen natural.
- No todos los datos utilizados para cada uno de los planos, pertenecen a las mismas fechas. Para los plano en régimen natural las fechas utilizadas rondan en torno a los años 70. Para los planos actuales las fechas rondan en torno al año 1992.
- Se ha considerado que sólo la medida piezométrica en los pozos excavados marcan la posición del límite superior de la zona saturada. Al tener escasa profundidad y penetrar sólo algunos metros en la zona saturada, no existe apenas diferencia entre la medida piezométrica de dichos pozos y el límite superior de la superficie freática.
- Se han empleado sólo los datos correspondientes a pozos excavados de hasta 40 m. Se ha observado como los pozos excavados mayores de tal profundidad marcan el nivel del acuífero profundo, mostrando niveles hasta 10 m por debajo del resto de los pozos excavados. Comparar en el resumen del inventario, Anexo 1, los niveles en los pozos 765/1/4 y 7 de más de 40 m, con los medidos en los pozos cercanos 765/1/6 y 8. Obsérvese como mientras la cota del agua en los dos primeros ronda los 660 m.s.n.m., en los dos segundos se aproxima a los 670 m.s.n.m..
- Los niveles en los sondeos 769/6/9, 6/10 y 6/23 de gran profundidad marcan niveles posiblemente intermedios entre las unidades acuíferas superficiales y profundas.
- El sondeo 765/5/18 se perforó sobre un pozo excavado, por lo que se empleó para realizar el plano de límite superior de la zona saturada en la década de los 70, y para el plano de piezometría en la actualidad.
- Para la realización del plano de isoespesores de zona no saturada (fig.2.10) se han empleado los datos procedentes de sondeos enrejillados en toda su longitud tales como 765/6/9, 765/6/10, ó 765/6/23.
- Para realizar el plano de isodescensos (fig.2.11), se han utilizado pozos que en 1970 tenía agua y hoy en día se encuentran secos. Como dato se ha utilizado la cota del la base del pozo, pe. el 765/6/34, la base se encuentra a 683 m, por lo que el agua se ha situado a 683 m.s.n.m.

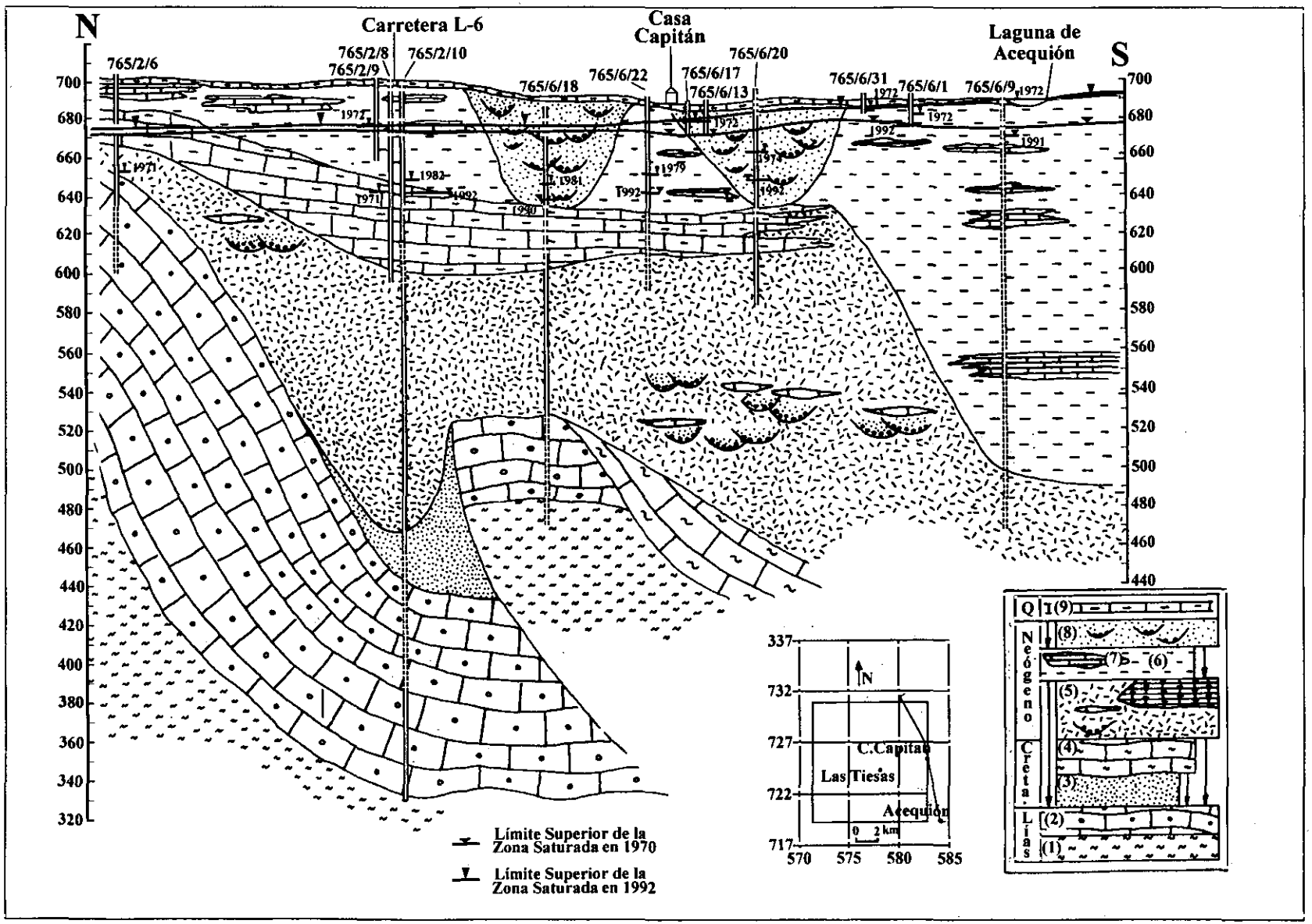


Fig. 2.7; *Perfil Hidrogeológico N-S. Se indican las medidas piezométricas efectuadas en cada pozo ó sondeo, así como la posición del límite superior de la zona saturada. La numeración de la columna coincide con la descripción de las unidades descritas en el apartado 2.4.*

LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA DÉCADA DE LOS AÑOS 70

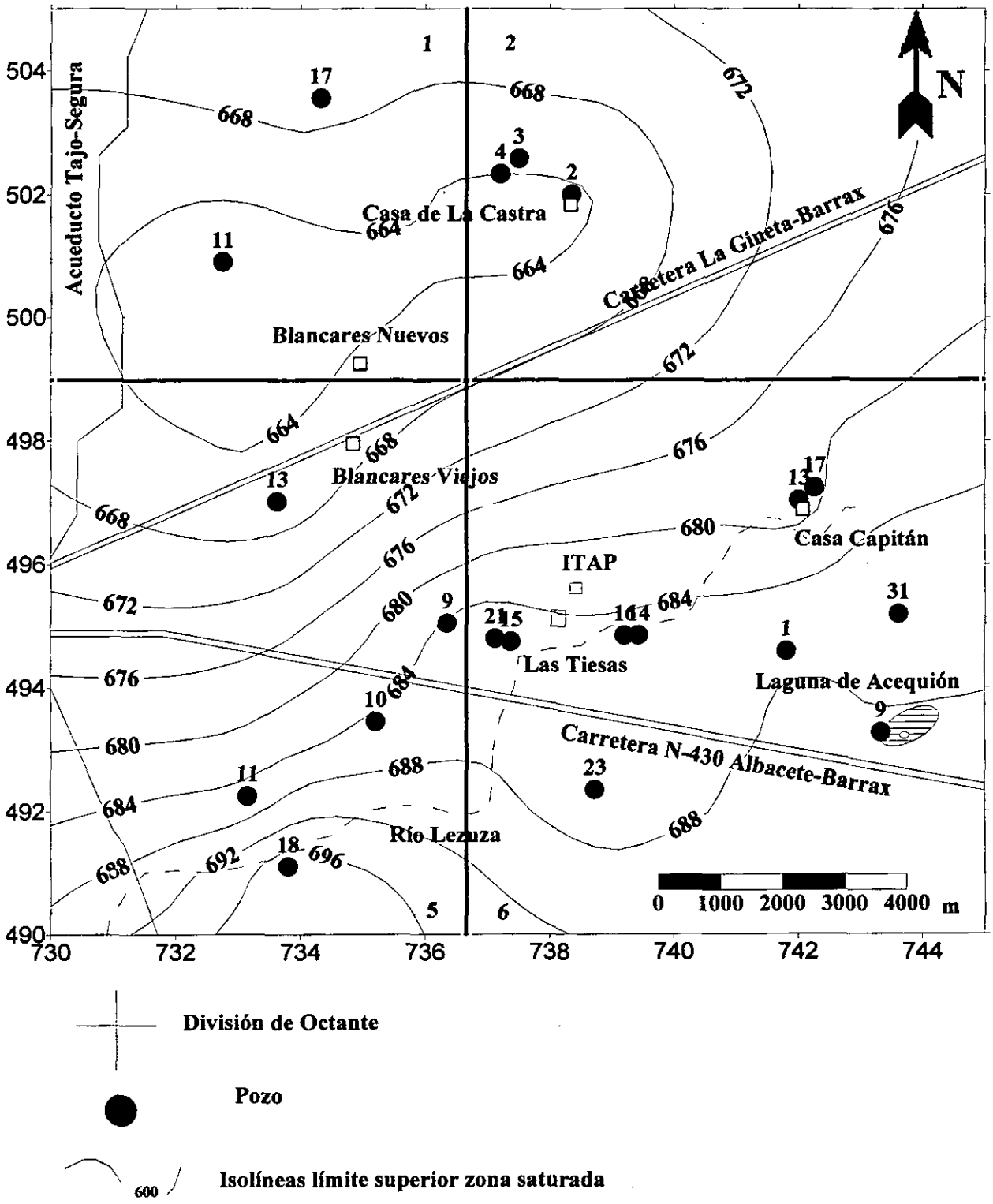


Fig.2.8; Límite superior de la zona saturada en la década de los años 70.

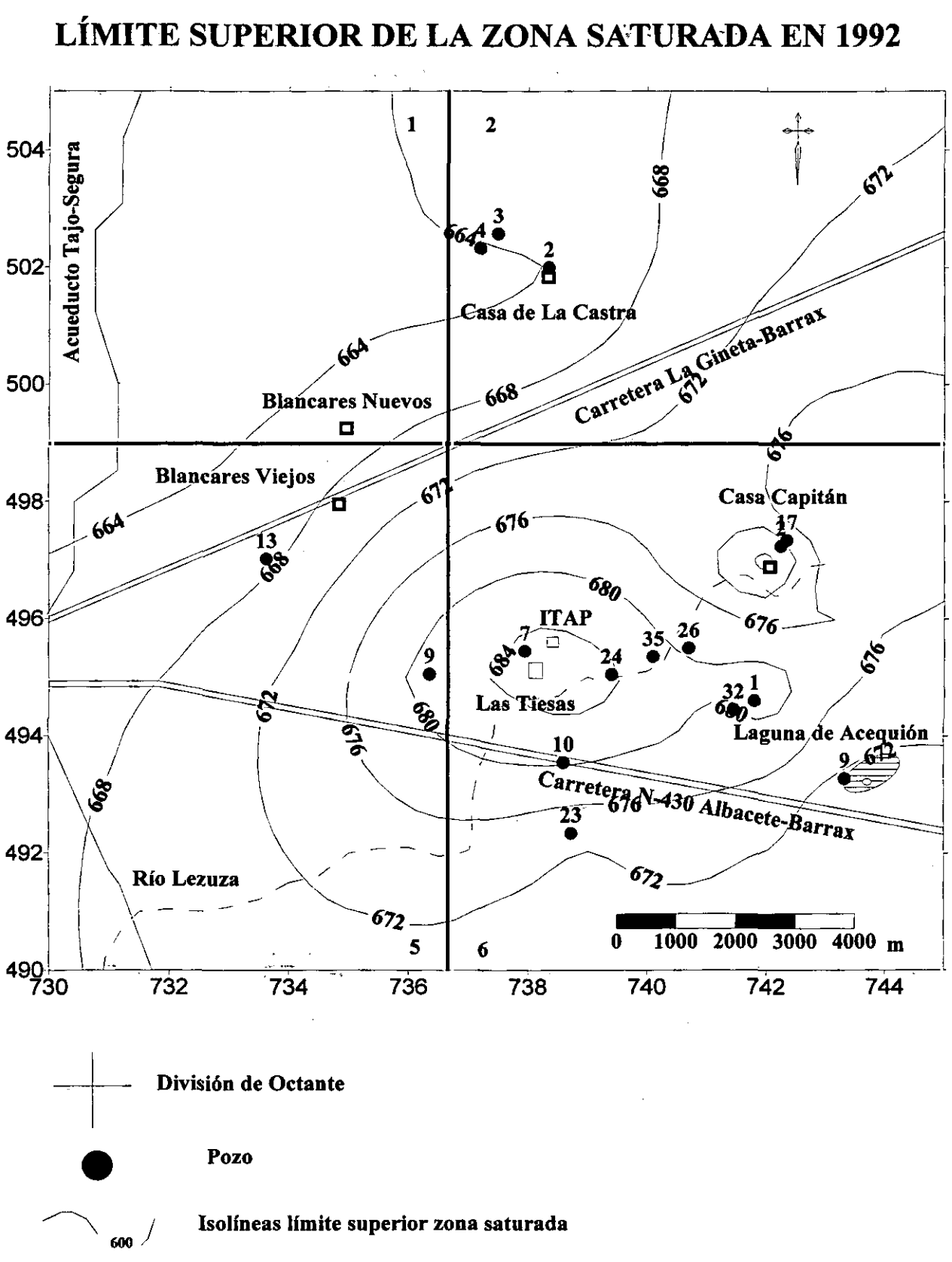


Fig.2.9; Límite superior de la zona saturada en la década de los años 90.

ISOESPESORES DE ZONA NO SATURADA

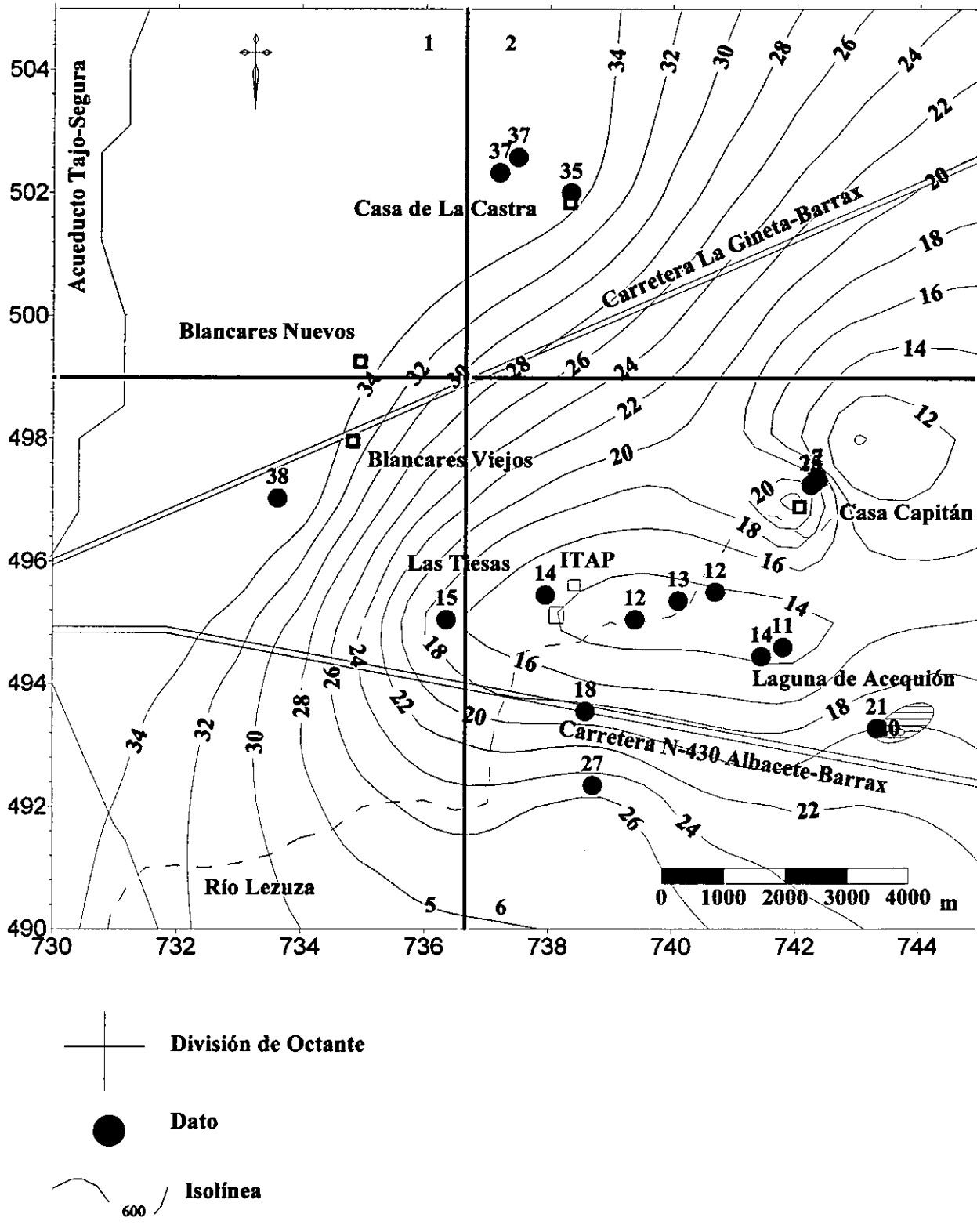


Fig.2.10; Isoespesores de la zona no saturada de la zona saturada a principios de los años de los años 90.

ISODESCENSOS DESDE 1970 HASTA 1992 DEL LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA

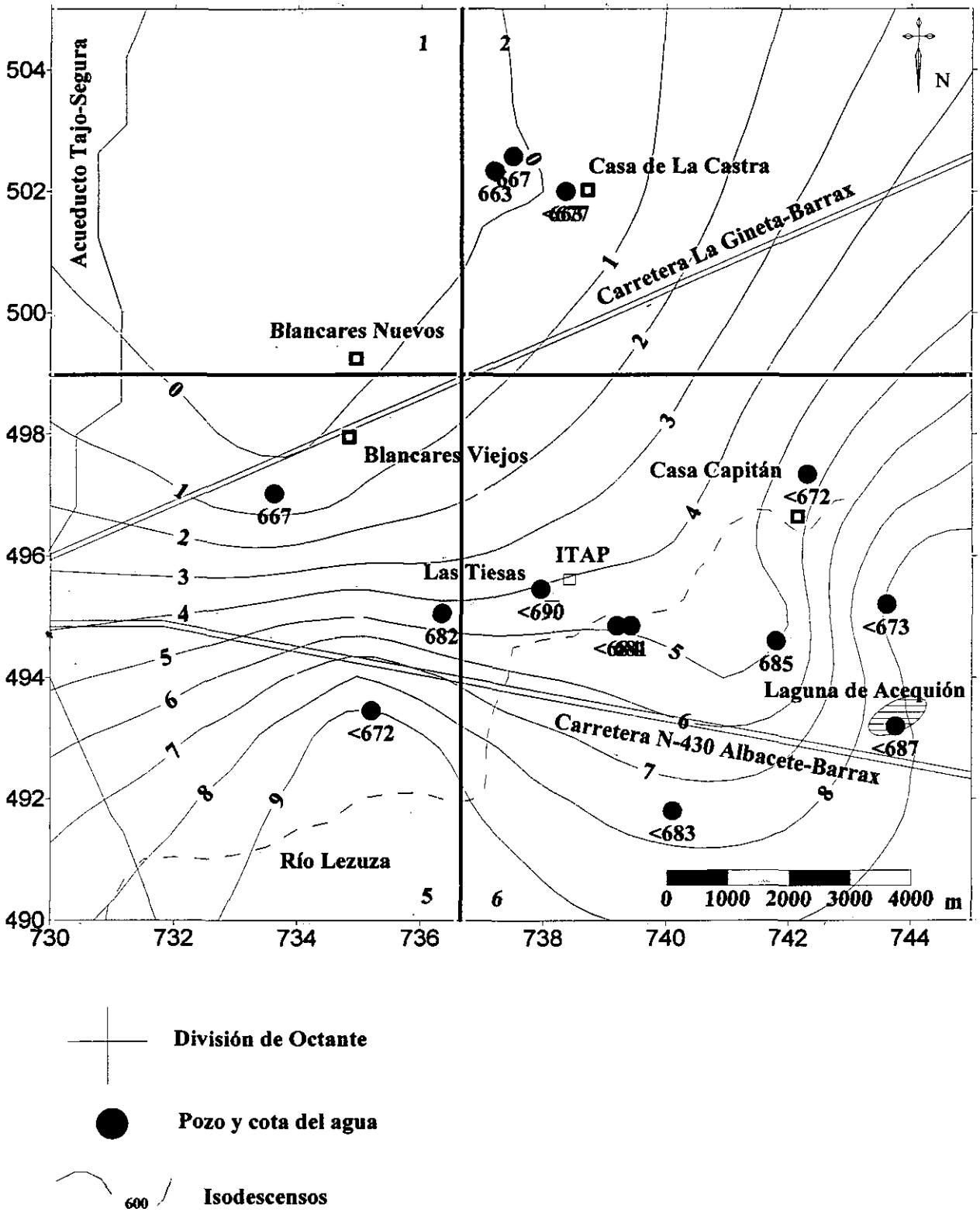


Fig.2.11; Isodescensos del límite superior de la zona saturada desde 1970 hasta principios de la década de los años 90.

1. En estado de escasa alteración:

El límite superior de la zona saturada se encontraba muy próximo a la superficie del terreno (fig.2.8) (como se puede apreciar en los dos perfiles hidrogeológicos realizados) en las inmediaciones del Río Lezuza y previsiblemente en parte debido a su completa infiltración. La mayor parte de los pozos excavados se localizan en las inmediaciones de este río. Esto se puede observar muy bien en el plano de la fig.2.8.

En la zona NE de la zona de estudio el límite superior se encontraba a gran profundidad. Obsérvese como los pozos de «la Casa de La Castra» presentan sus niveles a cotas próximas a los 660 m.s.n.m., mientras que en torno al Lezuza los niveles se aproximan a los 680.

Parece posible que al menos una parte de la zona encharcable de los alrededores de Albacete, (ver fig.1.4) debiera su existencia a las pérdidas de agua que sufría el Lezuza hasta su total infiltración en las inmediaciones de la Casa Capitán. Provocaba una elevación del límite superior de la zona saturada, hasta tal punto que a veces se encontraban por encima de la superficie topográfica, con la consiguiente formación de la Laguna de Acequión.

Se observa una depresión de la superficie freática en torno a las fincas de Los Blancares y de la Casa de La Castra, lo que nos hace suponer que se estaba explotando ya con alguna intensidad el acuífero mediante pozos excavados. Justifica esto de alguna forma la existencia de gradientes del 3% entre Las Tiesas y a Casa de la Castra.

2. En la actualidad

El límite superior de la zona saturada en la actualidad ha descendido en casi toda la zona, ver fig.2.9. Los niveles se siguen manteniendo especialmente altos en torno al río Lezuza. Se puede apreciar un cono de bombeo en torno a Casa Capitán.

Se presenta en la fig.2.10 un plano de isoespesores de la zona no saturada en la actualidad. En la figura 2.11 se presenta un plano de isodescensos con respecto a los años 70. En estas figuras se observa como la superficie freática ha descendido casi más de 10 m en algunos puntos, y como se encuentran a más de 15 m de la superficie del terreno. Los máximos descensos se han observado en torno al río Lezuza, pudiéndose apreciar como paradójicamente los puntos en los que en 1970 la zona no saturada se encontraba más baja apenas han acusado descenso alguno. No obstante el pozo 765/2/1 de La Casa de la Castra de 27 m, se encuentra seco, lo que implica que también en esta zona se han acusado descensos. El pozo 765/2/2, muy próximo a 765/2/1 apenas ha experimentado descenso alguno de 1972. Parece posible que la medida efectuada en 1972 en el pozo vecino (765/2/1), situado a apenas unos metros, se encontrara influenciada por la explotación que entonces hacían en el mismo.

En cuanto a los espesores de la zona no saturada en la parte suroriental de la zona, se toman con algunas reservas, ya que la carencia de datos nos ha llevado a utilizar la medida de nivel de algunos sondeos sin entubar existentes en la zona. Merece la pena señalar que en torno a la Laguna de Acequión hay tres pozos completamente secos, no incluidos en el inventario. En torno al río Lezuza se han localizado al menos 6 pozos secos (765/6/25, 27, 29, 31, 34, 35).

En el año 1993 se perforó un sondeo manual en el fondo de la laguna hasta unos 220 cm de profundidad. Se encontró un nivel mantenido de agua a unos 200 cm. Los materiales considerablemente impermeables del fondo de la laguna pueden haber motivado la formación de un nivel colgado en la actualidad.

El Río Lezuza hace casi 15 años que está seco en la zona de estudio, pese a ello se sigue apreciando un domo en la superficie piezométrica. Los niveles acusadamente elevados en torno a la zona podrían tener su origen en la infiltración de otro río, muy próximo a la zona de estudio que en la actualidad sigue llevando caudal: "Río Jardín".

2.7.3 PIEZOMETRÍA

2.7.3.1 PIEZOMETRÍA GENERAL DEL ACUÍFERO

Para proceder al análisis de la piezometría de la zona, se consultaron una serie de planos generales de piezometría realizados por el SGOP y el ITGE para el acuífero de Albacete. Cfr.IGME (1982, y 1985), ver fig.2.12, 2.13 y SGOP (1988), ver fig. 2.14, se presentan una secciones de dichos planos focalizados en la zona de estudio.

Se presenta en las figuras 2.12, 2.13, y 2.14 la piezometría del acuífero profundo en los años 1982, 85 y 88. Se puede apreciar en el plano de isopiezas de la fig.2.12, correspondiente al año 1982, como el flujo general se dirige hacia el río Júcar. Se observa también, como la infiltración de los ríos Jardín y Mirón distorsiona la forma de las isopiezas (típicas de un río influyente), al infiltrarse en la Llanura Manchega. Por el contrario las acequias de drenaje (Canal de la Lobera p.e.) realizadas en las inmediaciones, reciben aportes del acuífero. En los planos de isopiezas correspondiente a los años 1985 y 1988, (fig. 2.13 y 2.14 respectivamente), se puede apreciar de una forma clara la influencia de los bombeos que deforman las isopiezas. Así pues, en las inmediaciones del Río Jardín y en torno a la ciudad de Albacete (principalmente en la fig.2.14), puede observarse como el flujo subterráneo ya no se dirige al Júcar sino a los pozos de bombeo.

3.- Las principales direcciones de flujo que interesan nuestra zona de trabajo son dos: una W-E y otra S-N, siempre hacia el Júcar.

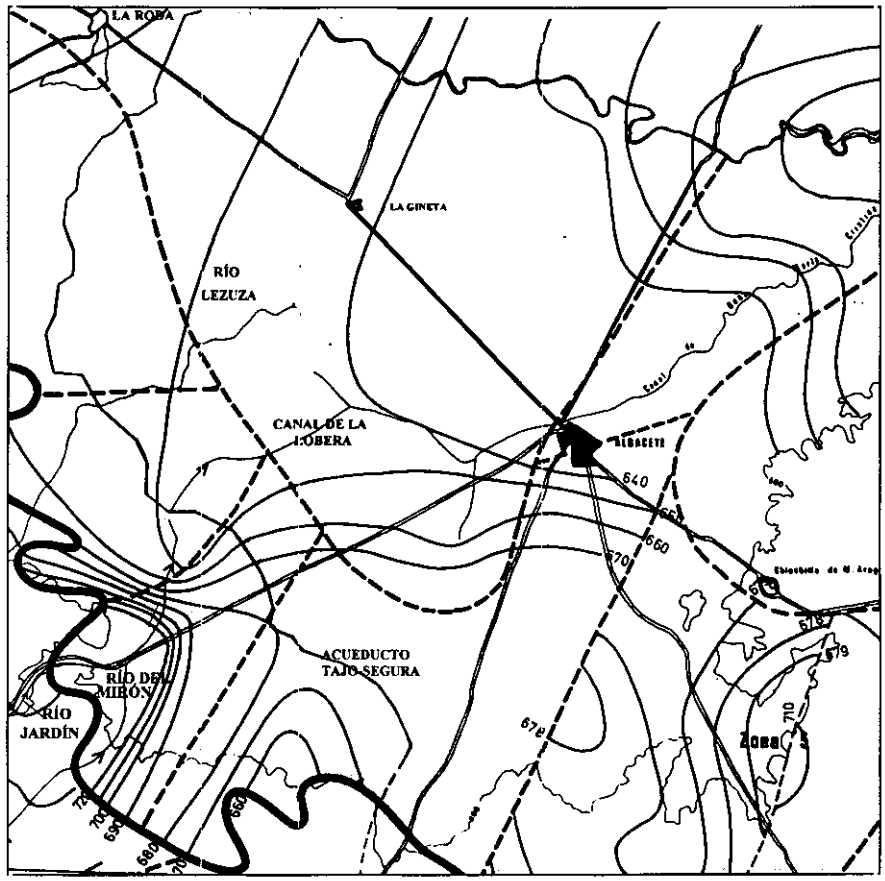


Fig.2.12; Isopiezas generales del acuífero de Albacete para el año 1982. Según IGME (1982).

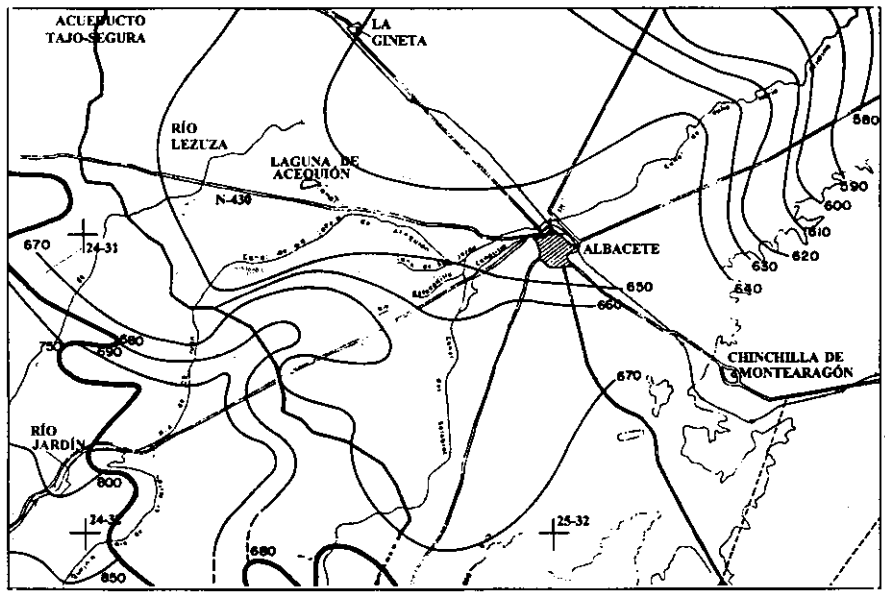


Fig.2.13; Isopiezas generales del acuífero de Albacete para el año 1985. Según IGME (1985).

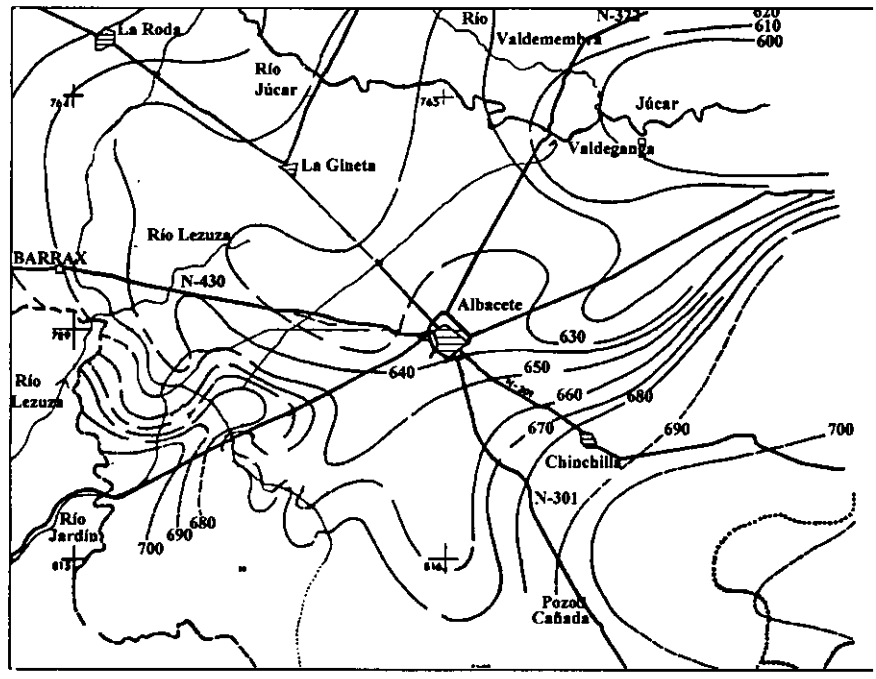


Fig 2.14; Isopiezas generales del acuífero de Albacete para el año 1988. Según SGOP (1988).

2.7.3.2 PIEZOMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para investigar las modificaciones sufridas en las unidades profundas del acuífero dentro de la zona de estudio se han realizado una serie de planos de isopiezas (ver fig.2.15 a 2.17). Se ha elaborado también un perfil hidrogeológico para estudiar la principales direcciones de flujo, fig.2.7.

Antes de proseguir es necesario añadir algunas consideraciones relativas a la elaboración de los planos, además de las ya realizadas en el apartado anterior.

- Se han utilizado datos procedentes exclusivamente de sondeos perforados.
- No todos los sondeos presentan las rejillas abiertas a la misma profundidad.
- No se han utilizado los que se encontraban enrejillados en toda su longitud, o bien se encontraban sin entubar tales como 765/6/20 etc. Tampoco se han utilizado sondeos con datos anómalos tal como, 765/6/19, ya que el nivel medido en la actualidad es exactamente el mismo que hace 20 años, lo que hace suponer un colapso del sondeo.

1. Los niveles piezométricos en estado de escasa afección:

Para estudiar si existía diferencias de niveles entre unas unidades acuíferas y otras se elaboraron dos planos (fig.2.16) en estado de escasa afección. Se realizó un plano para la unidad acuífera del Neógeno, Plioceno Inferior, (5) (ver fig.2.15), otra para la unidad del Lías Superior-Dogger (2) (ver fig.2.15). se puede observar que los niveles en ambas unidades eran muy semejantes. Los niveles en el jurásico son llamativamente altos en la parte suroccidental de la zona de estudio. En esta zona la unidad neógena no se encuentra presente (ver perfil geológico n.3 de la fig.2.2).

Respecto a la unidad cretácica, la escasez de datos impidió realizar plano alguno. Hay una serie de sondeos que alcanzan retazos de la unidad como son el 765/6/9 ó 765/6/5, pero no llegan a atravesar una sección por completo. Los únicos sondeos que atraviesan secciones muy completas de Cretácico son los sondeo 765/6/11, y 765/2/7. Los niveles en estos sondeos eran muy próximos a cota 650 m.s.n.m., lo que implica que son ligeramente inferiores a los niveles de la unidad jurásica.

Dada la semejanza de niveles en las tres unidades se elaboró de nuevo un plano de isopiezas para todas las unidades acuíferas profundas, en estado de escasa alteración (fig.2.16) y en 1992 (fig.2.17).

Se puede observar como en estado de escasa afección el flujo era mayoritariamente S-N. Se puede observar una dirección de flujo también W-E, debido a que en la parte occidental de la zona de estudio afloran calizas jurásicas que reciben recarga directamente.

Los niveles eran muy superiores en la parte suroccidental, como ya se ha comentado unas líneas más arriba. Se piensa que esta zona existe un posible desconexión de un bloque fracturado (ver fig.2.6 y perfil 3, fig.2.2) con respecto al resto de la zona. Los niveles en este bloque eran próximos 680 m, mientras que en el resto de la zona están comprendidos entre 650 y 660 m.

Ya en la década de los años 70 se pueden apreciar depresiones debidas a bombeos. Obsérvese el cono de depresión que se observa en torno al sondeo 765/1/1, ó alrededor de la perforación 765/5/7. Merece

la pena señalar que el cono de depresión que se aprecia en torno a 765/6/11, es ficticio. Este sondeo es un piezómetro de control que no se explota. Se encuentra enrejillado en el Cretácico. Obsérvese como los niveles en esta unidad son ligeramente inferiores.

2. El nivel piezométrico en 1992

En la figura 2.17, se presenta la situación en 1992 del acuífero, se representan conjuntamente todas las medidas piezométricas de todos los sondeos, independientemente de la unidad acuífera que atraviesen. La piezometría se encuentra totalmente condicionada por los bombeos. Se observa que los descensos piezométricos desde 1970 se aproximan a los 20 m. No se aprecian direcciones de flujo preferentes, sino conos de depresión en torno a los puntos que son mas bombeados.

Persiste la notoria diferencia de niveles entre el bloque suroccidental y el resto del área. Pone nuevamente de manifiesto la posible desconexión que existe entre este bloque y el resto de la zona.

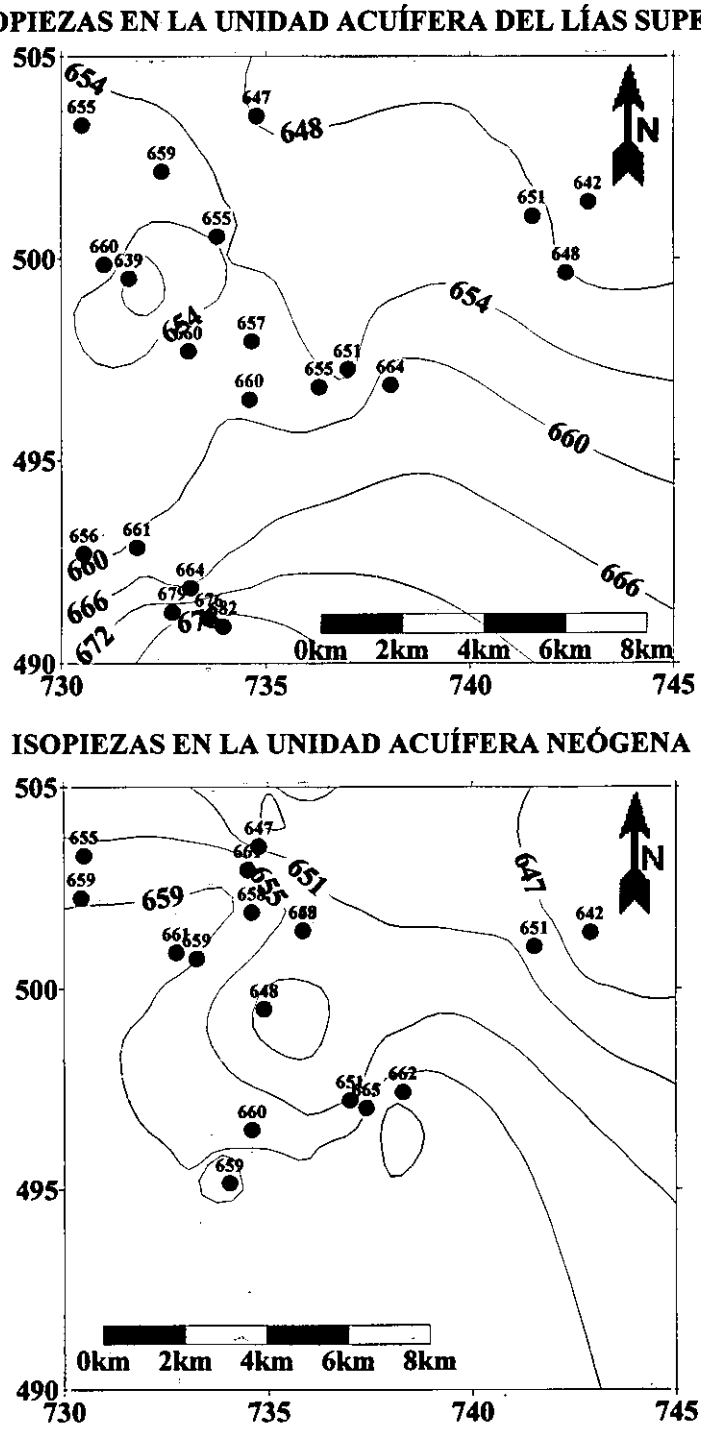


Fig. 2.15: Piezometría de las unidades del Plioceno Inferior (5) y Lías Superior-Dogger (2) en el año 1970

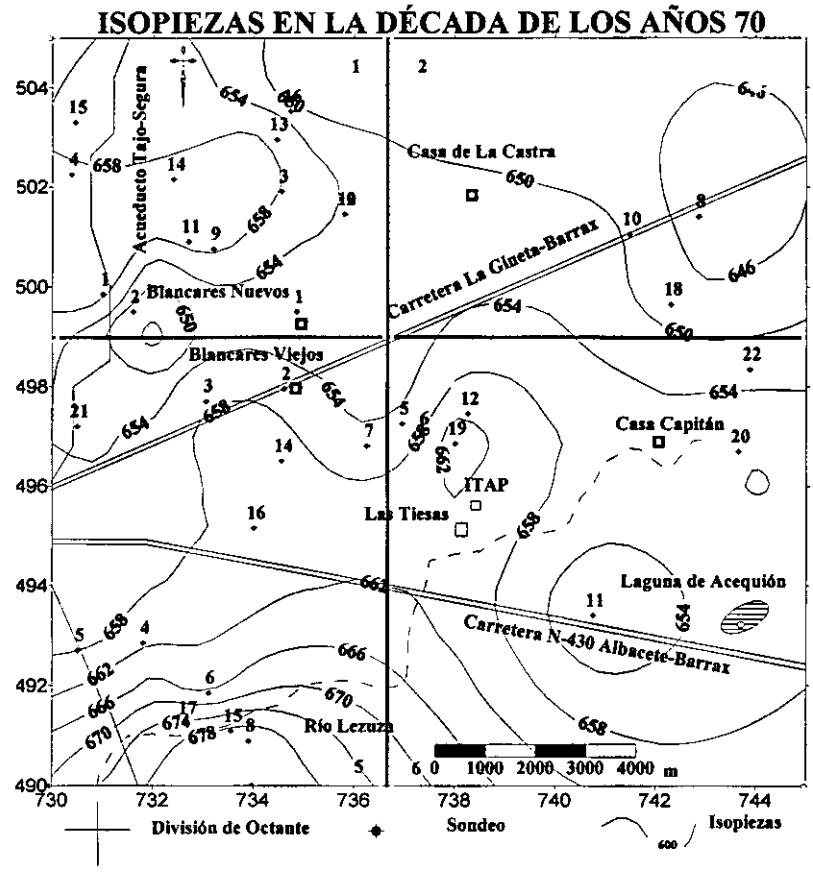


Fig.2.16; Piezometría del acuífero en la década de los años 70.

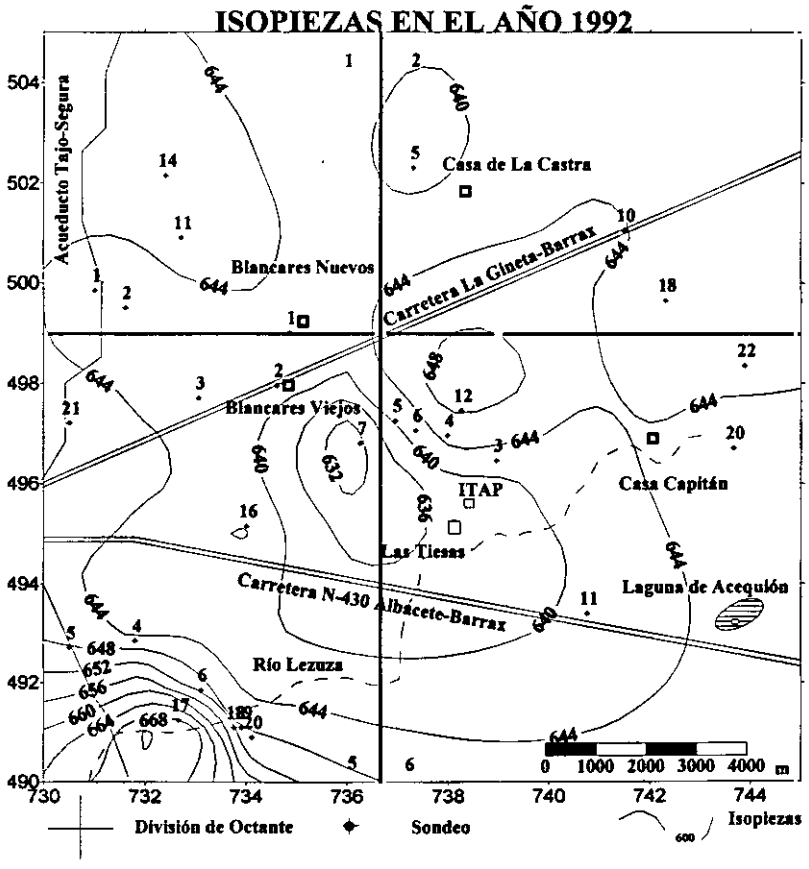


Fig.2.17; Piezometría del acuífero en 1992.

Se presentan a continuación una serie de gráficos en los que se ha representado la evolución piezométrica en las distintas unidades acuíferas:

2.7.3.3 REGISTROS PIEZOMÉTRICOS

Se localizan en la zona de estudio un total de 7 piezómetros de la red piezométrica del ITGE. Cinco de ellos son piezómetros de la unidad acuífera Jurásica del Lías Superior-Dogger (2), y los otros dos de las unidades Cretácica (3 y 4) y Plioceno Inferior (5) respectivamente. Se presentan en las fig 2.18-2.22, 6 registros piezométricos. Merece la pena señalarse como el gráfico de la figura 2.22, que es un registro casi continuo, se ha elaborado en función de los datos adquiridos con un transductor de presión instalado en el tubo piezométrico del sondeo 765/6/12, por el Institute of Hydrology, U.K., que colaboró muy directamente en este estudio. En el anexo 3, pueden consultarse algunos registros piezométricos adicionales, que no se incluyen aquí.

2.7.3.3.1 Evolución piezométrica en la unidad acuífera del Lías Superior - Dogger (2)

Se van a presentar los registro piezométricos de los piezómetros más significativos (ver fig 2.18 y 2.19), correspondientes a los piezómetros 765/5/3 y 4, con un registro piezométrico más amplio.

En la fig 2.18 se presenta el registro piezométrico del piezómetro 765/5/3 desde 1974 hasta 1992. Se puede observar en esta figura que como a partir de 1979 comienzan a disminuir los niveles. Anteriormente a esta fecha se observan descensos discretos de apenas un par de metros.

A partir de 1979 se aprecian grandes oscilaciones estacionales con mínimos en los meses de octubre a septiembre, correspondientes a los períodos en los que más se notan los efectos de los riegos. Los máximos corresponden a los meses de marzo y abril. Los descensos acumulados observados en el período 1974-1992 ha sido aproximadamente de unos 15 m.

En la figura 2.19 se presenta el registro piezométrico del sondeo 765/5/4 desde 1974 hasta 1992. Como en la figura anterior los descensos se hacen especialmente acusados y con grandes oscilaciones a partir de 1979. Aunque las consideraciones que se pueden hacer son semejantes, en este gráfico se observa una estabilización de los niveles a partir de 1988; hay que tener en cuenta que la pluviometría en los años 1986-1989 fue algo superior a la normal. Los descensos acumulados son ligeramente superiores a los observados en el sondeo anterior y están comprendidos entre 15 y 20 m.

2.7.3.3.2 Evolución piezométrica en la unidad Cretácica (3) y (4)

El sondeo 765/6/11 presenta un registro piezométrico completo de esta unidad desde 1974 hasta 1990 (ver fig.2.20). Se observa que los descensos comienzan a ser especialmente acusados a partir de 1980. Las oscilaciones estacionales son acusadas. Los mínimos se producen desde junio hasta septiembre y los máximos desde diciembre hasta febrero o abril. Los descensos acumulados observados son de unos 15 m.

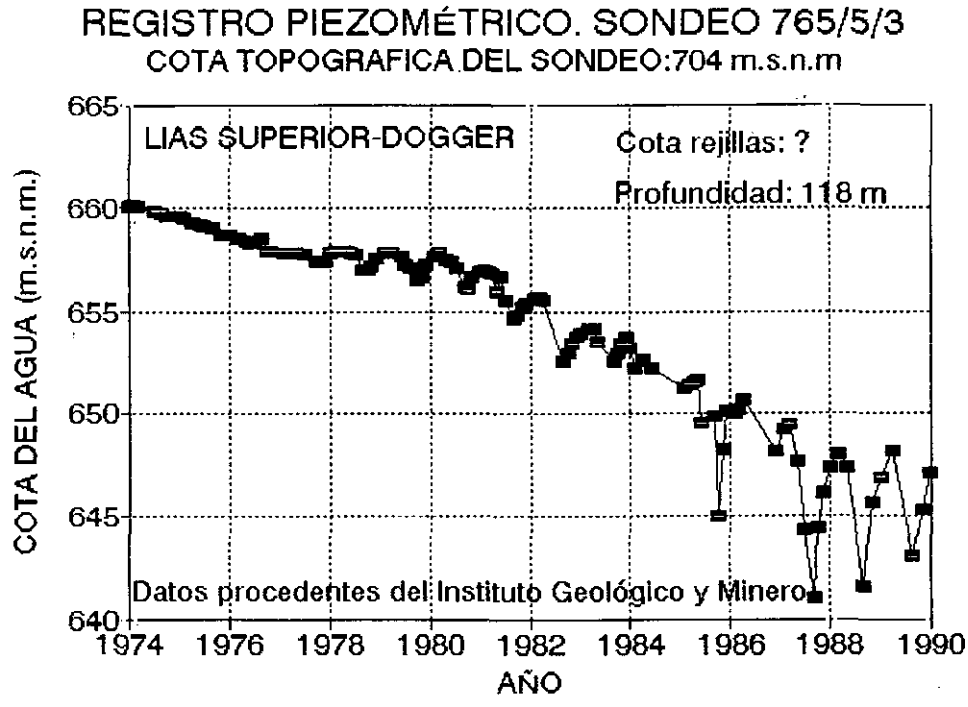


Fig 2.18; Evolución piezométrica en el sondeo n. 765/5/3. Unidad acuífera del Lías Superior-Dogger (2).

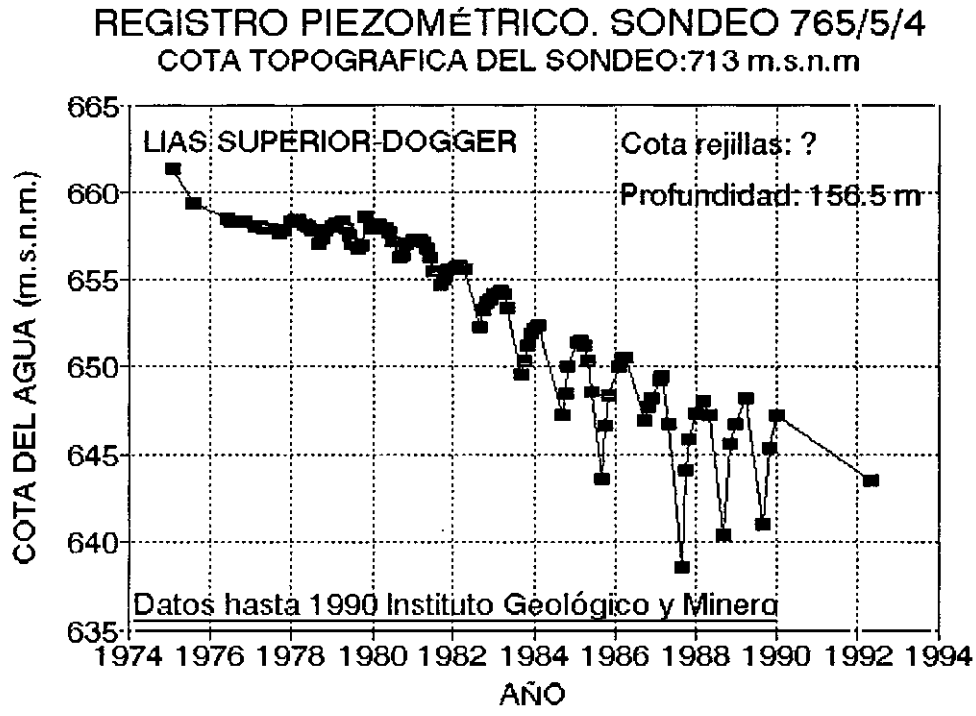


Fig.2.19; Evolución piezométrica en el sondeo n. 765/5/4. Unidad acuífera del Lías Superior-Dogger (2).

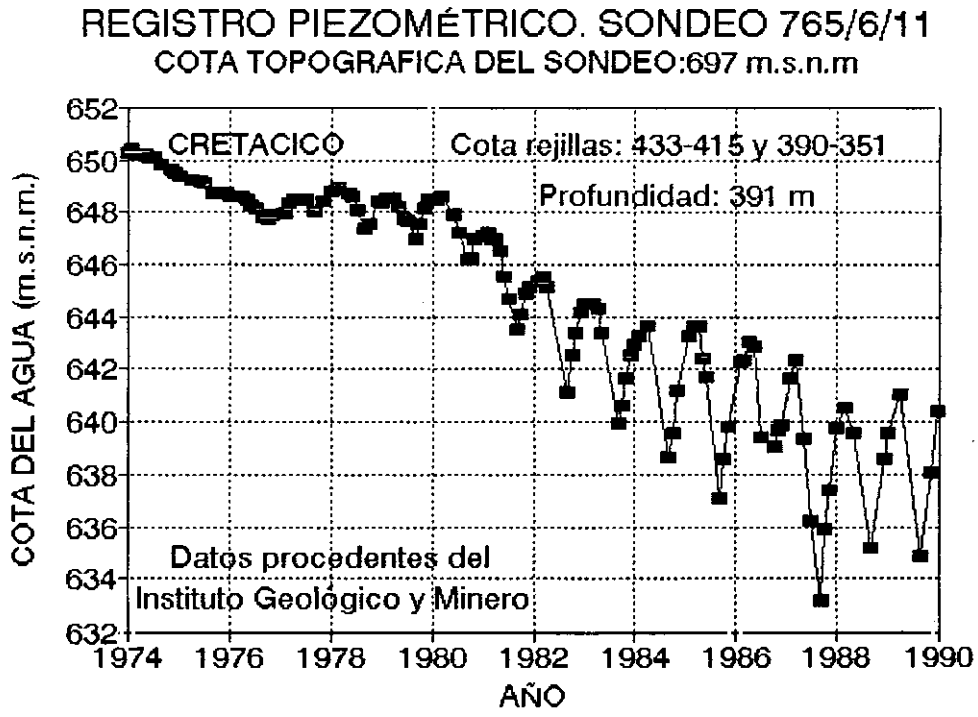


Fig. 2.20; Evolución piezométrica en el sondeo n. 765/6/11. Unidad acuífera del Cretácico (3 y 4)

2.7.3.3.3.Evolución piezométrica en la unidad de Calizas del Neógeno (5)

En la figura 2.21 se presenta el registro piezométrico (1974-1994) del sondeo 765/6/20, que toma sus aguas de la unidad acuífera del Neógeno (Plioceno Inferior, 5). Este sondeo tiene una profundidad total de 100 m, y las calizas aparecen entre las cotas 648 y 623 m.s.n.m.. Se observa como los descensos parecen ser discretos hasta finales de 1981. A partir de entonces se produce una evolución muy semejante a la ya comentada en los piezómetros del Jurásico.

Aunque sólo existe una media entre 1992 y 1993, parece que se ha producido una pequeña recuperación, probablemente debida a una pluviometría superior a la habitual que se registra en 1992 (superior a 500 mm)

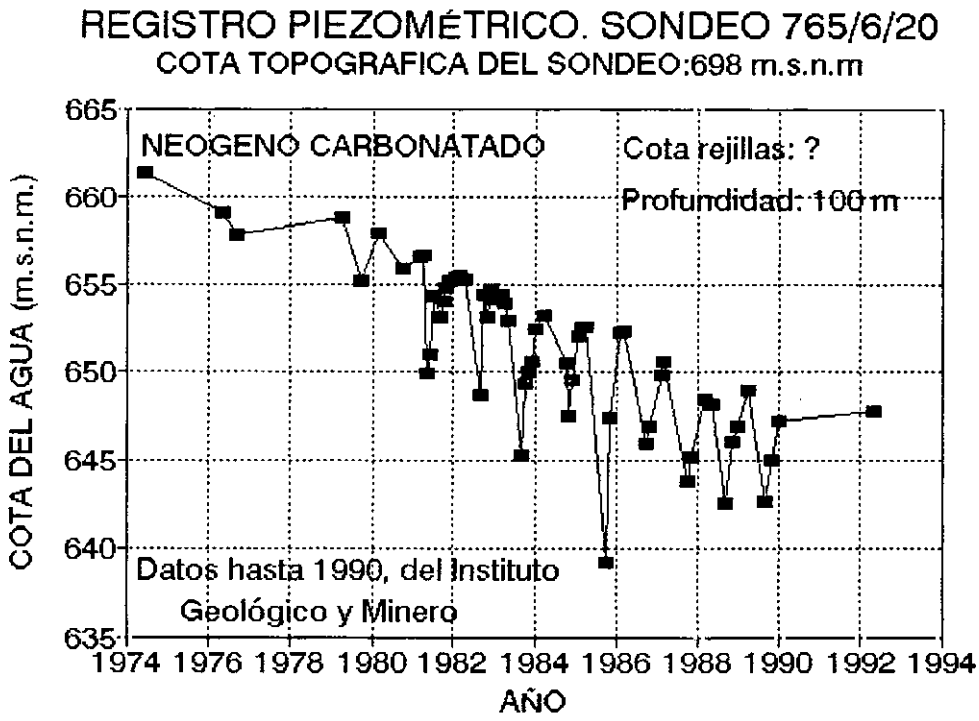


Fig. 2.21; Evolución piezométrica en el sondeo n.765/6/20. Unidad acuífera del Neógeno (5).

Se presenta en la figura 2.22 a y b, el registro piezométrico del sondeo 765/6/12. Este sondeo presenta la particularidad de tener dos tubos piezométricos, enrejillados a cota 666 y 553 m.s.n.m. respectivamente.

La columna litológica del sondeo se desconeoce, no obstante el IGME (1979) considera que este sondeo atraviesa las calizas del Neógeno (5). Es previsible que el tubo piezométrico inferior atraviese la unidad (5), mientras que el superior se encuentre enrejillado en lentejones semipermeables, aislados de esta unidad. El tubo piezométrico superior marca el nivel en el acuitardo, mientras que el inferior el nivel piezométrico de la unidad (5). En la figura 2.22 a se observa la evolución piezométrica desde 1978 hasta 1995 en ambos tubos. Los descensos en la unidad inferior comienzan a ser notables a partir de 1982. Se pueden apreciar las oscilaciones interanuales provocadas por los bombeos de casi 9 m, y se observa como los descensos residuales son de un par de metros cada año. Esta situación se mantiene hasta 1990. A partir de este año se observa un aumento de niveles, de tal forma que el nivel piezométrico supera la cota que presentaba en 1978. Esta recuperación puede ser debida a la serie de años húmedos que se suceden a partir de 1989. Además los volúmenes que se extraen para riegos en años húmedos son menores. A partir de 1993 se observa de nuevo una tendencia descendente. Las medidas a partir de 1990 se toman más espaciadas por lo que no se observan las variaciones interanuales.

El tubo piezométrico superior, muestra que los niveles se mantienen muy estables hasta finales de 1990, fecha a partir de la cual se observa un descenso de unos 5 m. Parece muy posible que se estén cortocircuitando dos niveles diferentes. Entre los años 1990 y 1991 perforan un sondeo de 220 m relativamente cerca de este piezómetro (765/6/3), que puede haber contribuido a esta circunstancia.

En la figura 2.22 b se muestra la evolución piezométrica en el tubo inferior desde finales de 1994, hasta finales de 1995, de acuerdo con el registro obtenido con un transductor de presión. Fue instalado por el In-

stitute of Hydrology, como parte del proyecto EFEDA, dentro del cual se enmarca esta tesis. El transductor se encuentra conectado a un registrador automático de datos y se han realizado visitas mensuales para proceder a la recopilación de datos.

Debe comentarse que el transductor utilizado esta preparado para soportar una columna de 6 m de agua como máximo. Las mesetas que se observan en la figura corresponden a períodos en los que la columna de agua ha sido superior a esta cifra. Ha sido necesario reajustar la posición del transductor en diferentes momentos. Entre octubre de 1994 y febrero de 1995, se observa un notable aumento de los niveles, con bruscas oscilaciones. Debe señalarse que dichas oscilaciones no son reales, sino resultado de un desajuste del instrumento de medida, que fue solventado.

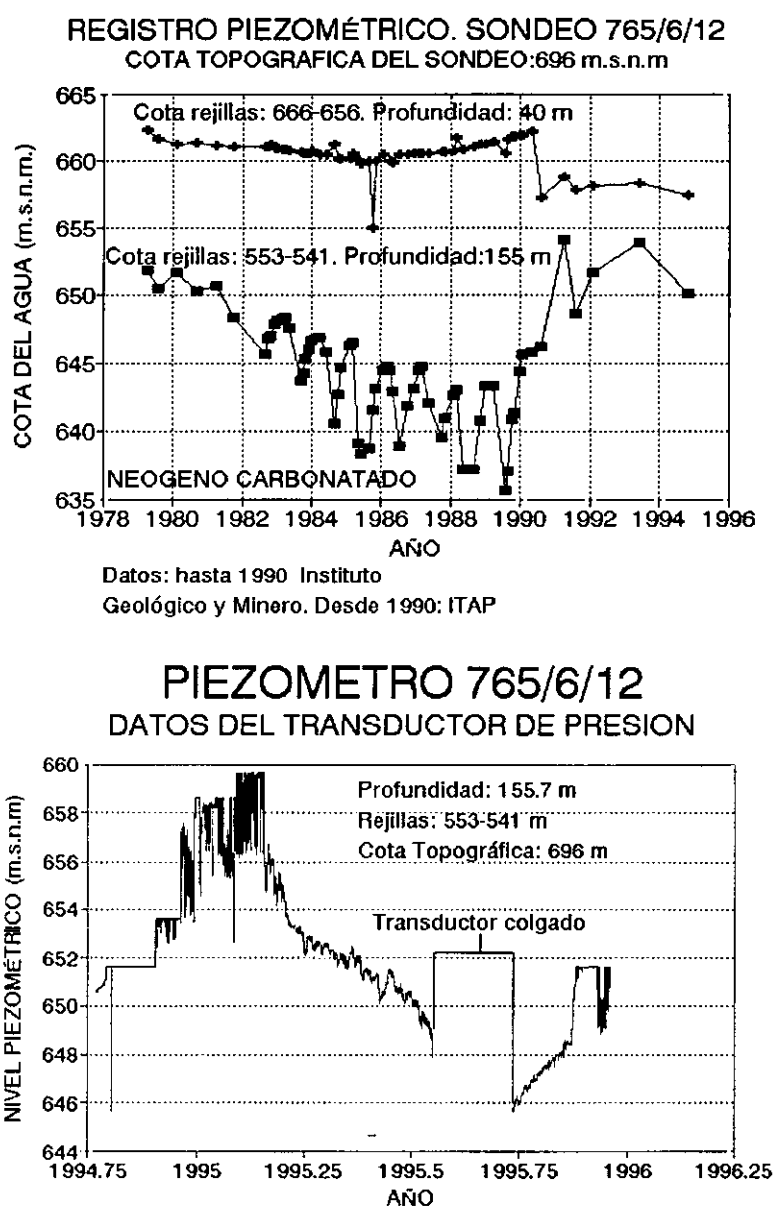


Fig. 2.22; Evolución piezométrica en el sondeo 765/6/12. Unidad acuífera del Neógeno (5). a) En dos tubos piezométricos y de acuerdo con las mediciones efectuadas por el ITGE, hasta 1990, mediciones efectuadas por el ITAP desde 1990 hasta 1992, y mediciones propias desde 1992 hasta 1994. b) Registro piezométrico de acuerdo con el transductor de presión instalado en el tubo piezométrico profundo en octubre de 1994.

En la figura 2.22 b puede observar como la oscilación interanual de niveles durante 1994 y 1995 ha sido mayor de 15 m. Resulta algo superior a la observada en el registro histórico de este piezómetro. No obstante, los años 1994 y 1995 hasta octubre, han sido muy secos (ver apartado 7.1).

Obsérvese también como en octubre de 1994 la cota piezométrica fue de unos 651 m, mientras que en octubre de 1995 fue inferior a 646, lo que implica un descenso de niveles de casi 5 m en un sólo año.

Los descensos debidos a los bombeos son evidentes y oscilan entre 2 y 5 m anualmente, dependiendo de la precipitación que se registre. La unidad del Neógeno tiene una gran capacidad de recuperación cuando las precipitaciones son superiores a la media, no obstante, una recuperación tan acusada sólo se ha observado en este piezómetro, por lo que no debe considerarse como algo extensible para toda la unidad del Neógeno.

Otro efecto derivado de los bombeos, es la conexión que se establece entre unidades acuíferas inicialmente separadas por un material semipermeable, que modifican de forma local la piezometría.

2.8 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

En la fig.2.23 se presenta el modelo conceptual de funcionamiento propuesto para la zona de estudio. Este modelo considera que existe una mala conexión entre las distintas formaciones acuíferas, por lo que el flujo vendría condicionado por los paquetes impermeables que individualizan dichas unidades. Los materiales semipermeables están saturados y al existir desconexión entre las distintas unidades acuíferas el agua se ve forzada a circular a través de este tipo de materiales para pasar de unas formaciones permeables a otras.

Antes del comienzo de los bombeos todo se encontraría saturado hasta casi la superficie del terreno. En algunos puntos, como la Laguna del Acequión, la superficie freática se encontraría por encima de la superficie topográfica, con la consiguiente formación de zonas pantanosas. La diferencia de niveles entre sondeos y pozos de distinta profundidad y enrejillados en tramos diferentes no sería más que el resultado de las pérdidas de carga o potencial que sufre el agua al atravesar un material semipermeable.

2.8.1 EN RÉGIMEN NATURAL

- **El Sistema Acuífero** , en la zona concreto de estudio, se recargaba por infiltración del agua de lluvia, y por la infiltración de los Ríos Lezuza y Jardín. La descarga local se efectuaba en las zonas encharcables próximas a la ciudad de Albacete (ver fig 1.4). El flujo en la zona de estudio era S-N.

- **Las unidades acuíferas profundas** se recargan desde las unidades acuíferas superficiales, a través del agua que circula con una fuerte componente vertical a través de los materiales semipermeables que individualizan las distintas unidades acuíferas. La recarga proviene también precipitación directa de la lluvia en las calizas Jurásicas que afloran al W de la zona de estudio (ver plano geológico de la fig 1.6). Cabe la posibilidad de que la recarga de estas calizas venga de áreas muy alejadas, e incluso desde algún acuífero vecino.

De acuerdo con los resultados obtenidos en estado de escasa alteración el agua se infiltraba en el Neógeno superficial-Cuaternario. El flujo en este tramo presenta una importante componente vertical. El gradiente es alto y las pérdidas de carga son fuertes.

En la fig.2.23 se observa como el agua penetraba en la unidad acuífera cretácica (3 y 4), a partir de la cual el flujo es notablemente horizontal. Circula a través de la misma en dirección norte, y penetra en la unidad jurásica (2), debido a la buena conexión existente entre ambas unidades. La unidad Jurásica descargaba sus aguas a través de la unidad acuífera del Neógeno (5). La similitud de niveles entre ambas unidades, (o incluso superiores en la unidad neógena), hace pensar que la descarga se produce fuera de la sección considerada. Una vez en la unidad acuífera neógena, la descarga fundamental del sistema se realizaba en el río Júcar.

2.8.2 EN LA ACTUALIDAD

- **El acuífero** se recarga principalmente por de la infiltración del agua de lluvia, ya que el Río Lezuza desaparece antes de llegar a la zona de estudio. No obstante, el río Jardín sigue infiltrándose en zonas muy próximas. Presumiblemente debido a los bombeos han descendido el límite superior de la zona saturada, las zonas antes encharcables, incluida la alguna del Acequión han desaparecido.

- **Las unidades acuíferas profundas** continúan recargándose a través de las capas semipermeables, que las separan de las unidades acuíferas superficiales. Posiblemente debido a los bombeos este flujo semi-vertical se habrá incrementado considerablemente. La recarga continúa produciéndose en el acuífero del Lías Superior-Dogger (2), por la infiltración de la lluvia en los puntos dónde aflora. Los niveles han descendido considerablemente, unos 20 m y las direcciones de flujo se hallan condicionadas por los bombeos que distorsionan la forma de las isopiezas.

Se quiere resaltar que la unidad acuífera del Lías Inferior (1), (de la cual se tienen muy pocos datos), aparece representada en la figura 2.23, (ver también fig.2.2 y 2.6, para diferenciar las distintas unidades). La posición de la unidad es tentativa. Obsérvese como la unidad acuífera del Lías Superior-Dogger (2) en la sección W-E de la figura se encuentra desconectada del resto de las unidades acuíferas. No obstante, parece que la unidad acuífera del Lías inferior (1), por el contrario, sí pudiera estar conectada con la unidad acuífera del Cretácico (3 y 4), en el bloque hundido de la falla en la parte suroriental de la zona de estudio.

La desaparición de las zonas húmedas y el descenso de los niveles observado se debería a los factores ya mencionados: la desaparición del río Lezuza y los bombeos de aguas subterráneas que se vienen efectuando desde finales de la década de los años 70.

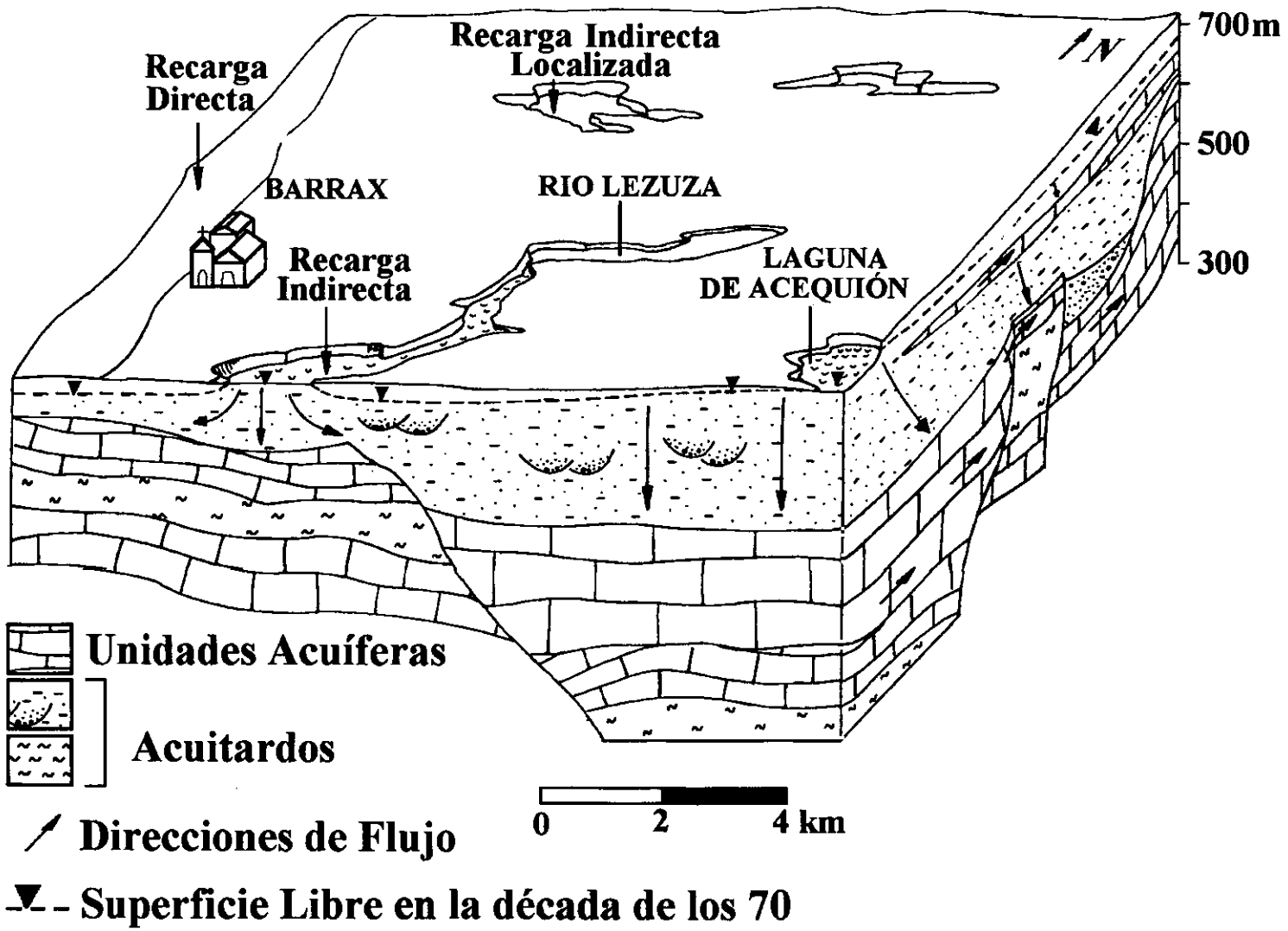


Fig. 2.23; Modelo conceptual del acuífero en la zona de estudio.

2.9 EXTRACCIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Se han tratado de estimar las extracciones en el área propiamente dicha de estudio, que presenta una superficie de 10000 ha.

Se pudieron obtener datos relativos a los años 1972, 1973, 1974, 1975, 1985, y 1990. Los datos hasta el año 1975 están extraídos de IGME (1979), los datos relativos a 1985 de IGME (1985), y los datos de 1990, de Bölle y Langer, (1991).

Las extracciones calculadas para la década de los años 70 se han realizado en función del número de hectáreas cultivadas en los término Municipales de Barrax, La Roda, La Gineta y Albacete, (ver tabla 2.2). Conociendo también el número de ha dentro de la zona de estudio que corresponden a dichos términos municipales se les ha asignado una parte proporcional de las ha totales regadas con aguas subterráneas en dichos términos municipales.

Se ha asignado una media de 6000 m^3/ha/año, tomando este dato de SGOP (1988). Los números se han redondeado dada la poca precisión del método empleado. Según esto se ha calculado que el número de ha regadas con aguas subterráneas durante el período 1972-1975 se encuentra por debajo de los 10 hm^3.

Tabla 2.2: Hectáreas cultivadas y regadas en distintos términos municipales durante la década de los años setenta. De acuerdo con IGME, 1979.

TERMINO MUNICIPAL	1972	1973	1974	1975	1972	1973	1974	1975
ALBACETE	200	400	400	600	1,2	2,4	2,4	3,6
LA GINETA	0	0	3*	3*	0	0	0	0
LA RODA	0	1*	1*	1*	0	0	0	0
BARRAX	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	200		400	600	1,2	2,4	2,4	3,6

Tabla 2.3: Hectáreas y cultivos regados dentro de la zona de estudio. Consumos de aguas, para cada tipo de cultivo de acuerdo con SGOP, 1986.

CULTIVOS	CONSUMOS m3/ha/año; SGOP (1988)	ha EN REGADIO EN 1985. ZONA DEL EFEDA	ha EN REGADIO EN 1990	ha EN REGADIO EN 1992
Alfalfa	7000	0,7	175	274
Maiz-Remolacha	7250	867	2614	2301
Girasol	2000	124	523	162
Cebolla	4500	382	100	-
Cereal*	-	264*	4342*	505
Huerta	4500	49	75	64

Las cifras empleadas para el cálculo se presentan en la tabla 2.2.

Los consumos aproximados de aguas subterráneas en las 10000 ha que abarca la zona de estudio han sido:

1972 1 hm^3
1973 2 hm^3
1974 3 hm^3
1973 4 hm^3

Las ha cultivadas en el **año 1985**, se han calculado planimetrando sobre un plano de cultivos realizado por el IGME (1985), las cultivadas en **el año 1990**, se han estimado en función de los datos proporcionados por Bölle y Langen (1991), p.23. **Para 1992** se estimaron que las ha cultivadas en la zona de estudio los planimetrando sobre un plano, (Cfr.Barth y Runge, 1992) . Los consumos de agua de los diferentes cultivos, según SGOP (1988), se presentan en la tabla 2.3; aparecen también las ha cultivadas y los tipos de cultivos en la zona de estudio en los año 1985, 1990 y 1992:

Utilizando estas cifras se obtienen unos consumos de aguas subterráneas de 8 hm^3 en 1985, unos 22 hm^3 para 1990 y otros 19 hm^3 para 1992.

La recarga media estimada es de 50 mm año, lo que suponen unos 5 hm^3/año para una superficie de 10000 ha. La recarga total en el período 1972-1992 ha sido de unos 100 hm^3. Esto significa que han sido extraídos del acuífero dos veces la recarga habida para un período de 20 años. Merece la pena señalar que en la actualidad se extrae en esta zona 4 veces la recarga anual media.

Estas cifras deben ser tomadas como valores aproximados, ya que es fácil cometer errores, con la poca precisión de los métodos empleados.

De acuerdo con todo lo visto, parece razonable considerar que prácticamente un 70% del volumen de agua extraído hasta la actualidad se ha realizado en los últimos cinco años.

2.10 LA LAGUNA DEL ACEQUIÓN

Se dedica por último un apartado a realizar un análisis de las circunstancias que han podido motivar la desaparición de uno de los parajes más atractivos con los que contaba esta zona: La Laguna de Acequión.

Se han encontrado en la literatura numerosas referencias a las zonas húmedas que rodeaban la ciudad de Albacete. Así por ejemplo, Pardo (1948), cita la Laguna del Acequión, a la que define esteparia, y de la que dice que tiene aguas estacionales. Coronado et alt. (1973) en su guía de las anátides de España, la consideran como una laguna de interés patero.

López Bermúdez (1978) analiza en su trabajo las causas del endorreismo que afecta a los Llanos de Albacete, entre los que señala: la horizontalidad topográfica, alternancia de series litológicas permeables e impermeables, condiciones bioclimáticas muy marcadas con tendencia a la aridez y sobre todo niveles piezométricos muy someros. Relata también la historia de la desecación de las zonas húmedas e inundables que rodeaban la ciudad de Albacete, y que remonta a principios del siglo XVI.

Según Herrero Ruiz (1987), es lo que queda de un gran sector pantanoso que rodeaba Albacete que fue desecado progresivamente.

Rodriguez et alt. (1988) analizan una serie de factores que en su opinión son los condicionantes del endorreismo de las zonas húmedas que antaño ocupaban una parte de los alrededores de Albacete, entre los que citan, la morfología tabular, la litología, la existencia de una red de drenaje mal definida y concretamente para el caso del Acequión consideran un factor determinante la estructura geológica. Efectivamente, este mismo supuesto se vuelve a utilizar en otros trabajos para justificar la aparición de dicha laguna, (cfr. Navarro et alt.,1988), comentando que se asienta en el contacto mecánico entre dos formaciones diferentes una de calizas y otra Neógeno detrítico separadas ambas por una falla. En la figura 2.24 se ha representado en un esquema el funcionamiento de la laguna según estos autores.

A continuación se expone lo que es en nuestra opinión la Laguna del Acequión.

a) En primer lugar el Neógeno aunque no carente de deformaciones recientes, no es probable que en esta zona se encuentre fracturado. No se han encontrado evidencias, ni en foto aérea, ni con un reconocimiento de campo. Por otro lado no hay afloramientos que permitan comprobar y apoyar la tesis de Navarro et alt., (1988). La zona aparece completamente recubierta por un costra calcárea

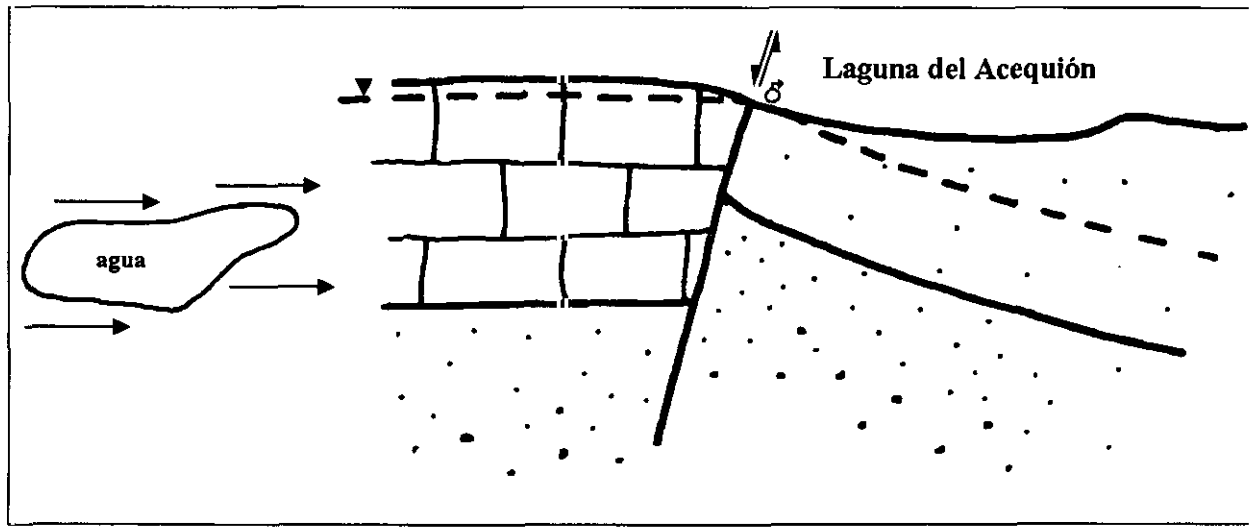


Fig. 2.24; Esquema del funcionamiento hidrogeológico de la laguna del Acequión, según Navarro et alt.(1988).

carstificada, que recubre totalmente los sedimentos Neógenos.

b) Es más que presumible el que exista una estrecha relación entre esta laguna y las aguas subterráneas; prueba de ello es que hace ya más de 10 años que está seca y la pluviometría en la década de los años 70, aunque tratándose de un período húmedo no es excesivamente superior a la habida en la década de los 80, período seco. Ver gráfico de lluvia acumulada en la estación pluviométrica próxima del Aeródromo de Albacete en la fig 1.3. Por otro lado, los intentos de desecar la laguna realizados a principios de siglo y cuyo vestigio es el todavía existente Canal del Acequión no fueron del todo satisfactorios, ya que la laguna se ha mantenido hasta hace apenas más de un década.

c) El sondeo que se sitúa en el interior de la laguna (765/6/9 de nuestro inventario) posiblemente sin entubar o enrejillado en toda su longitud, casi surgente en el año 1972, hoy en día presenta los niveles a casi 20 m de profundidad. Se piensa que los elevados niveles en este sondeo, así como en los pozos excavados cercanos (ver perfil n.1 fig.2.2) en el mismo responden al nivel freático regional. La Laguna del Acequión se ubica en una dolina de la costra superficial carstificada, que al cortar el nivel freático constituía un punto de descarga del acuífero. Navarro el alt. (1988), citan un sondeo situado a tres metros de la laguna con niveles a casi 20 m en el año 1972. Muy posiblemente este sondeo se encontraba enrejillado en las unidades acuíferas más profundas.

d) Como se ha citado al principio de este capítulo, según Pardo (1948), las aguas de la laguna eran estacionales, lo que puede indicar que en las temporadas de mayor pluviometría las aportaciones del Lezuza eran superiores, y por tanto los niveles freáticos alcanzados más elevados y las épocas de menor pluviometría las niveles de la superficie freática eran inferiores, con lo que la laguna aparecería seca.

e) Parece posible que la desaparición casi total del Río Lezuza, que rara vez fluye hasta la zona de estudio, han provocado la disminución de nivel del límite superior de la zona saturada que unido a los intensos bombeos con aguas subterráneas que se vienen efectuando en la zona, son las causas que posiblemente hayan determinado la desecación de dicha laguna. A través de la información proporcionada por la gente del lugar, se ha podido saber que hace ya casi 10 años que el Lezuza desaparece poco después de sobrepasar Tiriez.

3. MODELIZACIÓN DE UN PERFIL VERTICAL

Con el objeto de verificar de alguna forma la verosimilitud del modelo conceptual propuesto en el capítulo anterior, y qué parámetros son los que más influyen en el comportamiento hidrogeológico, se ha elaborado un sencillo modelo de flujo saturado dentro de la zona de estudio exclusivamente. Se ha modelizado un perfil a lo largo de una línea de corriente, para poder realizar la hipótesis de flujo plano vertical.

Como un segundo objetivo se pretende también, aportar una recarga al perfil modelizado para obtener así la posición de la superficie libre en régimen natural, antes del comienzo de los intensos bombeos a los que es sometido este acuífero desde principios de la década de los años ochenta. Dado que el modelo se circunscribe a la zona de estudio, que como ya se ha dicho no corresponde a un límite hidrológico o hidrogeológico, ha sido necesario imponer unas condiciones de contorno un tanto artificiales..

3.1 MODELO MATEMÁTICO

La modelización de un perfil supone que todo el flujo se sucede paralelamente y dentro del plano del perfil. El perfil elegido debe coincidir con una línea de corriente relativamente recta de la red de flujo en un plano horizontal, para que la hipótesis de movimiento plano vertical sea suficientemente aceptable. El perfil discretizado corresponde a el perfil N-S del modelo conceptual propuesto en la figura 2.23.

La ecuación de flujo que describe el comportamiento del agua en un perfil con las condiciones arriba mencionadas (cfr.Anderson y Woessner, 1992, p.174) es:

$$(3.1) \qquad d\left(K_z \frac{dh}{dx}\right) + d\left(K_z \frac{dh}{dz}\right) = S^* \frac{dh}{dt} - R^*$$

Donde K_x, K_z, son componentes del tensor conductividad hidráulica, S^* es el coeficiente de almacenamiento específico y R^*, es un término general fuente-sumidero que define entradas o salidas de flujo al sistema por unidad de volumen de acuífero y por unidad de tiempo.

Para resolver esta ecuación se ha discretizado el acuífero en una malla de diferencias finitas, y las ecuaciones resultantes se han resuelto utilizando el código PRICKETT Y LONQUIST. El código ha sido modificado por Cruces de Abia (1994), para modelización de perfiles, y utilizando malla variable. Las principales **características** de esta versión y según este autor son las que siguen:

1.- Versión para malla variable.

2.- Limitado prácticamente a condiciones estacionarias.

3.- Hay dos posibilidades para la condición de contorno en la parte superior del perfil:

3a.- Se fija un caudal de recarga, y con el modelo se calcula la posición de la superficie libre, por aproximaciones sucesivas.

3b.- Se fija la superficie libre y el modelo estima la recarga.

4.- Admite anisotropía.

5.- Calcula los caudales nudo a nudo.

6.- Calcula los caudales que circulan por secciones verticales del acuífero, columna a columna.

7.- El formato de entrada de datos ha sido modificado, así como las opciones de salida de resultados.

Como principales **inconvenientes** su autor cita:

1.- No se puede simular régimen variable.

2.- No se pueden incluir flujos radiales de eje vertical (pozos), o lo que es lo mismo no se pueden incluir bombeos.

3.- La malla es cambiante. Dependiendo de la posición definitiva de la superficie libre hay que añadir o quitar celdas.

4.- Al admitir anisotropías la red de flujo no es ortogonal, por lo que es necesario calcular aparte el medio isótropo equivalente, para la obtención de la red de flujo.

Para más detalles se refiere al lector al manual original. No obstante los ficheros de entrada y salidas de datos se pueden consultar en el anexo 4.

3.2 RELACIÓN ENTRE EL MODELO CONCEPTUAL Y MATEMÁTICO

El perfil modelizado corresponde al perfil N-S del modelo conceptual de la figura 2.23. El perfil ha sido trazado siguiendo prácticamente un línea de corriente recta , y relativamente paralela a las líneas circundantes.
En la figura 3.1 se puede apreciar las diferencias existentes entre un modelo bidimensional horizontal y la modelización de un perfil vertical. Habitualmente se considera el espesor «b» igual a 1, por lo que todos los datos de caudales deben interpretarse por m lineal de acuífero normal al perfil, (cfr. Anderson y Woessner, 1994, p.175) norma que hemos seguido aquí, por lo que todos los datos de caudales deben interpretarse por metro lineal de acuífero, normal al perfil

El perfil se ha discretizado con una malla variable de 13 columnas por 30 filas de celdas. En la malla utilizada, los nodos se localizan en las intersecciones de las celdas, y no en el centro de las mismas. En la figura 3.2 se puede ver la malla con la que se ha discretizado el

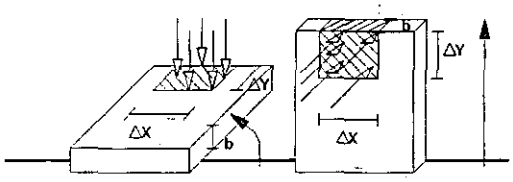


Fig.3.1; Orientación de la malla en un modelo areal y en un modelo de perfil vertical. Según Anderson y Woessner (1994), p.175.

perfil. Por tanto si en lugar de considerar celdas, consideramos nodos, la malla tiene unas dimensiones de 13 por 30. La distancia entre dos nodos consecutivos en la horizontal es de 1000 m, a lo que llamaremos . En la vertical la distancia entre dos nodos consecutivos es variable. Entre los 705 m y los 670 la distancia es de cinco metros. Entre 670 y 630 es de 10 m. Entre 630 y 390 m, la distancia es de 20 m.

3.2.1 CONDICIONES DE CONTORNO

Como condiciones de contorno se han utilizado límites físicos.

- La parte inferior del perfil se considera impermeable al ser una formación margosa. Constituiría un borde de flujo nulo (condición «tipo Neumann», con un caudal q=0).

- Como límite superior se ha utilizado una condición del mismo tipo que la anterior. Se ha impuesto un caudal constante a los nudos de borde, igual a 50 mm/año, correspondiente a la recarga anual estimada que recibe este acuífero. Distribuyendo este caudal por una superficie de 1000 m^2, el caudal que recibe cada nudo es igual a 0.14 m^3/día.

- En la celda de superficie libre de la columna 8, se ha simulado la entrada del río Lezuza, con una condición de contorno también tipo Neumann. El río Lezuza pierde sus aguas fuera de la sección considerada. No obstante, como lo hace relativamente cerca, se ha supuesto que una pequeña parte de ellas, pueden afectar al perfil modelizado. Se han tanteado diferentes caudales, para estudiar la influencia que dichas entradas pueden tener. Se han simulado caudales de 0.2, 0.3 y 0.4 m^3/día.

- Al no corresponder los límites de la zona de estudio, (por razones ya explicadas), con bordes naturales de tipo hidrogeológico ó hidrológico (un borde impermeable, un río.. etc), las condiciones de contorno en los bordes izquierdo y derecho, son en cierto modo artificiales. Dado que lo que se busca no es modelo completo del acuífero, (demasiado extenso, unos 8500 km^2), ó de una unidad hidrogeológica concreta, sino determinar cual es el modelo conceptual que más se adapte a la situación de la zona de estudio, se han impuesto dos bordes de potencial fijo para realizar el tanteo. Estos bordes no son reales, por lo que el potencial en ellos coincide con el nivel piezométrico medido en el campo en esos puntos. La condición sería una de «tipo Dirichlet», de potencial fijo. Se ha prefijado un potencial y el modelo calcula el caudal que sale y entra por estos bordes. Para una primera aproximación al sistema real se considera válida.

Por los datos de campo se sabe que las calizas jurásicas presentan sus niveles a cota 650 m (sondeo 765/6/11), las calizas neógenas presentan niveles en el borde izquierdo del perfil a cota próxima a los 650 m (sondeos 765/2/20 ó 765/2/22). Se sabe que los niveles en el acuitardo se aproximan a 670 (sondeo 765/6/9 o pozos excavados). En el anexo 4, se incluyen algunos listados de entrada y salida del modelo. Se pueden consultar los potenciales impuestos en las columnas. Hay que comentar que dado que no se conoce a ciencia cierta el potencial en los bordes se han realizado diversos tanteos, hasta conseguir las condiciones que mejor reproduzcan las medidas reales. En el anexo n.4, en el que se incluyen diversas pasadas puede observarse como las condiciones en los bordes difieren algunas de otras.

3.2.2 ASIGNACIÓN DE PARÁMETROS

El modelo a ejecutar es un modelo directo. Se especifican parámetros y condiciones de contorno, y el modelo calcula los niveles en cada nodo. La posición de la superficie libre, se calcula por aproximaciones sucesivas.

3.2.2.1 PERMEABILIDAD

Margas verdes del Lías medio (1)[1]

Se han simulado como un material acuitardo, considerándose prácticamente impermeables, por lo que tanto la permeabilidad horizontal como la vertical, se ha considerado ser igual a cero.

Calizas del Jurásico (Lias superior (2) y Calizas del Neógeno (5)

La permeabilidad se ha tomado de la bibliografía. La trasmisividad oscila en esta unidad entre 900 y 2400 m^2/día, según comunicación personal de Fúster (1991), director de INAGESA, empresa que ha realizado muchos ensayos de bombeos en la zona de estudio. Esto supone una permeabilidad de 18 m/día. Si se asume que la permeabilidad horizontal es 100 veces mayor que la vertical, se ha asignado un valor de permeabilidad vertical igual a 0.18 m/día. Custodio (1983), p.472, considera que la anisotropía puede ser de dos órdenes de magnitud en lugares con materiales estratificados. No se ha diferenciado el Cretácico del Jurásico, ya que las trasmisividades en uno y otro son parecidas.

El resto de los materiales del perfil, se han considerado como semipermeables. De una forma un tanto arbitraria, se ha tomado una permeabilidad media es de 0.06 m/día, considerando 100 el factor de anisotropía, la permeabilidad vertical será igual a 0.0006 m/día.

[1] *La numeración de estas unidades coincide con la numeración asignada en el texto y figuras del capítulo 2 a las mismas.*

3.2.2.2 FACTOR DE ALMACENAMIENTO

En cuanto al factor de almacenamiento, dado que se considera régimen permanente (y por tanto no influye en los resultados), se ha seleccionado 1 x 10^{-5}, que sin ser excesivamente pequeño, que podría provocar errores numéricos en el modelo, es suficientemente pequeño para que el régimen permanente no tarde mucho en alcanzarse.

A los nudos en los bordes izquierdo y derecho del perfil se les ha asignado un coeficiente de almacenamiento 1 x 10^{+5}, para que el modelo extraiga el caudal necesario sin que los niveles en dichos nudos varíen significativamente sobre el potencial que se les ha impuesto.

3.2.3 CRITERIOS DE ERROR Y PASO DE TIEMPO

Según Anderson y Woessner (1992), p.223, es conveniente que el criterio de error sea una o dos órdenes de magnitud menor a la precisión que se espera en los resultados del modelo. La precisión sobre la posición de la superficie se espera que sea de más menos 4 metros, así que el criterio de error escogido ha sido de 0.1 m.

En cuanto al paso de tiempo, se ha simulado el perfil para un tiempo igual a 1000 años (DELTA). El número de pasos de tiempo para cada uno de los cuales el modelo calcula resultados es de 20 (NSTEPS), comprobándose que el régimen alcanzado es estacionario, comparando los últimos pasos. Los períodos de tiempo son todos iguales, lo que significa que $\delta = 1$. Los nombres utilizados son los nombres con los que Prickett, designa a esos parámetros. En el anexo 4 se puede consultar archivos de entrada de datos, de algunas de las pasadas.

3.3 EJECUCIÓN DEL MODELO

En un principio se discretizó el perfil N-S completo correspondiente a la figura 2.7. Se realizaron unas 20 ejecuciones sin conseguir resultados aceptables. Se observó que el escaso espesor del material semipermeable que individualiza las calizas neógenas de las jurásicas, (unos 10 m) el borde izquierdo del perfil, hacía que los niveles en todo el perfil se situaran prácticamente al mismo nivel que los niveles de las calizas neógenas y Jurásicas. Dado que esta situación es más bien la excepción que la norma, ya que el espesor de los materiales semipermeables es considerable (en general mayor de 50 m), se redujo la malla. La malla definitiva utilizada (fig.3.2), comienza a la altura de los sondeos 2/8 y 2/10, del perfil de la fig.2.7.

Se ejecutó el código con esta malla definitiva unas sesenta veces. El código utilizado está preparado exclusivamente para acuíferos confinados. Nosotros lo hemos utilizado para un acuífero libre, por lo que ha sido necesario reajustar la malla después de cada ejecución. El procedimiento de trabajo ha sido el siguiente:

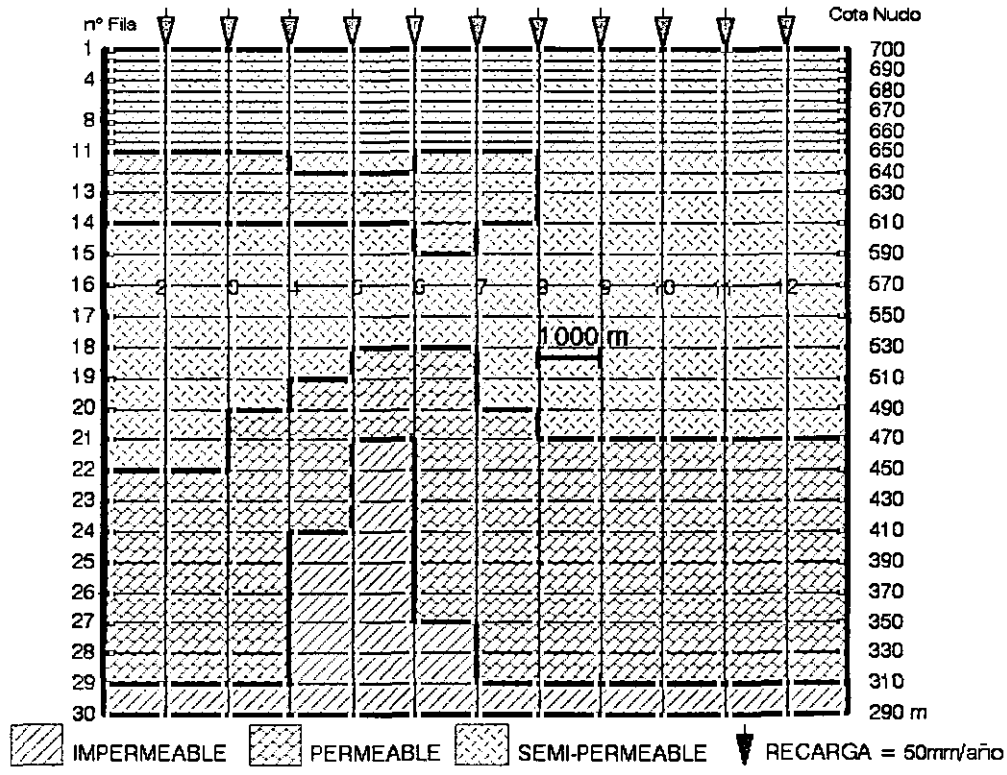


Fig.3.2: Malla del perfil hidrogeológico modelizado.

1) Introducción de unos datos de niveles tentativos para cada nudo. Se comienza utilizando toda la malla.

2) Se realiza la primera ejecución. Se toman los niveles obtenidos en esta primera ejecución, y se reajusta la posición del límite superior de la zona saturada. Se vuelve a utilizar el modelo, pero con unos datos de partida calculados ya por el propio modelo, con la malla ajustada. Se repite este procedimiento hasta conseguir que la suma de los valores absolutos entre dos pasos sucesivos fuera inferior a 4 m, considerándose ya régimen permanente.

3) Aun siendo régimen permanente se han simulado diversos bombeos, ya que el acuífero en la década de los años 70, pese a sufrir discretos bombeos, parecía mantenerse en régimen imperturbado. Se ha tratado de reproducir en algunas simulaciones, el efecto que estos bombeos podrían tener y teniendo en cuenta que el modelo no considera flujos radiales. Se ha simulado diversas pasadas cambiando, permeabilidades, geología, etc, para estudiar como afecta cada uno de estos cambios a los resultados obtenidos.

3.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración es un proceso que conlleva la definición de parámetros, condiciones de contorno y flujos similares a los medidos en campo.

Para calibrar este modelo se ejecutó el código de programación unas 60 veces, modificando ciertos parámetros en cada una de las pasadas para tratar de ajustar los niveles medidos a los niveles simulados. En la Tabla 3.1 se pueden consultar lós niveles medidos en campo en pozos y sondeos, y los calculados con el modelo.

Hay que reconocer que los datos reales son escasos, no obstante se ha utilizado toda la información disponible.

Algunos sondeos como el 2/10 se encuentra enrejillado en las dos unidades acuíferas. De una manera un tanto arbitraria se ha asignado a la unidad neógena. Normalmente los sondeos se encuentran abiertos en toda la unidad acuífera que atraviesan, por lo que es de suponer que presentaran niveles intermedios de varias equipotenciales. Los datos de nivel de un sondeo se han asignado a todas los nudos que atraviesan sus rejillas. Por último, se ha considerado que los pozos someros marcan el límite superior de la zona saturada.

Se ha conseguido ajustar de una manera aceptable, aunque no óptima, los niveles medidos en las unidades permeables, atravesadas por los sondeos, 765/2/10, 765/6/18, 765/6/22, y 765/6/20. Se exceptúa el sondeo 765/2/8, cuyos niveles se encontraban claramente por debajo de sondeos aparentemente enrejillados en la misma unidad.

En cuanto al límite superior de la zona saturada, se ha conseguido simular considerablemente bien el escalón que se puede observar en el plano de límite supe-

Tabla 3.1; Datos calculados y medidos, que han sido utilizados para la calibración del modelo.

SONDEO	COTA DEL AGUA (m.s.n.m.) Medido	COTA DEL AGUA (m.s.n.m.) Calculado	NUDOS QUE ATRAVIESA
765/2/8	642	651	(2·11) (2·12) (2·13) (2·14)
765/2/10	651	652	(3·11) (3·12) (3·13) (3·14)
765/6/11	650	655	(11·25) (11·26) (11·27) (11·28)
765/2/9	673	651	(3·9) (3·8)
765/6/18	650	651	(5·18) (5·19) (5·20) (5·21)
765/6/20	648	657	(8·11) (8·12) (8·13) (8·14)
765/6/22	659	657	(7·11) (7·12) (7·13)
765/6/1	694	697	(10·1)
765/6/13	678	675	(8·5)
765/6/17	679	675	(8·5)
765/6/9	692	702	(12·1)
765/6/31	687	687	(9·3)

rior de la zona saturada de la fig.2.9. Se ha conseguido simular aceptablemente la posición de la superficie libre en la parte meridional de la zona de estudio, por el contrario, en la parte septentrional existe diferencia entre los niveles calculados y medidos. Hay que reconocer, que dentro de la sección considerada la posición del límite superior de la zona saturada viene marcada exclusivamente por el sondeo 765/2/9, no obstante existe una discrepancia de 18 m.

De cualquier manera y aunque no se considera completamente definitorio este modelo, sí puede servir para dar explicar el funcionamiento hidrogeológico de alguna manera.

3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

Para estudiar qué parámetros influyen más en este modelo, se han realizado sucesivas ejecuciones realizando diversos cambios. Lo parámetros analizados han sido los siguientes:

- **Permeabilidad**: Se ha ejecutado el código utilizando diferentes permeabilidades para las unidades acuíferas.

- **Recarga del río Lezuza**: Se ha estudiado la posible influencia del río Lezuza, que como ya se ha dicho no llega a cortar la sección modelada. No obstante, se piensa que pueda tener alguna relación con los elevados niveles que se observan en la parte meridional del perfil. Se han supuesto de una forma un tanto arbitraria unas entradas comprendidas entre 0.4 m^3/día y 0.2 m^3/día,

- **Bombeos**: aunque en principio no se pueden simular bombeos con un perfil vertical de este tipo, se han simulado suponiendo que todo el flujo sucede paralelamente al perfil. Se reconoce la limitación que introduce este supuesto ya que sería necesario considerar flujos radiales.

- Se ha analizado un cuarto factor que se piensa que pueda tener importancia decisiva, y es el punto donde desaparezcan las calizas de la unidad acuífera superior neógena.

Las condiciones iniciales de las ejecuciones a las que se harán referencia en el texto se presentan en la tabla 3.2.

Como **resultados comunes** a todas las ejecuciones se ha observado que.

1. El flujo es mayoritariamente de dirección sur-norte en todas las pasadas.

2. En las figuras 3.3 a 3.5, se pueden ver las últimas pasadas del modelo. Se han dibujado las equipotenciales y tentativamente las líneas de flujo, se observa que la tanto la distribución de equipotenciales como las direcciones de flujo son muy similar en todas las pasadas.

3. Por la columna n.1 del modelo no entra caudal alguno, y todo el flujo es saliente.

4. Por la columna 13 entra y sale caudal en proporciones variables. Las entradas se producen a favor del acuitardo, mientras que las salidas se suceden a favor de la unidad acuífera inferior (Jurásico-Cretácico). Estas salidas no se ha representado en las figuras, ya que la diferencia de nivel entre las celdas de las columna 12 y 13 que permiten esta circulación Norte-sur es de centímetros. No obstante, esto es un efecto impuesto por

Tabla 3.2; Condiciones iniciales y de contorno de las ejecuciones B37, B38, B40, B42, B58, B59, B60, B61.

	B37	B38	B40	B42	B58	B60	B61
PERMEABILIDAD HORIZ. (m/día)							
Permeable	18	180	18	18	18	18	18
Impermeable	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
PERMEABILIDAD VERT. (m/día)							
Permeable	0.18	1.8	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Impermeable	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
CAUDAL DEL LEZUZA	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2
BOMBEOS (m3/día)	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	
EXTREMO DE CALIZAS NEÓGENAS (nº de columna)	10	10	8	8	8	8	9

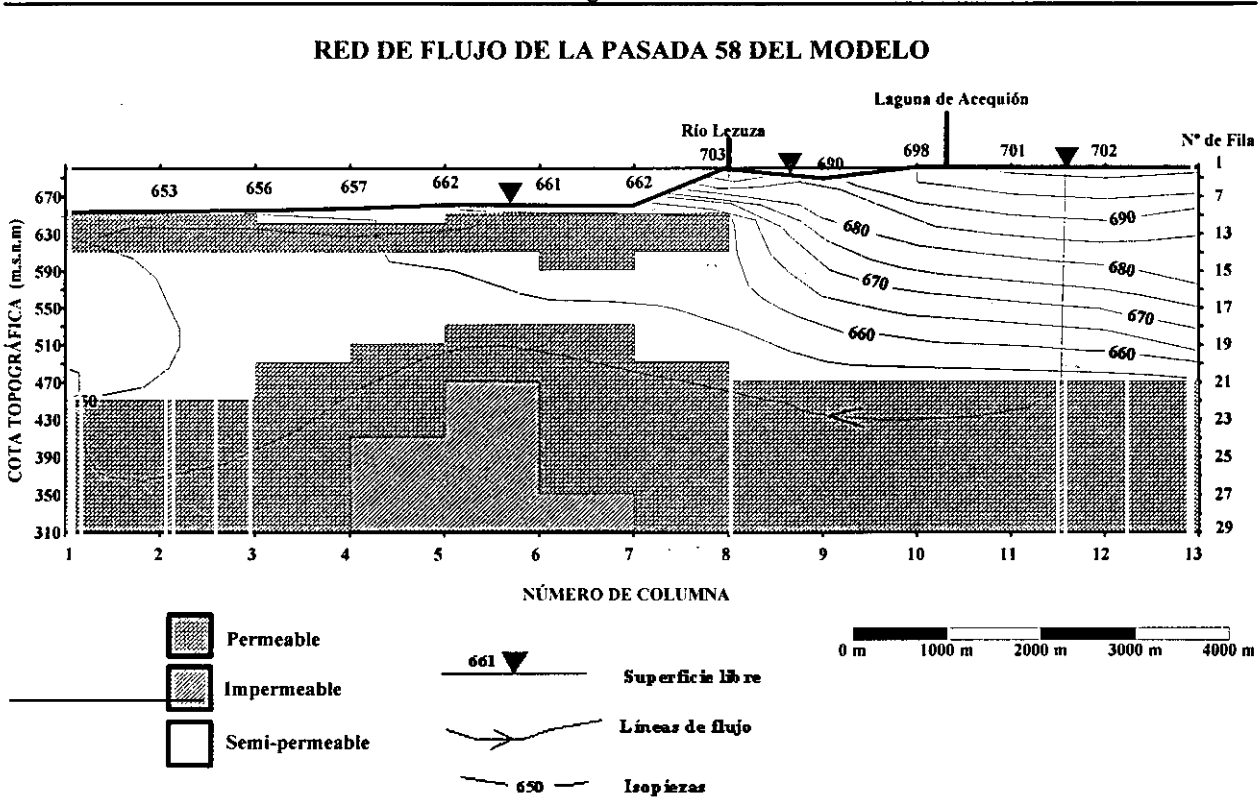


Fig. 3.3; Isopiezas obtenidas para la ejecución B58 del modelo.

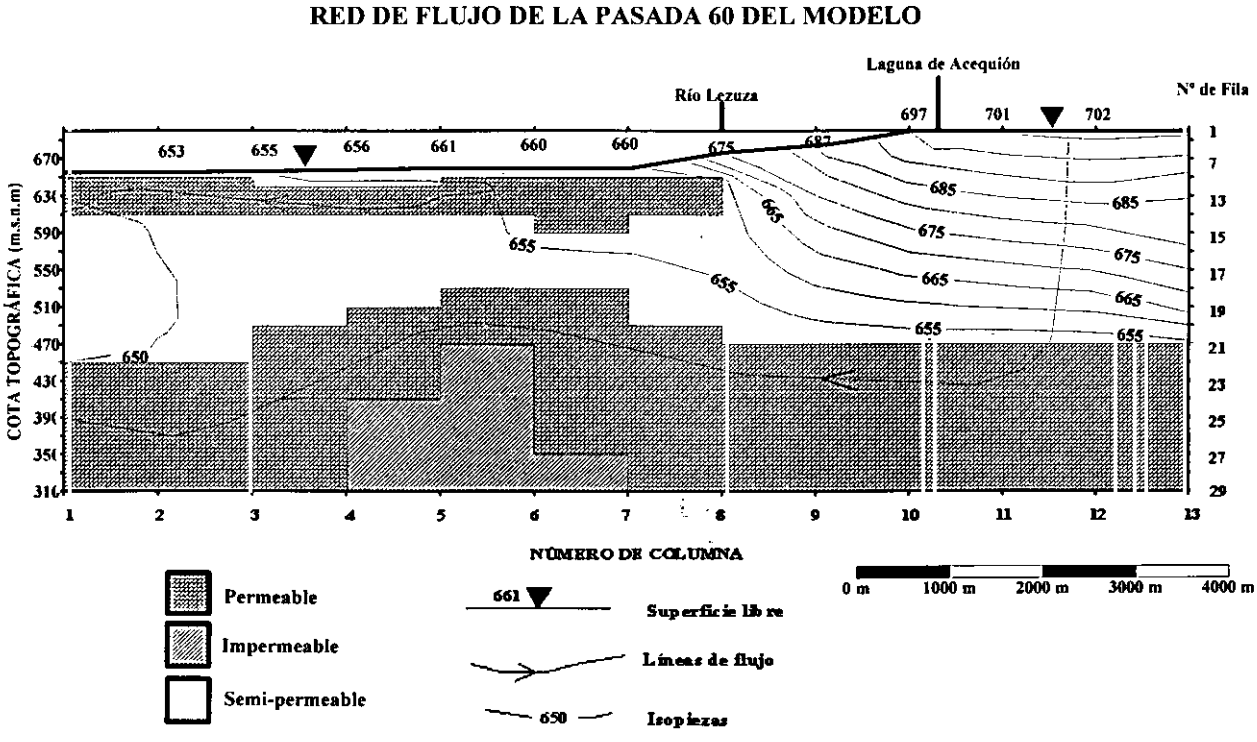


Fig. 3.4; Isopiezas obtenidas para la ejecución B60 del modelo.

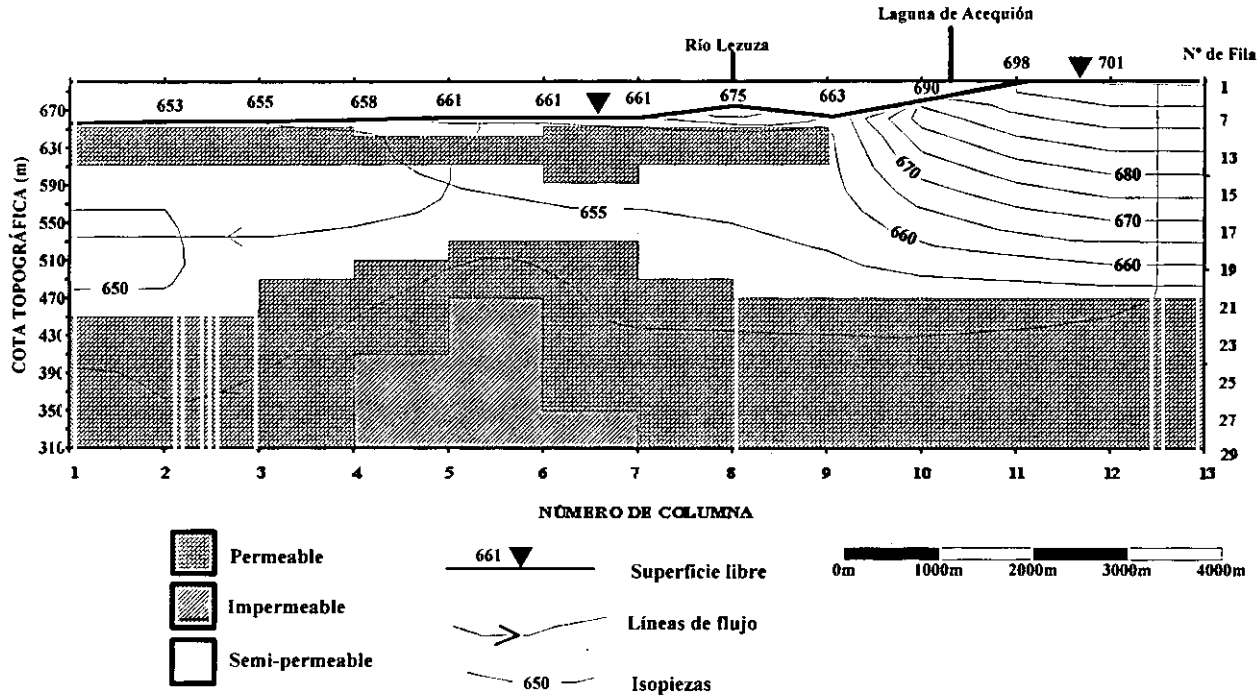


Fig. 3.5; Isopiezas obtenidas para la ejecución B61 del modelo.

Tabla 3.3: Caudal que circula a través de cada una de las columnas del modelo. Valores positivos implican flujo de Norta a sur y viceversa.

	Caudal (m3/día)			
N° columna	B37 1	B38 1	B37 2	B38 2
1	-1.434	-4.578	1.434	4.578
2	-1.297	-4.442	.000	.000
3	-1.659	-4.808	.000	.000
4	-1.521	-4.673	.000	.000
5	-1.384	-4.538	.000	.000
6	-1.246	-4.403	.000	.000
7	-1.106	-4.265	.000	.000
8	-.830	-3.988	.000	.000
9	-.691	-3.847	.000	.000
10	-.553	-3.710	.000	.000
11	-.415	-3.570	.000	.000
12	-.278	-3.433	.000	.000
13	.000	.000	-.278	-3.433

(1) Caudal que circula a través de cada columna. (-) Flujo de Sur a norte y viceversa.
(2) Caudal neto que entra o sale por los bordes del perfil. (+) Salidas (-) entradas.

las propias condiciones de contornó, más que una situación real. Se puede consultar el anexo 4, los resultados obtenidos para las pasadas B60 y B61, a modo de ejemplo.

3.5.1 DIFERENCIAS DE PERMEABILIDAD EN LA UNIDAD ACUÍFERA.

Se realizaron dos pasadas, (B37 y B38) estableciendo una diferencia de un orden de magnitud en la permeabilidad de la unidad acuífera, entre ambas pasadas.

Así pues, se impusieron unas permeabilidades horizontal y vertical igual a 18 y 0.18 m^2/día respectivamente, para la pasada B37 y 180 y 1.8 m^2/día respectivamente para la pasada B38. En la tabla 3.3 se puede ver un resumen de los caudales que circulan por cada columna del modelo, de acuerdo con estas pasadas.

Se asignó una recarga procedente del río Lezuza igual a 0.14 m^3/día por metro lineal de acuífero a la celda de superficie libre de la columna 8, suponiendo que las aportaciones del río en esa celda fueran exactamente iguales a la recarga natural procedente de la lluvia. Las condiciones de contorno en los bordes del modelo (columnas 1 y 13), son algo diferentes de las utilizadas en las pasadas definitivas, B60 y B61.

Se puede apreciar que en la pasada B37, la recarga dentro de la malla, ya provenga del río o de la lluvia, justifica un 81% del flujo en el perfil. Sólo un 19% proviene de áreas situadas al sur de la zona de estudio. Un aumento de un orden de magnitud en la permeabilidad de las calizas conlleva el aumento del caudal provinente de fuera del perfil modelizado hasta un 75%. Como condición de contorno se han fijado los gradientes, el caudal será por tanto directamente proporcional a la conductividad hidráulica. Un aumento de un orden de magnitud en la conductividad hidráulica hace que el caudal que entra en el perfil procedente de áreas externas a la zona de estudio sea doce veces superior.

En cuanto a los niveles, se observan diferencias de 2 metros en la parte norte del perfil en el límite superior de la zona saturada. Estas diferencias crecen paulatinamente hasta la columna 9, (con 9 metros de diferencia), a partir de la cual las diferencias decrecen hasta hacerse de dos m en la columna 12.

3.5.2 BOMBEOS

Como ya se ha dicho, pese a considerarse que la zona en la década de los años setenta se encontraba en régimen no perturbado, existían discretas extracciones en puntos muy localizados. Para tratar de determinar, si estas extracciones eran realmente irrelevantes, se han simulado bombeos, siempre teniendo en cuenta que los resultados pueden no ser muy exactos, dado que no se han considerado los flujos radiales.

En el apartado 2.9, se vio que los bombeos en la década de los años 70 eran aproximadamente igual a 1 hm^3/año en la zona de estudio. Esto supone que los bombeos eran aproximadamente igual a 1/5 de la recarga procedente de la lluvia, es decir unos 10 mm/año, suponiendo que estuvieran uniformemente distribuidos.

Para una superficie de 12000 m^2 (superficie total del perfil), supone unas extracciones de 120000 litros, y esto son unos 0.3 m^3/día en todo el perfil. Para poder determinar mejor su influencia se han simulado bombeos algo superiores a esta cifra e iguales 0.5 m^3/día en todo el perfil.

La influencia de los bombeos, se ha simulado en las pasadas B40 y B42. La pasada B40 se ha realizado considerando bombeos de 0.12 y 0.13 en la unidad neógena (nudos 3,10 y 3,11 respectivamente). Se han considerado bombeos en la unidad acuífera del jurásico iguales a 0.25 m^3 entre los nudos (3,21 a 3,26). Los bombeos simulados corresponderían a unas extracciones de unos 15 mm. En la pasada B42 se ha simulado con las mismas condiciones que la pasada B40, excepto los bombeos, para poder deducir su efecto.

La única diferencia entre el acuífero sometido a un bombeo discreto, como el de la década de los años 70, es apenas un metro de diferencia en los niveles de la superficie freática. esta diferencia se mantiene en los niveles piezométricos del acuitardo y de la unidad acuífera del neógeno. En la unidad acuífera del Cretácico se observan descensos centimétricos.

En cuanto a los caudales (ver tabla 3.4) la única diferencia es que el caudal que circula por el acuífero en la pasada sin bombeos B42, viene completamente justificada con la recarga, mientras que en la pasada con bombeos hay un discreto caudal (5% del caudal total) que proviene de áreas exteriores a la zona modelada. El flujo es en casi todo el perfil de sur a norte (de la columna 13 a la 1); es por esto que presentan signo negativo (tabla 3.4, columnas 1). Aparentemente circula un caudal moderado de la columna 12 a la columna 13 del modelo, a través de la unidad jurásica exclusivamente; pues bien, esto no es más que un efecto de las condiciones de contorno impuestas.

3.5.3 APORTACIONES DEL RÍO LEZUZA

Se han realizado dos simulaciones, con las condiciones de contorno ya expuestas. En la pasada B58, se han simulado unas aportaciones de 0.4 m^3/día. En la pasada B60 0.2 m^3/día con idénticas condiciones a la pasada B58. En la tabla 3.5, se presentan los resultados de las últimas ejecuciones del modelo
B61

Los caudales que entran en el perfil en B58 son igual a 1.689 más 0.183, lo que es igual a 1.872 m^3/día,

Tabla 3.4: Caudal que circula a través de cada una de las columnas del modelo y caudal que entra por la superficie libre.

N° DE COLUMNA	Caudal (m3/día)					
	B40			B42		
	1	2	3	1	2	3
1	-1.189	.000	1.189	-1.646	.000	1.646
2	-1.052	-.137	.000	-1.509	-.137	.000
3	-1.415	.363	.000	-1.372	-.137	.000
4	-1.279	-.137	.000	-1.234	-.137	.000
5	-1.143	-.137	.000	-1.096	-.137	.000
6	-1.007	-.137	.000	-.958	-.137	.000
7	-.872	-.137	.000	-.819	-.137	.000
8	-.599	-.274	.000	-.543	-.274	.000
9	-.463	-.137	.000	-.406	-.137	.000
10	-.327	-.137	.000	-.268	-.137	.000
11	-.190	-.137	.000	-.131	-.137	.000
12	-.053	-.137	.000	.007	-.137	.000
13	.000	.000	-.053	.000	.000	.007

(1) Caudal que circula a través de cada columna. (-) Flujo de sur a norte y viceversa.
(2) Caudal que entra por la superficie libre (+) salidas (-) entradas.
(3) Caudal neto que entra o sale por los bordes del perfil. (+) Salidas (-) entradas.

Tabla 3.5: Caudal que circula a tarvés de cada columna del modelo.

N°COLUMNA	CAUDAL (m3/día)		
	B58	B60	B61
1	-1.689	-1.514	-1.583
2	-1.552	-1.377	-1.446
3	-1.415	-1.240	-1.310
4	-1.277	-1.104	-1.174
5	-1.140	-.968	-1.038
6	-1.003	-.831	-.902
7	-.864	-.697	-.769
8	-.326	-.361	-.434
9	-.189	-.225	-.299
10	-.052	-.088	-.163
11	.086	.048	-.026
12	.223	.185	.111
13	.000	.000	.000

CAUDAL NETO QUE ENTRA O SALE POR LOS BORDES DEL PERFIL.
(+) Salidas (-) entradas. (m^3/día por m lineal de acuífero)

	B58	B60	B61
N° COLUMNA			
1	1.689	1.514	1.583
13	.183	.185	.111

por tanto igual a unos 680 m^3/año. Para la ejecución B60 son de unos 620 m^3/año.

Se puede observar como un aumento del 50% en el caudal del Lezuza, ocasiona un aumento del caudal que circula por el acuífero de sólo un 10%. En la pasada B58 entran en el perfil 60 m^3/año más que en la pasada B60 y sin embargo el caudal neto que circula por el acuífero sólo aumenta en 23 m^3/año por metro lineal de acuífero, lo que quiere decir que al aumentar el caudal del río aumenta el flujo que sale fuera de la zona modelizada.

En cuanto a **los niveles** (ver fig.3.3 y 3.4) la influencia de las diferentes aportaciones afecta sólo a la columna 8, en los nudos superiores. En B58 la superficie libre en el nudo (8,1) queda a 703 m, y el nudo (9,3) a 690. En B60, la superficie libre se encuentra a 675 m en el nudo (8,5) y a 687 en (9,3). Los demás nudos de superficie libre apenas se ven afectados, con diferencias de uno ó dos metros. La diferencia de niveles piezométricos en el acuitardo y en las calizas neógenas de B58 con respecto a B60 es prácticamente igual que la superficie libre. Las calizas de la unidad acuífera jurásico-cretácica, apenas experimentan diferencia alguna.

3.5.4 LÍMITE DE LAS CALIZAS NEÓGENAS

Se han realizado dos simulaciones utilizando dos límites diferentes. Como se puede ver en la tabla 3.2 la pasada B61 se ejecutó en idénticas condiciones a la B60, pero a diferencia de la misma la unidad acuífera neógena termina en la columna n.9. Se ha visto que estas calizas constituyen el elemento clave que origina ese «escalón» que puede apreciarse en el límite superior de la zona saturada (ver plano fig.2.8). Obsérvese como los niveles en el sur se aproximan a los 690 m. Mientras que en el norte descienden hasta 676 m.

Se observa como el modelo reproduce este salto en los niveles, cuya posición parece depender del extremo de la calizas neógenas. Obsérvese como en la pasada B61 del modelo (fig.3.5), se ha fijado el límite de las calizas en la columna 9, y como el «escalón» comienza en dicha columna. Por el contrario en la pasada B60 (fig.3.4), las calizas terminan en la columna n.8, punto dónde comienza este salto.

Los caudales que circulan son muy semejantes en ambas situaciones. En la pasada B60 circulan un total de 1.7 m^3/día (ver tabla 3.5). Mientras que en la B61, un 1% menos, con 1.69 m^3/día. La única diferencia apreciable, es que en la pasada B60 sale un caudal neto mayor que el que sale en la B61 por el borde izquierdo del modelo.

3.6 CONCLUSIONES

Antes de pasar a enumerar algunas conclusiones preliminares que de los diferentes modelos se pueden extraer, convendría enumerar primero las lagunas e incertidumbres:

1. Las condiciones de contorno fijadas en ambos bordes son, como ya se ha dicho en cierto modo artificiales. Para tener unas condiciones de contorno fiables, es necesario que los límites del perfil coincidan con límites hidrológicos o hidrogeológicos.

2. En este sistema, no se han incluido las calizas del Lías Inferior, por carencia también de datos.

3. La calibración del modelo no ha sido del todo satisfactoria, especialmente en cuanto a los valores absolutos de la posición del límite superior de la zona saturada en la parte septentrional. No obstante, sí reproduce la forma de la superficie libre.

4. Tanto en los bombeos como en las aportaciones del río Lezuza, no se han considerado flujos radiales, por lo que los resultados podrían carecer de realismo en lo relativo a estos dos puntos.

Como conclusiones tentativas puede decirse que:

1. Parece muy posible que los niveles tan altos que se observan en la parte meridional de la zona de estudio, se encuentran en gran parte justificados por la infiltración del agua de lluvia en materiales de baja permeabilidad. Un paquete de alta permeabilidad en la zona norte (la unidad acuífera neógena), constituye el drenaje natural del acuífero, y contribuye a rebajar los niveles allí dónde aparece.

2. Parece que el río Lezuza contribuye a elevar los niveles en sus inmediaciones, pero más bien de una forma local.

3. Parece que los bombeos de la década de los años setenta producían un escaso efecto tanto en niveles como en caudales, lo que hace pensar que realmente el acuífero se encontraba en régimen inalterado.

4. Como cabía suponer el flujo es predominantemente vertical en las unidades semipermeables (ver fig.3.3 a 3.5). En las unidades acuíferas el flujo es predominantemente horizontal. La dirección de flujo mayoritaria es sur-norte. De acuerdo con los resultados obtenidos en la pasada B60 (pasada que se ajusta más a los datos reales), por el perfil modelizado circulan unos 710 m^3/año por metro lineal de acuífero, caudal que parece estar justificado al 88% con la recarga (lluvia y río Lezuza). El 12% restante proviene de fuera del perfil modelizado.

Por la unidad acuífera jurásico-cretácica, circulan unos 311 m^3/año, de los cuales aproximadamente el 28% entra de fuera del perfil, y un 72% proviene del agua de recarga que se infiltra en el semipermeable. Por la unidad acuífera neógena circulan 380 m^3/año.

5. La diferencia de permeabilidad entre las unidades acuíferas y el semipermeable justifica la existencia de fuertes gradientes verticales (ver fig.3.3 a 3.5). No tiene nada de particular el que sondeos vecinos y pozos excavados marquen unos niveles completamente diferentes, dependiendo de si atraviesan unidades acuíferas o materiales semipermeables.

En cierto modo el modelo conceptual propuesto parece que ha quedado justificado. Los niveles de la unidad acuífera inferior se mantienen ligeramente por debajo de los niveles en la unidad acuífera superior, tal y como cabía esperar.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El objetivo de esta tesis consiste en intentar mejorar la estimación de la recarga en el acuífero de La Mancha Oriental. Tradicionalmente los estudios que se han hecho en este campo se llevaban a cabo de una manera indirecta; es decir, conociendo precipitación y estimando la evapotranspiración se determinaba la recarga. En la actualidad, gracias a las nuevas tecnologías tanto experimentales como informáticas, una buena parametrización de la zona no saturada de un acuífero, permite estimar la recarga de una manera más directa. La complejidad de la franja de terreno que queda delimitada entre la superficie del terreno y la superficie freática, denominada «zona no saturada» ha determinado que el conocimiento que se tiene sobre la misma sea muy escaso. Se va a dedicar este capítulo a realizar una revisión lo más completa posible del concepto de zona no saturada de un acuífero, los parámetros que regulan su comportamiento, como se encuentra el agua en la misma, como se produce el flujo..etc.

Para escribir este capítulo se han tomado muchas veces las ideas de Koorevaar et alt.(1983), dada la claridad con la que este libro presenta muchos conceptos, en especial los temas relacionados con flujo en zona no saturada.

4.1 CONCEPTO DE ZONA NO SATURADA

Antes de nada, conviene definir claramente lo que se entiende por un suelo, así como por zona no saturada para luego poder revisar cuales son sus principales componentes, y sus propiedades fundamentales.

Koorevaar et alt. (1983), p.1, definen un suelo desde un punto de vista puramente edafológico como el material natural que recubre la superficie del planeta, y que es producto de la degradación mecánica, química y biológica de la roca madre.

Se define "suelo no saturado" aquel cuyos poros se encuentran parcialmente ocupados por agua y parcialmente ocupados por gas, que en la naturaleza es el aire; la porción de terreno comprendida entre la superficie freática ó libre y la superficie del terreno se denomina "zona no saturada". En la práctica, casi siempre que se encuentran referencias relativas a "suelos", lo que se está queriendo decir es zona no saturada en lugar de suelo, en el sentido puramente edafológico.

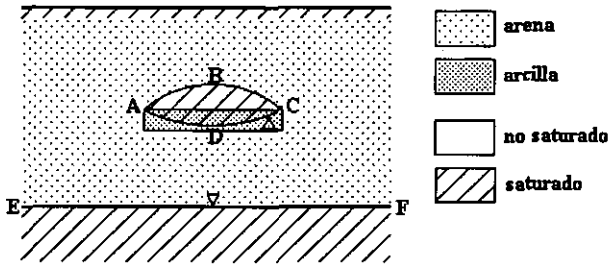


Fig. 4.1; Esquema de una superficie freática invertida y de una zona saturada colgada. Modificado de Freeze y Cherry (1979).

Debido a las peculiares características de algunos tipos de terreno, se pueden encontrar zonas saturadas en agua por encima de la superficie libre regional.

Freeze y Cherry (1979) p.45, ponen el ejemplo de un lentejón arcilloso englobado en una matriz arenosa (figura 4.1), que impide el paso del agua provocando la formación de un horizonte saturado colgado (superficie ABC), y de una superficie freática invertida (superficie ADC). Estos mismos autores diferencian tres zonas:

- **Z. saturada**, porción de terreno saturada en agua.
- **Z. no saturada** (que incluiría el suelo), se sitúa entre la superficie freática y la del terreno. Incluye una subzona sometida a evapotranspiración y una subzona intermedia, que no está afectada por las raíces de las plantas.
- **Franja capilar**, que sitúa inmediatamente encima de la zona saturada. Constituye una zona de transición entre la zona saturada y la zona no saturada. En los sedimentos de grano grueso el espesor de la franja suele ser de pocos milímetros, mientras que en los de grano fino puede alcanzar varios metros.

4.2 LA ZONA NO SATURADA

4.2.1 PROPIEDADES

El suelo, en sentido amplio, básicamente está constituido por minerales, materia orgánica, aire y agua. Los **componentes** minerales del suelo constituirían la matriz de dicho suelo. Puede encontrarse cementado debido a la precipitación de diversos compuestos que constituirían lo que se denomina el "cemento".

La **textura** de un suelo viene definida por el conjunto de todas aquellas propiedades del mismo que son mesurables, tales como el tamaño de los clastos que integran el suelo, la forma de los mismos, su esfericidad..etc. De acuerdo con los diversos tamaños de las partículas minerales que integran un suelo se han

clasificado de muy diversa forma denominándose arcilla a las partículas inferiores a 0.002 mm, limo a las comprendidas entre 0.002 y 0.2 mm y por último arena a las comprendidas entre 0,2 y 2 mm. En la práctica, el límite arcilla/limo, se suele establecer en 0.005 mm. Esta es la clasificación que adoptan Koorevaar et alt. (1983), aunque hay que recordar que no existe una nomenclatura internacional a este respecto siendo las clasificaciones muy diversas. La determinación de los tamaños de partículas que integran un suelo se realiza mediante tamices de diversas aberturas, aunque para las partículas tamaño arcilla se requieren estudios de velocidad de sedimentación.

Para clasificar texturalmente los suelo la mayor parte de los autores que trabajan en ZNS suelen utilizar el triángulo que se puede ver en la figura 4.2 de la ISSS (*International Society of Soil Science*).

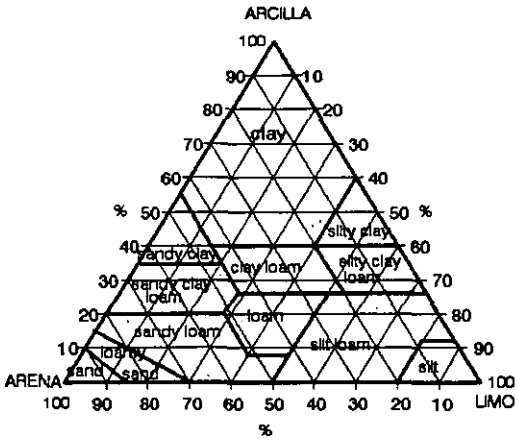


Fig. 4.2; Clasificación textural de suelos según la International Society of Soil Sciences (ISSS)

La **estructura** representaría el aspecto que adquiere el suelo al reordenarse sus constituyentes, ya sea por procesos de sedimentación, disgregación, disolución, precipitación..etc.

Dentro de las **propiedades del suelo** que con vistas a este trabajo más nos interesan, se encuentran la porosidad y la densidad.

La **porosidad total** es por definición el volumen total de huecos presentes en el suelo, que se pueden encontrar llenos de aire o agua o de ambos, y se suele expresar como:

$$\phi = \frac{V_p}{V_t} \qquad (4.1)$$

ϕ : porosidad;

V_p : volumen total de poros en un volumen de suelo considerado

V_t : volumen de total suelo.

La porosidad total depende de diversos factores, tales como el tamaño de las partículas que componen el suelo (a mayor tamaño de grano menor porosidad), la clastometría (a mayor selección de tamaños mayor porosidad) y la ordenación de las partículas del suelo.

Otra propiedad importante a mencionar es la densidad aparente de un suelo. Se entiende por densidad aparente, la masa total de la materia de un suelo dividido por el volumen que ocupa. No coincide la densidad aparente con la densidad de cada una de las fases, sólida, líquida y gaseosa, aunque si existe una relación entre la densidad de cada una de ellas y la densidad aparente:

$$\delta_t = \theta_g \delta_g + \theta_l \delta_l + \theta_s \delta_s \qquad (4.2)$$

siendo:

δ_t : densidad total

δ_g : densidad fase gaseosa

δ_s : densidad fase sólida

δ_l : densidad fase acuosa

$\theta_{g,s,l}$: contenido volumétrico de las fases gaseosa, sólida y acuosa.

En el siguiente epígrafe se define este concepto.

4.2.2 EXPRESIONES DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO

Los poros de un suelo en la zona no saturada se encuentran rellenos en proporciones muy variadas de gas y de agua. Para expresar la proporción de una u otra fase se han definido una serie de conceptos que nos permiten cuantificar el contenido de humedad de un suelo. Los más comunes son los que siguen; Cfr. Hillel (1971), p.58; Bear (1972); Marshall y Holmes (1988), p.11 ; Cruces de Abia (1989), p.65:

- Contenido de Humedad en función del volumen, (Contenido Volumétrico de agua); (θ):

Se define como el cociente entre el volumen ocupado por la fase acuosa en una muestra de terreno y el volumen total de la misma.

$$\theta = \frac{V_l}{V_t} \qquad (4.3)$$

Siendo V_l el volumen de líquido presente en una muestra de terreno y V_t el volumen total ocupado por dicha muestra.

En esta tesis se expresan los contenidos de humedad medidos en **contenido volumétrico de agua** (θ) siempre que no se indique lo contrario.

- Contenido de Humedad en función de la masa (W): Es la relación entre la masa del agua en la muestra y la masa total de la muestra de suelo.

$$W = \frac{M_a}{M_s} \quad (4.4)$$

Siendo:
M_a : masa del agua
M_s: masa total de la muestra de suelo seco.

- Grado de Saturación (S): Se define grado de saturación como la fracción del volumen total de huecos dentro de un medio poroso, ocupado por un líquido determinado.

$$S = \frac{V_l}{V_p} \quad (4.5)$$

Siendo:
V_l: volumen de líquido
V_p: volumen de la fracción porosa del medio considerado.

Teniendo en cuenta 4.1, 4.3 y 4.5

$$S = \frac{\theta}{\phi} \quad (4.6)$$

- Grado de Humedad (M): Se define este concepto como el porcentaje del peso del agua contenida en una muestra, antes de desecarla con respecto al peso de la muestra desecada a 105ºC.

$$M\,(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad (4.7)$$

Siendo:
P_h : peso de la muestra húmeda
P_s : peso de la muestra seca

4.2.3 FUERZAS QUE RETIENEN EL AGUA EN EL SUELO

El agua en el interior de un suelo, a nivel microscópico se encuentra retenida por tres tipos diferentes de fuerzas:

- Fuerzas de Van der Vaals; disminuyen en razón inversa a la sexta potencia de la distancia. Son capaces de retener tan sólo una delgada lámina de agua en torno a las partículas del suelo, de 0.1 μm . El agua retenida de esta forma no es susceptible de movimiento.

- Fuerzas de atracción osmóticas en dobles capas difusas; este tipo de fuerzas se originan sobre todo, por la presencia de cargas no compensadas en los bordes de las láminas de arcillas. Serán de especial importancia en los suelos de naturaleza arcillosa.

- Fuerzas capilares; son el resultado de la interacción liquido-gas y líquido-sólido entre el agua presente en el suelo y las partículas sólidas del mismo. Este tipo de fuerzas son las que dominan en los materiales de naturaleza arenosa.

4.2.3.1 FUERZAS DE ATRACCIÓN OSMÓTICA EN DOBLES CAPAS DIFUSAS.

Cuando se hace referencia al término "arcilla" hay que aclarar que es lo que se quiere decir con el mismo, ya que puede tener diferentes significado, consultese el el glosario. En este epígrafe nos referiremos exclusivamente a arcilla como mineral y no como expresión de tamaño de partícula.

Los minerales de arcilla están básicamente formados por tetraedros de Si u octaedros de Al rodeados de átomos de oxígeno, dispuestos en láminas. Durante la formación de minerales arcillosos se producen sustituciones isomórficas, como por ejemplo de Mg^{+2} por Al^{+3}. Esto provoca que las láminas de arcilla presenten un carga residual negativa; Esta carga es compensada por cationes que se adhieren a las láminas mediante fuerzas electrostáticas. Al conjunto de cargas negativas residuales de la lámina de arcilla y cargas positivas que envuelven esta primera "capa" de cargas negativas es lo que se conoce con el nombre de **"doble capa"**.

Si las arcillas presentan líquido intersticial, los cationes de la doble capa se encuentran disueltos en una solución acuosa y por tanto la dispersión de la capa catiónica es muy grande.
Frente a la atracción que sufren por parte de las láminas, existe una fuerza de repulsión entre los cationes que se va haciendo cada vez menor conforme aumenta su distancia a la lámina de arcilla. Cuando la distancia es tal que su influencia es nula, se iguala la concentración de cationes y aniones en la solución intersticial.

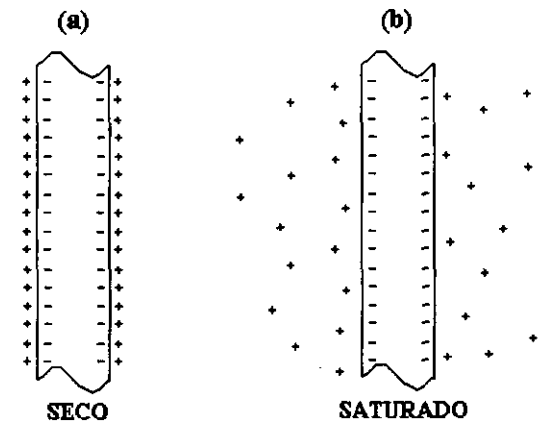


Fig. 4.3; Disposición de cationes en torno a una lámina de arcilla seca (a), y disposición en torno a una lámina mojada (b).

Al conjunto de lámina de arcilla-cationes disueltos en una solución acuosa se le denomina **"doble capa difusa"**. En la figura 4.3 se puede observar como

se disponen los cationes en torno a una lámina de arcilla seca (a) y en torno a una húmeda (b), junto los fenómenos de peptización (a) y floculación (b).

Si no hay solución intersticial, la concentración de aniones es nula en los extremos de la doble capa y las láminas de arcillas se disponen paralelamente una a la otra compartiendo cationes (fig..4.4 a). La doble capa deja de ser difusa al no haber solución intersticial. A este fenómeno se le conoce con el nombre de **"peptización"** de las arcillas.

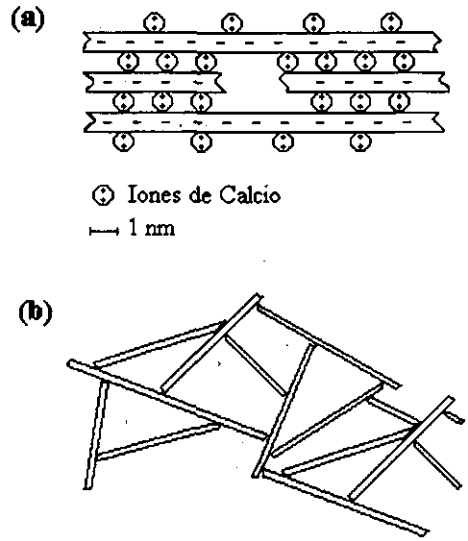


Fig. 4.4; Fenómenos de peptización (a) y floculación de arcillas (b). Extraido de Koorevar et alt. (1983), p. 22.

La presencia de agua favorece la formación de una doble capa difusa, las láminas de arcillas se orientan disponiendose casi perpendicularmente unas con otras (fig.4.4 b). Esto se conoce con el nombre de **"floculación"** de las arcillas.

Según Koorevaar et alt. (1983) p.94, el agua se encuentra sujeta a tres tipos diferentes de fuerzas en las dobles capas difusas de las láminas de arcilla.

- En las proximidades de dichas láminas, se encuentra sujeta por fuerzas de tipo **London-van der Waals**; estas fuerzas decrecen rápidamente con la distancia, y no dependen de la composición y extensión de la doble capa. Cfr. Cruces de Abia, (1989), p.102.

- Debido a la naturaleza dipolar del agua, las moléculas de la misma, se orientan debido a **fuerzas electrostáticas**, y los dipolos se orientan con los polos positivos hacia las láminas de arcilla; este tipo de fuerza decrece con la distancia y se hace nula al final de la doble capa difusa.

- Por último actúa un tercer tipo de fuerza resultante de la elevada concentración iónica en la doble capa, que aumenta hacia la lámina de arcilla.

4.2.3.2 FUERZAS CAPILARES

Los poros de una roca o de un suelo se comportan de igual manera que un manojo de tubos capilares sumergidos en agua, y las fuerzas que hacen que el agua quede retenida en contra de la fuerza de la gravedad son las mismas. A continuación se explica el conjunto de fuerzas que actúan sobre el agua en el interior de un tubo capilar.

La actuación conjunta de las fuerzas de adhesión y cohesión en el interior de un tubo capilar son las responsables del estado de retención en el interior de los poros de tamaño capilar (cfr. Cruces de Abia, 1989, p.92).

- Las **fuerzas de adhesión**. Son las que se producen en la interfase entre un sólido y un líquido. Consideremos agua en contacto con un sólido. En la interfase sólido-líquido, las moléculas de agua se pueden ver atraídas con mayor intensidad por el líquido o por el sólido.

Se *define la* ***tensión interfacial*** (σ) *de la* interfase sólido-líquido, como la energía de la interfase (E_{p2}), expresada por unidad de superficie de interfase (S). Sus unidades son Julio m^{-2}. Se considera la energía de las moléculas del agua en el interior del líquido como tensión de referencia y por tanto igual a cero. Si el sólido atrae a las moléculas de la interfase con más fuerza que las propias moléculas de agua, (esto implica que la energía en la interfase es menor que en el seno del agua), entonces $\sigma < 0$ y el líquido moja al sólido. Si $\sigma > 0$, el sólido repele al líquido, y el líquido no moja.

- **Las fuerzas de cohesión**: Son las que se producen en la interfase de un líquido y un gas. Las moléculas de un líquido son atraídas con diferente intensidad en la superficie del líquido, y en el interior del mismo. La figura 4.5 muestra dos moléculas de agua situadas una en la superficie de un líquido (agua) y en contacto con un gas circundante, y otra inmersa en el centro del fluido. La primera de ellas, es atraída con una intensidad superior por el agua, que por el gas, mientras que la segunda, es atraída con la misma intensidad en todas las direcciones.

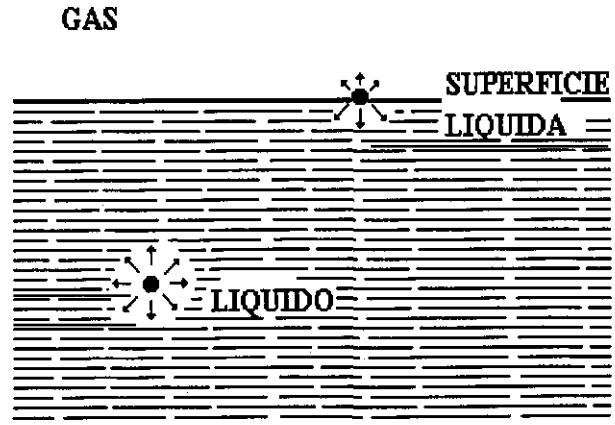


Fig. 4.5; Fuerzas cohesivas actuando sobre moléculas situadas en el interior y en la superficie de un líquido. Modificado de Hillel, (1971).

Se define la **tensión superficial** (μ) de la interfase líquido-gas, como la energía de la interfase

(E_{pl}) expresada por unidad de superficie (S) de interfase. Sus unidades son como en el caso anterior, Julio.m^{-2}. La tensión superficial siempre tiene signo positivo, ya que siempre es mayor la atracción que ejercen las propias moléculas de agua sobre las moléculas situadas en la interfase, que la atracción que pueda ejercer el gas sobre ellas.

Consideremos el tubo capilar de la fig. 4.6 de radio "r", cuyo extremo está sumergido en una cubeta de agua. Se observa que el agua asciende hasta una determinada altura y la superficie del líquido en el interior del tubo capilar se curva con un radio de curvatura "R". Tanto la altura que alcanza el agua en dicho tubo, como el radio de curvatura del líquido "R" va a depender de la relación que exista entre σ y μ.

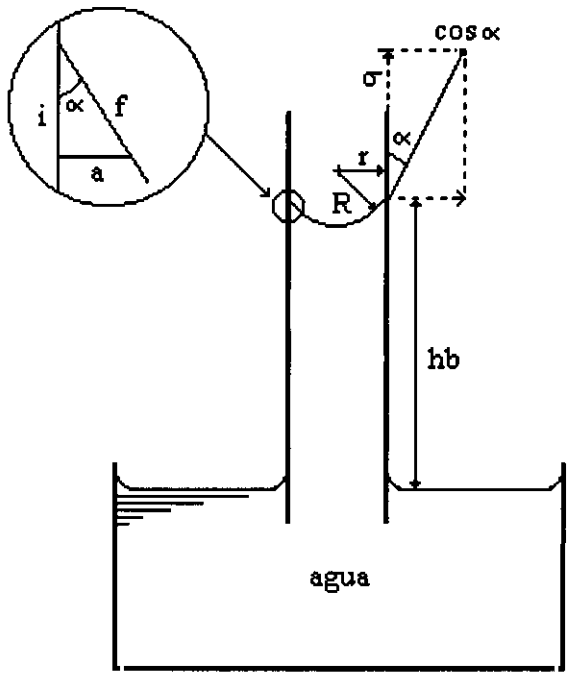


Fig. 4.6; Ascenso capilar en tubo capilar. Modificado de Koorevaar et alt. (1983). p. 64.

Nada más introducir el tubo en el líquido, la energía E_p asociada a la interfase entre el sólido, líquido y gas, será el resultado de la suma de las energía de las interfases, sólido-líquido y sólido-gas.

Como μ y σ, por su definición son igual a:

$$\mu = \frac{E_{pl}}{s}; \sigma = \frac{E_{p2}}{s} \qquad (4.8)$$

por tanto, $E_p = E_{pl} + E_{p2}$

De la figura n.4.6 se desprende que si llamamos «i» a la superficie de la interfase líquido-sólido y «f» a la superficie de la interfase líquido-gas y teniendo en cuenta (4.8), tenemos:

$$f = \frac{a}{\operatorname{sen}\alpha}; i = \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \qquad (4.9)$$

siendo α, el ángulo de contacto entre el líquido y el sólido

$$E_p = \frac{\mu a}{\operatorname{sen}\alpha} + \frac{\sigma a}{\operatorname{tg}\alpha} \qquad (4.10)$$

Como en la naturaleza todo tiende a alcanzar el estado de mayor equilibrio, α se ajustará de tal manera que la energía total de las interfases, E_p, sea mínima. Esto es $\frac{\partial E_p}{\partial \alpha} = 0$; derivando (4.10) con respecto a α, e igualando a cero la primera derivada:

$$0 = \frac{\mu s \cos\alpha}{\operatorname{sen}^2\alpha} + \frac{\sigma s}{\operatorname{sen}^2\alpha} - (\operatorname{sen}^2\alpha)\frac{\mu\cos\alpha + \sigma}{\operatorname{sen}^2\alpha} = \qquad (4.11)$$

$$= 0 - \mu\cos\alpha + \sigma$$

$$\cos\alpha = -\frac{\sigma}{\mu} \qquad (4.12)$$

De (4.12) se deduce que:

$$\begin{aligned} &\alpha = 0° \text{ cuando } \sigma = -\mu \\ &\alpha = 90° \text{ cuando } \sigma = 0 \\ &\alpha = 180° \text{ cuando } \sigma = \mu \end{aligned} \qquad (4.13)$$

El ángulo de contacto α, por limitaciones físicas obvias, nunca será mayor de 180°, ni menor de 0°. Por tanto cuando $\alpha = 0°$, significa que $\sigma \leq -\mu$, y cuando $\alpha = 180°$, $\sigma \geq \mu$.

Lo normal tanto en el sistema suelo-agua como en el caso del capilar y el agua, es que $-\mu = \sigma$. Esto significa que $\alpha = 0°$ y por tanto $\sigma < 0$ lo que implica que el líquido se encuentra atraído por el sólido. Al mojar el líquido al sólido, una delgada película de agua avanza por las paredes del tubo capilar, y la interfase líquido-gas se hace muy grande. Con objeto de reducir la interfase líquido-gas, y por tanto la tensión superficial (μ), el agua sube por las paredes del capilar en contra la gravedad.

Una vez que el agua comienza su ascenso por el tubo capilar la interfase sólido-líquido se hace progresivamente cada vez mayor por lo que la energía en la interfase (σ) aumenta. El ascenso capilar se hace independiente de σ. El ascenso de agua continúa hasta que la disminución de la energía en interfase líquido-gas se equipara con el aumento de energía gravitacional de la columna de agua que ha ascendido por el interior del tubo. La tensión superficial (μ), como ya se ha dicho es la energía de la interfase líquido-gas por unidad de superficie, y es equivalente a una fuerza dividida por unidad de longitud (J.m^{-2} = N m^{-1}). De la figura 4.6 se desprende que (μ) se puede expresar como un vector fuerza con una componente vertical y otra componente

horizontal. El módulo de la componente vertical de esta fuerza por unidad de longitud se puede expresar como la proyección de μ sobre el tubo capilar y es igual a $\mu \cos\alpha$. El módulo de la componente horizontal de dicho vector por unidad de longitud es igual a $\mu \operatorname{sen}\alpha$. Dado que este vector actúa sobre todo el perímetro del tubo capilar, las componentes horizontales se anulan unas con otras.

El perímetro a lo largo de la cual se aplica dicha fuerza es $2\pi r$, por tanto, la resultante de dicha fuerza será igual a $2\pi r \mu \cos\alpha$.

La fuerza que contrarresta esta, es una fuerza dirigida hacia abajo, y corresponde a la fuerza gravitatoria, en la que la masa de la columna de agua es igual a $\pi r^2 h_b \delta_l$; dónde h_b es la máxima altura alcanzada dentro del capilar, δ_l la densidad del líquido, y r el radio del tubo capilar.

Se puede establecer por tanto que la máxima altura que se alcanzará en un tubo capilar será:

$$\pi r^2 h_b \delta_l g = 2\pi r \mu \cos\alpha \qquad (4.14)$$

$$h_b = \frac{2\mu \cos\alpha}{\delta_l g r} \qquad (4.15)$$

Cuando el ángulo de contacto es $\alpha = 0$:

$$h_b = \frac{2\mu}{\delta_l g r} \qquad (4.16)$$

De acuerdo con la figura 4.6 el radio del tubo capilar (R) se podrá calcular con la expresión:

$$R = \frac{r}{\cos\alpha}; \text{si } \alpha = 0 \Rightarrow R = r \qquad (4.17)$$

La máxima altura que alcanza un líquido dentro de un tubo capilar se va a denominar **"presión de burbujeo"**, para un gas cualquiera, y **"valor de entrada de aire"** (h_b), para el caso del aire; si por cualquier motivo se elevara la columna de agua por encima de este valor, el aire entraría dentro del tubo hasta rebajar dicha columna a su valor primitivo.

Merece la pena reseñar que la "presión de burbujeo" aunque se expresa en m no representa una longitud, sino que representa una energía por unidad de peso o potencial ($J\,N^{-1} = m$). Coinciden la máxima altura capilar con la medida de dicho potencial, y es por esto que midiendo la altura de la columna de agua de un capilar se puede determinar el valor de dicha energía. Se puede expresar también en pa ($J\,m^{-3}$), ó ($J\,kg^{-1}$).

Las fuerzas capilares son particularmente importantes en los suelos arenosos, cuyos poros se comportan como si fueran pequeños tubos capilares, y son las causantes de que inmediatamente encima de la zona saturada, se forme una franja de terreno saturado con agua capilar.

4.2.4 COMO SE ENCUENTRA EL AGUA EN EL SUELO

Dependiendo del tipo de fuerzas que retengan al agua en el suelo, Cruces de Abia (1989), p.67, ha diferenciado diversos tipos que se esquematizan en la fig. 4.7.

El **agua adsorbida** está fija a las partículas del suelo, y forma una delgada película en torno a ellas, por medio de fuerzas de Van de Vaals. No participa del movimiento del agua en el suelo.

Agua retenida en las dobles capas difusas de las láminas de las arcillas. Circula muy lentamente y no es utilizable por la vegetación.

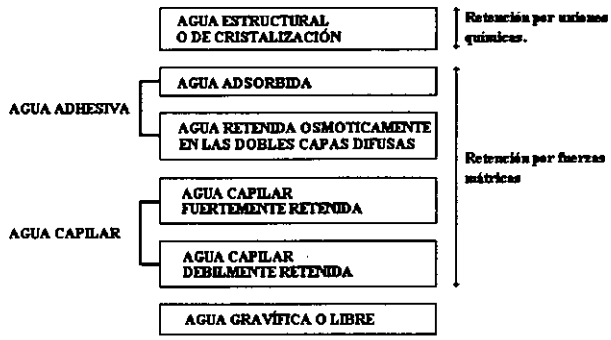


Fig. 4.7; Distintos tipos de aguas que pueden encontrarse en el suelo; según Cruces de Abia (1989), p. 67.

Agua capilar; que se encuentra retenida en los poros o canales del suelo. Circula lentamente y sobre todo debido a cambios de presión. Es utilizable por las plantas.

Agua gravitacional, es el agua que no se encuentra retenida en el suelo. Puede circular libremente y de acuerdo con la ley de la gravedad. Se encuentra presente sobre todo en zona saturada.

4.3 EL AGUA EN LA ZONA SATURADA

Para poder comprender como se comporta el agua en un medio no saturado, es necesario revisar primero como se comporta el agua en un medio saturado.

4.3.1 EL POTENCIAL DEL AGUA

El agua en el interior de un acuífero podrá circular entre dos puntos distintos siempre y cuando existan diferencias de energía. Se define energía, como la capacidad de un cuerpo (en este caso el agua) para desarrollar un trabajo. Para poder cuantificar la energía de la que dispone el agua para moverse es necesario referir la energía de la que se dispone unidad de masa, peso o

volumen, surge así el concepto de **"potencial"**.

Siguiendo las ideas de Freeze y Cherry (1979), p.19, un fluido en el interior de un cilindro horizontal de Darcy, sólo podría moverse de un punto a otro por la existencia de presiones diferentes. Si se coloca el cilindro en posición vertical, el flujo se producirá exclusivamente por efecto de la gravedad; si se coloca en posición horizontal, no habrá flujo alguno, a menos que existan gradientes de presión de un extremo a otro. De todo esto se deduce, que la energía total del agua va a presentar dos componentes fundamentales, un primero de **presión**, y otro segundo de **gravedad**. Un tercer componente sería el de velocidad, que en los medios en los que se desenvuelve la hidrogeología es tan pequeña, que habitualmente se desprecia.

Por tanto, para elevar un elemento diferencial de masa de agua (ver figura 4.8), de un punto P_0 a otro

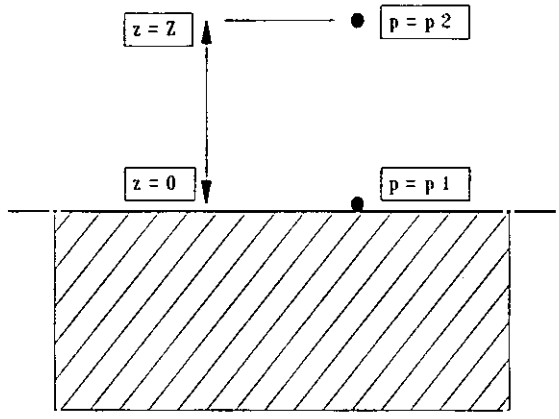


Fig. 4.8; Energía que hay que gastar para elevar una partícula de agua de un punto "z = 0" a "z = Z". Modificado de Freeze y Cherry (1979), p.19.

punto P, sería necesario realizar el siguiente trabajo:-

El trabajo necesario para elevar de z=0 a z=Z, un elemento diferencial de masa sería igual a:

$$W_1 = \Delta m \times g \times Z; \qquad (4.18)$$

Siendo:
W; trabajo
g; aceleración de la gravedad
Δ m; elemento diferencial de masa
Z; altura a la que se eleva el punto de agua, sobre un plano de referencia (nivel del agua de mar).

De acuerdo con Cruces de Abia (1989), p.82, si consideramos un elemento diferencial de masa de un medio poroso, dónde el agua está sometida a una presión "P", ese agua tendrá una energía elástica debida a la diferencia entre esa presión y la presión de referencia "P_0". La presión de referencia es siempre la presión atmosférica.

El energía que se deriva de esa diferencia de presión se puede escribir como:

$$W_2 = (P - P_0)V \qquad (4.19)$$

La energía necesaria para que el elevar dicho elemento de agua de P_0 a P será igual a la suma de (4.18) y (4.19), lo que resulta:

$$W_1 + W_2 = \Delta mgZ + \frac{(P - P_0)\Delta m}{\delta} \qquad (4.20)$$

Como se decía al principio de este mismo apartado, el potencial es la energía expresada por unidad de masa, peso o volumen de un cuerpo. El "potencial total" es igual a la suma de dos componentes, uno denominado "potencial gravitacional", y otro denominado "potencial de presión", reiterando que existe un tercer componente, el de velocidad, que casi nunca se considera.

4.3.2 POTENCIAL DEL AGUA POR UNIDAD DE MASA

El **potencial total** por unidad de masa resultará de expresar la suma W_1+W_2 dividido por la masa. El **potencial gravitacional** es el resultado de dividir (4.18) por la unidad de masa, que resultará igual a

$$\frac{W_1}{\Delta m} = \psi_g = \frac{\Delta mgZ}{\Delta m} = gZ \qquad (4.21)$$

El **potencial de presión por unidad de masa** es el resultado de tomar (4.19) y dividir por la unidad de masa, resulta igual a:

$$\frac{W_2}{\Delta m} = \psi_p = \left(\frac{P - P_0}{\delta}\right) \qquad (4.22)$$

La ecuación elemental de la estática de fluidos, predice que la diferencia de presión, (P_1-P_2), existente entre dos puntos p_1 y p_2, en la vertical en el interior de un fluido, es igual al peso de un prisma de base unitaria de fluido y altura (h), igual a la distancia que separa dichos puntos. Por tanto, ΔP, será igual al peso específico (γ) de dicho líquido, multiplicado por la altura del prisma, esto es, δh.

Se puede escribir como:

$$(P_1 - P_2) = \delta gh = \gamma h \qquad (4.23)$$

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

Sustituyendo (4.23) en (4.22) el potencial de presión por unidad de masa se expresa:

$$\frac{W_2}{\Delta m} = \psi_p = \frac{(P - P_0)}{\delta} = \frac{\delta gh}{\delta} = gh \qquad (4.24)$$

El potencial total expresado por unidad de masa será igual:

$$\psi_T = \psi_g + \psi_p = gZ + gh = g(Z + h) \qquad (4.25)$$

4.3.3 EL POTENCIAL POR UNIDAD DE PESO

El potencial total expresado por unidad de peso se obtendría simplemente tomando la ecuación (4.20), sustituyendo $P-P_0$ por (4.23) y dividiendo por la aceleración de la gravedad "g" y pór ∇m. Quedaría:

(4.26) $$H_T = Z + h$$

4.3.4 EL POTENCIAL POR UNIDAD DE VOLUMEN

Tomando la ecuación (4.20), sustituyendo $P-P_0$ por (4.23), y dividiendo el potencial total en función del volumen sería:

(4.27) $$\varphi_T = \varphi_g + \varphi_p = \delta g(Z + h)$$

Tabla 4.1: En la siguiente tabla se resumen las tres diferentes expresiones de potencial que se emplean, así como las magnitudes físicas de las mismas. Se añade además la terminología con la que habitualmente se denominan dichos conceptos en la literatura inglesa:

	POTENCIAL POR UNIDAD DE MASA	POTENCIAL POR UNIDAD DE PESO	POTENCIAL POR UNIDAD DE VOLUMEN
UNIDADES	$J \times kg^{-1}$	m de agua	Pascales$(Pa) = J \times m^{-2}$ $1\,bar = 10^5\,Pa$
POTENCIAL GRAVITACIONAL	"Gravitational Potential" $\psi_g = gZ$	"Potential Head" "Gravitational Head" "Elevation Head" $H_g = Z$	$\varphi_g = \delta g Z$
POTENCIAL DE PRESION	"Hydraulic Potential" $\psi_p = gh$	"Pr essure Head" $H_p = h$	$\varphi_p = \delta gh = \Delta P$
POTENCIAL TOTAL	"Pr essure Potential" $\psi_T = g(Z + h)$	"Hydraulic Head" $H = Z + h$	"Pr essure Equivalent" $\varphi_T = \varphi_g + \varphi_p =$ $= \delta g(Z + h)$

4.4 EL AGUA EN LA ZONA NO SATURADA

4.4.1 EL POTENCIAL DEL AGUA EN LA ZONA NO SATURADA

De igual manera que en la zona saturada el agua en zona no saturada se va a mover por variaciones de presión y por la acción de la fuerza de la gravedad. El potencial del agua en medio no saturado tendrá también dos componentes fundamentales; un componente de presión, denominado potencial mátrico, y otro gravitacional. Hay otros fenómenos que pueden producir flujo de agua. Uno de ellos es la distinta salinidad que pueda tener el agua en dos puntos.

En zona saturada es una magnitud despreciable frente al movimiento del agua ocasionado por gradientes de presión o gravedad. En zona no saturada el movimiento del agua es más lento y en ocasiones es necesario incluir un término en la ecuación del potencial total que refleje el movimiento del agua debido a variaciones en su concentración. A este término se le denomina "potencial osmótico".

4.4.2 EL POTENCIAL MÁTRICO

Los poros de un suelo se podría asemejar a finos capilares introducidos en agua, en los cuales debido a la acción conjunta de las tensiones interfaciales y superficiales, el agua asciende en contra de la gravedad, tal y como se vio en el apartado 4.2.3.2 La presión del agua en el interior de un tubo capilar es siempre inferior a la presión atmosférica. Se considera que la presión atmosférica es la presión de referencia, por tanto igual a cero. Por esto la presión en el interior de un tubo capilar será negativa.

En la figura 4.9 se presenta un capilar introducido en un recipiente con agua. El líquido está en reposo, lo que significa que está en equilibrio estático. Su potencial total en cualquier punto es por tanto igual a cero.

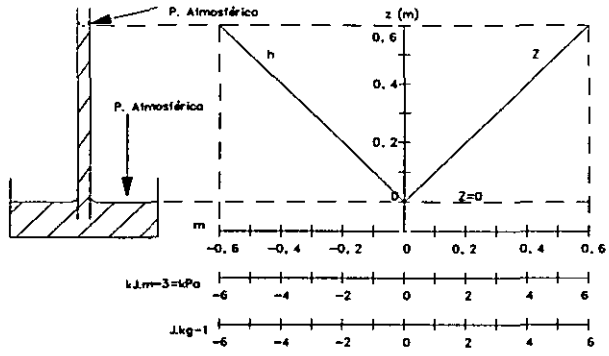


Fig. 4.9: Diagrama de potenciales en un tubo capilar. Modificado de Koorevar et alt. (1983); p. 67

La presión en la superficie del agua del recipiente, es la presión atmosférica, que como es la presión de referencia se considera igual a cero, por lo que el potencial de presión (H_p) expresado por unidad de peso será cero. Como el plano de referencia (Z=0) se toma también en la superficie del líquido, el potencial gravitacional será también igual a cero. El potencial total (H=Z+h) será igual a cero.

Como no hay movimiento de agua, el agua en el interior del tubo capilar tiene exactamente el mismo potencial total que la superficie del líquido, por tanto cero. El potencial gravitacional, que siempre será positivo, tendrá que ser por tanto, Z=-h. Se ve así como el potencial de presión en el interior de un tubo capilar es negativo. Esto significa que la presión en el interior del tubo capilar va a ser siempre inferior a la presión atmosférica.

El incremento de potencial gravitacional que se produce al elevarse la columna capilar va a ser compensado con el descenso en la presión del agua en el interior del tubo capilar.

La diferencia de presión existente entre un elemento diferencial de volumen de agua sobre el menisco y un elemento difrerencial de volumen de agua por debajo del menisco, por 4.23, será igual a:

(4.28)
$$\Delta p = \delta_a g h_b = \varphi_p$$

y por 4.16 conocemos el valor de h_b, de dónde se deduce que:

(4.29)
$$\delta_a g h_b = \frac{2\mu}{R} = \Delta P$$

Esto quiere decir que la máxima altura que alcanzará el agua en un tubo capilar va depender de la diferencia que exista entre la presión atmosférica y la presión debajo del menisco del tubo capilar. Las fuerzas capilares son particularmente importantes en las arenas. En las arcillas también el agua se encuentra retenida por fenómenos de capilaridad, pero mayoritariamente por la acción de las fuerzas que se generan en las dobles capas difusas, cuyas presiones son también inferiores a la atmosférica.

El suelo ejerce una **succión** sobre el agua, ya sea mediante fuerzas capilares, o mediante fuerzas en las dobles capas difusas, y como resultado el agua se encuentra sometida a una presión inferior a la atmosférica.

El equivalente al componente de presión del potencial de la zona saturada en la zona no saturada, es negativo y se denomina **potencial mátrico** (h_m). Cuando se habla en términos absolutos, esto es, sin contar el signo de dicho potencial, se emplea el término de **succión**.

Se debería distinguir entre el potencial de presión, y el mátrico, ya que un suelo no saturado no puede estar sometido a los dos a la vez; el potencial de presión implica que el agua se encuentra a mayor presión que la atmosférica, y el mátrico, a menor.

De acuerdo con Hillel (1971), para valores bajos de succión, la cantidad de agua retenida en un suelo por la acción de las fuerzas matriciales depende de la distribución y estructura del suelo; sin embargo para valores altos depende de la textura del mismo, o lo que es lo mismo, del contenido en arcillas que presenta dicho suelo.

Un suelo arenoso estará siempre más influenciado por los fenómenos de capilaridad, mientras que uno arcilloso, lo estará por las fuerzas ejercidas por dobles capas difusas. La succión de un suelo será tanto mayor cuanto menos agua exista en ese suelo, y viceversa, a menor contenido de humedad, las succiones serán tanto menores. La succión de un suelo, va a depender por tanto, del contenido de humedad presente en el mismo, y por tanto de la textura y estructura del mismo.

Las expresiones y unidades del potencial mátrico son exactamente las mismas con las que se expresa el potencial de presión en zona saturada (ver tabla 4.1), aunque como ya se ha dicho con signo negativo. En zona no saturada se suele expresar el potencial por unidad de peso o volumen pero casi nunca por unidad de masa.

4.4.2.1 CURVAS DE RETENCIÓN.

Se entiende por **curva de retención** de un suelo, (cfr.Koorevaar et alt. 1983, p.80) a la relación que se puede establecer entre el contenido volumétrico de agua del terreno y el potencial mátrico en el mismo. El potencial mátrico como energía por unidad de peso se expresa teóricamente en m, aunque usualmente se utilizan cm de agua. Debido a los elevados valores que puede alcanzar, se puede expresar como el logaritmo decimal en términos absolutos de los cm de agua, expresión que se denomina pF; por tanto a la curva que relaciona el contenido volumétrico de humedad en el terreno con el pF, se le conoce como **curva de pF**. En la

figura 4.10 se han representado dos curvas, de retención y pF de un mismo suelo. Hay que advertir que la terminología de pF está un poco anticuada y en la actualidad se prefiere expresar el potencial mátrico en cm de agua.

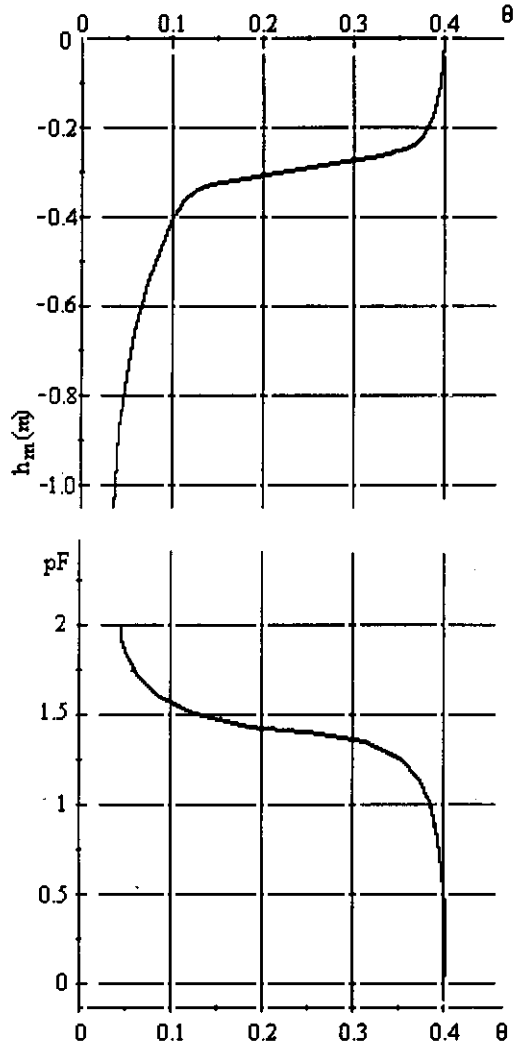


Fig. 4.10; Curvas de retención y pF de un suelo arenoso. Modificado de Koorevaar et alt. (1994), p. 80 y 107.

Un valor característico de cada tipo de suelo es el **"contenido de humedad a saturación"** (θ_s). La humedad en el suelo permanece constante cuando el suelo está saturado hasta que el potencial mátrico (h_m) alcanza el valor de entrada de aire (h_b), de la clase de poros de mayor tamaño. A partir de ese punto al aumentar la succión, se comienzan a vaciar los poros del suelo. Primero los de mayor tamaño, y así sucesivamente según se va alcanzando el valor de entrada de aire de cada una de las clases de poros del suelo.

Obsérvese como la curva de retención se hace asintótica al eje "y" cuando el contenido volumétrico se hace muy pequeño, a partir de un determinado contenido de humedad por mucho que aumente el potencial la humedad permanece prácticamente constante. A ese valor que es característico de cada tipo de suelo se le denomina **humedad residual** (θ_r).

En general, en los suelos las curvas no son tan sencillas como las dos representadas en la figura 4.10, debido a que **el ángulo de contacto** es diferente si se trata de un frente de agua que avanza ó retrocede (ver fig. 4.11 a). Esto provoca que la relación potencial mátrico-contenido de humedad de un suelo no sea el mismo en un proceso de drenaje que en uno de humedecimiento (Cfr. Bear 1972).

Hillel (1971) y Bear (1972) consideran que el fenómeno puede estar también originado por el llamado **«efecto tintero»**, ver fig. 4.11 b. La diferente geometría de los poros, origina que el radio de un poro no sea constante a lo largo de toda su sección. En la figura 4.11 se puede observar como humedecimiento y desecación determinan diferentes presiones.

La diferencia de presión en el menisco en el caso de la figura 4.11 b1 por la ecuación (4.29) será igual a: $P_{b1} = 2\ \mu /R'$; En el caso de la figura 4.11 b2, $P_{b2} = 2\mu /R$. Como R>R', $P_{b1}>P_{b2}$ y por tanto h_{b1} será mayor que h_{b2}.

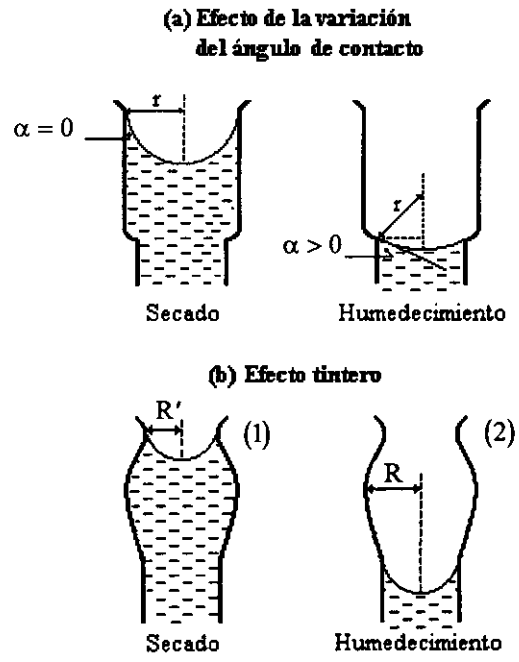


Fig. 4.11; Ilustración de los efectos "variación del ángulo de contacto" (a) y "tintero" (b). Modificado de Marshall y Holmes (1988), p. 54.

Este fenómeno recibe el nombre de **histéresis.** Sus causas son múltiples, y sólo se han mencionado las dos más comunes; información complementaria se puede encontrar en los trabajos de los autores reseñados en este capítulo.

En la figura 4.12, se representa una curva de pF, en la que se pueden apreciar los efectos de la histéresis. Las curvas intermedias de la figura corresponden a la trayectoria que seguiría el proceso si se interrumpiese el secado o humedecimiento.

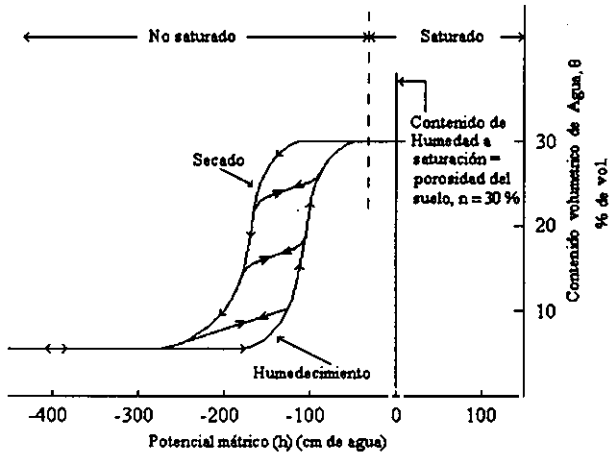


Fig 4.12; Curva de retención de un suelo, con fenómenos de histéresis. Modificado de Freeze y Cherry (1979), p. 42.

Desde un punto de vista práctico el lazo de la curva correspondiente al proceso de humedecimiento, se suele obviar. Debido a que su medición es mucho más sencilla, tanto en campo como en laboratorio, se suele utilizar exclusivamente el lazo que corresponde a un suelo en proceso de drenaje. Los autores anglosajones son muy precisos con la terminología que utilizan, y denominan a la curva de retención **"water release curve"**, para indicar que el lazo que utilizan es el correspondiente a drenaje.

4.4.2.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA FORMA DE LAS CURVAS.

La forma de la curva de retención va a depender de la **textura** del suelo al que correspondan , ver fig. 4.13. Un suelo arenoso presenta un contenido inicial de agua (θ_s) y una humedad residual (θ_r) pequeños. Un suelo arcilloso presenta contenidos iniciales y residuales de humedad mayores. Los suelos arenosos, pierden el agua bruscamente; los suelos arcillosos la pierden gradualmente y al final queda una cantidad residual superior a la que le quedaría en un suelo arenoso para idéntico valor de succión.

Otro factor que interviene en la forma de las curvas es la **estructura** de un suelo, ver fig. 4.14. Es sobre todo importante, en las primeras fases de desecación o humedecimiento. (cfr. Hillel, 1971). Un suelo compacto presenta en principio menor porosidad inicial y por tanto menor θ_r . La superficie de contacto agua-suelo es mayor, ésto hace que el agua se encuentre más firmemente retenida, y se pierda más gradualmente, que en el suelo menos compacto.

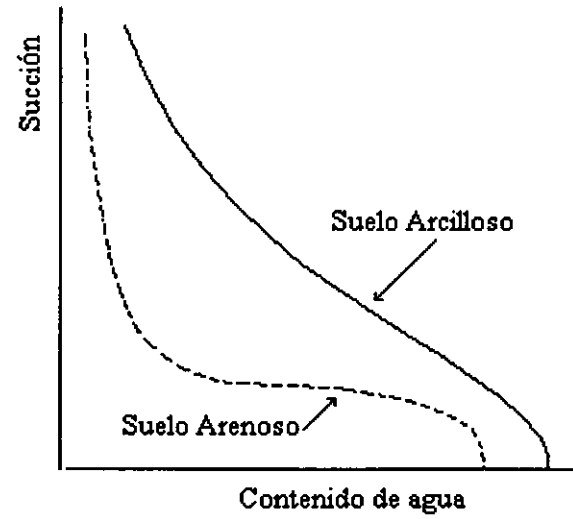


Fig. 4.13; Efecto de la textura sobre la curva de retención de un suelo. Modificado de Hillel (1971), p. 76.

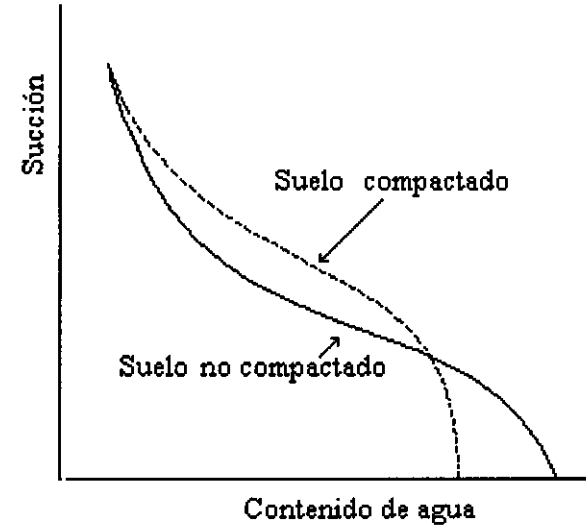


Fig. 4.14; Efectos de la estructura sobre la curva de retención de un suelo. Modificado de Hillel (1971), p. 77.

4.4.2.3 CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE, POROSIDAD TOTAL Y POROSIDAD EFICAZ.

Existen una serie de conceptos que habitualmente se emplean para referirse al contenido de agua en el suelo. Tradicionalmente el agua en el suelo ha sido dividida en agua móvil e inmóvil. El agua móvil es el agua gravitacional, la inmóvil, la retenida en contra de las fuerzas de la gravedad. Fetter (1994), p.91 define dos conceptos **Almacenamiento específico (equivalente a coeficiente de almacenamiento)** y **Retención específica o capacidad de campo**. Considera el almacenamiento específico la tasa de volumen de agua que drena una roca saturada debido exclusivamente a la acción de la gravedad por unidad de volumen de roca. La retención específica es el volumen de agua que es capaz

FACULTAD CC. GEOLOGICAS
BIBLIOTECA

de almacenar una roca en contra de las fuerzas de la gravedad y que según este autor sería inmóvil. La **porosidad total** sería la suma de ambos volúmenes de agua. La **porosidad eficaz**, de acuerdo con estos criterios, será el volumen de agua contenida en una roca, liberada exclusivamente por la acción de la acción de la gravedad.

Se define también **capacidad de campo (CC)**, como el grado de humedad de un suelo en el suelo una vez que ha drenado toda el agua gravífica. Desde este punto de vista el agua retenida en el suelo sólo puede ser movilizada por las raíces de las plantas. El **punto de marchitez (PMP)** permanente, se define como el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la de la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla. **La *reserva del suelo o agua útil*** para las plantas es la diferencia de contenido de humedad entre un suelo a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente. Para calcular la reserva de un suelo por metro cuadrado, a parte de conocer cuál es el contenido de humedad en dicho suelo a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente, es necesario conocer la profundidad radicular y la densidad aparente de dicho suelo. Según Martinez Beltran (1986), la **capacidad de campo** de un suelo corresponde a la humedad de un suelo en equilibrio situado a 100 cm de la capa freática (pF igual a 2). El **punto de marchitez permanente** corresponde un pF igual a 4.2 (15849 cm de agua).

Wellings y Bell (1982) realizan una serie de comentarios a propósito de esta terminología tradicional. Las tres franjas de terreno en las que se subdivide habitualmente la zona no saturada (ver apartado 4.1), no son sino una definición conceptual que tiende a oscurecer el hecho de que la zona no saturada es un medio continuo, desde el límite superior de la zona saturada hasta la superficie del terreno. Critican el que para simplificar, se ha tendido a diferenciar entre agua que puede drenar debido a las fuerzas de la gravedad, y agua que queda retenida en el suelo. Estos conceptos tradicionales asumen que el medio no saturado es un sistema estático, sin tener en cuenta que es un medio dinámico y en continuo cambio. También Cruces de Abia (1991) en comunicación personal, sugirió la necesidad de precisar esta terminología. El agua retenida en contra de las fuerzas de la gravedad puede drenar también muy lentamente, como ya se verá y señala que la **porosidad *eficaz de un terreno*** sólo va a venir condicionado por la curva de retención del mismo, considerando como tal la diferencia entre el contenido de humedad a saturación en una muestra y su humedad residual.

4.4.3 EL POTENCIAL GRAVITACIONAL

Tal y como sucede en la zona saturada otro de los componentes del potencial total es el gravitacional, su expresión es idéntica al de la zona saturada (ver tabla 4.1). Tal y como en la zona saturada se suele tomar como plano de referencia el nivel del mar, en la zona no saturada, se suele tomar como referencia el suelo. Debido a esto el potencial gravitacional se expresa con signo negativo. Hay autores que toman el plano de referencia en el límite superior de la zona saturada, pero dado que dicha zona saturada puede no ser fija, no parece adecuada dicha elección.

Se puede expresar por unidad de masa, peso o volumen, y sus unidades son idénticas a las utilizadas en zona saturada (tabla n.4.1).

4.4.4 EL POTENCIAL OSMÓTICO

Si colocamos agua pura en contacto con una solución salina, se va a producir un movimiento de agua *hasta que la concentración de solutos sea la misma en* todo el líquido (Ley de Fick). Es por esto lógico pensar que un componente del potencial total del agua va a depender de su contenido en sales.

Para tratar de explicar que es el potencial osmótico se va a seguir el desarrollo que hacen Koorevaar et alt., (1983) en las p.88 y siguientes.

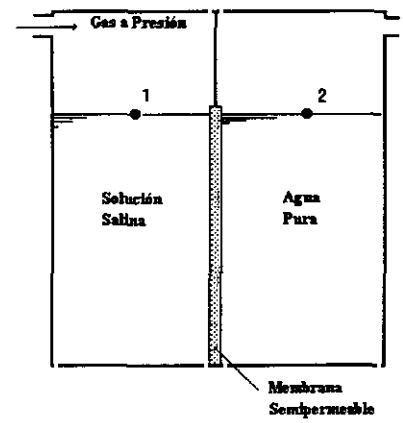


Fig. 4.15; Aparato para ilustrar el concepto de potencial osmótico. Según Koorevar et alt. (1983), p. 89.

Supongamos que una solución salina y agua pura se encuentran separadas mediante una membrana osmótica (ver figura 4.15). Para igualar las concentraciones en los dos soluciones, va a pasar agua pura hacia la solución salina. La membrana osmótica no permite la circulación de sales. De esta forma se producirá una ascenso del nivel en el compartimento con sal. Para *evitar dicho ascenso se introduce gas a presión el* compartimento con sal.

- En primer lugar vamos a analizar el potencial total en los puntos 1 y 2 de la figura 4.15

El **potencial total en la solución salina en el punto 1**, tiene tres componentes: el de presión (que en este caso es debido al gas introducido a una presión "Π" en la célula); el gravitacional; y un componente debido a

la solución salina, que se denomina osmótico. Expresado por unidad de masa, según las ecuaciones (4.22) y (4.25) será igual a:

$$\Psi_{T_1} = \psi_p + \psi_0 + \psi_g = \frac{\Pi}{\delta_s} + \psi_0 + gZ \quad (4.30)$$

Dónde ψ_0 es el potencial osmótico, y δ_s es la densidad de la solución salina.

El **potencial total en el punto 2 (agua pura) será igual:**

$$\Psi_{T_2} = \psi_p + \psi_0 + \psi_g = 0 + 0 + gZ \quad (4.31)$$

El potencial de presión es igual a cero, ya que el punto 2 se encuentra a presión atmosférica, que es la presión de referencia, y por tanto igual a cero. El potencial osmótico también es cero, por que en este compartimento sólo hay agua pura.

En situación de equilibrio se pueden igualar las ecuaciones (4.30) y (4.31):

$$\Psi_{T_1} = \Psi_{T_2} = \frac{\Pi}{\delta_s} + gZ + \psi_0 = 0 + 0 + gZ \quad (4.32)$$

De la ecuación (4.32) se deduce que el potencial osmótico es igual a:

$$\psi_0 = -\frac{\Pi}{\delta_s} \quad (4.33)$$

La ecuación general del potencial total expresado por unidad de masa por (4.21), (4.22) y (4.33), será igual a:

$$\Psi_T = \frac{P}{\delta_a} + gZ - \frac{\Pi}{\delta_a} = \frac{(P-\Pi)}{\delta_a} + gZ \quad (4.34)$$

La diferencia de densidad entre el agua pura (δ_a) y el agua en el suelo (δ_S) es prácticamente despreciable, y a efecto prácticos se pueden considerar iguales, por lo que a partir de este punto se utiliza δ para denotar densidad del agua que aproximadamente es igual a 1000 kg m^{-3}.

- En un segundo lugar vamos a establecer la condición de **equilibrio entre agua pura y la fase gaseosa de la atmósfera circundante**. Si el sistema está en equilibrio el potencial total va ser igual en cualquier punto del gas o del agua que consideremos.

El **potencial total del agua en fase gaseosa** está sólo determinado por su posición en el campo gravitatorio y por la presión parcial de vapor.

$$\Psi_T(\text{vapor}) = \int \frac{dP_v}{\delta_g} + gZ \quad (4.35)$$

Según la ecuación de los gases perfectos tenemos que

$$P_v V = nRT \text{ y } \delta_g = \frac{nM}{V}$$

Se puede sustituir la densidad del vapor de agua δ_g por:

$$\delta_g = \frac{P_v M}{RT}$$

Dónde P_v es la presión de la fase gaseosa, V es volumen, n número de moles de gas, R es la constante universal de los gases perfectos, T la temperatura en grados Kelvin, y M masa molar del aire. La ecuación (4.35) se puede reescribir como:

$$\Psi_T(\text{vapor}) = \int_{P_{v_0}}^{P_v} \frac{RT}{PM} dP_V + gZ \quad (4.36)$$

Integrando la ecuación (4.36) con respecto a la presión entre una presión en cualquier punto de la atmósfera "P_v" y un punto sobre la superficie libre "Pv_0". Por definición P_0, es la presión de vapor en una superficie libre de agua a presión atmosférica, por tanto la relación Pv/Pv_o es la humedad relativa de la atmósfera. queda:

$$\Psi_T = \frac{RT}{M} \ln P_V + gZ - \left(\frac{RT}{M} \ln P_{V_0}\right) \quad (4.37)$$

El **potencial total** de un sistema en equilibrio constituido por agua pura y la atmósfera circundante, de acuerdo con las ecuaciones anteriores quedará igual a:

$$\Psi_T = \frac{RT}{M} \ln \frac{P_V}{P_{V_0}} + gZ \quad (4.38)$$

- En último lugar vamos a considerar ahora en **equilibrio la solución salina del suelo con el vapor de agua del aire**, si hay equilibrio las ecuaciones (4.34) y (4.38) se pueden igualar y por tanto:

$$\frac{1}{\delta_a}(P-\Pi) + gZ = \frac{RT}{M} \ln \frac{P_V}{P_{V_0}} + gZ \quad (4.39)$$

Considerando que la δ del agua es aproximadamente 1000 kg m^{-3}, RT 2.4 x 10^3 J mol^{-1} a 15°C y M = 18 x 10^{-3} kg mol^{-1}, esta ecuación queda como:

(4.40) $$7.5\times10^{-9}(P-\Pi)=\ln\frac{P_V}{P_{V_0}}$$

Para todo este desarrollo se ha utilizado potencial expresado por unidad de masa, si en su lugar hubiéramos utilizado potencial por unidad de peso:

(4.41) $$7.5\times10^{-5}(h_m+h_0)=\ln\frac{P_V}{P_{V_0}}$$

Dónde h_0 sería el potencial osmótico, h_m el potencial mátrico, y considerando que δg es aproximadamente igual a 10^{-4} N m^{-3}.

De estas ecuaciones se deduce que conociendo la humedad relativa de la atmósfera de un sistema atmósfera-suelo-agua en equilibrio, se puede determinar el potencial total del suelo y viceversa. Por otro lado estas ecuaciones permiten realizar ensayos de laboratorio interesantes. Se puede controlar el potencial de un sistema en equilibrio atmósfera-solución salina de concentración conocida. Koorevaar et alt. (1994) p.91, proponen que el potencial osmótico se puede determinar

(4.42) $$\Pi = RTc$$

dónde c es la concentración iónica de la disolución.

Si en un ambiente cerrado, se coloca una solución salina de concentración conocida, la atmósfera se va colocar a una humedad relativa que vendrá dada por las ecuación (4.40). Una vez conocida la humedad relativa, se puede establecer una relación humedad relativa potencial con la ecuación (4.38). Si en ese ambiente se coloca una muestra de suelo sin que tenga contacto con dicha solución, la muestra se equilibra con el sistema. Con este método se pueden determinar las curvas de retención de los suelos. En el capítulo 5 se proporcionan más detalles del método.

4.4.5 EL POTENCIAL TOTAL EN LA ZONA NO SATURADA

De acuerdo con todo lo visto en la ecuación del potencial total de un suelo es necesario introducir un término de potencial que considere la posibilidad que tiene el agua de moverse debido a diferentes concentraciones salinas en la solución intersticial. En la ecuación (4.34) se escribe en función de la masa y de acuerdo con la ecuación (4.25) podría escribirse también como:

(4.43) $$\psi_T = g(h_m + h_0 + Z)$$

El potencial por unidad de peso de acuerdo con la ecuación (4.26) queda igual a:

(4.44) $$H = h_m + h_0 + Z$$

siendo:

$$h_0 = \frac{\Pi}{\delta g}$$

El potencial por unidad de volumen de acuerdo con la ecuación (4.27) queda igual a:

(4.45) $$\varphi_T = \delta g(h_m + h_0 + Z)$$

El potencial osmótico en suelos poco salinos carece de importancia. Se ha dado una explicación teórica por la utilidad que tiene en ensayos de laboratorio. No obstante en las explicaciones teóricas que siguen no se vuelve a utilizar.

4.5 FLUJO DE AGUA EN ZONA NO SATURADA

Para expresar la tasa de agua que se circula por un suelo se utiliza el concepto de densidad de flujo. La **densidad de flujo** que se mueve en una dirección, en este caso la vertical "z", es el volumen de agua que atraviesa un plano perpendicular a la dirección de movimiento "z", durante un intervalo de tiempo, dividido por el área de dicho plano y por la magnitud de tiempo de dicho intervalo (cfr.Koorevaar et alt., 1983 p.116). Las dimensiones serán por tanto: L^3 x L^{-2} x T^{-1}. Sus dimensiones son iguales a las de una velocidad, aunque la densidad de flujo no sea exactamente tal.

Cuando el flujo es laminar, esto sucede siempre que la velocidad del agua no es muy grande, la densidad de flujo es proporcional a las fuerzas conductoras de dicho flujo, que tal y como se ha explicado en el apartado 4.3.1 son las gravitacionales y las de presión, que se expresan por su capacidad para producir un trabajo, por unidad de peso, masa o volumen.

Si denominamos $K(\theta)$ al factor de proporciónalidad, la densidad de flujo, queda como:

(4.46) $$q = -k(\theta)\left(\frac{\delta g(\partial h_m + \partial Z)}{\partial z}\right) = -k(\theta)\frac{\partial \varphi_T}{\partial z}$$

(4.47) $$q = -K(\theta)\left(\frac{\partial Z}{\partial z} + \frac{\partial h_m}{\partial z}\right) = -K(\theta)\frac{\partial H}{\partial z}$$

A partir de este momento, y mientras no se indique lo contrario, la densidad del agua se simbolizará con δ sin ningún subíndice.

Siendo δ , densidad de flujo o caudal específico, $K(\theta)$, $k(\theta)$ factor de proporción que se denomina

conductividad hidráulica no saturada expresada por unidad de peso K, o de volumen k. Como se puede ver en las ecuaciones (4.48) y (4.49) relación entre K (θ) y k(θ):

(4.48) $$K(\theta) = \delta g k(\theta)$$

A la variación del potencial total a lo largo del recorrido que sigue el agua es lo que se denomina gradiente hidráulico.

A las ecuaciones (4.46) y (4.47) se las denomina **ecuación de Richards**, y sirven para cuantificar el flujo en un medio no saturado. Es muy similar a la Ley de Darcy, que se emplea para la cuantificación del flujo en medios saturados.

En zona no saturada el flujo es prácticamente vertical por lo que se utiliza una **ecuación unidimensional**. Son numerosos los autores que recientemente cuestionan este supuesto asegurando que es muy posible que el flujo pueda estar fuertemente condicionado por raíces y planos de estratificación horizontales. No obstante, aunque a pequeña escala se produzcan estos fenómenos, a gran escala la componente más importante del flujo va a ser siempre vertical.

En este trabajo el **gradiente** se va a calcular utilizando siempre la expresión del potencial por unidad de peso, lo que hace que siempre sea adimensional. Conviene recordar que cuando se calcula el gradiente utilizando la expresión del potencial por unidad de volumen posee dimensiones, y se expresa en pascales, lo que es N/m^2. Para pasar de uno a otro bastaría con multiplicar el gradiente expresado por unidad de peso, por la densidad del agua (que es aproximadamente 1000 kg/m^3) y por la aceleración de la gravedad (9,8 m/s^2). El gradiente calculado utilizando potencial por unidad de masa no es utilizado casi nunca, por lo que ni se menciona.

A la ecuación se le añade, el **signo menos** delante para indicar que el flujo de agua se produce siempre de las zonas de mayor potencial hacia las de menor potencial. La densidad de flujo puede presentar un signo positivo o negativo, ya que el potencial gravitacional será siempre positivo. Tomando z=0 en el suelo, si la **densidad de flujo o caudal específico** presenta signo positivo significa que el gradiente va a presentar un signo negativo delante, lo que implica que dominan las fuerzas matriciales y capilares sobre la fuerza de la gravedad. El flujo de agua en este caso será descendente. Si el caudal presenta un signo negativo, el flujo de agua será ascendente, dominando las fuerzas gravitacionales sobre matriciales y capilares.

El factor de proporcionalidad, denominado **conductividad hidráulica o permeabilidad no saturada** es una función del contenido volumétrico de humedad en el suelo. En los medios saturados la conductividad hidráulica es constante, al ser el contenido de humedad constante en el medio. La complejidad de esta ecuación en zona no saturada, viene determinada por la circunstancia de la no linealidad de contenido volumétrico (θ) y K ó k. La medición de K (θ) no saturada en campo es muy difícil por lo que diversos autores han propuesto una serie de métodos empíricos que permiten resolver de una manera más o menos aproximada el problema.

4.5.1 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO SATURADA

Según Koorevaar et alt., (1983) p.141, la conductividad hidráulica o permeabilidad de un suelo no saturado es inferior a la de uno saturado, debido a que en el suelo no saturado sólo un número pequeño de poros contribuyen al transporte del agua.

Cuanto más poros están rellenos, mayor será la conductividad. La conductividad será proporcional al radio de los poros del medio (r). Si los poros son rectos el agua circulará con mayor facilidad que si estos son sinuosos. Por tanto, la conductividad es inversamente proporcional a la tortuosidad de los poros (τ). Suponiendo que en un medio poroso, hay "n"clases de poros, y cada una de ellas contribuye con una contenido volumétrico (θ), al contenido volumétrico total del suelo, de un modo empírico se ha visto que K (θ) y k(θ), se pueden estimar de la siguiente forma:

(4.49) $$K(\theta) = \frac{1}{8\tau\eta}\sum_{n=1}^{n=n}\theta_n r_n^2$$

ó

(4.50) $$k(\theta) = \delta g \frac{1}{8\tau\eta}\sum_{n=1}^{n=n}\theta_n r_n^2$$

Dónde η es la viscosidad dinámica del agua, cuyas dimensiones son $F.L^{-2}T$, y sus unidades son Pa.s. **Las unidades en las que se expresa** la conductividad hidráulica, cuando se está utilizando el potencial por unidad de volumen en el cálculo de la viscosidad dinámica son: $m^2Pa^{-1}s^{-1}$; si es por unidad de peso son: ms^{-1}.

De entre todos los factores que influyen en la conductividad hidráulica sólo la viscosidad dinámica depende del agua, el resto de los factores dependen exclusivamente del medio. se pude definir por tanto una **permeabilidad intrínseca K'**, que dependerá exclusivamente del medio físico y que es igual a:

(4.51) $$K' = \frac{1}{8\tau}\sum_{n=1}^{n=n}\theta_n r_n^2$$

Sus dimensiones son L^2 y la unidad de medida es el m^2 en el S.I.

La relación entre K' y K (θ) ó k (θ) es:

$$K' = K(\theta)\eta \quad y \quad k' = k(\theta)\eta \tag{4.52}$$

La expresión de **la conductividad hidráulica saturada (k_s)** es exactamente la misma que la de la permeabilidad no saturada, pero en lugar de considerar contenido volumétrico en cada tamaño de poro se considera la porosidad (ϕ), con lo que la ecuación resulta:

$$k_s = \frac{1}{8\tau\eta}\sum_{n=1}^{n=n}\phi_n r_n^2 \tag{4.53}$$

4.5.2 CAPACIDAD Y DIFUSIVIDAD

Se van a definir dos nuevos conceptos, debido a la utilidad que tiene su uso en algunas ecuaciones que estudian el flujo en los fenómenos de infiltración.

Se define **"capacidad diferencial" (C)** de un suelo a la tangente a la curva de retención en cada punto, o lo que es lo mismo a la derivada de la curva de retención en cada punto, que es igual a lo que varía el contenido volumétrico de un suelo con la variación del potencial. La expresión matemática es:

$$C = \frac{\partial\theta}{\partial h_m} \quad y \quad c = \frac{\partial\theta}{\partial\varphi_p} \tag{4.54}$$

Expresando el potencial por unidad de peso y volumen respectivamente.

La **Difusividad (D)** es la relación entre la conductividad hidráulica y la capacidad diferencial. Su expresión matemática es:

$$D = \frac{K(\theta)}{C} = K(\theta)\frac{\partial h_m}{\partial\theta} \qquad D = \frac{k(\theta)}{c} = k(\theta)\frac{\partial\varphi}{\partial\theta} \tag{4.55}$$

Observar como las difusividades ya sea utilizando potencial por unidad de peso o volumen son iguales ya que $K(\theta) = \delta g k$.

4.5.3 DETERMINACIONES EMPÍRICAS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO SATURADA Y DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN

Estos métodos se basan en el supuesto de que la curva de retención de un suelo es resultado de su distribución de poros. Un suelo está saturado hasta que la succión se iguala al valor de entrada de aire (h_b) de los poros de mayor tamaño presentes en dicho suelo. A partir de ese momento disminuye el contenido de humedad del suelo con el aumento de la succión. La curva de retención refleja el valor de entrada de aire de las diferentes clases de poros del suelo.

Como la conductividad hidráulica viene determinada por el número de poros capaces de conducir agua en el suelo, los modelos hasta ahora propuestos combinan la ecuación de la curva de retención de un suelo con una ecuación para el cálculo de la conductividad hidráulica. Básicamente estos modelos lo que hacen es ajustar una curva de retención a los datos experimentales que se hayan medido. De esta curva se calculan una serie de **parámetros de forma** que son los que se introducen en las ecuaciones empíricas propuestas para el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada. Para poder determinar la curva de retención la mayor parte de los modelos requieren el conocimiento previo del contenido volumétrico a saturación del suelo y del valor de entrada de aire de dicho suelo. Para el cálculo de la K no saturada, es requisito previo la medida directa de K saturada si se quieren utilizar estos modelos.

Según Durner (1994) en la actualidad existen tres grandes grupos de modelos que se utilizan para el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada son:

- El **modelo del manojo de capilares**, basado en la ecuación propuesta por Burdine (1953)
- El **modelo aleatorio** basado en la ecuación de Childs & Collis-George (1950).
- El **modelo eslabón** basado en las ecuaciones propuestas por Mualem (1976).

La ecuación de Campbell (1974) para determinar la función $h_m(\theta)$ se combina habitualmente con la ecuación de Childs y Collis-George (1958) para el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada; La ecuación de Brooks y Corey (1964) para determinar la función $h_m(\theta)$, se suele combinar con la ecuación de Burdine (1953) para el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada; van Genuchten (1980) propone una nueva expresión la curva de retención y utiliza la ecuación de Mualem (1976) para el cálculo de la conductividad hidráulica no saturada.

No se han podido consultar las publicaciones originales en algunos de los modelos mencionados debido a la dificultad para conseguir dichas separatas no obstante a continuación se presenta un resumen de los principales métodos que se han encontrado descritos en la literatura científica.

Campbell (1974) basándose en los trabajos de Childs y Collis-George (1950) propone un método para estimar la conductividad hidráulica no saturada mediante una fórmula empírica. Considera que si la función potencial mátrico - contenido de humedad puede venir

representada por la siguiente expresión:

$$h_m(\theta) = h_b\left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{-b} \quad (4.56)$$

Entonces la conductividad hidráulica no saturada vendrá representada por una ecuación con la siguiente forma:

$$K(\theta) = K_s\left(\frac{\theta}{\theta_s}\right)^{2b+3} \quad (4.57)$$

Siendo:

θ_S, Contenido volumétrico de agua a saturación
θ, Contenido volumétrico de agua
h_b, valor de entrada de aire
h_m, Potencial mátrico expresado por unidad de peso
$K(\theta)$, Conductividad hidráulica no saturada en función del peso
K_s: Conductividad hidráulica saturada.

Considera que los resultados obtenidos con esta formulación son muy similares a los obtenidos con medidas reales. El parámetro "b" es la pendiente de la recta que resulta si representamos la curva de retención de un suelo en escala bilogarítmica.

Con posterioridad Khosla (1980) en una parcela experimental que inunda y deja drenar, mide a lo largo de varios días contenido volumétrico de humedad y succión a distintas profundidades. Aplicando Darcy calcula la conductividad hidráulica no saturada. Por otro lado ajusta las ecuaciones propuestas por Campbell (1974) a sus datos experimentales con unos resultados altamente satisfactorios.

Whisler (1976) compara dos métodos diferentes para estimar la conductividad hidráulica no saturada, el método de Brooks y Corey (1964), y el de Jackson (1972). Jackson (1972) propone la siguiente ecuación:

$$K_i(\theta) = K_s\left(\frac{\theta_i}{\theta_s}\right)^p \frac{\sum_m^{j=i}\left[2_{j+i} - 2_i\right]h_j^{-2}}{\sum_m^{j=1} 2_{j-1}h_j^{-2}} \quad (4.58)$$

En la que:

$K_i(\theta)$ Conductividad hidráulica no saturada, correspondiente a θ_i (Contenido volumétrico de agua).
K_s: Conductividad hidráulica saturada, correspondiente a θ_s (Contenido volumétrico de agua a saturación).
h_j potencial mátrico medio entre los potenciales correspondientes a θ_i y θ_{i+j}.
m es el número de incrementos de igual valor $(\theta_i - \theta_{i+j})$ en que divide la curva de retención para aplicar el método. El procedimiento consiste en dividir la curva de retención en incrementos de igual $(\theta_i - \theta_{i+j})$, calcular cual es el potencial medio para cada incremento y con esto aplicar la fórmula anterior.

Brooks y Corey (1964) proponen la siguiente ecuación:

$$K(\theta) = K_s\left(\frac{h_b}{h_m}\right)^n \text{ si } h_m < h_b$$
$$K(\theta) = K_s \text{ si } h_m \geq h_b \quad (4.59)$$

Dónde
h_m: es el potencial mátrico
h_b: es el valor de entrada de aire, expresado por unidad de peso
n es la pendiente de la recta dibujada en papel bilogarítmico, correspondiente a la siguiente ecuación:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left(\frac{h_b}{h_m}\right)^{n-\frac{1}{3}} \quad (4.60)$$

Al primer término de esta ecuación se le denomina **saturación efectiva**, y se suele representar con S_e. El término θ_r representa la humedad residual y θ_s la humedad a saturación.

El autor de este trabajo compara los resultados que se obtienen por ambos métodos y considera que es mejor la ecuación de Brooks y Corey, por ser más rápido el procedimiento de cálculo y proporcionar resultados comparativamente más cercanos a la realidad.

Mualem (1976) propone la siguiente ecuación para determinar $K(\theta)$:

$$K_r(\theta) = S_e^n\left(\int_0^{\theta} d\theta/h_m \Big/ \int_0^{\theta_s} d\theta/h_m\right)^2 \quad (4.61)$$

Dónde:

$K_r(\theta)$ conductividad hidráulica relativa siendo $(K(\theta)_r = K(\theta)/K_s)$
h_m es el potencial mátrico expresado por unidad de peso
S_e saturación efectiva que varía entre 0 y 1
n es un parámetro de la ecuación.

Calcula la $K(\theta)$ con su expresión analítica y con distintos valores del parámetro n y posteriormente la mide directamente en distintos tipos de suelos. Para que la desviación entre la medida y la calculada sea mínima observa que "n" tiene que ser igual a 0.5. Reescribe esta expresión en función de S_e, que queda:

(4.62) $$K_r(S_e) = S_e^{0,5}\left(\int_0^{S_e} dS_e/h_m \Big/ \int_0^1 dS_e/h_m\right)^2$$

Reescribe su ecuación en función de los modelos propuestos por diversos autores. Compara su modelo con los resultados que se obtiene aplicando otros distintos y concluye comentando que el suyo es el que mejores resultados proporciona.

Van Genuchten (1978) propone la siguiente ecuación para relacionar el contenido de humedad con la succión:

(4.63) $$S_e = \left[1+(\alpha h_m)^n\right]^{-m}$$

Según Durner (1994) el modelo de van Genuchten responde a una curva de retención cuya función de distribución de poros es una función unimodal con forma de campana de Gauss. Dónde α, n y m son parámetros que determinan la forma de la curva de retención. α representa en cierto modo el valor de entrada de aire de la clase de poros dominante, y m y n determinan la amplitud hacia los tamaños finos y gruesos respectivamente. Partiendo de las ecuaciones de Mualem (1976), y de las de Burdine (1953) para obtener la conductividad hidráulica partiendo de la ecuación (4.63) reescribe la conductividad hidráulica relativa en función del potencial mátrico h_m:

(4.64) $$K_r(h_m) = \frac{\left[\left(1-(\alpha h_m)^{n-1}\right)\left(\left(1+(\alpha h_m)^n\right)^{-m}\right)\right]^2}{\left[1+(\alpha h_m)^n\right]^{m/2}}$$

Según si utiliza el modelo de Mualem (1976) o el de Burdine (1953), asigna a m un valor distinto. m=1-1/n, para el primero, o m=1-2/n para el segundo.

Mishra y Parker (1990) proponen una expresión nueva de la conductividad hidráulica no saturada, basándose en las ecuaciones de van Genuchten (1980) para la relación h_m-θ y Mualem (1976) para la relación K-(θ). Proponen la expresión (4.65):

$$K(S_e) = S_e^{1/2}\alpha^2 C(\theta_s - \theta_r)^{5/2}\left(\int_{S_e}^{0} \frac{\left[(S_e)^{1/m}\right]^{1/n}}{\left[\left(1-(S_e)^{1/m}\right)^{1/n}\right]} dS_e\right)^2$$

Siendo:

$$C = \frac{G2\eta\delta g}{\tau\delta\mu}$$

dónde:

G : factor de geometría de los poros (poros cilíndricos=8)

μ : tensión superficial del agua

δ : densidad del agua

g : aceleración de la gravedad

η : viscosidad del agua

τ : la tortuosidad del terreno.

Durner (1994) ha cuestionado recientemente todos los modelos propuestos por distintos autores hasta el momento. Analiza los errores que la utilización de estos métodos conllevan y señala que las principales fuentes de errores son:

1. Descripción inapropiada de la curva característica

2. Utilización de un modelo de predicción no adecuado para suelos arcillosos. Considera que la mayor parte de los métodos son adecuados para suelo arenosos con función de distribución de poros estrecha, y considera que para suelos arcillosos hasta ahora no hay ningún método satisfactorio. Cree que el error suele estar en la estimación del parámetro de la tortuosidad, que se hace de una manera empírica.

3. Señala también que hay que considerar el error que se comete en materiales con sistemas porosos bimodales. Todos los métodos hasta ahora empleados utilizan funciones de distribución de poros unimodales. Este factor es el que él considera decisivo.

Basándose en el modelo propuesto por Van Genuchten (1980) para medios con porosidad unimodal, propone una expresión analítica semejante para la relación $h_m(\theta)$:

(4.66) $$S_e = \sum_{i=1}^{i=j} w_i\left[1+(\alpha_i h_{m_i})^{n_i}\right]^{-m_i}$$

Para explicar esta ecuación nos referiremos a la fig. n.4.16. En ella se puede apreciar una distribución de los poros de un medio según una distribución bimodal. Si aplicáramos van Genuchten (1980) a cada una de las distribuciones que se aprecian en 4.16 a obtendríamos dos curvas de retención diferentes, que se pueden ver en 4.16 b. La curva de retención definitiva será el resultado de sumar las dos primeras, que también se puede ver en 4.16 b. En definitiva esto es lo que hace esta expresión, en la que "j" es el número de "subsistemas" que forman la función de distribución de poros. "w_i" es un factor de peso para cuantificar la importancia de cada una de las modas tal que $0<w_i<1$ y el sumatorio de w_i tiene que ser igual a 1.

El resto de las variable tiene significado semejante al del modelo original. Como en el modelo de van Genuchten (1980) $\alpha>0$, $m_i>0$ y $n_i>0$. Este autor no impone la condición que $m = 1+1/n$. Señala que no

deben ser considerados como parámetros ya que no tienen ningún significado físico, sino como coeficientes de "forma" de la curva.

Para el cálculo de la conductividad hidráulica se basan también en el modelo de Mualem (1976) pero utilizando la función multimodal (4.66):

$$K(S_e) = S_e^{\tau}\frac{f(s_e)^2}{f(1)^2} \qquad (4.67)$$

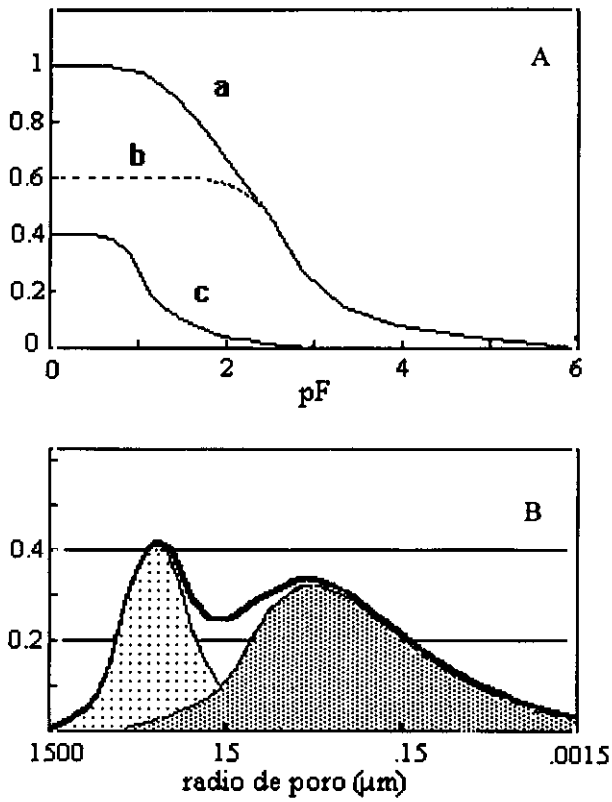


Fig. 4.16; (B)Distribución bimodal de tamaño de poros de una muestra de suelo.(A) Curva de retención de cada una de las distribuciones(a y b), y curva combinada para ambas (c), de acuerdo el método de Durner (1994). Mod. de Durner (1994).

$$f(S_e) = \int_{s_e}^{0}\frac{1}{h_m(S_e)}dS_e \qquad (4.68)$$

τ es la tortuosidad del medio que este autor dice que coincide con el parámetro "n" de Mualem (1976).

Dada la enorme dificultad que reviste las estimación de las curvas de retención, algunos autores han tratado de **relacionar los parámetros de estas curvas con medidas estándar** que se suelen realizar en los suelos y que son de fácil determinación, tales como análisis granulométricos, contenido en carbono y densidad aparente.

- Merece la pena señalar **el método de Clapp y Hornberger (1978)**. Clasifican más de un millar de suelos de Holanda según el triángulo de la ISSS (ver fig n.4.2). Estiman además algunos puntos de las curvas de retención de dichos suelos en laboratorio, y a cada suelo le ajustan la ecuación de Campbell (1974), ecuación (4.56). Realizan un estudio estadístico del valor medio de cada uno de dichos parámetros para cada clase de suelos según el triángulo de la ISSS. Por tanto, conociendo la distribución textural de un suelo puede estimarse con algún error la curva de retención.

- Vereecken et alt. (1989) realizan un intento semejante, y relacionan los parámetros de Van Genuchten (1978) $(\alpha, n, m, \theta_r, \theta_s)$, ecuación (4.63), con la distribución textural del suelo, la densidad aparente y el contenido en carbono. Realizan una recta de regresión para cada parámetro, de tal manera que con los datos procedentes de los análisis más rutinarios de un suelo se pueden determinar las curvas de retención.

Williams et alt.(1992) demuestran que este tipo de modelos proporcionan resultados muy pobres, y recomiendan introducir al menos como parámetro independiente un sólo dato que haya sido medido directamente de la relación θ-h_m ya que mejora notablemente los resultados.

4.5.3.1 MEDIDA DIRECTA DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA NO SATURADA

La medida directa de la conductividad hidráulica no saturada es extraordinariamente difícil. En general se basan en la aplicación directa de la ecuación de Richards (4.46) y (4.47), simplificada de tal manera que $K(\theta)$ se expresa en función de parámetros fáciles de ser medidos directamente en el campo. Según Kabat y Hack-ten Broecke (1989) a este procedimiento se le denomina "el problema directo-inverso". Para resolver las ecuaciones muchas veces es necesario conseguir con los experimentos de campo una serie de condiciones de contorno muy difíciles. Por ejemplo régimen estacionario o equilibrio hidráulico para diferentes condiciones de contorno. Este tipo de métodos cuenta además según estos mismos autores, con la desventaja de no proporcionar suficiente número de datos para poder realizar estudios estadísticos.

No obstante se han utilizado diversos métodos para intentar medir la $K(\theta)$ directamente. Un método muy utilizado es el **"test de la costra"**. Más información sobre este método puede consultarse en Hillae y Gardner (1970).

4.5.4 LA ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

Según la ley de conservación de masa, si la densidad de flujo que entra en el suelo es superior a la densidad de flujo que sale, se está produciendo una

variación en el almacenamiento. La expresión matemática de esta sentencia en una dimensión es la siguiente:

$$-\frac{\partial q}{\partial s} = \frac{\partial \theta}{\partial t} \qquad (4.69)$$

Como sucede con la ecuación de densidad de flujo, mayoritariamente el flujo es vertical, por lo que sólo se considera la dimensión "z". Dado que este apartado se va a referir al flujo en zona no saturada, $\phi = \theta$.

Se pueden producir dos situaciones diferentes:

1. Que la densidad del flujo sea constante a lo largo de todo el perfil. Esto implica que no hay variación en el almacenamiento.

$$-\frac{\partial q}{\partial s} = 0 \qquad (4.70)$$

2. Que haya diferencia entre el flujo que entra y el que sale. Esto implica que hay variación en el almacenamiento, ecuación (4.69).

4.5.4.1 RÉGIMEN ESTACIONARIO

Según Wellings y Bell (1982) si un suelo inicialmente saturado se desaturara lentamente, suponiendo que no hubiera evaporación y que la permeabilidad del suelo fuera alta, se llegaría a alcanzar el equilibrio y como resultado el potencial total se mantendría constante a lo largo de todo el perfil. Según estos autores en un suelo en equilibrio con una superficie libre somera con una conductividad hidráulica alta el perfil de equilibrio coincide con el concepto tradicional de capacidad de campo. Cuando la conductividad hidráulica es baja la tasa de drenaje está limitada por la conductividad hidráulica no saturada y el concepto de capacidad de campo tal como tradicionalmente se ha definido carece de sentido.

En medios poco conductivos, el drenaje estaría condicionado por la $K(\theta)$ y el perfil tendería continuamente a acercarse al equilibrio con la superficie libre, pero siempre con una tasa decreciente al decrecer $K(\theta)$ con la disminución del contenido de humedad.

En régimen estacionario el caudal que atraviesa cualquier punto del perfil de suelo es siempre el mismo. El flujo puede ser ascendente o descendente. Estas dos situaciones corresponden respectivamente a los fenómenos evaporación y drenaje. Para estos dos ejemplos se ha tomado el plano de referencia (Z=0) en una superficie libre fija.

Si consideramos un perfil de suelo como el de la figura 4.17, con una zona saturada somera, y suponiendo que no hay entradas por la parte superior del perfil, el contenido de humedad disminuye en dirección a la superficie del terreno. La conductividad hidráulica no saturada, que es directamente proporcional al contenido de humedad, disminuye de unas manera no lineal con el mismo. El caudal sin embargo continúa siendo constante. Esto lo consigue aumentando drásticamente el gradiente hacia la superficie del suelo. Para poder

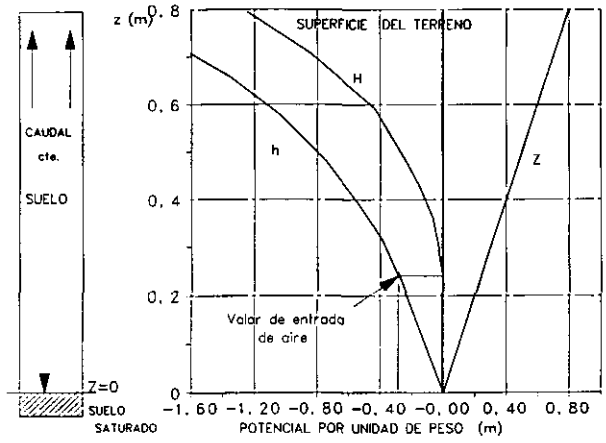


Fig. 4.17; Diagrama de flujo estacionario en un perfil de suelo en equilibrio con una superficie libre. El flujo es ascendente o existe evaporación. Modificado de Koorevaar et alt. (1983), p. 145.

aumentar el gradiente, la única posibilidad es el incremento del potencial mátrico frente al gravitacional, con lo cual el gradiente presentará signo negativo, y el caudal un signo positivo. La típica distribución de potenciales en un perfil de suelo sometido a una evaporación constante se puede contemplar en la fig. 4.17.

La disminución de la permeabilidad en la parte superior del terreno hace que si el único caudal disponible es el flujo ascendente, la parte superior llegue a quedar prácticamente aislada. Llegando un momento en que la evaporación ya no es capaz de extraer agua del terreno, quedando como una capa impermeable.

Si por el contrario lo que se tiene es un aporte de agua constante por la parte superior del terreno, esto es un drenaje.

Si hay drenaje, el potencial total disminuye con la profundidad.

Si $\partial H/\partial z$ aumenta aparentemente es por que $\partial h_m/\partial z$ también aumenta. Pero si esto sucede así se está contradiciendo la premisa de que al disminuir el contenido de humedad disminuye el potencial mátrico, esto es se hace cada vez más negativo. La única posibilidad de no incurrir en esta contradicción es que:

$$i = \frac{\partial h_m}{\partial z} + \frac{\partial Z}{\partial z} \qquad (4.71)$$

Si h es constante, entonces

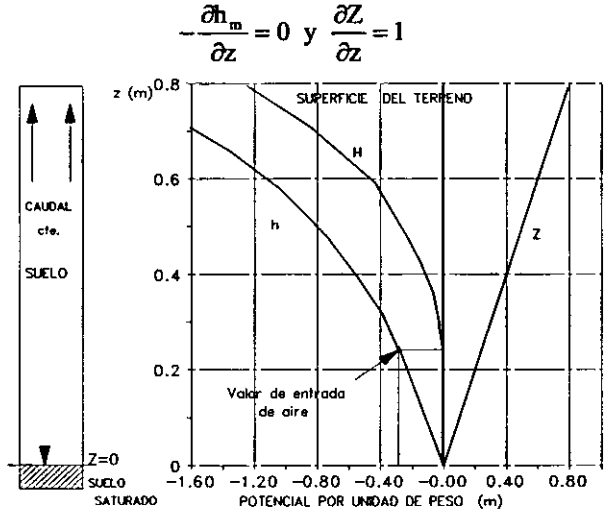


Fig. 4.18; Diagrama de flujo estacionario en un perfil de suelo en equilibrio con una superficie libre. El flujo es descendente (drenaje). Modificado de Koorevaar et alt. (1983), p. 147.

Por tanto cuando el flujo es estacionario y en situación de drenaje, h_m se hace constante, el gradiente se hace unitario controlado únicamente por la gravedad. La distribución de potenciales en esta situación quedaría de acuerdo con la figura 4.18:

En las dos situaciones aquí expuestas, se observa que el primer tramo de las curvas de H y h_m corresponden a líneas rectas. Esto es debido, a que el valor de entrada de aire en ambos casos es próximo a -0,4 m. Cuando el potencial mátrico del suelo es mayor o igual al valor de entrada de aire, los poros del suelo continúan rellenos de agua. Están saturados pero el agua se encuentra sometida a una presión inferior a la atmosférica. Cuando un suelo homogéneo está saturado las relaciones ($h_m - z$) y (H-z) son lineales.

En el momento en que el potencial mátrico del suelo es inferior al valor de entrada de aire, los poros del suelo comienzan a perder humedad y las relaciones ($h_m - z$) y (H-z) comienzan a ser no lineales.

En la figura 4.19 se presenta a modo de resumen los posibles perfiles de h_m que puede presentar un suelo en régimen estacionario, con caudal ascendente (evaporación) y descendente (drenaje) para distintas densidades de flujo.

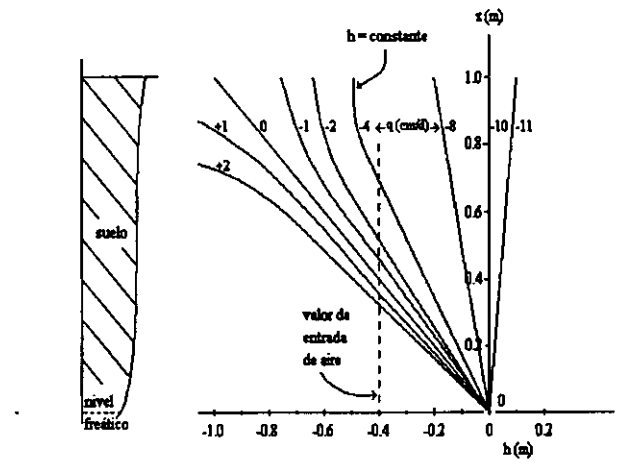


Fig. 4.19; Posibles perfiles de potencial mátrico para un perfil de suelo en equilibrio con una superficie libre estable. Modificado de Koorevaar et alt. (1983), p. 148.

4.5.4.2 RÉGIMEN VARIABLE

Cuando hay diferencia entre el caudal que entra por la parte superior del perfil, y el que sale por la inferior, el suelo está perdiendo o ganando humedad. Esto sucede cuando las condiciones están cambiando continuamente. Unas veces el flujo es ascendente, hay evaporación y otras veces cuando llueve o riegan, descendente.

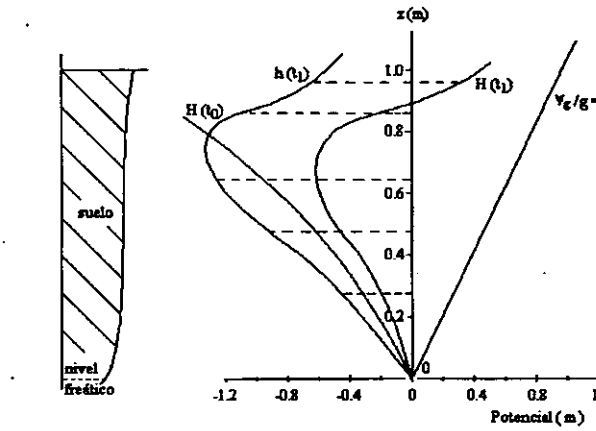


Fig. 4.20; Variación del potencial total, mátrico y gravitacional en un perfil de suelo en regimen no estacionario en el que tras un periodo de evaporación ha comenzado a llover. Según Koorevaar et alt. (1983), p. 149.

La forma de las curvas, h_m y H en esta situación es la que se puede ver en la figura 4.20. Se puede observar como el punto máximo de la curva H, corresponde a un punto con gradiente nulo. La densidad de flujo por tanto, en este punto es igual a cero. Por encima el flujo es descendente y por debajo ascendente. Este punto corresponde a lo que se conoce con el "Plano de flujo nulo".

Los cálculos del flujo y la variación en el almacenamiento que se va a producir para un intervalo de tiempo (Δt), se pueden realizar siguiendo el esquema de la figura 4.21.

Supongamos que conocemos las relación $h_m - z$, $h_m - \theta$, y $\theta - K$ de un suelo. Se puede

discretizar el perfil de h en pequeños intervalos de longitud 2s, (h_{z-s}-h_{z+s}). Se calcula H en el punto medio de cada intervalo (H_z) y en los dos extremos del mismo (H_{z-s}, H_{z+s}). Se determina el gradiente entre los puntos (H_{z-s}, H_z) y (H_z, H_{z+s}). De manera que así se estima H promedio en los puntos ($H_{z-1/2s}$) y ($H_{z+1/2s}$).

De la curva de retención, se puede obtener la relación $h_m - \theta$ para el tipo de suelo con el que se está trabajando, y por tanto se puede determinar q_{z+s},q_{z-s} y q_z. Se promedia el valor de θ entre los intervalos (q_{z-s},q_z) y (q_z,q_{z+s}), y se calcula de esta forma θ promedio en los puntos ($q_{s-1/2s}$) y ($q_{z+1/2s}$). Con la curva k-θ, se puede determinar ya K en los puntos ($K_{z-1/2s}$) y ($K_{z+1/2s}$). Se calcula la densidad de flujo ($q_{z-1/2s}$) y ($q_{z+1/2s}$)

Con todos estos datos se puede establecer ya la ecuación de la continuidad para un intervalo de tiempo Δt:

$$(4.72) \qquad \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial \theta}{\partial t}; \frac{\Delta q}{\Delta z} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}; q_{z-s+\frac{1}{2}} - q_{z+s+\frac{1}{2}} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$

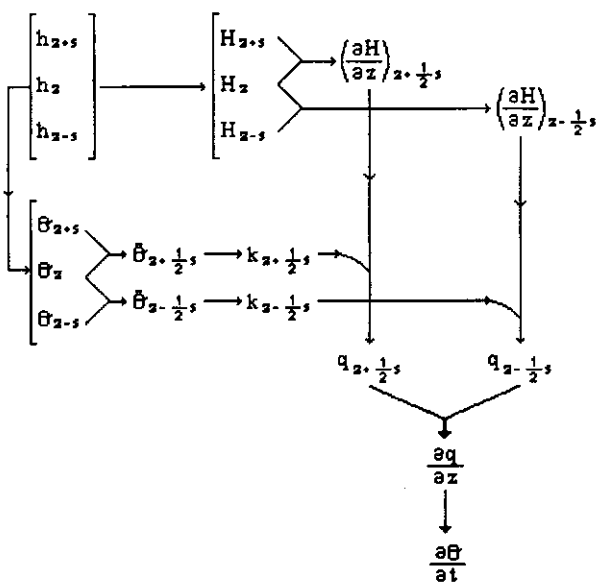


Fig. 4.21; Esquema de cálculo para el análisis del contenido volumétrico de humedad de un perfil de suelo. Según Koorevaar et alt. (1983), p. 151.

Obsérvese que se ha promediado el contenido de humedad para los puntos,($Z_{z-1/2s}$) y ($Z_{z+1/2s}$) cuando se podía haber calculado K en (Z_{z-s}, Z_z y Z_{z+s}) y luego haber promediado K para los puntos ($Z_{z-1/2s}$) y ($Z_{z+1/2s}$). Hay que hacer notar que la variación $K - \theta$, no es lineal con lo cual el error introducido habría sido muy notable. Por el contrario la relación $\theta - z$ se puede considerar aproximadamente lineal en terrenos homogéneos.

Este procedimiento que se acaba de describir en la actualidad lo realizan los modelos digitales de ordenador. Existen modelos muy variados ya sean en diferencias finitas (UNSAT 1) ó en elementos finitos (MUST), unidimensionales o bidiemensionales (UNSAT 2).

Los principales problemas con los que se enfrentan los modelos son fundamentalmente dos, por un lado estos modelos se limitan a resolver la ecuación de Richards por diferentes técnicas, y parece cada vez más evidente que el flujo no saturado muchas veces se produce a través de "caminos preferenciales", (grietas en el suelo, bioturbación ..etc.), en vez de a través de la matriz. Por otro lado, las medidas que se toman para calar los modelos son muy puntuales y no tienen en cuenta la variabilidad espacial.

Feddes et alt. (1988) realizan una revisión muy completa de las ecuaciones propuestas para estudiar el flujo del agua en zona no saturada, revisan las soluciones existentes hasta ahora propuestas, analíticas y numéricas. Revisan las posibles condiciones de contorno que se pueden utilizar, los datos que son necesarios, e incluso revisan alguna ecuación que considera tanto flujo a través de la matriz como flujo a través de caminos preferenciales. Describen la utilización de algunos códigos en particular. Boulier y Vauclin (1986) proponen un modelo estocástico que introduce un parámetro específico para estudiar la variabilidad espacial.

4.6 INFILTRACIÓN Y RECARGA

Infiltración y recarga son dos procesos íntimamente relacionados, ya que de la primera depende la segunda, se va a comenzar por tanto definiendo y describiendo ambos fenómenos.

4.6.1 INFILTRACIÓN

Hillel (1982), p.211, dice que "se aplica el término de infiltración al proceso de entrada de agua en el suelo a través de toda la superficie del suelo o sólo de una parte" y hace esta distinción para señalar que el agua puede entrar uniformemente distribuida por el agua de lluvia o puede entrar de una forma localizada a través de ríos o canales

4.6.1.1 TASA DE INFILTRACIÓN E INFILTRACIÓN ACUMULADA

Koorevaar et alt, (1983), p.153, definen la **infiltración acumulada (I)** (fig. 4.22) como el volumen de agua que se ha infiltrado por la superficie del terreno dividido por unidad de área. Es igual a:

(4.73) $$I = \int_{s=0}^{\infty} (\theta_0 - \theta_i) ds$$

Dónde θ_0 es el contenido volumétrico inicial de agua en el terreno, θ_i el contenido de humedad en un momento dado, s la coordenada vertical

La **tasa de infiltración (i)** (fig. 4.22) es la variación de la infiltración acumulada con el tiempo.

(4.74) $$i = \frac{dI}{dt};\ I = \int_0 i\,dt$$

La tasa de infiltración es una densidad de flujo, con sus correspondientes dimensiones de velocidad. (m s^{-1}).

Falle,1982, p.212, distingue el concepto de **"Infiltrability"** del de tasa de infiltración, reservando la primera denominación para referirse al agua que entra bajo presión atmosférica en el suelo. Mientras que el segundo tendría una acepción más amplia, sirviendo para denominar la densidad de flujo del agua que se introduce en el en el terreno, a una presión mayor (p.e. en el caso de que haya un charco profundo).

La tasa de infiltración de un suelo al principio es muy alta, ya que existen gradientes muy fuertes de potencial mátrico especialmente si el suelo está muy seco; conforme el suelo comienza a saturarse el gradiente disminuye y la tasa de infiltración disminuye.

Horton (1933) en Freeze y Cherry (1979), p.212 demostró que cuando la lluvia alcanza la superficie del terreno se infiltra con una tasa que decrece con el tiempo y que sigue existe una curva limitante para cada tipo de suelo que define la tasa máxima de infiltración. Rubin (1963) en Freeze y Cherry (1979), p.212, muestra que si se expresa en dimensiones [LT^{-1}] la tasa de infiltración, precipitación y conductividad hidráulica saturada, la curva de infiltración se hace asintótica (esto es constante) e igual a la conductividad hidráulica saturada. En la fig. .4.22 se presenta las curvas correspondientes a la evolución de la tasa de infiltración y de la infiltración acumulada con el tiempo.

Entre los motivos que hacen disminuir la tasa de infiltración con el tiempo se encuentran en primer lugar, la propia saturación del terreno, y además Falle (1982), p.214, cita la destrucción de la estructura primaria del suelo, la migración de las partículas del suelo, que disminuye la porosidad, en definitiva todos aquellos factores que producen una disminución del potencial mátrico.

Sumariza una serie de factores de los que depende la capacidad de infiltración de un suelo, que son: tiempo transcurrido desde la finalización del aporte de agua, cuanto más tiempo haya pasado menor tasa de infiltración; contenido inicial de agua en el terreno, a mayor contenido de humedad más rápidamente avanzará el frente de humedad, pero antes la tasa alcanzará un valor estable; la conductividad hidráulica saturada, a mayor conductividad mayor será la infiltrabilidad y la existencia de capas de menor permeabilidad en el terreno.

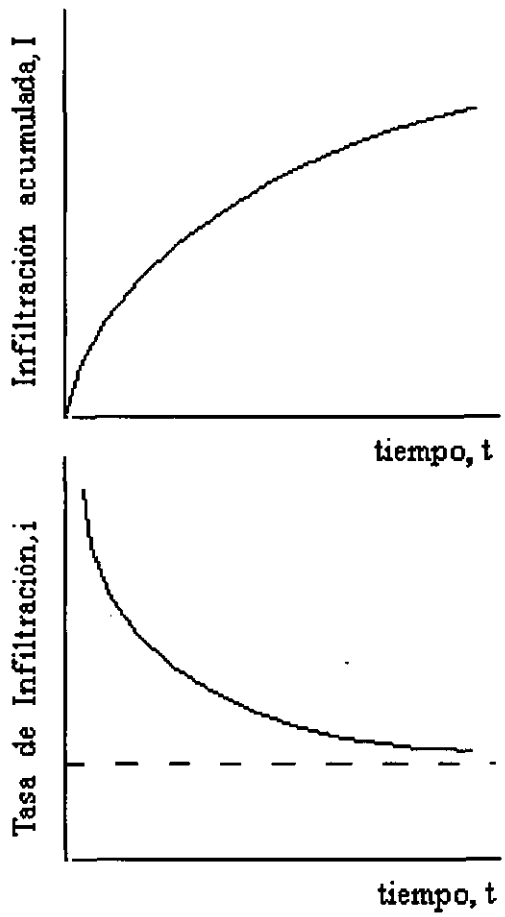


Fig. 4.22; Variación de las tasas de infiltración e infiltración acumulada con el tiempo. Según Koorevaar et alt. (1983), p. 153.

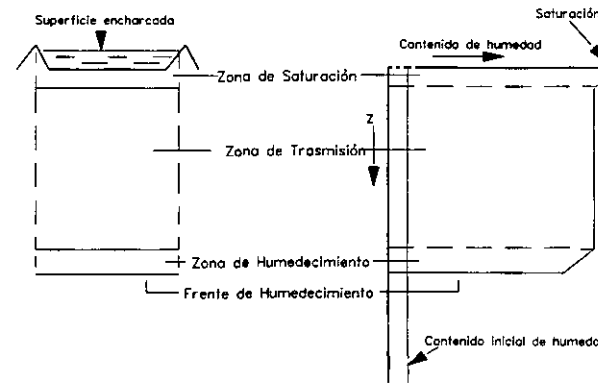


Fig. 4.23; Humedecimiento de un perfil de suelo durante un episodio de infiltración. Modificado de Hillel (1982), p. 216.

4.6.1.2. DISTRIBUCIÓN DE LA HUMEDAD EN UN PERFIL DE INFILTRACIÓN.

Se han diferenciado diversas partes en el perfil que presenta un suelo a favor del cual se está infiltrando agua, que se pueden apreciar en la figura n.4.23.

La parte superior del perfil, denominada **"zona de saturación"** se encuentra completamente saturada, y su longitud puede ser milimétrica o centimétrica. A continuación se encuentra una zona sometida a un potencial mátrico uniforme, o con un contenido de humedad uniforme en suelos homogéneos. El gradiente en esta zona es unitario. Se denomina **"zona de trasmisión"**. El contenido de humedad está próximo a la saturación y conforme avanza el tiempo la longitud de esta zona aumenta. A continuación se encuentra la **"zona de humedecimiento"**, en la cual el contenido de humedad decrece a la par que aumenta el gradiente. Hasta llegar al **"frente de humedecimento"** donde el gradiente se hace casi infinito y existe un salto brusco entre la zona humedecida y el suelo seco.

4.6.2 CONCEPTO DE RECARGA

Simmers (1990), p.3, define recarga como el flujo vertical de agua subterránea que alcanza la superficie libre, contribuyendo a aumentar las reservas de aguas subterráneas.

Reconocen dos tipos fundamentales de recarga: directa e indirecta. Considera la recarga directa como el volumen que alcanza la superficie libre como exceso de la humedad del suelo y la evapotranspiración. La indirecta resulta de la infiltración de agua a través de cauces superficiales ya sean ríos, charcos, grietas del terreno.

Relacionan el tipo de recarga con las condiciones climáticas de la zona. A mayor aridez mayor es la variabilidad de la recarga, y principalmente se produce de una forma indirecta.

Balek (1988), p.3, define este mismo concepto como la cantidad de agua que contribuye temporal o permanentemente al aumento de los recursos subterráneos.

Este mismo autor marca una distinción entre diversos términos y el de recarga. Conviene puntualizar la diferencia que existe entre el término de recarga y el de infiltración. Mientras que el agua de recarga es exclusivamente la que alcanza el límite superior de la zona saturada, el agua de infiltración es toda aquella que entra por la parte superior del terreno. Parte de la misma se evapotranspirará o permanecerá retenida en el suelo.

4.6.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE RECARGA

El agua de recarga proviene de la infiltración del agua de lluvia, ríos, canales y lagos. En determinadas áreas dónde se desarrollan cultivos de regadío, una parte del agua de recarga proviene de los excesos del agua empleada para este fin. Parte del agua infiltrada retorna a la atmósfera debido a los fenómenos de evapotranspiración, y otra parte permanece retenida en el suelo, drenando lentamente hasta formar parte del agua de recarga también.

Una vez que el agua de infiltración ha atravesado el plano de raíces y la evapotranspiración se hace prácticamente despreciable. Si existe una superficie freática relativamente profunda respecto a la superficie del terreno el flujo se hace prácticamente vertical y con un avance uniforme "flujo tipo pistón". Bajo estas condiciones se considera que el agua se mueve de acuerdo con la ley de Darcy. (cfr.Balek, 1990, p.10).

Aunque las ecuaciones que rigen el flujo de agua en la zona no saturada son relativamente simples, existen una serie de factores que complican extraordinariamente la resolución de las mismas. Por un lado hay que señalar la interrelación existente entre los parámetros que gobiernan dichas ecuaciones, como son contenido de humedad, potencial mátrico y conductividad hidráulica no saturada. Por otro lado la variabilidad espacial del terreno y los "caminos de flujo preferencial" como pueden ser estratificación, estructuras sedimentarias, raíces, que dificultan que el flujo sea completamente vertical.

Allison et alt., (1994) consideran que «el flujo tipo pistón puede explicar en muchos casos el comportamiento de los trazadores en el campo, aunque hay una evidencia muy clara (especialmente en áreas húmedas) que es la regla más que la excepción, es que el movimiento del agua se produce por caminos preferenciales y no por "flujo tipo pistón".

Flury et alt. (1994) inyectan un trazador coloreado en columnas inalteradas de suelo en el campo, muestran como en la mayor parte de los suelos estudiados el agua circuló por caminos preferenciales. Los suelos estructurados son más proclives a sufrir este tipo de procesos que los no estructurados. El contenido inicial de humedad afecta a algunos suelos, pero no a todos.

Uno de los principales problemas que se tienen en las determinaciones puntuales de la recarga es el problema de la variabilidad espacial. Es un problema de resolución poco sencilla. Cook et alt., (1989) desarrollan una técnica electromagnética de medidas, que permite realizar gran número de medidas en poco tiempo. Intentos de utilizar modelos estocásticos que consideren la varibilidad espacial también han sido relizados, Cfr. Boulier y Vauclin (1986), pese a todo todavía no se ha descrito técnica alguna que resulte altamente satisfactoria.

4.7 METODOS EXISTENTES PARA ESTIMAR LA RECARGA

Allison et alt., 1994, realizan una revisión muy completa de los métodos existentes en la actualidad para determinar la recarga. A la hora de exponer los métodos se seguirá en parte la estructura propuesta por estos autores. Dividen entre métodos físicos (directos e indirectos) y métodos químicos (trazadores naturales y trazadores aplicados artificialmente).

4.7.1 METODOS FÍSICOS INDIRECTOS

4.7.1.1 BALANCE HIDROLÓGICO

El método tradicionalmente empleado ha sido el método del balance hidráulico. Este método asume que las entradas en un sistema son iguales a las salidas. Considerando como tal un acuífero, las entradas serán igual a: Precipitación habida dentro del sistema. La salida será igual a la evapotranspiración (ETR). La recarga natural será por tanto igual a la precipitación menos la evapotranspiración. Si el balance se realiza para un período de tiempo corto es necesario considerar el factor de variación en el almacenamiento (S). La ecuación quedaría por tanto R= P-ETR+S, suponiendo que no haya escorrentía. La complejidad que reviste la determinación de la ETR hace que el método del balance sea un método muy aproximado.

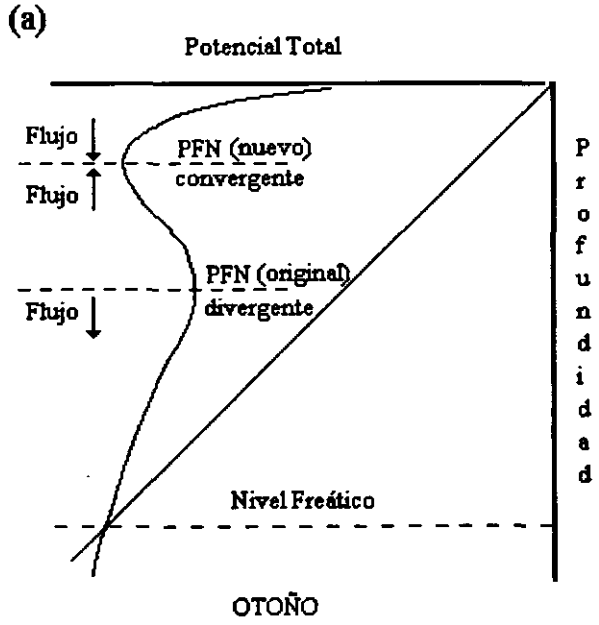


Fig. 4.24; Posición del Plano de Flujo Nulo en otoño. Modificado de Wellings y Bell (1982).

4.7.1.2 MÉTODO DEL PLANO DE FLUJO NULO

Para poder determinar la recarga por este método es necesario medir la evolución del potencial mátrico, y contenido volumétrico de humedad en un perfil de suelo para cortos intervalos de tiempo. El plano de flujo nulo (PFN) viene definido por una serie de puntos en un perfil de suelo, en los cuales el gradiente es igual a cero. Wellings y Bell (1982) diferencian entre planos de flujo nulo convergentes y planos de flujo nulo divergentes, dependiendo de las direcciones que tenga el flujo de agua por encima y por debajo del mismo (ver fig 4.24).

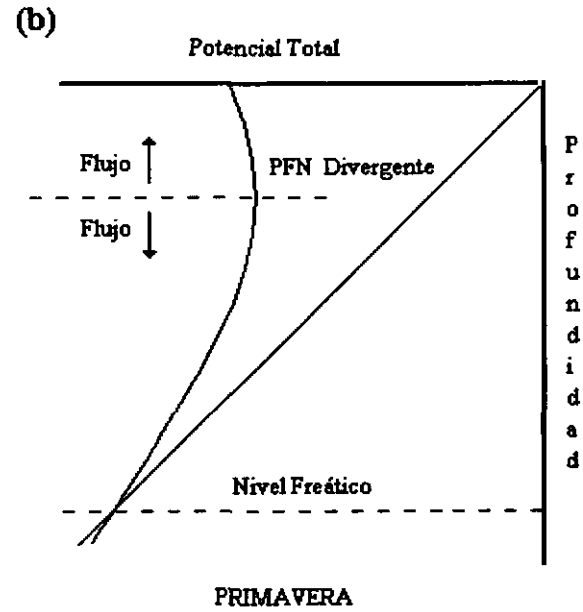


Fig. 4.25; Posición del Plano de Flujo Nulo en primavera. Modificado de Wellings y Bell (1982).

Conocido el potencial mátrico de un suelo, se puede calcular el potencial total. Conocido el potencial total se determina el punto de gradiente cero. Estos mismos autores explican que en primavera se suele formar un plano de flujo nulo divergente (ver fig.4.25), cuando la ETR comienza a exceder a la precipitación. Tiende a estabilizarse de 1 a 6 m de profundidad. En otoño, cuando comienzan las lluvias, se forma otro PFN en superficie, y en este caso divergente (ver fig. 4.25). Normalmente este plano desciende rápidamente hacia abajo hasta encontrarse con el plano convergente, desapareciendo ambos.

Conociendo la distancia que ha recorrido el PFN y la variación de humedad que ha habido en un tiempo determinado, se puede conocer cual es la recarga.

Basándose en la fig. 26 Cooper et alt. (1990) describen el método de la siguiente forma.

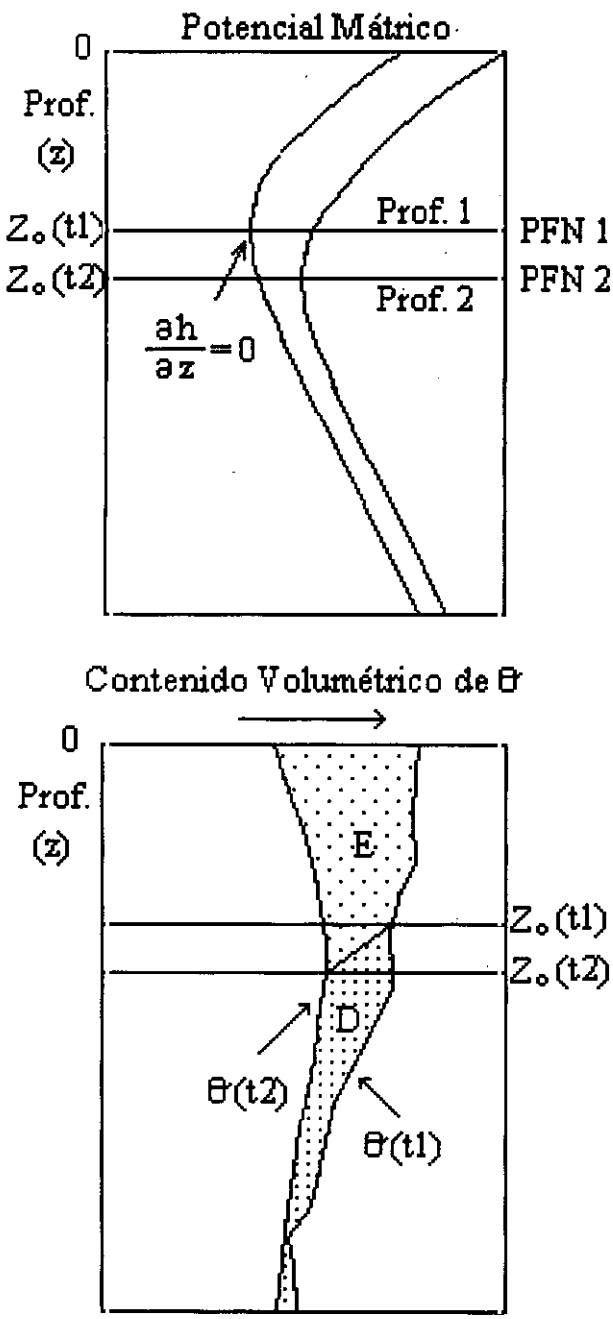


Fig. 4.26; Explicación del método del plano de flujo nulo. Modificado de Wellings y Bell (1982).

La evaporación y el drenaje en el período comprendido entre t_1 y t_2, será igual a:

$$E = P + \int_0^{Z_o(t_1)} \theta(t_1)dz - \int_0^{Z_o(t_2)} \theta(t_2)dz + \\ + \frac{1}{2}\int_{Z_o(t_1)}^{Z_o(t_2)} \left[\theta(t_1) + \theta(t_2)\right]dz \quad (4.75)$$

$$D = \int_{Z_o(t_1)}^{Z} \theta(t_1)dz - \int_{Z_o(t_2)}^{Z} \theta(t_2)dz - \\ - \frac{1}{2}\int_{Z_o(t_1)}^{Z_o(t_2)} \left[\theta(t_1) + \theta(t_2)\right]dz \quad (4.76)$$

Siendo E evaporación durante el período t_1 - t_2 D drenaje habido a lo largo de ese mismo período; P precipitación durante el período t_1 - t_2; t es el tiempo, q es el contenido volumétrico de humedad; $z_0(t)$ es la posición del PFN en el tiempo t; Z es la profundidad a la que se está calculando el drenaje.

Cooper et alt. (1990) consideran que cuando no se desarrolla un PFN, no se puede diferenciar el agua que se está evaporando del agua que está drenando. Como esta situación se suele producir en invierno, cuando la evaporación es muy pequeña, se puede considerar cometiendo un error muy pequeño que la evapotranspiración potencial es igual a la real. La fórmula que consideran apropiada para este cálculo es la que sigue:

$$D = P - E + \int_0^{Z} \theta(t_1)dz - \int_0^{Z} (t_2)dz \quad (4.77)$$

Como ventajas del método señalan que no es necesario conocer cuales son las propiedades hidráulicas del suelo pero se asume que las plantas se encuentran todas por encima del plano de flujo nulo y que toda el agua por debajo de este plano de raíces termina llegando a la zona saturada con lo que no consideran que puede haber plantas que introducen sus raíces por debajo del PFN. Señalan además que por debajo del PFN el agua es descendente y que siempre termina convirtiéndose en agua de recarga, si se almacena durante algún tiempo en el perfil lo único que puede alterar es el tiempo que tarda en alcanzar la zona saturada.

4.7.1.3 CÁLCULO DE LAS TASAS DE INFILTRACIÓN

Este método asume que en zonas con una zona saturada suficientemente profunda se establece un régimen estacionario. En situación de drenaje ésto implica un potencial mátrico constante, y por tanto gradiente constante y unitario. Se podría aplicar para esta situación lo explicado en el apartado 4.5.4.1. En esta situación la recarga sería igual a la conductividad hidráulica no saturada:

$$Q/a = K(\theta) = R$$

Esto quiere decir que si determinamos cual es la conductividad hidráulica no saturada en un punto suficientemente profundo de un perfil no saturado, estamos determinando cual es la recarga.

Lerner (1990), p.133 afirma que está generalmente admitido que bajo condiciones estacionarias la presión es constante, de tal manera que el gradiente es unitario y enteramente debido al componente gravitacional, en cuyo caso $R=K(\theta)$, lo que quiere decir que la recarga es igual a la conductividad hidráulica no saturada.

En zonas áridas y áreas de recarga con una zona

saturada profunda como es nuestro caso, (de más de 11 m), la ejecución de un sondeo profundo que permita tomar muestra inalterada, permitiría determinar cual es la recarga mediante una determinación en el laboratorio de cual es la conductividad hidráulica no saturada.

4.7.2 METODOS FÍSICOS DIRECTOS

Como métodos físicos directos cabe mencionar los lisímetros. Estos consisten en recipientes cerrados y rellenos con el suelo del área que se quiere estudiar. Están aislados por todas partes y mediante un colector en su parte inferior se puede recoger y medir que proporción del agua precipitada que no se ha evapotranspirado. Allison et alt., (1994) consideran que el método es caro y trabajoso. Suelen estar rellenos con suelo alterado por lo que las medidas que proporcionan suelen diferir de las medidas en áreas vecinas. La vegetación en el lisímetro tampoco es muchas veces la misma que en el suelo natural. Un ejemplo de utilización de lisímetros se puede consultar en El Jammal (1986).

4.7.3 TRAZADORES NATURALES Y APLICADOS

Los trazadores naturales más comúnmente aplicados en estudios de recarga son: ^{3}H, ^{14}C, ^{36}Cl, ^{15}N, ^{18}O, ^{2}H, ^{13}C, y Cl. De todos ellos los tres primeros son radiactivos y su contenido en la atmósfera se ha visto modificado con las pruebas nucleares de los año 60. Sus períodos de vida media son respectivamente 12.43, 5730, 300000 años respectivamente. Los análisis de ^{36}Cl son muy caros. El más ampliamente utilizado ha sido el tritio y es poco útil para datar aguas de más de 30 años

De los isótopos mencionados, ^{3}H, ^{18}O, ^{2}H forman parte de la molécula del agua. Por lo que conocida la "firma" isotópica del agua en la precipitación, muchas veces es posible determinar en que momento se introdujo en el suelo el agua de recarga.

Hay tres tipos de técnicas que permiten realizar una estimación de la recarga, en función del contenido de estos isótopos en el agua de recarga:

- Por la posición del pico de máxima concentración de uno de estos trazadores.
- Balance de masa: por la cantidad total de trazador acumulado en un perfil.
- Por la forma del perfil de concentraciones de un trazador en el perfil de un suelo, en el que es posible detectar variaciones en las concentraciones anuales o estacionales.

Este tercer método es muy útil en regiones húmedas con fuertes variaciones estacionales. En regiones áridas con precipitaciones regularmente distribuidas no proporciona demasiada información.

Dentro de estos cabría distinguir de nuevo entre otros dos tipos; los que aprovechan la composición química del agua del suelo para sus determinaciones (trazadores naturales), y los que se basan en la aplicación de un trazador (trazadores artificiales), que mediante su posición en el perfil después de pasado un tiempo de su inyección y conocida la variación de humedad del perfil a lo largo de ese tiempo permite realizar una estimación de la recarga.

En cuanto a los trazadores naturales se suelen emplear, o bien elementos radiactivos como son el tritio, o bien la relación 0^{18} y D ó los no radiactivos como es el ion Cl^-.

El Cl es un anión conservativo, y prácticamente mantiene su contenido constante desde que se introduce en el suelo. Es concentrado por la evapotranspiración.

De todos los trazadores visto vamos a hacer especial hincapié, en los métodos relacionados con el tritio, y el anión cloruro, por ser los métodos que habitualmente se utilizan.

4.7.3.1 POR LA POSICIÓN DEL PICO DEL TRAZADOR

Este método se basa en la datación del agua en algún punto del perfil. La datación se puede realizar o bien con un trazador inyectado por el propio investigador, o bien utilizando un trazador natural. Una vez datada el agua se pueden utilizar dos métodos para estimar la recarga, bien el que se explica a continuación o bien realizando un balance de masas que se explica en el siguiente apartado.

Según Lerner (1990) p.137, La recarga media entre la fecha en la que se infiltró el agua datada y el momento en el que se tomó la muestra es igual a:

$$r = \frac{1}{n}\int_0^d \theta_z dz \qquad (4.78)$$

Dónde r es la recarga media habida en el período considerado, n es el número de años transcurridos desde que se infiltró el agua hasta que se toma la muestra, d es la profundidad a la que se toma la muestra, y θ_z es el contenido volumétrico de humedad a la profundidad z, siendo z la dimensión vertical.

4.7.3.2 BALANCE DE MASAS

4.7.3.2.1 Método del Tritio

Para explicar el balance de masas se ha tomado como ejemplo el tritio. Se mide su concentración en Unidades de Tritio (UT). Una unidad de tritio significa una concentración de un átomo H^3 por 10^{18} átomos de H^1.

El método consiste en evaluar el tritio que cada año se introduce en el suelo en el agua de precipitación. Siguiendo en parte a Lerner (1990) p.137, el método consiste en lo siguiente:

Si se muestrea un perfil en "m" intervalos de

longitud "L", y se denomina C_i a la concentración de tritio en el intervalo "i" y θ_i al contenido volumétrico en el intervalo «i» el contenido total (T_t) en el perfil será igual a:

$$T_t = C_1\theta_1L_1 + C_2\theta_2L_2 + \ldots + C_n\theta_nL_n$$

(4.81)

$$T_t = \sum_{i=1}^{m} C_i\theta_iL_i$$

Teniendo en cuenta que la cantidad de radionucleidos (N) presentes va a ser igual a:

(4.82) $$N = N_0 \cdot \exp^{-\lambda t}$$

Dónde:
N_0 es el contenido inicial de dicho radionucleido
λ período de semidesintegración
t es el tiempo transcurrido.

El contenido de tritio en el perfil también será igual a:

(4.83) $$T_t = \sum_{i=1}^{n} C_j r_j \exp^{(-\lambda t)}$$

Dónde C_j es la concentración en tritio en el agua de recarga en el año j, λ, es el período de semidesintegración, t es el tiempo transcurrido, y r_j es la recarga en el año j. Si denominamos w_j a la relación entre la recarga media anual R y la recarga para un año dado ($w_j=r_j/R$), se puede hacer por las ecuaciones (4.81) y (4.83) que:

(4.84) $$R = \frac{T_t}{\sum_{j=1}^{n} C_j w_j Exp^{(-\lambda t)}}$$

entonces:

(4.85) $$R = \frac{T_t}{\sum_{j=1}^{n} C_j^{(-\lambda_i)w_j r_j}}$$

Se puede ver como conociendo el contenido total de tritio en un perfil, se puede estimar la recarga media y para un año dado.

Se puede determinar la recarga también inyectando tritio radiactivo. Como premisa de partida, se asume flujo de tipo pistón. Se inyecta como trazador en un tiempo (t_0), y al cabo de un tiempo (t) se toman muestras de agua en el perfil de suelo para averiguar cual es la posición del tritio inyectado. Si se representa en un gráfico la concentración de tritio con la profundidad, se observará un pico de máxima concentración a una determinada profundidad que dependerá de la velocidad a la que haya viajado el agua. Se averigua de este modo la velocidad a la que ha descendido el agua. Conociendo el contenido volumétrico de agua en el perfil, y en el tiempo t por encima del pico de tritio, se puede calcular el volumen de agua que se ha infiltrado. Habitualmente se producen fenómenos de dispersión que complican la interpretación de la posición de dicho pico de tritio.

En el año 1963, las pruebas nucleares que realizaron los EEUU en el Pacífico hicieron aumentar la concentración en la precipitación de tritio en todo el mundo. Otra posibilidad es intentar localizar la posición de este pico de tritio, que de forma análoga al anterior procedimiento, nos ayudaría a estimar la recarga. El problema es que en la actualidad la mayor parte de este *tritio radiactivo se ha desintegrado ya, por lo que este* procedimiento ya no es muy útil.

Como ventajas e inconvenientes a las estimaciones con tritio, Allison et alt., (1994) mencionan las siguientes:

- Consideran que el tritio es sumamente adecuado para zona en las que hay regadíos. Además la entrada de isótopos en el suelo suele ser bastante uniforme.
- En zonas con raíces profundas es desaconsejable su uso.
- En zonas áridas, con suelos arenosos, el tritio puede llegar a moverse en fase vapor, por lo que las estimaciones de tritio pueden llegar a ser anormalmente altas.

4.7.3.2.2 Método del Cloruro

Este método asume que el ion Cl^- es conservativo y entra en el suelo o bien disuelto en el agua de lluvia, o bien por deposición seca en el suelo y su posterior disolución en el agua de precipitación. El ion Cl^- es concentrado en el agua de recarga por los fenómenos de evaporación, pero se supone que no precipita en el suelo. Asume también que no se ve afectado por fenómenos de disolución mineral, ni sufre desorción. El contenido total de cloruros en el agua de precipitación será por tanto igual al contenido de cloruros en el agua de recarga. Si denominamos p *precipitación en mm,* C_p *concentración de* Cl^- *en la* precipitación en mg/l, r recarga y C_r concentración de Cl^- en el agua de recarga en mg/l y D la deposición en seco en mg/m^2:

$$p.C_p + D = r.C_r;\ r = (p.C_p + D)/C_r$$

Esto quiere decir que analizando el contenido de cloruros en la precipitación, en el agua de recarga por debajo del plano de raíces, y la deposición seca del suelo, se puede estimar cual es la recarga.

El método no carece de limitaciones como se

puede apreciar.

En zonas regadas no es válido, ya que los fertilizantes contienen cantidades importantes de este ion. La presencia de sales o de minerales ricos en Cl^- pueden alterar los resultados. Es necesario tener los datos exactos de contenido en Cl^- del agua de precipitación para el año del que se está estimando la recarga, ya que esto no es algo constante, sino que puede variar. Gieske (1992), aplica el método en una región semiárida de Bostswana, y dice que la presencia de arcillas puede dar lugar a problemas, ya que estas concentran el ion en los centros de sus láminas al ser repelidos en los bordes de las mismas. Este autor recomienda calcular C_r como una media armónica y no simple de los distintos valores obtenidos para una serie de muestras.

Allison et alt., (1994) a modo de conclusión consideran que cuando la precipitación es de unos pocos mm/año son preferibles las técnicas isotópicas sobre las físicas. La precisión del método del tritio aumenta cuando aumenta la tasa de recarga, ya que el método se basa en estimar la cantidad de trazador presente en el perfil. Por el contrario, el método de los cloruros es tanto más recomendable cuando la tasa de infiltración es más baja, ya que a menor tasa de infiltración mayor concentración de cloruros y se puede tener una mayor precisión en la medida.

5.- SINTESIS DE METODOS PARA MEDIR HUMEDAD Y POTENCIAL EN ZONA NO SATURADA

Los métodos existentes para medir humedad y potencial en el suelo son numerosos, siendo más adecuados unos que otros dependiendo de los resultados que se quieran obtener.

Existen una serie de publicaciones monográficas que recopilan el conjunto de métodos existentes para el estudio de la zona no saturada.

Se resumen en primer lugar algunas temas generales más adecuados para quien desee consultar algo inespecífico sobre instrumentación en zona no saturada.

Schmmugge et alt. (1980), recopilan el conjunto de métodos existentes, diferenciando los métodos "in situ", de los sensores remotos; resumen los fundamentos y bases de cada uno de los sistemas de medida expuestos y concluyen diciendo que los métodos «in situ» son mucho más precisos, aunque las medidas que proporcionan son excesivamente puntuales y sugieren la utilización de los primeros para calibrar y verificar las medidas obtenidas mediante sensores remotos. Incluyen además, un pequeño resumen de los modelos disponibles para poder simular y predecir el contenido de humedad en el suelo en función de una serie de parámetros que varían de un modelo a otro.

Everett et alt. (1982), resumen en una serie de tablas distintos métodos que pueden ser utilizados para estudiar y seguir la evolución de contaminantes en la zona no saturada, en lugares donde se ubiquen residuos radioactivos. Exponen en su trabajo tanto las ventajas de los distintos métodos existentes como sus limitaciones.

Robbins y Gemmell (1985), establecen una serie de criterios que se deben tener en cuenta a la hora de escoger instrumentación, profundidad de ubicación de la misma y frecuencia de toma de datos en estudios relativos a la prevención de contaminación y migración de la misma.

Marcos Naveira (1989), recopila en un informe el conjunto de métodos que existen para el estudio de la zona no saturada.

Las publicaciones existentes sobre métodos específicos son numerosas. A continuación se expone un resumen bibliográfico de los métodos que son utilizados con mayor aceptación en este campo científico.

5.1 MEDIDAS DE HUMEDAD

Con el conjunto de métodos que a continuación se exponen, se persigue conocer el contenido volumétrico de humedad natural en el campo, ya sea mediante muestras o mediante medidas "in situ".

5.1.1 MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS

En esencia estos métodos, con pequeñas variaciones, consisten en calentar una muestra inalterada de suelo, previamente pesada, a 105ºC durante un cierto tiempo, hasta que la muestra marque un peso constante (cfr. Fetter, 1994, p.178). En general con 12 horas de secado son suficientes, aunque en ocasiones para muestras grandes, el tiempo puede ser mayor, (cfr. Schummugge et alt., 1980). Una vez completamente seca la muestra, se vuelve a pesar. La AWRC (1975), p.14, recomienda el secado de la muestra, durante al menos 24 horas, además puntualiza que las muestras deben pesar al menos 100 gr y señala que este método sirve de calibración y contraste para el resto de los métodos existentes.

El contenido volumétrico de agua, (peso inicial de la muestra, menos el peso de la muestra seca), se obtendrá simplemente dividiendo el volumen total de agua por el volumen de muestra, siempre en unidades homogéneas.

Hemos de señalar el inconveniente que presentan las muestras arcillosas a la hora de realizar determinaciones volumétricas, ya que con el calentamiento la muestra sufre retracción de tal manera, que el volumen inicial y final no son iguales.

Se presenta un resumen de las precisiones que Gardner (1965), p.82-125, hace sobre el método:

1. Convencionalmente en la literatura científica se ha considerado que una muestra está seca cuando alcanza un peso constante a temperaturas comprendidas entre 100°C y 110°C. La elección de este rango de temperaturas no tiene ninguna base científica y en la práctica la mayor parte de la veces no se llega a alcanzar el peso constante.

2. Un suelo está formado por minerales coloidales y no coloidales, materia orgánica, líquidos volátiles y substancias químicas disueltas en el agua.

Las partículas no coloidales no presentan problemas, ya que almacenan escasa agua de adsorción que es fácil eliminar mediante calentamiento, y el agua estructural o de cristalización sólo se elimina a

temperaturas muy altas.

Las **partículas coloidales** presentan agua de adsorción en cantidades mayores (p.e. las arcillas), y es difícil decidir cual es agua de adsorción y cual es agua estructural. Considera que el rango de temperaturas 165-175 °C es más adecuado que el que se utilizà para secar este tipo de muestras.

La **materia orgánica (MO),** es todavía más problemática. La oxidación y la descomposición que sufre hace que se experimenten cambios de peso, no debidos a cambios en el contenido de humedad. Se han ensayado métodos de desecación en ambientes sin oxígeno para paliar estas dificultades.

Este autor afirma que "el contenido de humedad medido en suelos que contienen algo más que una cantidad despreciable de materia orgánica, debe ser considerado como un valor arbitrario". Aunque no se sabe a qué temperatura la oxidación comienza a ser perceptible, los 50 °C es una temperatura adecuada para secar suelos con elevado contenido en M.O.

3. El **tiempo de permanencia en el horno** depende de cuando se alcance un peso constante, cosa que nunca se llega a alcanzar si la muestra tiene coloides o materia orgánica. Depende también del tamaño de la muestra, de su composición, del tipo de horno que se utilice, (hornos de gran potencia requieren tan sólo 10 h, mientras que uno convencional puede llegar a necesitar 24 h).

4. Muestras que se vayan a comparar, necesitan exactamente el mismo método en cadà medida. Las muestras con **arenas y gravas** presentan muchos errores de medida. Es especialmente importante para este tipo de muestras especificar si las determinaciones se expresan como grado de saturación o de humedad.

5. El **volumen del suelo** puede ser determinado en campo, si no se dispone de tomamuestras de volumen conocido.

6. La **precisión** que se alcanza con este método no es muy grande y es válido siempre que no se requieran precisiones superiores a más ± 0.5 % de contenido de humedad, aunque en la mayoría de los casos esta precisión es más que suficiente.

Depende del grado de desecación conseguido y como esto es algo subjetivo, lo más importante a conseguir es la reproductivilidad del experimento, por lo que recomienda por tanto: (A) Tomar cada muestra como un conjunto de muestras a comparar con ellas mismas en parámetro tales como, tamaño, temperatura de desecación, tiempo ..etc. (B) seguir técnicas que requieran el menor número de variables posibles. Recomienda desecar las muestras con coloides a las temperaturas adecuadas (consultando las curvas de desecación que proporciona, ver fig. 5.1). En cualquier caso, sino se conocen los coloides, recomienda secar las muestras a temperatura comprendidas entre 165 y 175°C y si hay materia orgánica a temperatura inferior a 50°C.

7. Pone en duda que este método sea el idóneo para contrastar los métodos indirectos, ya que es considerablemente impreciso.

En esta tesis, el contenido de humedad se ha determinado en algunos casos, mediante la toma de muestras inalteradas y su análisis gravimétrico.

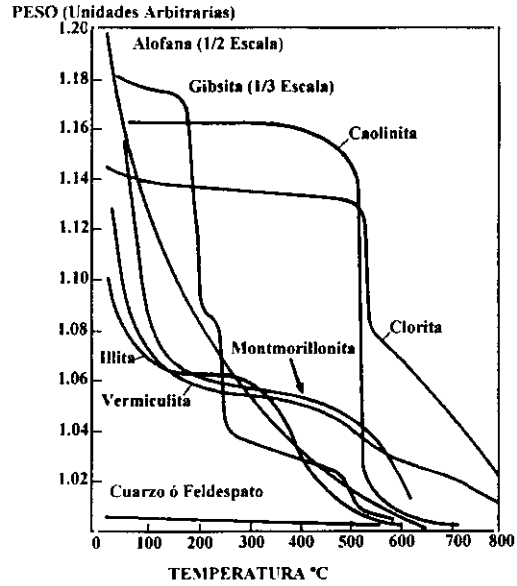


Fig. 5.1; Pérdida de peso de los minerales de arcilla en función de la temperatura. El porcentaje en función de la masa se obtiene restando 1 de la ordenada y multiplicando por 100 (Modificado de Nutting, 1943 en Gardner 1965, p. 85)

5.1.2 TÉCNICAS NUCLEARES

5.1.2.1 SONDA DE NEUTRONES:

Esta técnica se basa en la emisión de neutrones a gran velocidad a partir de una fuente radioactiva; los neutrones, que viajan a muy altas velocidades, son termalizados o absorbidos en el interior del suelo por núcleos de bajo peso atómico, fundamentalmente por el choque con núcleos de hidrógeno. Prácticamente el único compuesto que contiene átomos de hidrógeno en el suelo es el agua. Por tanto, la densidad de la nube resultante es función del contenido de humedad presente en el suelo. No obstante, otros elementos que a veces se encuentran presentes en la matriz del suelo, tales como Cd, B, Cl y en menor medida Fe, contribuyen a termalizar neutrones, (cfr. Bell, 1987, p.3). Gran parte de lo que aquí se expone ha sido tomado de los trabajos de Hodnett (1985) y Bell (1987).

En la figura 5.2 se puede ver un esquema de una sonda. La sonda cuenta con una fuente emisora de neutrones, y un detector incluido en la misma, que mide el número de neutrones termalizados. Cada vez que un neutrón relentizado es detectado por el detector, este emite un pulso eléctrico. El número de pulsos eléctricos (neutrones lentos que regresan al detector) por unidad de tiempo es contabilizados. El contenido de humedad es determinado mediante curvas de calibración, contenido volumétrico de agua versus contaje del aparato.

La **fuente de neutrones** contiene una mezcla compacta de Am-241 en forma de óxido y de Be en forma de polvo metálico. El Am-241 es un emisor de partículas

alfa ${}^{4}_{2}He$. Los neutrones de alta energía son producidos por la reacción que se produce entre las partículas alfa y el Be, deacuerdo con la siguiente reacción:

(5.1) $${}^{4}_{2}He+{}^{9}_{4}Be \Rightarrow {}^{12}_{6}C+{}^{1}_{0}n+5.5\,MeV$$

En el pasado se utilizaron otros tipos de fuentes, tales como ^{226}Ra-Be. Esta fuente presentaba el inconveniente de emitir cierta dosis de radiación gamma, para una emisión similar de neutrones. El ^{241}Am presenta un período de semidesintegración de 460 años, lo que garantiza que la emisión de neutrones va a ser casi constante. La actividad de las fuentes que en la actualidad se utilizan varían entre 30 y 100 mCi (1.11-3.7 GBq).

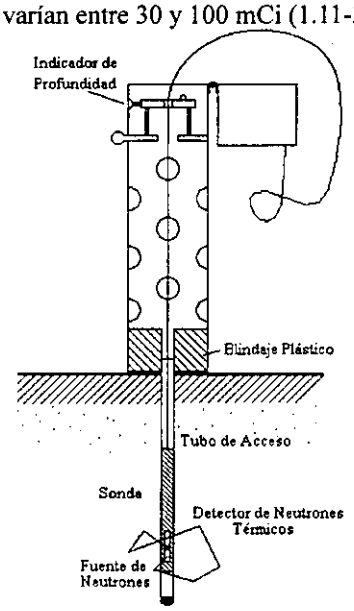


Fig. 5.2; Esquema de una sonda de neutrones (Mod. de Bell, 1987, p.1)

El **detector**; existen diversos tipos y se basan en la ionización que los neutrones termalizados producen en partículas cargadas tales como ^{10}B, ^{3}He, ^{6}Li. Para el Boro, la reacción sería la siguiente:

(5.2) $${}^{10}_{5}B+{}^{0}_{1}n \Rightarrow {}^{7}_{3}Li+{}^{4}_{2}He$$

Los detectores más comunes están constituidos por un tubo relleno de gas Helio (^{3}He) o de boro-trifluorado (BF_3). Otras veces el detector lo constituye un contador de centelleo constituido por cristal de ^{6}Li enriquecido. Determinadas sustancias al ser bombardeadas con partículas alfa emiten una radiación luminosa, cuya intensidad es proporcional a la energía trasmitida al detector. El número de centelleos convertidos en un pulso eléctrico pueden ser contabilizados.

Fuente y detector deberían ir ubicados en el mismo punto, para conseguir un máximo de sensibilidad y una calibración lineal. Dada la imposibilidad obvia de que esto sea así, Bell (1987) p.3, recomienda que la máxima distancia entre ambos no exceda nunca los 10 cm.

La fuente radiactiva debe ir encapsulada en un **escudo protector** constituido por un material rico en hidrógeno, tal como parafina o polipropileno. A su vez, fuente, escudo y detector suelen ir introducidos en un cilindro doble de acero inoxidable. La fuente sólo sale de su escudo en el momento en el se efectúan las mediciones de humedad.

Se introduce en el suelo a través de un pequeño sondeo, realizado por lo general manualmente y en el que se toman medidas a distintas profundidades. Para instalar los **tubos de acceso** Hodnett (1985) recomienda:

1. **Prevenir al máximo producir alteraciones en el suelo** que rodee al punto de medida, evitando la compactación del mismo. La compactación del terreno alrededor del punto de medida puede provocar cambios en la porosidad del suelo que afecten la entrada de agua en el mismo. Recomienda respetar al máximo la vegetación circundante. Para ello considera imprescindible utilizar una plataforma de trabajo que se encuentre elevada del suelo por algunos puntos de soporte, durante el período de instalación.

2. **La distancia entre el tubo y el suelo debe minimizarse**. Si quedan espacios grandes entre el tubo de acceso y el suelo, en condiciones de no saturación los agujeros estarán siempre vacíos de agua. En temporadas húmedas presentarán elevados contenidos de humedad, introduciendo todo esto un sesgo en los resultados.

3. **El tubo debe ser de un material transparente para los neutrones**, esto es aluminio, hierro galvanizado, acero inoxidable, etc. El PVC, sin embargo es desaconsejable, ya que contiene Cl, que también contribuye a termalizar neutrones.

El detector proporciona un contaje de los pulsos eléctricos a lo largo de un tiempo prefijado por el operador. Con una ecuación de calibración previamente realizada, se transforman los contajes en contenido volumétrico de humedad en el suelo.

La **ecuación de calibración**, depende del diseño de la propia sonda de neutrones. Las comerciales del tipo que utiliza el Institute of Hydrology, Didcot Ins.Co. presentan la siguiente recta de calibración:

(5.3) $$\theta = a \times \frac{R}{R_s} + b$$

Dónde a y b son respectivamente la pendiente y la ordenada en el origen de la recta (5.3); dependen del diseño de la propia sonda. R es el número de neutrones termalizados por unidad de tiempo y R_s es el número de neutrones termalizados en un material estándar por unidad de tiempo.

Las mediciones que proporciona la sonda pueden variar con el tiempo, debido por un lado al decaimiento de la fuente radioactiva y por otro lado al desajuste de la electrónica del aparato. Es necesario por tanto controlar que la sonda tenga siempre el mismo contaje en un material estándar para normalizar los resultados. Los fabricantes suelen recomendar realizar dicha prueba con

el propio escudo protector. Sin embargo Hodnett y Bell (1991) que estudian este aspecto llegan a la conclusión de que el escudo protector no es suficiente, para evitar que los materiales que rodean la sonda, incluso dentro de su escudo, influyan en la normalización de resultados. Recomiendan la utilización de un bidón, tipo de los utilizados para contener gasóleo, relleno de agua destilada. Los contajes se realizan en un tubo de acceso instalado en el bidón, idéntico a los utilizados en campo. Siempre y cuando los resultados que se busquen no requieran precisiones próximas al límite de precisión del propio método de medida, dos sondas de idéntica fabricación y diseño presentan ecuaciones de calibración muy semejantes. Recomiendan medir en el estándar al menos dos veces por semana.

Detalles muy amplios del manejo de la sonda y de la instalación del tubo de acceso pueden consultarse en los trabajos realizados por Schofield et alt., (1985), p.70 y siguientes, Bell (1987), p.10 y siguientes, dónde se describe muy detalladamente el instrumental de instalación. La manera de llevar a cabo la calibración del aparato ha sido descrita por Sorenson et alt. (1989), por Schofield et alt., (1985) p.77 y siguientes.

Según Luebs et alt. (1968), la correlación existente entre el contaje del aparato y la humedad del terreno es mejor para suelos de textura grosera que para suelos de textura fina. Precisan que es necesario realizar una curva de calibración específica para cada tipo de suelo, así como varias para un mismo suelo, tantas como variaciones de densidad se produzcan dentro del mismo. Señalan además, que la técnica es mucho más adecuada para estudiar variaciones de humedad que para medir el contenido exacto de la misma.

Nichols (1987), utiliza este método para medir la humedad en unos perfiles de suelo en Nye County, Nevada. Da detalles de los tubos de acceso y de los materiales empleados.

5.1.2.2. ATENUACIÓN DE RAYOS GAMMA:

Según Schummugge et alt. (1980), este método asume que la dispersión y atenuación de un haz de rayos gamma en el suelo es debida a cambios en la densidad del mismo producidos por variaciones en el contenido de humedad.

Se necesitan al menos dos sondeos de acceso. La separación necesaria entre ambos es igual a 14 cm. Uno se utiliza para introducir la fuente radiactiva, y otro para introducir el detector.

La **precisión del método** es muy grande, pero errores de un mm en la separación de los dos sondeos paralelos necesarios para introducir fuente y detector dan lugar a errores en el contenido de humedad de hasta un 2% en la densidad húmeda, (cfr. Marshall y Holmes, 1985, p.63). AWRC (1975), p.14 y 15, estima que la precisión es de ±0.01 en contenido volumétrico de humedad y estima que permite determinar contenidos de humedad con una resolución espacial de 0.5 mm.

Sensibilidad y volumen de influencia. Baker y Lascano (1989) afirman que el volumen de suelo sobre el que se obtiene una medida de humedad con este instrumento, es una pirámide, cuya base la forma el detector y su vértice la fuente radiactiva. La sensibilidad es completamente homogénea dentro del volumen de la pirámide e igual a 0 en el exterior de la misma.

Dado que el método presenta muchos problemas de instrumentación, no es recomendable su utilización en campo, a menos que se requiera una gran precisión; no obstante, ha encontrado una difusión muy amplia en trabajos de laboratorio. Un ejemplo de esto último lo podemos ver en los trabajos de Dirksen y Huber (1978), que construyen un ingenio para estudiar el flujo no saturado de agua en laboratorio, dónde se realizan las medidas de humedad con un escaner de atenuación de rayos gamma.

5.1.3 TÉCNICAS ELECTROMAGNÉTICAS

La constante dieléctrica de un suelo se debe a la polarización de las moléculas del mismo, o dicho en otras palabras su momento eléctrico dipolar por unidad de volumen. La medida de la constante dieléctrica del suelo va a ser un reflejo del contenido de humedad del mismo.

Existen diversas técnicas para determinar la constante dieléctrica de un suelo "K_b". La relación entre K_b y contenido volumétrico de humedad no es una relación directa, y por lo tanto los métodos existentes requieren un proceso de calibración.

5.1.3.1 SONDA DE CAPACITANCIA

Los sensores de capacitancia fueron desarrollados fundamentalmente por el Instituto de Hidrología de Wallingford para medir humedad del suelo. Una descripción muy completa del método se proporciona en Dean et alt., (1987) y Bell et alt., (1987).

El **principio de funcionamiento.** Hay sustancias que en presencia de un campo eléctrico, en lugar de conducir corriente se orientan dentro del mismo. Estas sustancias son denominadas dieléctricos. Algunas de ellas sólo se orientan cuando está actuando la corriente, otras en cambio se encuentran permanentemente polarizadas. El suelo cuando contiene agua intersticial se comporta como un dieléctrico permanente.

Un método para determinar la constante dieléctrica de un medio dieléctrico, consiste en crear un campo eléctrico en el mismo, con una determinada frecuencia de oscilación. Controlando la frecuencia de oscilación de dicho campo, se consigue igualar la inductancia y la capacitancia, de tal forma que la impedancia se iguale a la resitencia. Cuando reistencia e impedancia se iguala, queiere decir que capacitancia e inductancia son iguales, y así se determina cual es la capacitancia del suelo. :

Existe una relación entre la constante dieléctrica el medio, K_b, y la capacitancia que viene dada por la siguiente relación:

$$(5.4) \quad C = pK_b$$

Siendo p una constante que depende tanto de la geometría del medio, como de la geometría de los electrodos. Esta constante es difícil de determinar.

Por tanto, se puede establecer una relación entre capacitancia y contenido volumétrico de humedad, ya que la constante dieléctrica del suelo es una función del contenido de humedad en el suelo. Esta relación no es simple y debe ser determinada mediante un proceso de calibración con una técnica estándar.

La **sonda de capacitancia consta de dos partes.** Un sensor, que se une mediante cable de fibra óptica a un medidor de frecuencia. En la fig.5.3 se puede contemplar el aspecto de una sonda.

El sensor se introduce en suelo a través de un sondeo, con la ayuda de un tubo guía, que tiene una serie de orificios regularmente separados, y ayudan a fijar el sensor a la profundidad deseada.

El **volumen de influencia y la sensibilidad.** Según Dean et alt. (1987), El volumen de suelo que contribuye a la medida que proporciona la sonda de capacitancia es un elipsoide elongado paralelamente al tubo de acceso, y cuyo centro se localiza en el sensor. Las dimensiones para el elipsoide de la sonda fabricada por el Institute of Hydrology son igual a 17 cm para su eje mayor y 13 cm, para el menor. La sensibilidad del sensor para este volumen es del 90%, no obstante parte de la humedad contenida fuera de ese volumen influencia también los resultados.

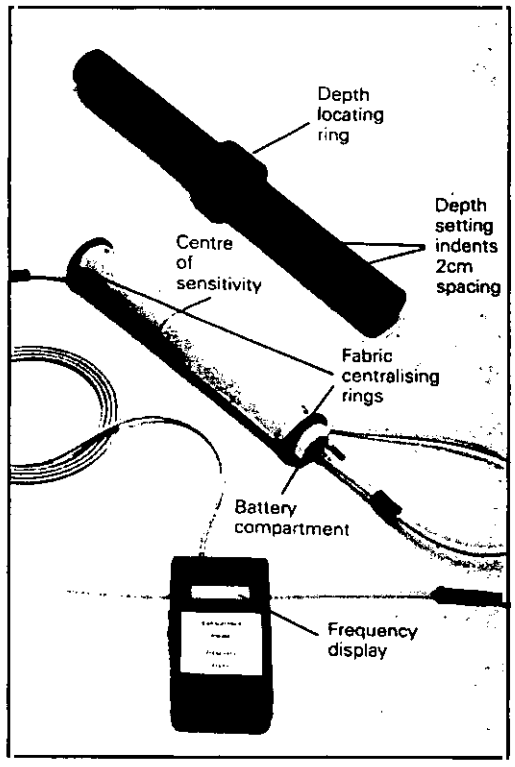


Fig. 5.3; Partes de un sensor de capacitancia. (lector de frecuencia, compartimento para baterías, sensor, tubo auxiliar con orificios separados 2 cm, anillo para fijar el sensor, cable coaxial). Modificado de propaganda de Didcot S.A..

Detalles de como debe ser **instalado el tubo de acceso**, se pueden encontrar en Bell et alt. (1987) y en propio manual de "DIDCOT capacitance soil moisture probe". La instalación del tubo de acceso determina la calidad de los datos. Con tan sólo medio milímetro de espacio que quede entre el tubo de acceso y el suelo se pueden llegar a cometer serios errores. Esto es debido a que el volumen de influencia de la sonda es de pequeño tamaño, y de forma elíptica y con el eje mayor paralelo altubo de acceso.

Con este método no se pueden efectuar mediciones por debajo de dos metros de profundidad. La razón para ello, estriba en la dificultad que presenta la instalación de un tubo de acceso por debajo de dicha profundidad.

El **proceso de calibración** se encuentra descrito en Bell et alt. (1987). Merece la pena destacar que con este método sólo se mide el agua retenida en el suelo mediante fuerzas matriciales, ya que según Shchummugge et alt. 1980 el agua presente en el suelo si está fuertemente retenida por las partículas del mismo, no se polariza; sus propiedades en este caso son muy parecidas a las del hielo. Es por esto que Bell et alt. (1987) recomiendan utilizar el método gravimétrico para calibrar la sonda, pero utilizando temperaturas menos extremas que los 105°C habituales, que además de extraer el retenida en el suelo por fuerzas matriciales, pueden extraer parte del agua de formación de los distintos minerales que componen un suelo.

En **presencia de electrolitos**, el suelo comienza a comportarse como un conductor más que como un dieléctrico. Debido a esto, Marshall y Holmes (1988) ponen en duda la fiabilidad de los resultados que se obtienen con los sensores de capacitancia, en suelos salinos dado que la presencia de electrolitos en el suelo altera considerablemente los resultados.

El **efecto temperatura.** La temperatura ocasiona diferencias en la geometría de los capacitores. Dean et alt. (1987) señalan que utilizando capacitores en paralelo el efecto se minimiza, pero no se elimina. Otra fuente de errores relacionada con la temperatura, es la ocasionada por la diferencia entre las temperaturas de sensor y suelo. Estos mismos autores encontraron que para un sensor a 21°C, y suelo a 14°C el error cometido en la medida de contenido volumétrico de humedad en el suelo era del 0.1%.

Bell et alt. (1987), comparan las **ventajas e inconvenientes** de este instrumento frente a la sonda de neutrones ya casi universalmente extendida. Como ventajas citan que puede monitorizarse, realizando una conexión permanente a un registrador automático de datos. Es más barata. La medida es instantánea, y no hay que realizar conteos a lo largo de un período de tiempo, además no es un instrumento radiactivo.

Como inconvenientes citan que la calibración es menos lineal, el volumen de influencia es menor que la de la sonda de neutrones, se ve muy afectada por heterogeneidades de pequeña escala, y es poco apta para suelos pedregosos.

5.1.3.2. TDR (Time Domain Reflectometry)

Esta técnica de reciente desarrollo, permite determinar la constante dieléctrica de un suelo mediante la emisión de una onda electromagnética.

El **principio del sistema de medida** consiste en enviar un pulso eléctrico (un voltaje) a través de un cable coaxial, a un sensor (una doble varilla metálica) que se introduce en el medio del cual se desea conocer su constante dieléctrica. El pulso eléctrico se propaga como una onda electromagnética, primero a través del cable, y luego a través del medio. Al llegar al extremo de la varilla metálica, la onda es reflejada y vuelve. Cada 10 ps ($1x10^{-12}$ s) el aparato registra el voltaje efectivo o la admitancia del medio, y lo guarda en memoria. El resultado se puede representar en un gráfico, colocando voltaje en el eje de abcisas y tiempo en el eje de ordenadas. En dicho gráfico pueden diferenciarse diversas partes; el tiempo durante el cual la onda viaja a través del cable, tiempo que la onda permanece en el suelo, y un pulso que constituye la onda reflejada.

Conociendo el tiempo que la onda permanece en el medio, puede determinarse su constante dieléctrica,

$$K_b = \left(\frac{Ct}{2L}\right)^2 \qquad (5.5)$$

Dónde L es la longitud de la varilla metálica, Ct es la velocidad de una onda electromagnética en el vacío (v de la luz), y t, el tiempo que la onda permanece en el medio. Cfr. Heimovaara y Bouten (1990), Dalton et alt, (1990), TRIME-System (1993), etc.

El sistema se ha desarrollado mucho en poco tiempo. En principio como emisores de ondas se empleaban unos instrumentos inespecíficos y muy caros cuya finalidad eran detectar fallos en los cables de los sistemas eléctricos de los aviones. Este sistema era el "Tektronix" (fig. 5.4). Como principal ventaja presenta que consta de una pantalla que permite visualizar e interpretar el gráfico de la onda, y en caso de observarse alguna irregularidad en su forma se puede repetir la medida o incluso almacenar dicha información para ser procesada manualmente. Heimovaara y Bouten (1990) desarrollan un "software" específico para poder interpretar estos gráficos directamente con la ayuda de un ordenador conectado al TDR.

En las figuras 5.4 y 5.5. se pueden ver los dos tipos mencionados de TDR, en la fig. 5.5 se pueden apreciar además los sensores.

Más recientemente surge el sistema TRIME-IMKO, (cfr. TRIME-System 1993, p.4 y 5), que en lugar de proporcionar la onda, lleva incorporada una calibración interna, y realiza automáticamente los cálculos oportunos para hallar directamente el contenido volumétrico de humedad en el suelo.

Topp et alt., (1980) proponen una ecuación para relacionar la constante dieléctrica de un suelo con el contenido volumétrico de humedad del mismo, y



Fig. 5.4; Aspecto de un TDR tipo Tektronix 1502C.



***Fig. 5.5;** TDR tipo Trime con lector, cable coaxial y sensores (modificado de Trime System, 1993)*

consideran que es válida para cualquier tipo de suelo:

$$K_b = 3.03 + 9.3\theta + 146\theta^2 + 76.7\theta^3 \qquad (5.6)$$

Dirksen y Dasberg (1993), ponen en duda que la textura de un suelo no afecte dicha ecuación y tratan de hallar otra expresión que se ajuste mejor a suelos arcillosos o con minerales de arcilla. Proponen dos nuevas ecuaciones, y las comparan con el modelo de Topp. Para ello toman 11 suelos arcillosos de diferentes procedencias y miden su K_b con TDR, su contenido volumétrico de humedad, punto de marchitez permanente, saturación, y densidad. Llegan a la conclusión que la ecuación de Topp et alt. (1980) es válida para suelos con bajo contenido en arcillas y para suelos con densidades aparentes

comprendidas entre 1.35 y 1.5 gr/cm^3. Una de las ecuaciones por ellos propuestas, concretamente una modificación de la ecuación de Maxwell, parece ser adecuada para suelos arcillosos, sin embargo como contrapartida citan que esta ecuación es sólo válida para suelos con bajos contenidos de humedad.

En suelos salinos la señal electromagnética se atenúa, y Dalton et alt. (1984) estiman que dicha señal decrecería exponencialmente al aumentar la salinidad del suelo. Proponen el método como una alternativa para estimar conjuntamente contenido de humedad y conductividad eléctrica de un suelo.

En **cuanto a la sensibilidad y la esfera de influencia**, Baker y Lascano (1989) realizan un estudio muy completo del volumen de influencia y la sensibilidad de este sistema de medida. El volumen de influencia del sistema es un prisma de unos 1000 mm^3, cuyo lado más largo es paralelo a las varillas del sensor. La sensibilidad no es homogénea en todo el volumen, y es paralela a dichas varillas. Aunque con poca influencia, el contenido de humedad de un paralelepípedo de hasta 4000 mm^3 puede influir en los resultados. Dado que la sensibilidad no es homogénea, consideran que si la distribución de humedad en el volumen de influencia tampoco lo es, se pueden cometer errores. Según estos autores, se pueden tomar medidas hasta a 20 cm de la superficie del terreno sin que las medidas se vean afectadas por al interfase atmósfera-suelo, pero recomiendan introducir horizontalmente las varillas en el suelo.

Como una ventaja importante se puede citar la posibilidad que se tiene de **monitorizar y conectar a un sistema automático** de adquisición de medidas. Es importante resaltar que cada TDR sólo tiene una entrada para un sensor, por lo que ha sido necesario desarrollar un sistema que permita múltiples conexiones, es lo que se denomina un "multiplexor". En la figura 5.6, se puede ver un esquema de un sistema automático de medidas monitorizado con un multiplexor. Es necesario que el multiplexor conecte y desconecte cada sensor a intervalos regulares de tiempo, de tal manera que el TDR envíe una onda a través de uno de los sensores y recoja la señal resultante; se desconecte de este sensor y se conecte al siguiente. Un ejemplo de la instalación de una estación monitorizada en campo se puede ver en Baker y Allmaras (1990). Merece la pena resaltar que en el ejemplo citado, sólo han instalado sensores a 50 cm de profundidad. Los sensores hasta el momento desarrollados constan de unas varillas rígidas unidas a cable coaxial, por lo que su instalación a grandes profundidades es dificultosa. Recientemente TRIME-System (1993), han desarrollados unos sensores rígidos que denominan "tipo lanza", con tal forma, que pueden ser hincados en el terreno hasta 2 m de profundidad.

Hay que mencionar que para cada sensor es necesario realizar una pequeña corrección, ya que las guías metálicas suelen ir incluidas en una resina de epoxy que afectan al tiempo de tránsito de la señal en el suelo, cfr. Heimovaara y Bouten (1990). Es necesario calibrar individualmente cada sensor, cosa que las casas comerciales suelen facilitar hecha.

Como principal inconveniente hay que citar que si no existe un íntimo contacto entre suelo y sensor, y por el contrario quedan espacios de aire, las medidas que se obtienen son erróneas. Para tratar de minimizar este efecto, Topp et alt. (1980) recomiendan clavar las guías metálicas formando un ángulo con el suelo, en lugar de vertical u horizontalmente.

5.2 MEDIDAS DE SUCCIÓN

5.2.1 BLOQUES DE RESISTENCIA

Principio de funcionamiento. Cuando una sal, un ácido o una base se disuelven en agua, se disocian una

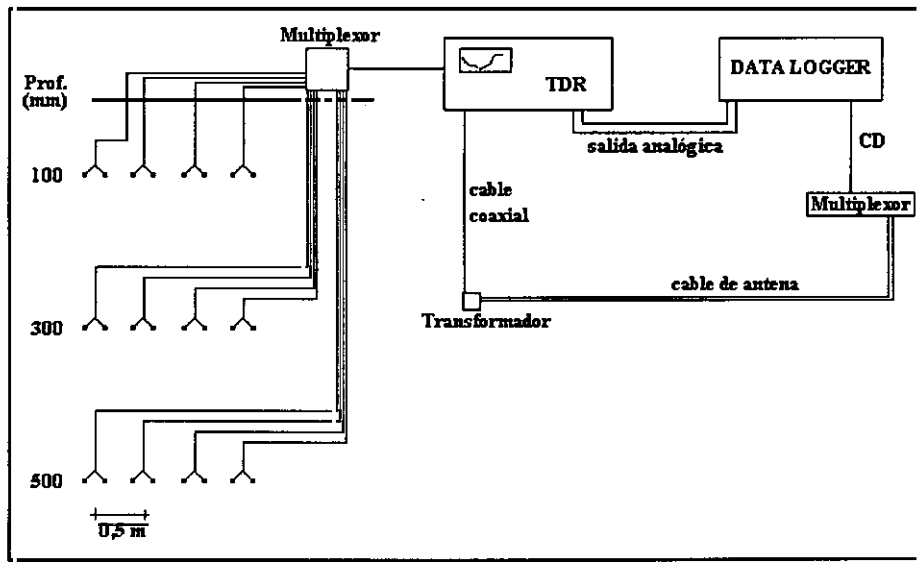


Fig. 5.6; Esquema de un sistema de TDR monitorizado con sensores instalados a distintas profundidades y con sistema automático de medidas.Modificado de Baker y Allmaras (1990).

cantidad de cationes y aniones de manera espontánea. Una disolución electrolítica, se comporta como un conductor, y su conductividad dependerá del tamaño de los iones y su concentración.

La resistencia R de un conductor es directamente proporcional a su L e inversamente proporcional a su sección S , de acuerdo con la siguiente ecuación :

(5.7) $$R = \rho \frac{L}{S}$$

Dónde ρ es la resistividad del material, L es longitud y S sección. La resistividad se define como la resistencia de un conductor de un cm de sección y 1 cm de longitud a través de una sección de 1 cm^2 y se mide en omhios.

El agua intersticial de un suelo siempre tiene una cierta cantidad de cationes y aniones disueltos, de tal manera que en cierto modo se comporta como un conductor. Por tanto la resistividad del suelo dependerá del contenido de humedad, y midiendo la resistividad puede determinarse el contenido de humedad. No obstante, la presencia de agua hace que se produzcan fenómenos de polarización. El resultado es que el suelo se comporta en cierta manera como un condensador y por tanto lo que en realidad ocurre es que el suelo no presenta una resistividad simple, sino una impedancia.La resistividad del suelo puede medirse introduciendo un par de electrodos en dicho suelo y puede determinarse utilizando un puente de impedancias.

Este instrumento actúa introduciendo un autoinductor en el circuito, ajusta la inductancia hasta que la iguala a la capacitancia, con lo que ambas componentes se anulan. Cuando esto sucede la impedancia y la resistividad se igualan, por lo que determinando la impedancia se conoce la resistividad.

El principal problema reside en asegurar una buena conexión entre suelo y electrodos. Para solventar este problema fueron diseñados los bloques de resistencia.

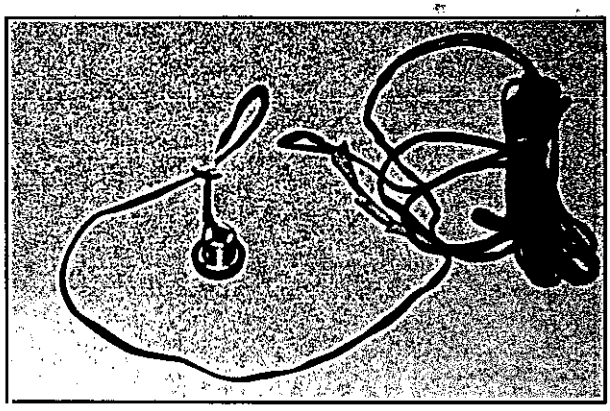


Fig. 5.7; Fotografía de un bloque de yeso tipo cilíndrico con resistencias concéntricas.

Están constituidos por una pasta de material poroso que contiene dos electrodos embebidos en su interior (fig.5.7). Los bloques de resistencia se pueden utilizar tanto para medir humedad del suelo como succión. Depende sólo de la calibración de los mismos que se haga.

El bloque introducido en el terreno se equilibra con el mismo de tal manera que la succión en ambos llega a ser igual. Para succiones muy altas el contenido de humedad en el bloque será muy bajo, y por tanto la resistividad elevada. Midiendo la resistividad entre los dos electrodos que contiene el bloque en su interior y mediante unas curvas de calibración se pueden establecer relaciones que permitan conocer tanto la humedad del suelo como la succión del mismo.

Hay que hacer notar que aunque succión en bloque y terreno es la misma, no sucede de igual manera con el contenido de humedad. La humedad en ambos puede diferir y depende de la distribución de poros en bloque y suelo. Cada uno presentará una curva de retención diferente. Se puede concluir diciendo que los bloques pueden servir para medir tanto humedad, como succión, pero estableciendo las relaciones oportunas entre humedad-resistividad o succión-resistividad.

El **puente de impedancias** debe haber sido especialmente diseñado para efectuar estas medidas, con corriente alterna, usualmente de 1000 Hz. Anuladas las componentes inductiva y capacitiva de la impedancia, la resistencia se mide con un simple puente de de resistencia o de wheatstone. En la figura 5.8 se puede ver como es el diseño básico de un puente de resistencia.

Según Alonso y Finn (1987) p.640, cuando la diferencia de potencial entre C y D (ver fig.5.8) es igual a

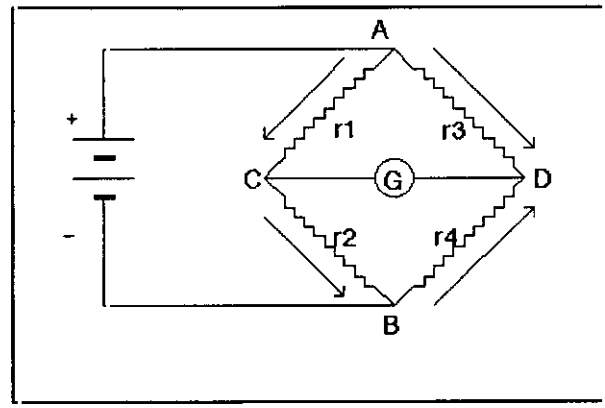


Fig. 5.8; Esquema de un puente de Wheatstone. (Mod. Alonso y Finn, 1987, pp. 640.)

0 voltios, se cumple la relación $R_1/R_2=R_3/R_4$. Por tanto se puede determinar la resistencia R_1, conociendo R_2, R_3, R_4.

Aitchinson y Richards (1965) proporcionan un diagrama del circuito del puente de impedancias utilizado y diseñado por ellos mismos.

Los materiales con los que confeccionan los bloques pueden ser muy diferentes tales nylon, fibra de vidrio, tela.Ordinariamente se emplea yeso para minimizar las variaciones en la concentración de los electrolitos. (cfr.

ITGE 1988c, p.92, Gardner, 1965, p.91),

Aitchinson y Richards (1965) resumen las principales características de los bloques de resistencia. Lo que se presenta a continuación es en parte un resumen de este trabajo que es uno de los más completos consultados. Todas las consideraciones las dedican a los bloques fabricados con yeso, tipo de bloque que ellos utilizan.

1. El campo eléctrico que se crea en el interior del material poroso, no debe exceder los límites del bloque ya que la resistencia que se crea en el límite entre el absorbente y el suelo genera un factor de resistencia adicional. Para evitar este problema diseñan un bloque con electrodos concéntricos. Han sido diseñados diversos tipos de bloques, que varían unos de otros tanto en su configuración interna (electrodos) como externa (forma). En la fig 5.7 se puede ver un bloque cilíndrico con electrodos concéntricos, del tipo de los que se han usado en esta tesis.

2. El **efecto de la salinidad en los bloques**. Los bloques de resistencia son especialmente sensibles a las concentraciones salinas del agua del suelo. El yeso ejerce un efecto tampón, mediante el cual mantiene una concentración de solutos constante en su interior, siempre y cuando la concentración de sales solubles en el agua intersticial no exceda el 0.07% (7000 mg/l) ó bien un 0.02% de NaCl (2000 mg/l). Para suelos en los que el contenido en sales del agua intersticial exceda esta cantidad es necesario introducir un factor de corrección en las medidas. Aitchinson y Richards, 1965, proponen un gráfico para corregir los valores obtenidos de succión con este método en suelos salinos.

Schofield et alt., (1985), p.124, recomiendan sumergir el bloque de yeso en agua destilada para minimizar este efecto, no obstante señalan que solamente en suelos salinos es necesario tomar esta medida cuando se utilizan bloques de yeso. Señalan que otro inconveniente derivado de la concentración electrolítica del suelo, es su deterioro con el paso del tiempo. Para retardar dicho deterioro consideran aconsejable sumergir el bloque de yeso en una solución de etanol y nylon.

AWRC (1975), p.17, consideran que la duración de un bloque de yeso instalado en el terreno de yeso puede ser de uno a seis años.

3. El **efecto de la temperatura**. Diferentes temperaturas en el interior de los bloques, ocasionan diferentes medidas de resistividad para idéntica succión. Recomiendan corregir este efecto mediante la ecuación propuesta por Slater y Bryant (1946) en Aitchinson y Richards (1965):

$$R_c = R_0 + 0.002(T_o - T_c) \qquad (5.8)$$

Dónde Rc es la resistividad corregida, Ro es la resistividad medida, To temperatura de observación y Tc es la temperatura a la cual se referencian todas las medidas.

Schofield et alt., (1985), p.122, por su parte proponen la siguiente ecuación para compensar el efecto de la temperatura:

$$R_c = \frac{R_o}{(1+\alpha)(T_o - T_c)} \qquad (5.9)$$

Dónde α es un coeficiente que presenta un valor medio igual a 0.029 para el rango de temperatura comprendido entre -20ºC y +40ºC.

Ruprecht y Schofield (1989, p.17), Schofield et alt., (1985, p.122), consideran que el efecto de la variación de temperatura es insignificante en la medida de succión que proporciona el bloque.

4. **Estabilización de los bloques de yeso.** Estudian el tiempo que tarda en estabilizarse un bloque, utilizando para ello placas porosas en cámara de presión ó cámara de Richards. Introducen el bloque en este instrumento y lo someten a una succión determinada. La conclusión a la que llegan es que para que un bloque sea preciso al 95% en la medida que proporciona es necesario un tiempo de estabilización de 262 días, no obstante reconocen que en muchos casos con 40 días es suficiente.

5. **Histéresis en los bloques de yeso**. Señalan que los bloques están fuertemente sujetos a fenómenos de histéresis, especialmente en los rangos más bajos de succión, y consideran que debido a este fenómeno no se deben intentar realizar medidas de succión inferiores a 315 cm de agua. Los bloques realizados en nylon, sin embargo pueden medir succiones de hasta 100 cm de agua.

6. Pese a todos los inconvenientes que tienen son recomendados cuando: Los suelos no sean salinos, las medidas a efectuar se encuentren el mimo lazo de histéresis que el lazo que se haya calibrado, que normalmente es el de desorción.

Cuando los rangos de succión que se pretendan medir se encuentren entre 315 y 16000 cm de agua.

Señalan que son útiles en zonas áridas, con cambios muy lentos. Aunque no sean muy precisos en la medida que proporcionan debido al largo tiempo de estabilización que tienen, si son muy buenos indicadores del momento en el que se produce un cambio en el suelo. Si el cambio es siempre en la misma dirección son también capaces de proporcionar resultados exactos.

7. Croney et alt. (1951) dedican un extenso trabajo a la **calibración de bloques de yeso** con electrodos concéntricos. Obtienen cuatro tipos de curvas de calibración: Curva de retención del bloque de yeso; contenido volumétrico de humedad en el bloque y resistividad; curva de retención del suelo. succión y resistividad en el bloque. Elaboran esta relaciones utilizando tres técnicas diferentes; placas de succión (para succiones comprendidas entre 0 y 1000 cm de agua); centrifugado (para succiones comprendidas entre 3 y 32000 cm de agua); desecadores de vacío con ácido sulfúrico (para succiones comprendidas entre 32000 y 10000000 cm de agua). En la figura n.5.8 se puede ver un ejemplo de calibración succión-resistividad realizada para dos tipos de materiales diferentes, por estos autores.

Dichos autores, encuentran que debido a los

fenómenos de histéresis los máximos errores que se pueden cometer en la curva que relaciona succión con resistividad son los que se muestran en la tabla 5.1

Se dedica un apartado en el siguiente capítulo a explicar como se han calibrado los bloques utilizados en esta tesis.

Los bloques de yeso se pueden calibrar también para medir contenido de humedad en el suelo. Es necesario introducir el bloque en una muestra de terreno exacta al material en el que se vayan a efectuar las mediciones en campo. Se controla la resistividad del bloque de yeso, para distintos valores de humedad en la muestra. Se debe trabajar con una muestra inalterada para no alterar la distribución de poros original. La dificultad de realizar este tipo de calibración estriba primero, en tomar una muestra inalterada con un volumen suficientemente grande para que sea representativa. Segundo, en conseguir que tanto el humedecimiento inicial como la pérdida gradual de humedad de la muestra se realice de manera homogénea. Por último, debido a la fuerte histéresis que sufren los bloques de resistencia, se requiere realizar el procedimiento en un proceso de humedecimiento y otro en desecación, dificultad común con la calibración para medidas de succión. Albareda et alt. (1953) calibran diversos tipos de bloques de resistencia para contenido de humedad; para más detalles se refiere al lector al trabajo original y Gardner, (1965), p.103, que proporciona detalles de como llevar a cabo este tipo de calibración.

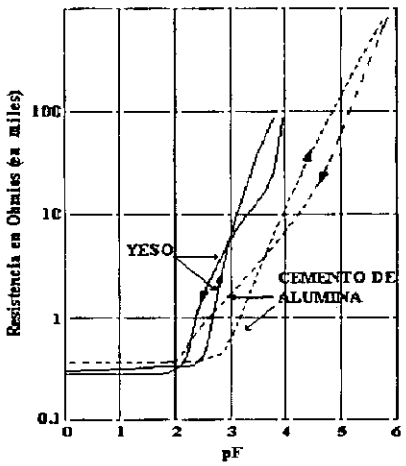


Fig. 5.9; Relación entre resistividad y succión para dos tipos de materiales a 20ºC (modificado de Croney et alt., 1951).

RESISTIVIDAD (ohmios)	SUCCION (cm)	ERROR EN SUCCION (%)
500	170 / 355	35
1000	229 / 525	39
1500	275 / 550	33
2000	355 / 602	26
4000	631 / 794	11
6000	871 / 933	3
10000	1413 / 1514	3
50000	5754 / 6457	6
100000	9120 / 10471	7

Tabla 5.1: Precisión de la pasta de yeso utilizada para medir succión. Rango de calibración: 0-100000 cm de agua. Modificada de Croney et alt. (1951).

8. En cuanto a la **instalación de los bloques** Schofield et alt., (1985) p.119-125, realizan una serie de recomendaciones, tales como, aislar las juntas cables-bloques con silicona. El no hacerlo así puede interferir en las mediciones, especialmente para potenciales mátricos especialmente altos. Etiquetar cada cable con una cinta aislante de diferente color. Procurar rellenar el sondeo con partículas finas. Recomiendan instalar los bloques ...n un tubo hueco a través del cual se pasa el cable, y ...diante el cual se hace presión para asegurar un buen ...ntacto suelo-bloque.

9. En cuanto a su **precisión**. AWRC (1975), p.17, ...nsideran que los bloques de yesos proporcionan grandes ...rores cuando se mide contenido volumétrico de ...medad, sin embargo consideran que son precisos si se ...ilizan para medir succión. Consideran necesaria su ...libración individual.

Las **medidas de humedad:** Marcos Naveira ...989), p.25, considera que su precisión es inferior al 0.02 ... contenido volumétrico cuando se utilizan para medir ...medad pudiéndose producir grandes errores.

Gardner (1965) considera que la precisión de los ...oques no sólo depende de su instalación y manipulación, ...o también de los fenómenos de histéresis, que sufren y ...tán fuera del control del usuario. Señala que se pueden alcanzar precisiones de hasta un 2%, aunque caben errores de hasta un 100%.

Las **medidas de succión:** Ruprecht y Schofield (1989), p. 16, consideran que los bloques de yesos deben ser utilizados para medir succión cuando los tensiómetros dejan de ser útiles. La precisión de los bloques es algo menor que la de los tensiómetros. Los bloques de yesos permiten realizar medidas a valores de potencial muy bajos e incluso durante los meses más secos del año.

En suelos salinos sujetos a cambios rápidos y cíclicos, no deben esperarse precisiones superiores a 0.5 unidades de pF (cfr. Aitchinson y Richards, 1965).

Gardner (1965) hace los siguientes comentarios relativos a los bloques:

En condiciones de mucha sequedad no se llega a alcanzar el equilibrio entre los bloques y el suelo. Señala la dependencia de la medida que marquen los bloques con la concentración de electrolitos en el suelo. La utilización de fertilizantes no influye de manera decisiva en los resultados que proporcionen. Los bloques se deterioran con el tiempo, aunque los fabricados con "hydrocal", pueden durar hasta 6 años. Los fabricados con "paris" se deterioran en una sola estación.

5.2.2 MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO

Este método sirve para determinar la succión de una muestra, en equilibrio con un papel de filtro previamente calibrado.

El método consiste en colocar un trozo de papel de filtro previamente calibrado en contacto con una muestra de suelo; tras haberse alcanzado un equilibrio entre la humedad de la muestra y la del papel, se determina el potencial mátrico mediante unas ecuaciones que relacionan humedad en el papel de filtro con succión. (cfr Sorenson et alt., 1989). Por el método gravimétrico ordinario se podrá determinar el contenido volumétrico de agua en la muestra de suelo.

Sibley y Williams (1990) establecen las **condiciones que debe reunir un papel de filtro** para ser apto para medir succión y son: que sea resistente, ya esté húmedo o seco. Que su distribución de poros sea homogénea, y recomiendan que sea o bien un absorbente con una distribución unimodal y duro, o bien con una distribución de poros bien gradada y blando. Que sea muy inerte, para que no reaccione con nada. Debe ser reutilizable. Debe ser muy sensible. Esto es que cambios grandes de humedad ocasionen pequeños cambios en el potencial mátrico.

Mc Queen y Miller (1968) y Al-Khafaf y Hanks (1974), describen detalladamente **el procedimiento a seguir** y los materiales a emplear. El papel que utilizan es el Schleicher & Schuell N.589 White Ribbon, de $5_{1/2}$ cm de diámetro. Tratan previamente el papel con una solución de pentaclorofenol en etanol para evitar la proliferación de hongos y lo dejan secar durante tres horas.

Una vez seco el papel se pesa, y se pone en contacto con la muestra en una lata sellada, debajo de la misma para asegurar un buen contacto. Se deja equilibrar en una cámara de temperatura constante al menos una semana (cfr. Sorenson et alt. 1989) ó tan sólo 4 días, (cfr. Chandler y Gutierrez, 1986).

Una vez equilibrados papel de filtro y muestra, se extrae el papel y se pesa en una balanza de precisión. La muestra se pesa y se seca con posterioridad a 105°C durante 24 h. Una vez seca se vuelve a pesar. Se obtiene así contenido de humedad en la muestra y contenido de humedad en el papel. Se determina el potencial mátrico mediante una relaciones previamente establecidas entre contenido de humedad en el papel y potencial mátrico.

Las **ecuaciones de calibración**, fueron previamente establecidas por Gardner (1937), primero en desarrollar y utilizar el método; Mc Queen y Miller (1968), revisan las ecuaciones propuestas por Gardner y establecen unas nuevas, detallando los procedimientos empleados para ello. Al-Khafaf y Hanks (1974), modifican las propuestas por Mc Queen & Miller y puntualizan la necesidad de un buen contacto entre papel y muestra, así como la importancia de una temperatura constante (independientemente de la temperatura absoluta), condiciones indispensables para la obtención de resultados fiables.

Chandler y Gutiérrez (1986), utilizan el método para la resolución de ciertos problemas geotécnicos, utilizando un papel WHATMAN N.42, de diferente marca al anteriormente descrito y precisando que la técnica es poco adecuada para valores bajos de succión; señalan además, que no es importante ni influye en los resultados el uso de un papel previamente tratado.

Sorenson et alt. (1989) recalibraron de nuevo el papel de filtro Schleicher & Schuell N.589 obteniendo unas ecuaciones diferentes a las propuestas por anteriores autores; aplican esta técnica además para la calibración y contraste de otras.

Las ecuaciones recientemente propuestas por estos autores son:

- Para contenido de humedad inferior a 0.585 gr de agua por gr de papel:

$$pF = 5.75 - 5.94\ W_f \qquad (5.10)$$

- Para contenido de humedad superior a 0.585 gr. de agua por gr. de papel:

$$pF = 2.62 - 0.68\ W_p \qquad (5.11)$$

Siendo W_p el contenido de agua en el papel de filtro, dado en gr de agua por gr de papel, y pF el logaritmo de la succión expresada en centímetros.

Sibley y Williams (1990) realizan una comparación de sensibilidad entre distintos papeles de filtro y otros materiales porosos que se pueden utilizar también para medir succión. En cuanto a los papeles de filtro llegan a la conclusión que son más adecuados unos u otros, según el rango de succión que se pretenda medir.

Si sólo se va a utilizar un tipo, recomiendan que sea, que sea un papel de filtro Whatman 42, o semejante.

Si por el contrario se van a utilizar distintos absorbentes recomiendan el uso de papel de filtro Millipore (0.05 y 0.0025 μm) para el rango de pF 2.5-4, para el rango de pF 3.5-4 Millipore de 0.05 μm y para el rango 2.5-3.5 pF. El más sensible es el Millipore de 0.0025 μm , siendo además el más preciso.

5.2.3 TÉCNICAS TENSIOMÉTRICAS

Los tensiómetros han sido los instrumentos más difundidos para tomar medidas de potencial mátrico en la zona no saturada.

Los **tensiómetros constan de** una cápsula porosa colocada a la profundidad deseada, unida a un tubo completamente relleno de agua que a su vez va conectado a un depósito de mercurio, en cuyo caso se tendría un tensiómetro de mercurio, o bien a un manómetro de espiral o bien a un transductor de presión.

El **principio de funcionamiento** es sencillo. Se introduce en el suelo, una cápsula porosa cuyo valor de entrada de aire se encuentre ampliamente por encima del límite teórico de funcionamiento de un tensiómetro, esto

es aproximadamente 1000 cm de agua. Según Schofield et alt., (1985), p.100 el valor de entrada de aire de la cápsula porosa debe aproximarse a 1 bar de presión. Los valores más comunes empleados son 1/2, 1/3, y 1 bar, cfr. Stannard (1986).

Sale agua del tensiómetro hasta que se alcanza el equilibrio entre la succión en los poros de la cápsula y la succión en el suelo, presión inferior siempre a la atmosférica. El agua, presenta un módulo de compresibilidad próximo a 1, y puede ser considerado como el trasmisor ideal de presión en el rango presión atmosférica hasta la subpresión de -950 hPa (-950 cm de agua), ya que no presenta apenas cambios de volumen en el rango de temperatura de 0 a 30°C, de acuerdo con DELTA-T (1993). La subpresión que se registra en la cápsula porosa se trasmite a lo largo de toda la columna de agua, y el manómetro registra la presión en el extremo superior de dicha columna de agua, de donde se puede deducirla succión en la cápsula porosa. Se obtiene así, una medida del potencial mátrico al que está sujeto a una determinada profundidad el terreno.

Delta-T (1993) p.6, recomienda utilizar agua desgasificada y desionizada, ya que gases que a presión atmosférica se encuentran disueltos en el agua, a presiones inferiores se gasifican.

Existen tres **tipos diferentes de tensiómetros** . El más sencillo, y quizás menos preciso es el de **manómetro de espiral** (fig.5.10). Este manómetro tiene en su interior una lámina de metal muy fina enroscada, que ante cambios de presión se estira o se contrae. Estos cambios en la espiral están calibrados para centibares de presión, y proporciona una medida directa de la succión.

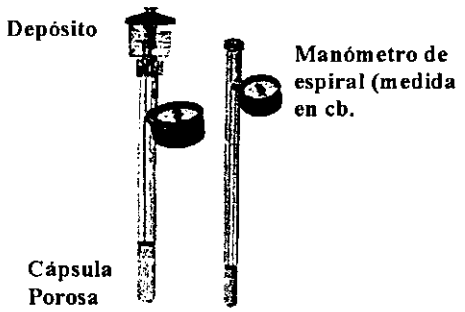


Fig. 5.10; Fotografía de un tensiometro con manómetro de espiral.

Otro tipo de tensiómetro es el de **manómetro de mercurio**. Stannard (1986), (ver fig.n.5.11), explica detalladamente todos los pormenores de la construcción y mantenimiento de tensiómetros de mercurio.

Consiste en un tubo capilar en el que se hace el vacío, y un extremo se encuentra introducido en el tubo relleno de agua del propio tensiómetro y el otro en un depósito de mercurio. El tubo se fija a un panel vertical en el que se dispone una escala en mm.

Dentro del capilar hay agua a una presión inferior a la atmosférica y mercurio. Se podría utilizar también el tubo completamente relleno de agua, pero el capilar debería tener al menos 8 m de longitud. La ventaja de utilizar mercurio, es que tiene una densidad mucho mayor que la del agua, y un mm de mercurio equivale aproximadamente a 1.3 cm de agua. Por tanto con un panel de unos 75 cm se pueden leer succiones de hasta casi 1000 cm de agua.

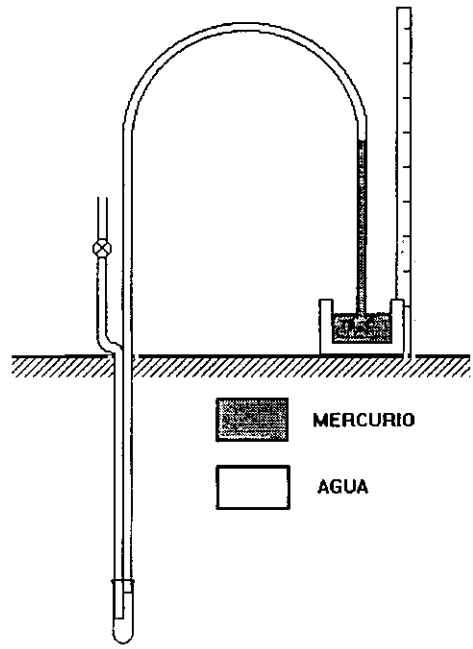


Fig. 5.11; Esquema de un tensiometro de mercurio (modificado de Stannard, 1986).

Otro tipo de tensiómetro, es el **tensiómetro transductor**. (ver figura 5.12). En lugar de un manómetro, dispone de una sustancia piezorresistiva en contacto con el agua del tensiómetro. Las piezorresistencias son sustancias que sufren cambios de resistividad al producirse cambios de presión. Mediante un puente de resistencia o de wheatstone se puede establecer una relación entre la deformación debida a la presión y la resistividad.

Entre las sustancias semiconductoras utilizadas este tipo de tensiómetros, se encuentran los semiconductores de silicona (cfr. Delta-T, 1993, p.5) o de Si (cfr.Marthaler et alt., 1983). El transductor de la figura 5.12, se ha fabricado concretamente con silicona.

Marthaler et alt. 1983, describen un tipo particular de tensiómetro transductor y citan las posibles fuentes de errores que se derivan de su utilización. La ventaja de los tensiómetros transductores, es que pueden ser incorporados a un sistema automático de adquisición de medidas y permiten obtener un registro continuo de la evolución del potencial mátrico del suelo. Según Everett et alt. (1982) presenta mayores complicaciones de instalación y más fallos que los de tipo ordinario. Trooien et alt. (1986) emplean tensiómetros transductores para medir el potencial en tillitas glaciares y contrastan los datos con los obtenidos mediante otras técnicas.

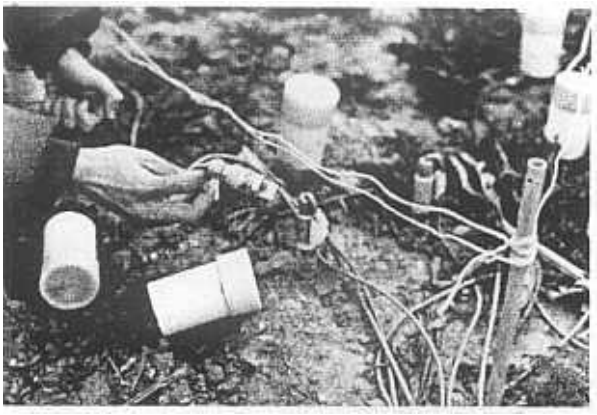


Fig. 5.12; Detalle de un transductor de presión para tensiómetro. Se pueden observar también, varios tensiómetros instalados, con sus respectivos transductores y las carcasas de mateiral aislante, utilizadas para su protección. Tensiómetros de la parcela experimental BX6.

La **principal limitación** que tienen los tensiómetros es que no pueden medir succiones superiores a 10 m, pF 3, (100KPa 1bar), esta medida en la práctica, se limita 0.8 bares (8 m 80KPa) según Hillel (1982), p.83 ó según Schofield et alt., (1985), p.99, y AWRC (1975), p.16, hasta 850 cm de agua (85KPa 0.85 bares) .

Según Schofield et alt. (1985), p.101, son mucho más precisos para valores bajos de potencial mátrico, especialmente los tensiómetros con manómetro de mercurio.

Otra **limitacion** importante, es que en invierno deben ser retirados para ser protegidos de la helada, aunque Schummugge et alt. (1980) recomienda sustituir el agua por una solución de glicol-etileno para suprimir este problema. Son, por otro lado, muy sensibles a los cambios de temperatura; conviene mantenerlos protegidos del sol para evitar la nucleación de burbujas en el interior del tensiómetro.

El **error del método** en algunos casos puede ser importante. Schofield et alt, (1985) p.99, consideran que, aunque es posible conseguir errores de ± 1 cm lo corriente es que los errores cometidos estén alrededor de los ± 10 cm. de agua.

La instalación de los aparatos debe ser muy cuidadosa, y es fundamental asegurar una buena conexión hidráulica entre la cápsula porosa y el terreno. Para suelos heterogéneos Stannard (1986) recomienda realizar la reconstrucción exacta de la secuencia de terrenos; para asegurar la buena conexión hidráulica propone realizar un agujero de las dimensiones exactas que tenga la cápsula. Schofield et alt., (1985), p.102 y siguientes, describen dos métodos diferentes de instalación, utilizados en parte en esta tesis y que se comentarán más adelante. Es importante tener en cuenta si el terreno está en proceso de desecación o humedecimiento, ya que los resultados están sujetos a histéresis.

5.2.4 CÁMARA DE RICHARDS

Fue desarrollada para realizar las curvas de retención de los suelos. Sirve también para medir la succión de una muestra de suelo, mediante el "método del punto nulo", una descripción del procedimiento se da en Aitchinson y Richards (1965). Puede utilizarse tanto muestra completamente inalterada, como muestra alterada, tras ser secada y tamizada.

El **aparato consiste** en una cámara cerrada, (ver fig5.13 y 5.14), dentro de la cual se introduce la muestra a estudiar. Esta se coloca sobre una placa porosa completamente saturada, de tal manera, que se permite el paso de agua a través de la misma, pero nunca de aire. La curvatura de los meniscos del agua contenida en la muestra se controla con una presión de aire aplicada por un orificio que tiene la cámara en su parte superior. (cfr. Richard y Fireman, 1943).

La placa porosa conforma la base la cámara, y la presión que se aplica en el interior nunca debe exceder el valor de entrada de aire de la placa. Si así fuera, la placa porosa se vaciaría de agua, y se establecería conexión entre el interior y exterior de la cámara.

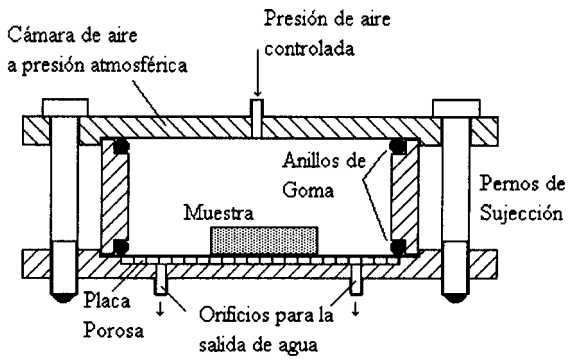


***Fig. 5.13;** Esquema de una Cámara de Richards, en el que se pueden apreciar sus diferentes partes (modificado de Aitchinson y Richards, 1965).*

De esta manera se puede someter una muestra a distintos valores de presión que serían equivalentes a una succión. Aplicando diferentes presiones, y determinando para cada una el contenido volumétrico de humedad en la muestra se puede elaborar una curva de retención en un proceso ya sea de absorción ó desorción. En este sentido, Ragab y Cooper (1990), p.15, consideran que es necesario efectuar modificaciones al diseño original del aparato para determinar la curva de retención en el lazo de absorción.

Es necesario que el tamaño de poro de la **placa porosa**, permita el paso de agua, y que su valor de entrada de aire permita alcanzar grandes presiones. Según Aitchinson y Richards (1965), debido a esta consideración, el rango operativo de estos aparatos suele hallarse entre 0 y unos 32000 cm de agua de succión (3200 KPa). En la actualidad se pueden encontrar placas porosas hasta de 2 MPa (cfr.Ragab y Cooper, 1990, p.14). Para presiones superiores se pueden utilizar otro tipo de membranas tales

como membranas de acetato o celulosa, que mantienen tasas adecuadas de drenaje para tamaño de poro muy fino.

Aitchinson y Richards (1965) consideran que tanto el control de la **temperatura**, hasta ± 0.1°C, como el control de la **humedad** en el interior de la cámara son cruciales. Para succiones elevadas, puede llegar a ser importante el flujo en fase vapor y para evitarlo recomiendan mantener la cámara una humedad relativa próxima al 100%.

En cuanto al **tiempo de equilibrio** Richard y Fireman (1943) hallan que para muestras ricas en Na pueden llegar a ser mayores que para otro tipo de muestras. No obstante en los gráficos que estos autores presentan, se observa como el equilibrio se alcanza en apenas dos o tres días. No obstante nuestra experiencia particular nos ha demostrado que los tiempos de equilibrio para muestras arcillosas pueden llegar a ser superiores (cfr. Casado, 1991, p.135).

La utilización de muestras no alteradas es recomendable especialmente para potenciales inferiores a -15000 hPa (-15000 cm de agua). Para succiones pequeñas, la forma de la curva de retención viene determinada principalmente por la superficie específica del suelo, sin embargo a succiones mayores, la curva viene determinada por la distribución de poros, por lo que el empleo de muestra alterada puede conducir a serios errores. cfr. Ragab y Cooper (1990), p.15.

Merece la pena comentar que este instrumento ligeramente modificado ha demostrado ser útil también como método para extraer la solución intersticial de un suelo. En la figura n.5.14c, se puede ver una cámara de las que se utilizan para este fin. El agua que sale de la muestra al ser sometida a una presión de aire determinada es recogida por un pequeño recipiente que habitualmente se coloca en la base de la cámara, cfr. Richards (1941).

En esta tesis doctoral para medir succión se han empleado bloques de yeso y tensiómetros (transductores y de manómetro de espiral). Las curvas de retención se realizaron utilizando papeles de filtro y cámara de Richards.

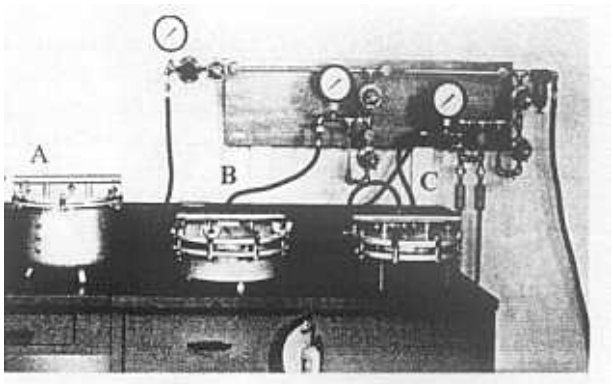


Fig. 5.14; Fotografía de tres aparatos de Richards. A: con placa porosa con valor de entrada de aire hasta 5 bares de presión. B: idem hasta 15 bares de presión. C: aparato modificado para extraer la solución intersticial. Tomado de Soil Moisture (1980), Sta. Bárbara, California.

5.2.5 TÉCNICAS HIGROMÉTRICAS

Según Marshall y Holmes (1988), p.75, un suelo expuesto a una atmósfera en equilibrio de vapor con una solución acuosa, perderá o ganará vapor hasta que la presión de vapor de la humedad contenida dentro de dicho suelo llegue a alcanzar el equilibrio con la presión vapor de la solución. Se puede expresar tal y como se ha explicado en el apartado 4.4.4, con la ecuación (4.39). Vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$(5.12)\quad \frac{1}{\delta_a}(P-\Pi)+gZ=\frac{RT}{M}\ln\frac{P_v}{P_{v_0}}+gZ$$

De acuerdo con ella, conocida la humedad relativa de la atmósfera (P_v/P_{v0}) y conociendo la temperatura de un suelo en equilibrio, se puede establecer cual es el potencial mátrico más el osmótico. Las aplicaciones de este principio son bien conocidas, y permiten medir succión en campo, así como realizar las curvas de retención de un suelo, medir la succión de equilibrio de una muestra tomada en el campo o incluso calibrar las succiones más elevadas en el proceso de calibración de los absorbentes que se utilizan en el método del papel de filtro.

5.2.5.1 CONTROL DE LA SUCCIÓN CON UNA SOLUCIÓN SALINA

Vamos a considerar un sistema en equilibrio compuesto por una disolución salina, en una atmósfera cerrada, digamos dentro de una campana de desecación de las que se utilizan habitualmente en los laboratorios y en equilibrio con una muestra de suelo (ver figura n.5.15).

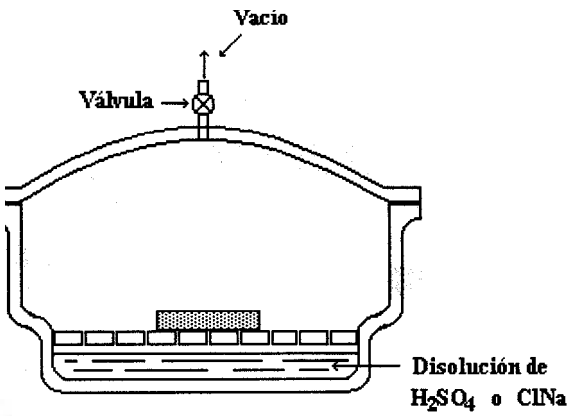


Fig. 5.15; Campana de desecación y vacío con una disolución de ácido sulfúrico o cloruro sódico (modificado de Aitchinson y Richards, 1965).

Considerando la densidad del agua, δ, es aproximadamente 1000 kg m^{-3}, RT 2.4 x 10^3 J mol^{-1} a 25°C y M ± 18 x 10^{-3} kg mol^{-1}, la ecuación 4.39, se puede reescribir:

$$(5.13)\quad 7.5\times10^{-5}(h_0+h_m)=\ln\frac{P_v}{P_{v_0}}\ \text{(suelo)}$$

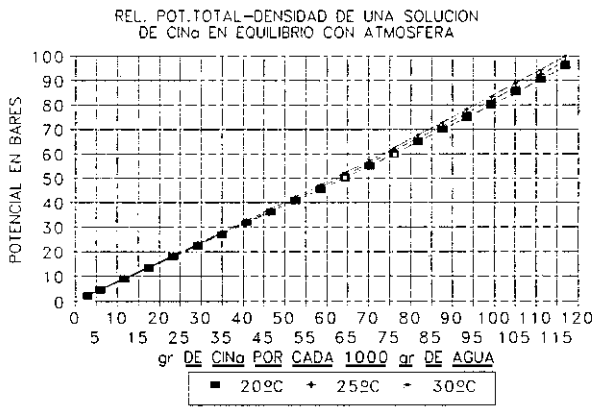
(5.14) $7.5\times10^{-5}(h_0+0)=\ln\frac{P_v}{P_{v_0}}$ (disolución acuosa)

El potencial mátrico de la solución salina será igual a 0, ya que obviamente no tiene matriz.

El **potencial osmótico en la disolución** se puede determinar conociendo la concentración de la disolución. Koorevaar et alt. (1994) p.91, proponen que el potencial osmótico se puede determinar con las ecuaciónes $\Pi = RTc$ y $\Pi = RTc$ .Dónde c es la concentración iónica de la disolución, R es la constante universal de los gases perfectos, T temperatura absoluta en grados Kelvin.

La humedad relativa del aire se puede medir con un termómetro húmedo. Si se introducen disoluciones de diferente concentración en la campana y se mide para cada de ellas la humedad relativa del aire se obtiene una curva de calibración como la obtenida por J. Sáez (1992), según comunicación personal, para una **disolución de cloruro sódico** (ver figura.5.16). En esta curva se establece una relación entre potencial en la disolución, (que sólo es debido al componente osmótico), y la concentración de la sal en la disolución.

Con este sistema se puede controlar el **potencial mátrico más el osmótico de la muestra de suelo,** ecuación (5.13). En general, para suelos con agua intersticial poco salina, el componente osmótico también es prácticamente despreciable. Por tanto, este método puede servir para realizar la curva de retención de un suelo,



FUENTE DE LOS DATOS: J.SAEZ (1992). CEDEX. COMUNICACION PERSONAL

***Fig. 5.16**; Relación entre el potencial total y la densidad de una solución de ClNa en equilibrio con la atmósfera. (Datos según J. Sáez ,1992, comunicación personal).*

pesando la muestra para cada una de las concentraciones utilizadas y secándola finalmente a 105ºC. Es importante que la muestra y la disolución no tengan contacto directo.

Aitchinson y Richards (1965) establecen la relación entre la concentración de diferentes soluciones de ácido sulfúrico, su humedad relativa de equilibrio en un recipiente cerrado y sus correspondientes valores de pF, para temperatura de 20ºC (ver tabla .5.2).

Los autores ya mencionados señalan que, si previamente se ha hecho el vacío en el desecador, llegándose a alcanzar una presión en el interior equivalente a 2 mm Hg, **el tiempo de equilibrio del sistema** es de sólo dos días para que se alcance el equilibrio en el sistema. Si el desecador se mantiene a presión atmosférica el tiempo puede llegar a prolongarse hasta 2 y 3 meses.

El **control de la temperatura absoluta** en este tipo de experimentos es crucial (ver ecuación 4.39), ya que la humedad relativa depende también de la temperatura.

En **este estudio,** se utilizaron campanas de desecación para realizar curvas de retención de muestras de suelo y del material poroso de los bloques de yeso. No se alcanzaron buenos resultados, como se explica en el siguiente capítulo, fundamentalmente debido a que no se pudo controlar adecuadamente la temperatura.

Tabla 5.2: Relación entre la densidad de una solución de ácido sulfúrico, la humedad relativa de equilibrio y sus correspondientes valores de pF, a 20ºC.

VALORES DE pF	DENSIDAD H2SO4 (gr/cc)	HUMEDAD RELATIVA ACUOSA (%)
4,5	1,05	97,73
5	1,11	93
5,5	1,205	79,51
6	1,344	48,43
6,5	1,578	10,1
7	1,84	0,07

5.2.5.2 PSICRÓMETROS

Basándose en la ecuación (4.39), según Schummugge et alt. (1980), se han diseñado hasta siete tipos diferentes de sensores de los cuales, el más difundido es el psicrómetro.

Constan de una cápsula porosa en cuyo interior se encuentra un termopar. Un termopar consiste en la doble unión de dos metales diferentes.(ver fig.5.17).

Un extremo del termopar se halla aislado por teflón, y el otro se encuentra a la misma temperatura ambiente del interior de la cápsula porosa. Este conjunto se introduce a la profundidad a la que se desee realizar la medida

Principio de funcionamiento. El método se basa en el principio del termómetro húmedo, que sirve para medir la humedad relativa del ambiente. El termómetro húmedo en este caso lo constituye un termopar.

Cuando una corriente circula a través de la unión de dos metales diferentes se produce una liberación o absorción de calor en el punto de unión, que depende del sentido de circulación de la corriente (cfr. Richards, 1969, p.7). Este es el conocido "efecto Peltier". Si P es el coeficiente peltier, (en voltios) e I es la intensidad de la corriente (en Amperios), la tasa de liberación o absorción

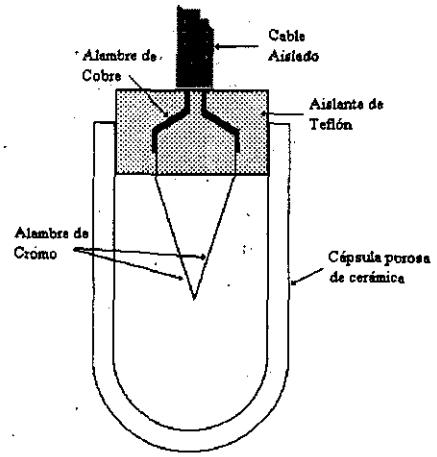


Fig. 5.17; Sección longitudinal esquemática de un psicrómetro (Modificado de Hillel, 1982, p. 84,)

de energía en el punto de unión de ambos metales es igual a PxI Voltios. De forma análoga, un enfriamiento o calentamiento de la unión del termopar genera una diferencia de potencial, y por tanto una corriente.

Según Ragab y Cooper (1990), p.12, Si se aplica una corriente eléctrica al termopar, el extremo metálico que se encuentra sometido a la atmósfera del suelo se enfría por debajo del punto de condensación del agua de la atmósfera, debido al "efecto Peltier". Se genera así una gotita de agua en el termopar. Se comienza a evaporar agua, disminuyendo la temperatura del "termopar húmedo", hasta que la presión de vapor en el agua de la gotita se iguala a la presión de vapor de la atmósfera circundante. La temperatura del termopar húmedo se mantiene constante hasta que finaliza la evaporación. La diferencia de temperatura creada por la evaporación del agua en un extremo del termopar y la temperatura en el extremo sometido a temperatura constante genera un voltaje.

Mediante un aparato de este tipo se obtienen medidas de la temperatura del termómetro húmedo, que se manifiestan a través de un voltaje, y que dan una medida de la humedad relativa del ambiente en el interior del suelo. El potencial del agua se determina a través de unas curvas de **calibración** previamente establecidas.

Campbell et alt. (1966), construyen dos psicrómetros de laboratorio para diferentes aplicaciones, incluidas medidas de potencial en plantas. Describen el proceso de calibración de los mismos y su utilización práctica.

El **efecto de la temperatura**. Richards (1969), p.9, señala la importancia de que la muestra y el termopar que hace el efecto del termómetro húmedo, se encuentren a idéntica temperatura mientras se alcanza el equilibrio. Recomienza que el control de la temperatura pueda ser de hasta 0.001 °C. Este mismo autor describe cuatro diferentes tipos de psicrómetros, desarrollados para realizar medidas de campo, medidas ordinarias de succión en laboratorio, o incluso en el interior de células triaxiales.

Según AWRC (1975), p.16 el principal inconveniente que presentan es que se determina el potencial mátrico y osmótico conjuntamente. Piensan que no se pueden esperar **precisiones** superiores a ±1 bar, en el rango de 0 a -50 bares. Ejemplos de su uso en campo los tenemos en Nichols (1987), que utiliza un instrumento de este tipo y, cuyos resultados contrasta con los obtenidos mediante sonda de neutrones.

5.3 TOMA DE MUESTRAS

Uno de los temas a los que es necesario dedicarles al menos un epígrafe es al muestreo. La mayor parte de los procedimientos anteriormente mencionados requieren la toma de muestras, sino para medida directa, para calibración de los instrumentos. Habitualmente se hace necesaria la toma de muestras inalteradas, a las que ya se ha hecho referencia. Se va a definir lo que se considera una muestra inalterada, y los procedimientos que existen para su adquisición.

Puy Huarte (1981), p.388-428, dedica un capítulo entero a explicar los procedimientos de muestreo, referidos especialmente a sondeos geotécnicos. Define una **muestra inalterada**, como aquella que se toma por uno de los tres procedimientos que se citan a continuación, en los cuales el tubo es de pared delgada, y se introduce en el terreno por empuje y no por golpeo. Los tres procedimientos que cita son: tomamuestras tipo Shelby, tomamuestras de pistón fijo y tubo testigo triple. En general considera que cualquier procedimiento que emplee como tomamuestras un tubo de pared gruesa produce ciertas alteraciones en la muestra, que pueden no ser detectadas "de visu". Schofield (1987), p.1, considera que atendiendo a este criterio, sería muy difícil llegar a tomar una muestra verdaderamente inalterada. Señala que prestando especial atención al tomamuestras, y al método de tomar la muestra, con el propósito de "retener en la muestra el stress in situ, los esfuerzos que se realizan al introducir el tomamuestras no distorsionan significativamente la muestra".

La toma de muestras se puede efectuar manual o mecánicamente.

1. La **toma mecánica de muestras** se puede realizar de tres formas diferentes: a rotación,. a percusión y mediante un pistón hidráulica. En general para la toma inalterada de muestras, los métodos más recomendados son rotación y pistón hidráulico.

Para Puy Huarte la toma de **muestras alteradas** se efectúa mediante el procedimiento "de la hinca". consiste en realizar un sondeo a rotación hasta la profundidad deseada. La muestra se toma cambiando la cabeza de la sarta de perforación y sustituyendo la misma por un tomamuestras de pared gruesa, que se introducirá por golpeo. existen dos tipos básicos de tomamuestras: GMTE de pared gruesa bipartido ó GMPV de pared gruesa seccionado. En el primer caso el tomamuestras está

constituido por dos tejas de acero que se ensamblan. En el segundo caso el tomamuestras lleva una camisa interior de PVC o zinc en cuyo interior se aloja la muestra.

Para la toma inalterada de muestras, se emplean tomamuestras de pared fina. Uno de los más habituales, el tipo "shelby", denominación estándar tomamuestras GMTH. El procedimiento a seguir es el siguiente: se realiza un sondeo a rotación con circulación inversa, y se alcanza la profundidad a la que se quiera tomar muestra. Se cambian las coronas de rotación por una cabeza tomamuestras tipo shelby, que se introduce mediante un pistón hidráulico.

Cabría rebatir a este procedimiento, que la perforación a rotación requiere el empleo de lodos, lo que incapacita las muestras para su análisis gravimétrico, si lo que se desea es conocer contenido de humedad. Para solventar esta dificultad, han sido desarrollados *tomamuestras de pared doble y hasta triple, en los que los* lodos no entran en contacto con la muestra. El tomamuestras se localiza en el interior de una sarta de perforación. La muestra entra en el corazón de la sarta y los lodos circulan también por el interior, pero por canales completamente aislados. No obstante y aun así, algo de contaminación ha de existir, ya que los lodos sí entran en el sondeo.

2. La **toma manual de muestras** se realiza con barrenas especialmente diseñadas para minimizar la inevitable alteración de las muestras. Pese a que existen múltiples procedimientos, nos limitaremos a describir el tipo de barrenas utilizadas en esta tesis.

Las barrenas utilizadas para la toma inalterada de muestras son de marca EIJKELKAMP (Sample Ring Kit, model C). y permiten la toma de muestras no alteradas en suelos duros y blandos, ya sea por encima o por debajo del nivel freático. Cfr. EIJELKAMP (1990), p.23. (ver fig .5.18).

El conjunto tomamuestras está constituido por un conjunto de barrenas, cuyas cabezas de perforación presentan diferentes formas, que se adecuan a diferentes tipos de suelo y por un conjunto tomamuestras. El conjunto tomamuestras se compone de una cabeza cilíndrica con zapata cortante, acoplable a las barras de extensión del conjunto de barrenas. En el interior de la cabeza se acopla un cilindro de acero inoxidable que recoge la muestra en su interior. El cilindro de acero se puede sellar con unas tapas de plástico destinadas a tal fin, para evitar que la muestra pierda humedad.

El sondeo se realiza manualmente a rotación con las barrenas y la toma de muestras se efectúa a percusión *o golpeo. Entre los efectos indeseables que esta técnica* ocasiona en las muestras Schofield (1987), p.11, cita:

1. El grado de recuperación de muestra mediante este procedimiento en suelos blandos y cohesivos es muy bajo, y la muestra sufre serias alteraciones.

2. Las vibraciones pueden causar cambios en el volumen.

3. En general causa serias alteraciones, excepto en suelos duros y cohesivos.

4. Se pueden producir grietas, debido a la fricción que se debe vencer entre suelo y tomamuestras con cada golpe.

En general el resultado es que la muestra presenta ciertas alteraciones en su parte exterior, permaneciendo prácticamente inalterado el corazón de la misma.

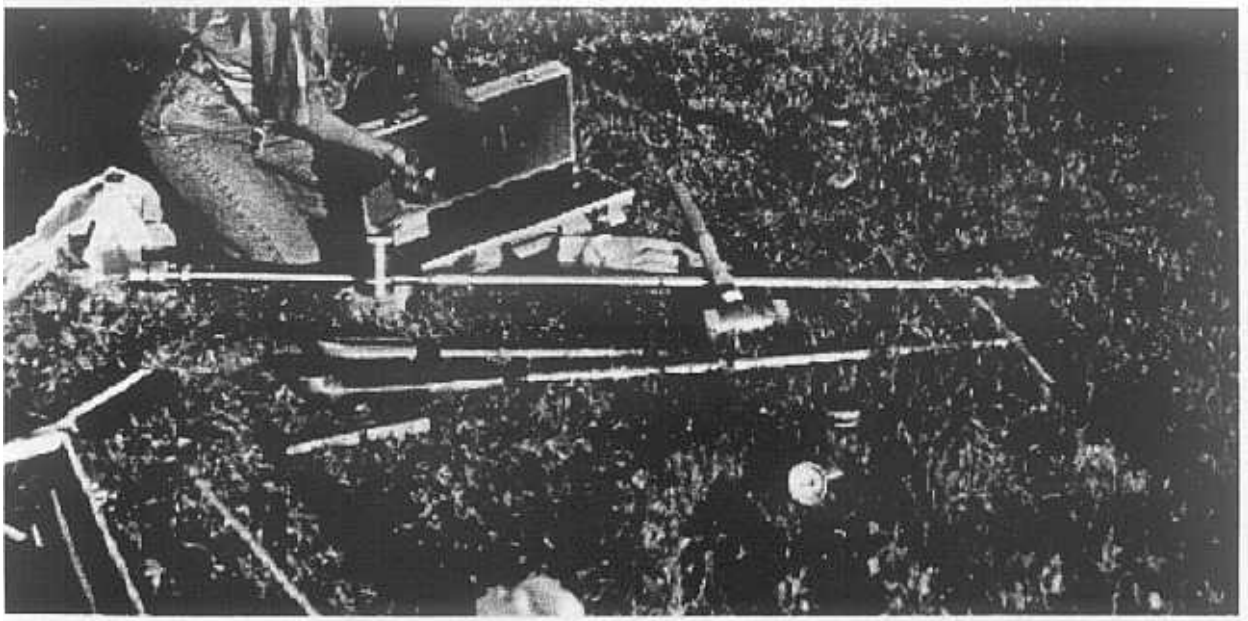




***Fig. 5.18**; En esta figura puede apreciarse el juego de barrenas utilizado para tomar muestras.*

En la fotografía superior se observan las barrenas de perforación. Estas barrenas se intruducen en el suelo a rotación, hasta la profundidad a la que se desee extraer muestra ya sea alterada o inalterada. Para tomar muestras alteradas se utiliza una de las cabezas de perforación, que también perfora a rotación, pero que es hueca y almacena los detritus de la perforación en su interior.Se observan también la maza que sirve para percutir durante la toma de muestras inalteradas, así como las camisas tomamuestras.

En la fotografía del medio se puede apreciar el juego tomamuestras utilizado, para la toma de muestras inalteradas. Consta de un cabezal, al que se le acopla el tomamuestras propiamente dicho, y que se introduce a percusión. Dentro del mismo se coloca una camisa cilíndrica de acero que es la destinada a contener la muestra en su interior. Se colocan dos tapas de plástico en ambos extremos una vez tomada la muestra para prevenir la evaporación de agua.



En la fotografía inferior de la página se puede observar una muestra recién tomada. Se observa como se extráe dentro de la camisa de acero antes indicada. Con una espátula se enrasan los extremos antes de colocar las tapas de plástico.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El capítulo se dedica a describir el estudio de recarga realizado y fundamentalmente basado en la toma de medidas experimentales. Se describe como y porqué se seleccionaron las parcelas experimentales, tanto en cultivos de secano como en cultivos de regadío. Los instrumentos que en ellas se colocaron, y con qué objeto, los procedimientos de instalación seguidos así como las determinaciones de laboratorio efectuadas. Se explica como se elaboraron las curvas de retención de los suelos y como se efectuó la calibración de los instrumentos de medida.

Para medir succión, se emplearon tensiómetros y bloques de yeso fundamentalmente. La humedad se determino mediante sonda de neutrones, en los puntos que fueron instrumentados para tal fin. Adicionalmente se tomaron muestras inalteradas en algunos puntos para medir la humedad directamente.

Las curvas de retención se elaboraron utilizando tres procedimientos diferentes: cámara de Richards, control de la presión en campanas de desecación y método del papel de filtro. Hay que dejar constancia de la inestimada ayuda prestada por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, así como el Laboratorio de Análisis de Suelos del ya desaparecido IRYDA.

6.1 ANTECEDENTES Y METODOLOGÍA

6.1.1 ANTECEDENTES

Los estudios de recarga llevados a cabo hasta el momento en el sistema acuífero del los Llanos de Albacete han sido escasos o nulos. Tanto el IGME, como el SGOP, como distintos autores, han realizado algunas estimaciones de lluvia útil, pero la mayor parte de los estudios, se basan en balances hidráulicos. Parece que la lluvia útil, (entendiendo como tal la precipitación menos la evapotranspiración), debido a las condiciones topográficas de este acuífero, puede considerarse igual a la recarga (cfr.Fernández Sánchez et alt. 1983).

De acuerdo con el ITGE (1980) la lluvia útil, sería igual a 400 hm^3/año para una superficie de 8500 km^2, lo que supone que la recarga sería igual a unos 47 mm/año.

De una forma orientativa Sánchez et alt. (1983), proponen un balance hidráulico para el año 1975, y para una superficie igual a 3468 km^2. De acuerdo con el mismo la infiltración del agua de lluvia fue igual a 156 Hm^3, lo que supone una recarga directa igual a 44 mm.

Según SGOP (1986) la recarga del acuífero proviene fundamentalmente de la infiltración de una serie de ríos, tales como el Lezuza y el Jardín, y de la precipitación del agua de lluvia. Estima en un 5% de la precipitación, la lluvia útil. Si la precipitación media que estiman es igual a 355 mm/año, significa que la recarga directa en un año medio sería igual a 18 mm. Para una superficie de 9144 km^2 estiman una recarga total de 263 hm^3/año, lo que implica una recarga de 28 mm/año, de los cuales 18 provendrían de la lluvia y 10 de la infiltración de los ríos o recarga indirecta.

Como resultado del modelo matemático realizado por Aragonés et alt., (1989), para determinar la influencia que los bombeos han tenido en los caudales del río Júcar, estos autores proponen un nuevo balance hidráulico para una superficie de 6714 km^2. De acuerdo con los resultados del modelo la recarga directa sería igual a 230 hm^3/año, que corresponden a una recarga de 34 mm/año. Estiman también la recarga indirecta procedente de los ríos Júcar, Lezuza, Jardín y Mirón en unos 57 hm^3/año, que son unos 9 mm/año.

El único estudio experimental hasta ahora realizado realizado en este aspecto, ha sido el realizado por Goweleeuw (1994), con motivo del mismo proyecto dentro del cual se enmarca esta tesis. Para deteminar la recarga toma muestras inalteradas en dos perfiles hasta casi 10 m de profundidad (los mismos que luego se instalaría instrumentación, parcelas experimentales BX6 y BX8, ver apartado 6.2), para determinar contenido en tritio en el agua intersticial de las muestras. Utilizando la técnica descrita en el apartado 4.7.3.1. determinan la posición del pico de tritio correspondiente a las pruebas nucleares de los años 60, y llegan a la conclusión de que la recarga en BX8 podría llegar a ser de hasta 125 mm/año. En BX6 los resultados obtenidos no son razonables, y parece que la existencia de una capa semipermeable horizontal hace prevalecer este flujo sobre el vertical.

Por su parte Cruces de Abia (1995), en comunicación personal, ha elaborado un modelo unidimensional de flujo no saturado REM («Recharge EFEDA Model»), para modelizar uno de los perfiles instrumentados en esta tesis. Este autor modificó el código UNSAT1 de van Genuchten (1978). Como datos de partida utilizó los datos de campo medidos en el perfil de la parcela experimental BX8, del que se dispone de una descripción litológica completa, curvas de retención para cada horizonte, y conductividad hidráulica saturada (ver

apartado 7.6). La hipótesis de partida que toma, es superficie libre a 11.2 m.

Como condiciones de contorno utiliza la precipitación distribuida horariamente, estimación diaria de la evapotranspiración potencial (ETP), la relación empírica entre la ETP y la evapotranspiración real (ETR), distribución horaria a lo largo del día de la ETR en función de las horas de sol. Así mismo, el modelo ha sido ejecutado suponiendo dos condiciones de contorno, el que exista escorrentía superficial o bien encharcamiento e infiltración. Se ha ejecutado el código repetidas veces antes de las simulaciones definitivas para conseguir condiciones estacionarias.

Se han simulado series de 20 años, con parámetros climatológicos reales, y series de 20 años, con parámetros climatológicos constantes e iguales a la media de la serie real de años. Los resultados obtenidos indican que la tasa de recarga calculada con series de años reales puede ser hasta un 30 ó 40% inferior a la que se obtiene utilizando valores medios.La influencia de la conductividad hidráulica saturada es pequeña. Así pues diferencias de un orden de magnitud en K_s,provocan variaciones en la recarga de un 30%. La tasa de recarga puede variar a lo largo del año y no es constante, dependiendo en gran medida de la posición de la superficie libre.

De acuerdo con los resultados obtenidos parece que la recarga oscila entre -10 y 220 mm/año, puediendo llegar a ser incluso negativa, o lo que es lo mismo que *exista evaporación desde una superficie libre situada a* más de 11 m de profundidad.

Estima un tiempo de residencia comprendido entre 20 y 340 años, para el perfil de 11.2 m.

6.1.2 PLANTEAMIENTO Y METODOLOGÍA DE UN ESTUDIO DE RECARGA EN LA ZONA DE BARRAX

De acuerdo con todo lo visto en el capítulo 2, parece que la zona de estudio se sitúa realmente en un área de recarga del Sistema Acuífero de La Mancha oriental.

Simmers, en Simmers et alt. (1990) p.6, distingue entre dos tipos fundamentales de recarga, una la denominada **"directa"**, y resultado de la percolación del agua de lluvia a través de la zona no saturada, y otra la **"indirecta"** resultado de percolación del agua de lluvia siguiendo pautas preferenciales, como puedan ser cauces bien definidos, o bien por acumulación en pequeñas charcas o lagunas, o bien a través de fisuras. Dentro de esta categoría considera un caso aparte la infiltración que denomina **"localizada"**, término que reserva para la percolación indirecta debido a la acumulación horizontal de agua en cauces de pequeña entidad no cartografiables y en ausencia de cauces bien definidos.

En la figura 2.23, se ha tratado de representar en un bloque diagrama que abarca algo más que nuestra zona de estudio las diferentes formas de recarga que se han observado en la zona de 100 km^2. Ha sido posible diferenciar las siguientes formas de recarga:

1. Recarga Directa: Por precipitación directa del agua de lluvia en los materiales Jurásicos o bien sobre los coluviones que los recubren en la parte oriental de la zona de trabajo.

2. Recarga Indirecta: Antiguamente asociada al cauce del Río Lezuza que desaparecía por completo al infiltrarse en la zona de trabajo. Hoy en día parece que este río pierde sus aguas mucho antes de alcanzar la zona, tal y como ya se ha expuesto en el apartado de hidrogeología. A través de las posibles pérdidas del acueducto Tajo-Segura.

3. Recarga Indirecta localizada: Se ha podido comprobar con la foto aérea, la existencia de pequeños cauces y hondonadas que responden a puntos en los que la costra calcárea que recubre casi toda la zona de estudio se encuentra carstificada. Pues bien, se piensa que estas zonas recogen parte de la escorrentía superficial, así como parte de los retornos de regadío y a partir de las mismas se produce la infiltración.

Cada uno de los puntos descritos constituirían un tema de investigación aparte. Este estudio se va a centrar exclusivamente en la recarga directa o indirecta provinente de la precipitación y de los retornos de regadío. Los motivos que nos llevan a esto son los siguientes:

1: El río Lezuza rara vez fluye hasta la zona de estudio.

2. Se considera especialmente interesante *esclarecer cuales son los recursos renovables del acuífero*, para lo cual es imprescindible estudiar que porcentaje de la precipitación (y retornos de regadío) llegan a constituir recarga.

Teniendo en cuenta las disponibilidades económicas e instrumentales, las técnicas que se utilizarán fundamentalmente para tratar de cuantificar la recarga serán técnicas físicas (ver apartado 4.7.1). Los cálculos de flujo se realizarán fundamentalmente por debajo del plano de raices, dado que las medidas de evapotranspiración son muy dudosas.

Por tanto, los objetivos concretos que se han perseguido son:

1. Obtener medidas de potencial total y su evolución con el tiempo en perfiles verticales, para poder determinar la dirección del movimiento del agua en el suelo, fundamentalmente por debajo del plano de raices.

2. Obtener medidas de humedad en dichos perfiles y su evolución en el tiempo, también por debajo del plano de raices.

3. Determinar propiedades hidráulicas de los suelos de estudio, tales como curvas de retención, curvas granulométricas, conductividad hidráulica saturada, etc.

Con estos datos se ha intentado utilizar la técnica del plano de flujo nulo, (ver apartado 4.7.1.2), cuyos resultados han sido muy limitados, tal y como se verá más adelante y se han realizado también cálculos de flujo, utilizando la ecuación 4.69 y lo explicado en el apartado 4.5.4.

6.1.2.1 METODOLOGÍA

Se han utilizado principalmente métodos físicos para estimar la recarga. Para determinar la recarga por técnicas físicas es necesario medir la variación de la succión y del contenido volumétrico de humedad en un perfil de suelo a lo largo del tiempo.

Las primeras medidas experimentales se llevaron a cabo en a partir de octubre de 1991, y consistieron en la toma de muestras alteradas e inalteradas en las parcelas de Acequión y Algibarro. En la parcela de **Algibarro**, no fue instalada instrumentación alguna y todos los estudios se basan en la toma de muestras realizada.

En febrero de 1993 se intrumentaron 2 de las 6 parcelas experimentales definitivas, **Acequión y Las Tiesas**. Las **medidas de succión** se efectuaron utilizando bloques de yesos. Se intalaron también tensiómetros con manómetro de espiral, que se mantuvieron la mayor parte del tiempo fuera de rango. El **contenido de humedad** se determinó por medio de las curvas de retención que se realizaron en laboratorio con muestras de estos suelos. Alternativamente se tomaron muestras inalteradas para medir el contenido de humedad y poder disponer de material para realizar las curvas de retención de los suelos.

En octubre de 1994, se consiguieron nuevos fondos procedentes del proyecto EFEDA. En colaboración con el Institute of Hydrology de Wallingford (IH), se instrumentaron tres nuevas parcelas experimentales, **BX2, BX6 y BX8**. Para medir **succión,** se instalaron tensiómetros transductores en tres puntos diferentes conectados a un sistema automático de adquisición de medidas. La **humedad** se ha determinó por medio de una sonda de neutrones, para lo cual se realizaron, en colaboración con el IH, 3 sondeos de acceso en sendas parcelas experimentales.

Las determinaciones de la **conductividad hidráulica saturada** se llevaron a cabo en una prensa triaxial, en el laboratorio de geotecnia del CEDEX. La conductividad hidráulica no saturada se ha determinado mediante un modelo semiempírico, como se explica más adelante.

En octubre de 1993 se perforó un **sondeo geotécnico** de 14 m de profundidad con objeto de tomar al menos en un punto muestras no alteradas que permitiesen analizar succión, contenido volumétrico de humedad, conductividad hidráulica saturada y curvas de retención. En este sondeo se instalaron una tanda de tensiómetros transductores en octubre de 1994, diseñados por el Institute of Hydrology de Wallingford, hasta 11.65 m de profundidad. Este nuevo tipo de tensiómetro transductor permite medir succión a gran profundidad. Se denomina "tensiómetro de sondeo", traducción literal del nombre anglosajón "borehole tensiometer".

Se instaló también un transductor de presión en el piezómetro 765/6/12, para estudiar las oscilaciones de nivel piezométrico.

Como ensayos de laboratorio, se han realizado las curvas de retención de los suelos mediante diversos métodos y se han calibrado los bloques de yeso con la técnica del papel de filtro. Se ensayó también la técnica del control de la humedad relativa en campanas de desecación, para calibrar los bloques de yeso.

Se describe a continuación el desarrollo experimental llevado a cabo.

6.2 SELECCIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES

Dada la gran dificultad que reviste el considerar la variabilidad espacial de la recarga, antes de proceder a la instalación de los instrumentos fueron revisadas las características generales de la zona, para procurar que al menos cada parcela fuera representativa de un tipo particular de condiciones.

Morfológicamente hablando, es una zona muy plana, se encuentra recubierta por una costra calcárea cuaternaria de incluso algunos metros de espesor en algunos puntos. Se encuentra carstificada, y por foto aérea se ha podido comprobar que las zonas carstificadas coinciden con pequeños canales fluviales. Cuando llueve el agua se acumula en los puntos más deprimidos, donde permanece algún tiempo hasta que finalmente se infiltra. Los suelos son muy arcillosos, y cuando llueve se producen fenómenos de dispersión de arcillas. Se forman frecuentemente grietas de retracción. La zona se encuentra surcada por algunos cauces de poco desarrollo. El principal de todos es el valle del Río Lezuza.

Ocasionalmente se encuentran depresiones cársticas, que en tiempos daban lugar a la formación de lagunas, tales como las lagunas de Acequión y La Torca. La vegetación es casi inexistente, y con excepción de algunas encinas aisladas, el suelo se encuentra prácticamente desnudo o cultivado.

De acuerdo con Abellán et alt. (1995), el 65% de la zona de estudio se encuentra dedicada a cultivos de secano, particularmente cebada. Los cultivos de secano se practican con la técnica de "año y vez", esto es un año de cultivo y otro de barbecho. Los cultivos de regadío están constituidos fundamentalmente por maíz (75%) y cebada de regadío(15%). Minoritariamente también se cultiva en regadío la alfalfa, el girasol, cebolla y ajo.

La zona de estudio desde un punto de vista edafológico es muy homogénea. Los suelos que recubren prácticamente toda la zona de estudio son calcisoles, cfr. Santa Olalla y Brasa (1993), p.44. Todos presentan un horizonte pétrico cuya profundidad máxima es de 125 cm. Según estos mismos autores los suelos se apoyan directamente sobre la costra calcárea cuaternaria o bien sobre un horizonte cámbico. En los fondos de dolina se han desarrollado calcisoles lúvicos con horizontes calcáreos y argílicos. Mencionan que de una manera aislada se han encontrado en fondos de valle cambisoles calcáreos. La laguna de Acequión se ubica en una dolina, en cuyos bordes se puede apreciar fácilmente la presencia de una costra calcárea de espesor métrico. Dentro de la zona, es un suelo de tipo marginal ya que no es en absoluto representativo. Sin embargo es el punto más deprimido y la infiltración previsiblemente mayor.

Considerando las características anteriormente mencionadas se seleccionaron una serie de parcelas experimentales, procurando que presentaran diferentes condiciones para poder estudiar el comportamiento de la recarga en zonas diferentes y representativas del área de estudio.

Las diferentes condiciones buscadas han sido las siguientes:

1. Tipo de suelo (calcisol pétrico, lúvico ó cambisol)
2. Cultivos de regadío, secano o suelo desnudo.
3. Zonas deprimidas, más favorables para observar el proceso de la recarga.
4. Seguridad para la instrumentación colocada.

Han sido seis el número de parcelas experimentales seleccionadas cuya descripción se realiza a continuación. Ver su situación en la figura 6.1.

LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES

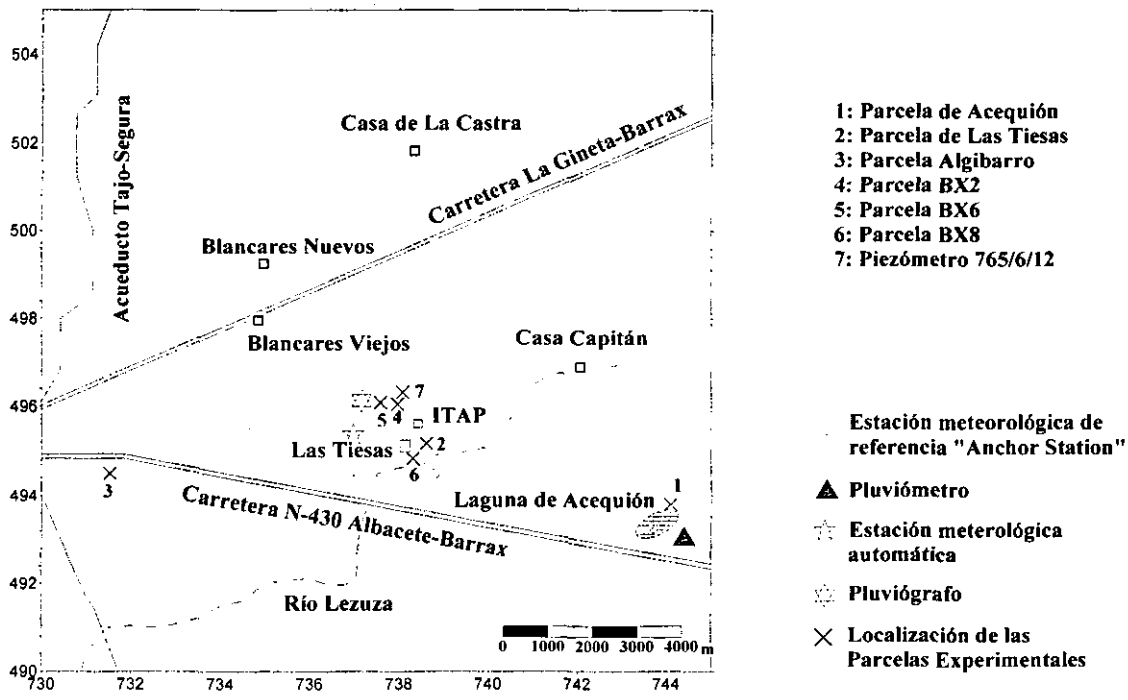


Fig. 6.1; Situación de las parcelas experimentales dentro de la zona de estudio. En la figura se han situado también las estaciones pluviométricas utilizadas. La estación automática (marcada en la figura con un triángulo invertido) estuvo funcionando hasta principios de 1994, fecha en la que fue desmantelada. En estas mismas fechas el Instituto de Desarrollo regional (IDR) instaló una "Estación de Referencia" (marcado en la figura con una estrella de cuatro puntas).

6.2.1 PARCELA EXPERIMENTAL DEL ACEQUION

Esta parcela se localiza dentro de una finca particular agraria denominada Labor de Acequión (ver fig. 6.2). Lo más notable de la finca, es la laguna ya seca, repetitivamente mencionada y que pertenece a los dueños de esta finca. Se accede a la misma por un camino que sale del km 433.850 de la carretera Barrax-Albacete, N-430.

El suelo es de tipo cálcico lúvico. La columna tipo de la parcela se puede observar en la figura 7.9 La parcela experimental se ubica muy próxima a uno de los puntos más deprimidos de ese campo. Se ha comprobado que cuando la precipitación que cae en unas horas excede los 40 o 50 mm se forma un gran charco que anega todo el campo.

Desde febrero de 1992 hasta junio de 1993 el suelo ha estado desnudo, sin ningún tipo de cultivo ni de vegetación. A lo largo de este período ha sido arado un par de veces. En junio de 1994, la parcela fue sembrada de girasol. En esta fecha instalaron los dueños un sistema de aspersores, y la parcela fue regada durante todo el verano. Según el encargado de la finca la dotación de riego en ese período fue de unos 50 mm, no pudiendo precisar con exactitud dado que no miden la cantidad de agua que utilizan. Los riegos se administraron en tres días diferentes por espacio de unas horas. Parece que esta dotación de riego ha de corresponder a la de "riego de nascencia".

Se ha comprobado que existen grandes macroporos en la parte superficial del terreno como se han podido apreciar en algunas de las muestras tomadas.

El límite superior de la zona saturada se encuentra a unos 5 m de la superficie del terreno. Aunque en este punto no se ha llegado a comprobar, las muestras tomadas a 4 m salen prácticamente saturadas, lo que hace pensar que la superficie freática se halle muy próxima.

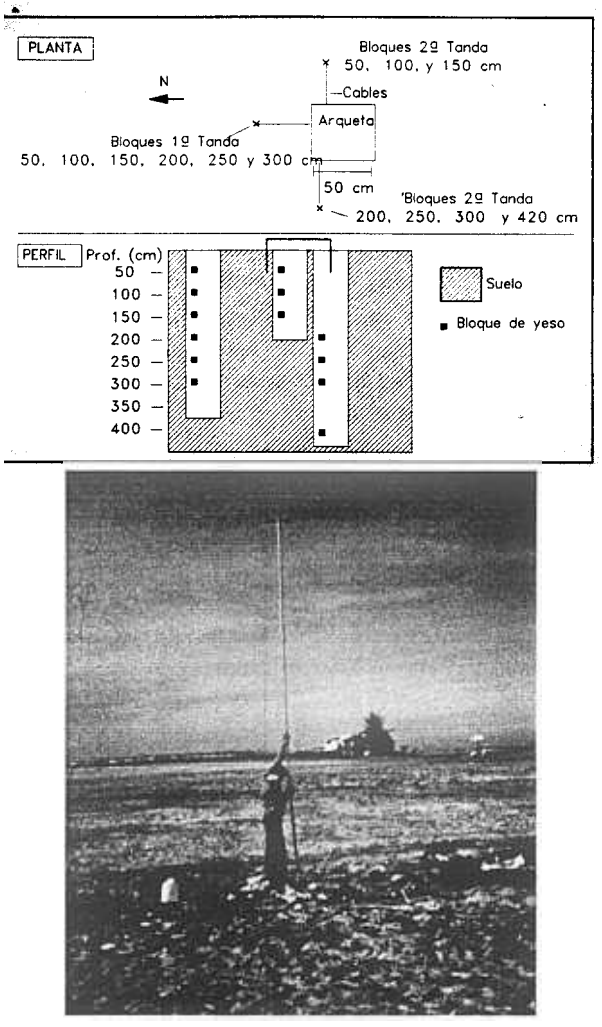


Fig. 6.2; *Planta y perfil esquemático de la disposición de los bloques de yeso instalados en la parcela de El Acequión (el rectángulo representa la arqueta donde se guardan las conexiones de los bloques). En la imagen inferior se ve el aspecto de dicha parcela.*

En un principio se escogió un punto diferente para situar el área experimental, localizado justo en el centro de la laguna. Los dueños de la finca no permitieron instalar instrumentos en dicho lugar y sí lo hicieron a unos 1000 m, en el emplazamiento actual. En el centro de la laguna se ha comprobado mediante la ejecución de un sondeo manual que el límite superior de la zona saturada se encuentra a 2 m.

Esta parcela fue seleccionada por los siguientes motivos:

1. El suelo es representativo de zonas lacustres, típicas de La Mancha.
2. Parcela no regada habitualmente, y gran parte del tiempo permaneció como suelo desnudo.
3. Es una zona potencial de recarga.
4. Los suelo son blandos y la toma de muestras es practicable.

6.2.2 PARCELA EXPERIMENTAL DE LAS TIESAS

Esta parcela se sitúa dentro de una finca, "Las Tiesas", destinada al estudio de cultivos experimentales (ver fig. 6.3). Pertenece a la Diputación de Albacete, y en concreto a un organismo de dicha diputación que gestiona varias fincas semejantes a esta: el ITAP (Instituto Tecnológico Agro-Pecuario). Se accede a esta finca través de una pequeña carretera que comienza en el km 427.500 de la carretera Barrax-Albacete, N-430.

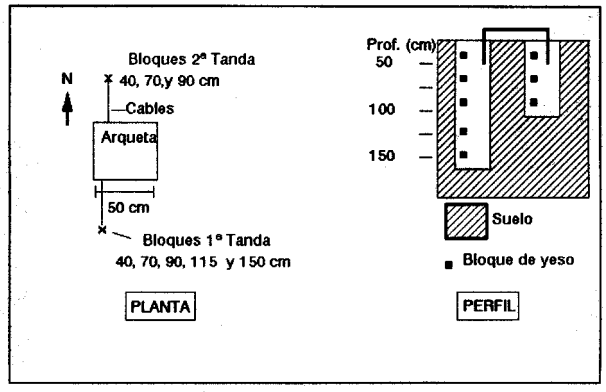


Fig. 6.3; *Esquema de la disposición de los bloques de yeso instalados en la parcela de las Tiesas.*

El suelo en esta parcela es un calcisol pétreo, muy representativo de toda la zona de trabajo. La parcela se sitúa en el antiguo lecho del río Lezuza, que se canalizó para poder cultivar la llanura de inundación de dicho río. Uno de los motivos que nos movieron a su selección fue precisamente su localización en una zona deprimida.

Esta parcela experimental se sitúa en un campo cultivado y regado. En 1992 el cultivo fue de girasol. En 1993, plantaron soja y cebada. La parcela es regada en el año 1993, comenzando los riegos el 23 de marzo, y finalizando a finales de junio de ese mismo año. Todo el verano y el otoño la parcela permanece sin ningún tipo de cultivo hasta finales de febrero de 1994, momento en el que siembran cebada, que no riegan. En mayo, el cultivo en esta parcela parece que se ha estropeado, ya que aparece como quemado. Sin embargo en julio de 1994, parece que la cebada se ha recuperado, y la riegan. A principios de 1995 es sembrada con ajos.

Por los sondeos aquí efectuados se sabe que a unos 100 cm de profundidad aparece un horizonte carbonatado muy duro. Se sabe gracias a un sondeo geotécnico que perforamos en una parcela experimental muy próxima, BX8, que el límite superior de la zona saturada se encuentra a unos 11 m.

Esta parcela fue seleccionada por los siguientes motivos:

1. El suelo es representativo de la zona.
2. Parcela en regadío.
3. Zona potencial de recarga, ya que corresponde a un punto topográfico deprimido (antiguo lecho del río Lezuza).

6.2.3 PARCELA EXPERIMENTAL DE ALGIBARRO

Esta parcela se sitúa en una finca agraria que pertenece a un particular del pueblo de Barrax. Se accede a la misma por el km 2.550 de la carretera comarcal L-6,

Barrax-La Gineta. En la figura 6.4 se muestra un esquema de la ubicación de los sondeos realizados en esta parcela.

El suelo es muy parecido al de la parcela de Las Tiesas. Se sitúa en un punto deprimido del terreno, que según el dueño de la parcela se encharca cuando llueve. Se forman aquí también grietas de retracción.

Esta zona corresponde a un campo cultivado pero no regado. A lo largo de 1991, 1992 y 1993 sólo ha tenido plantado cebada. A unos 70 cm aparece un horizonte carbonatado muy duro. Se ha observado que este horizonte es especialmente compacto y dificulta considerablemente la toma manual de muestras.

Esta parcela fue seleccionada por los siguientes motivos:

1. El suelo es representativo de la zona.
2. Parcela no regada, con un cultivo típico de secano: la cebada.
3. Zona deprimida, por lo que puede ser una zona potencial de recarga.
4. Los suelos suelen ser muy duros e imposibles de perforar. Aquí sin embargo, con muchas dificultades se pueden tomar muestras.

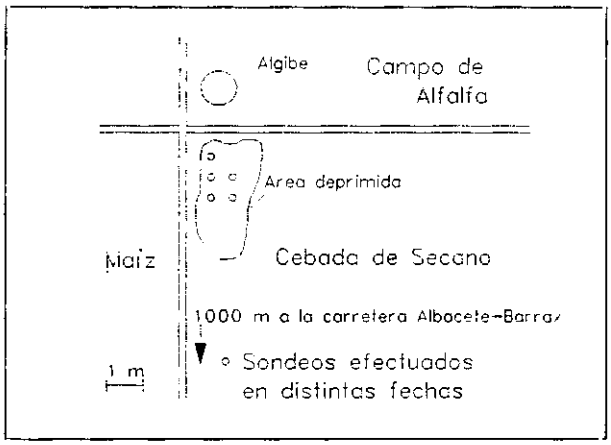


Fig. 6.4; Esquema de la ubicación de los distintos sondeos perforados en la parcela de Algibarro.

6.2.4 PARCELA EXPERIMENTAL BX8

Se encuentra situada a unos 500 m de la parcela de "Las Tiesas", teniendo ambas el mismo acceso. Se seleccionó como punto de perforación del sondeo geotécnico hasta la zona saturada.

El suelo es el clásico representativo de la zona. Se sitúa en el antiguo lecho del río Lezuza. Hasta finales de 1994 ha estado prácticamente en barbecho. A principios de 1995, fue sembrada con cebada de secano. El criterio que se siguió a la hora de seleccionar una zona para perforar este sondeo fueron fundamentalmente tres:

1. Zona potencial de recarga, al ser una zona deprimida.
2. Zona con terreno no muy duro. La extraordinaria dureza de la costra que recubre casi todo hacía impracticable la perforación en otro punto.
3. El punto de perforación debía ubicarse dentro de los terrenos pertenecientes a la finca experimental de Las Tiesas, ya que conseguir un permiso de perforación es complicado.

El límite superior de la zona saturada se encontró a 11.25 m desde la superficie del terreno, al perforar el sondeo.

6.2.5 PARCELAS BX2 Y BX6:

Se localizan en los alrededores de la finca experimental de Las Tiesas y relativamente próximas a las parcelas BX8 y "Las Tiesas". El acceso desde la carretera es el mismo que el de la parcela denominada "Las Tiesas". Para llegar a estos puntos se debe tomar un camino de tierra que sale de las oficinas que el ITAP, tiene en esta finca. El paraje es conocido como "La Pulguera". Ambas parcelas se localizan en un lugar muy parecido, en las cercanías (BX2) y en el interior (BX6) de un pivot, que pertenece a la finca. BX6 se encuentra dentro de la circunferencia del pivot y BX2 fuera de ella.

El suelo es un calcisol pétreo. Las parcelas experimentales se instrumentaron en octubre de 1994. En esta fecha el pivot (y BX6) estaba cultivado con maiz, que fue recogido a principios de noviembre. Los alrededores del pivot, por tanto BX2, estuvieron en barbecho desde octubre hasta diciembre de 1994. Por esas fechas sembraron cebada de secano en BX2 (que no recogieron), mientras que BX6 permanece sin cultivo alguno. En mayo de 1995 siembran BX6 con maiz, que fue recogido a principios de septiembe, mientras tanto BX2 se encuentra en barbecho.

La posición del límite superior de la zona saturada en estas parcelas puede ser deducido del mapa de isoespesores de zona no saturada realizado en el capítulo 2.,(ver fig.2.10), y podría encontrarse a unos 18 ó 20 m de la superficie del terreno.

Estos dos puntos fueron seleccionados por:

1. Presentar suelos representativos.
2. Parcela en regadío y secano, en suelos iguales.
3. Los terrenos pertenecen a la finca de Las Tiesas, con lo que los permisos para instalar instrumentos están garantizados.

6.3 TOMA DE DATOS DE CAMPO

La toma de datos experimentales comenzó a finales del año 1991, durante los últimos meses de este año y el siguiente, el trabajo realizado, fue basicamente un estudio hidrogeológico convencional. Durante este período la toma de datos consistió prácticamente en la toma de muestras inalteradas, fundamentalmente en la parcela de Algibarro. En febrero de 1993, se instalaron instrumentos en las parcelas experimentales de Las Tiesas y del Acequión y se comenzaron las medidas sistemáticas. Las parcelas BX2, BX6 y BX8, se instrumentaron en octubre de 1994.

6.3.1 MEDIDAS DE SUCCIÓN

Para medir succión, se emplearon bloques de

yeso y tensiómetros. Se seleccionaron estos dos métodos fundamentalmente por consideraciones económicas. Los bloques de yeso, son relativamente baratos y en cuanto a los tensiómetros se disponía ya de algunos tensiómetros con una longitud máxima de 65 cm.

En octubre de 1994, gracias a nuevos fondos procedentes de la UE, vía proyecto EFEDA, se pudieron incorporar equipos más sofisticados. Se adquirieron tensiómetros transductores, que fueron conectados a sistemas automáticos de adquisición de medidas. Se utilizó también un tensiómetro de reciente diseño "Tensiómetro de Sondeo", capaz de medir succión hasta 20 m de profundidad. Este instrumento ha sido diseñado por el Institute of Hydrology de Wallingford, que por otro lado ha colaborado en la instalación de todos los equipos automáticos.

6.3.1.1 BLOQUES DE YESO

Los bloques utilizados han sido los que suministra la compañía EIJKELKAMP (1990) (ref. 14.23.03) p.47 y 231.

En el capítulo 5 (ap.5.2.1), se dedica un epígrafe a la descripción de este sistema de medidas y a los problemas que presenta. Las medidas de los bloques de yeso pueden ser erróneas debidas al efecto de la variación de la temperatura, y en suelos salinos, a la salinidad del suelo. No se han corregido los resultados obtenidos para ninguno de estos efectos. En cuanto a la salinidad, ninguno de los suelos en la zona son salinos, por lo que tal corrección no ha sido necesaria. Aitchinson y Richards, 1965, consideran innecesaria tal corrección en aguas intersticiales con menos de 7000 mg/l de sólidos disueltos en el agua intersticial. En cuanto a la temperatura, tampoco se han realizado medidas paralelas que permitan establecer dichas correcciones. No obstante Ruprech y Schofield (1989), p.17, consideran que el efecto de la temperatura es insignificante. Por otro lado, la variación de la temperatura es especialmente importante en los primeros cm de suelo. Es de esperar que por debajo de 50 cm de profundidad la temperatura se mantenga relativamente constante.

La calibración de los bloques para medir succión se ha realizado por dos técnicas diferentes que se describen en otro epígrafe de este capítulo. Los bloques de yesos están elaborados con un material poroso más o menos homogéneo. Será necesario elaborar las curvas de retención de unos cuantos bloques, para ver si hay mucha variación de unas a otras. No es necesario realizar las curvas de cada uno de ellos. De hecho Gardner (1965) considera adecuado separar los bloques en grupos de acuerdo con su resistencia a la saturación, y calibrar sólo uno de cada grupo. No parece previsible que se cometan así demasiados errores.

Se instalaron bloques de yeso en las siguientes parcelas experimentales:

1. En las **Tiesas** se instalaron un total de 8 bloques, 5 fueron instalados en febrero de 1993, (1ª tanda), a 40, 70, 95, 115 y 150 cm y 3 en diciembre de 1993, (2ª tanda), 40, 72, y 100 cm. En la figura 6.3 se puede ver la disposición final de esta parcela. A partir de 60 cm el terreno es extraordinariamente duro, y gracias a la colaboración del personal de la finca experimental Las Tiesas se pudieron perforar 150 cm. En diciembre, se instalaron en un único sondeo sólo 3 bloques más, ya que con mucha dificultad se perforó un metro.

2. En la parcela de **Acequión** se instalaron 6 bloques en febrero del 93, (1ª tanda), a 300, 250, 200, 150, 100, y 50 cm. En Mayo del 93 se instalaron siete más a 430, 300, 250, 200, 150, 100, y 50 cm, 2ª tanda. La disposición final de la parcela de Acequión se puede ver en la figura 6.2.

3. En la parcela de **Algibarro** no se instalaron bloques, ya que el dueño de la misma no concedió los permisos oportunos.

4. En **BX8** se instalaron 8 bloques de yeso a 2.65, 3.65, 4.65, 5.65, 8.65, 9.65,10.65 y 11.65 m. La instalación se llevó a cabo por un procedimiento diferente del que aquí se explica. En un apartado posterior se explica como se instalaron estos bloques.

5. En **BX2 y BX6** tampoco fueron instalados bloques de yeso.

Instalación de los bloques de yeso

Los bloques de yeso se instalaron siguiendo en parte las indicaciones de Schofield et alt., (1985), p 124-125. La instalación fue hecha de la siguiente forma (ver fig. 6.5):

1. Se sellan con silicona las juntas entre los cables y yeso para evitar la circulación preferencial de agua a través de esta vía. (fig. 6.5a).

Se marca cada cable con cinta aislante de color diferente, para poder identificar bloques enterrados a profundidades diferentes.

Con una barrena helicoidal, EIJKELKAMP (1990) (Sample ring Kit, 07.set C.), p.23, ver fig.5.18, se perforó un sondeo hasta la profundidad máxima a la que se iban a instalar bloques. Los horizontes de terreno extraídos se preservaron en bolsas de plástico, marcadas indicando la profundidad de cada tramo. (fig.6.5d).

Se saturan los bloques con agua destilada, sumergiéndolos apenas en un dedo de agua. Con esto se evita que queden burbujas de aire atrapadas en el interior del bloque y se minimiza el efecto de la salinidad del suelo (fig. 6.5b).

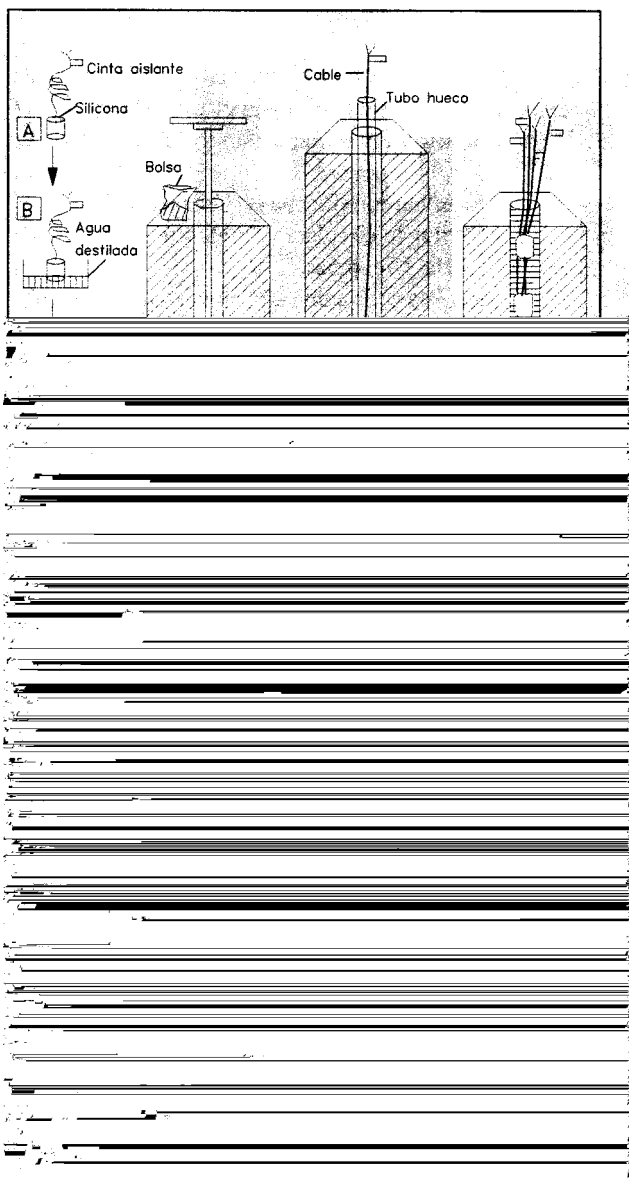
Es necesario asegurar un buen contacto entre suelo y bloque, para lo que se coloca una pasta de barro rodeando por completo al bloque (fig. 6.5c). Aunque no es imprescindible se procuró amasar el barro con material procedente de la profundidad a la cual se pensaba instalar cada bloque. Para colocar bien el bloque en el sondeo se utilizó la ayuda de un tubo hueco (ver fig. 6.5 e). Se pasan los cables por el interior del tubo, y se introduce el bloque con el tubo. Una vez colocado en el punto deseado, se hace presión con el tubo para fijar bien el bloque. Una vez que el bloque queda correctamente instalado, se extrae dicho tubo. El tubo hueco que se utilizó

tenía una longitud de 2 m, por lo que los bloques instalados a mayor profundidad no se instalaron con esta ayuda.

Se rellena el sondeo, procurando reconstruir la secuencia litológica original hasta la profundidad inmediata a la cual se desea instalar un nuevo bloque. No se considera importante que la reconstrucción litológica original sea exacta, ya que lo que se pretende medir es succión y no contenido de humedad. La succión en dos medios porosos diferentes es constante cuando ambos están en equilibrio aunque el contenido de humedad en ambos sea distinto.

Una vez instalados todos los bloques y bien relleno el sondeo, los cables fueron enterrados en el suelo protegidos por manguera de goma, y se condujeron debidamente etiquetados, hacia una arqueta. (fig.6.5.f y g).

Las arquetas fueron realizadas en hierro por un herrero. El diseño de la arqueta se puede ver en la fig. 6.5.g, y fue realizado de acuerdo con las sugerencias del prof. Martínez Alfaro. Para su instalación se perforaron cuatro sondeos, cada uno de ellos de una longitud algo mayor que las patas de la arqueta. Se colocó la arqueta, y se rellenaron los sondeos con piedras. Una vez fija con piedras, se preparó una pasta de yeso y agua que se vertió



en cada uno de los cuatro agujeros.

De acuerdo con esta experiencia previa se observaron dos cosas; la primera es la dificultad que reviste el rellenar bien el sondeo, cuando cada uno de los bloques lleva incorporado una masa de barro que aumenta considerablemente su volumen, especialmente cuando se han introducido ya varios bloques en el sondeo. La segunda, es que los materiales procedentes del sondeo son muy compactos y húmedos, lo que dificulta el rellenar adecuadamente el sondeo, especialmente para los mayores de 150 cm. Por ello la segunda tanda de bloques instaladas en el Acequión se instaló con alguna variación. En Las Tiesas se instalaron siguiendo el mismo procedimiento que la primera tanda, ya que no se instalaron bloques a más de 100 cm. En la parcela de Acequión se instalan siete bloques en mayo del 94. y en esta ocasión se colocan en diversos agujeros, para poder tener en cuenta al menos algo la variabilidad espacial.

La segunda tanda de bloques en el Acequión se instala de la siguiente forma:

1. Para asegurar el buen contacto suelo-bloque, en lugar de pasta de barro, se colocó alrededor del bloque suelo muy pulvurulento, tomado de la parte superficial del terreno. Al estar el bloque muy húmedo, ya que se encontraba saturado, se consiguió una buena adhesión suelo-polvo (ver fig.6.6).



ig. 6.6; Fotografía de un bloque de yeso antes de ser troducido en el terreno. Corresponden a la segunda tanda de loques de la parcela de Acequión.

2. Los bloque no se instalaron en un único ondeo, sino en varios.

- Se perforó un sondeo de 1.64 cm. Se rellenó asta 150 cm y se colocó un bloque a esa profundidad. e perforaron dos sondeos diferentes de 50 y 100 cm, onde se instalaron sendos bloques siguiendo los rocedimientos descritos en el apartado anterior.

- Se reprofundiza un sondeo de 3.3 m, abierto nos meses antes, hasta 4.3 m. Se instala un bloque de eso a 430 cm.

- Se perfora un sondeo hasta 3.2 m de rofundidad y se instalan bloques a 2, 2.5, y 3 m de rofundidad. Este sondeo se aprovecha para la toma de

muestras inalteradas.

3. Se rellenan todos los sondeos con suelo pulvurulento y de fácil distribución procedente de la parte superficial del terreno. Se condujeron los cables a la misma arqueta que los bloques anteriores, enterrados en el suelo y protegidos con manguera.

Medida de los bloques de yeso

Para la medición de los bloques se ha utilizado un puente de impedancia modificado ("humidímetro"), que suministra EIJKELKAMP (1990), ver fig.6.7. Este aparato lleva incorporada una curva de calibración interna que transforma la medida de resistencia del bloque, en

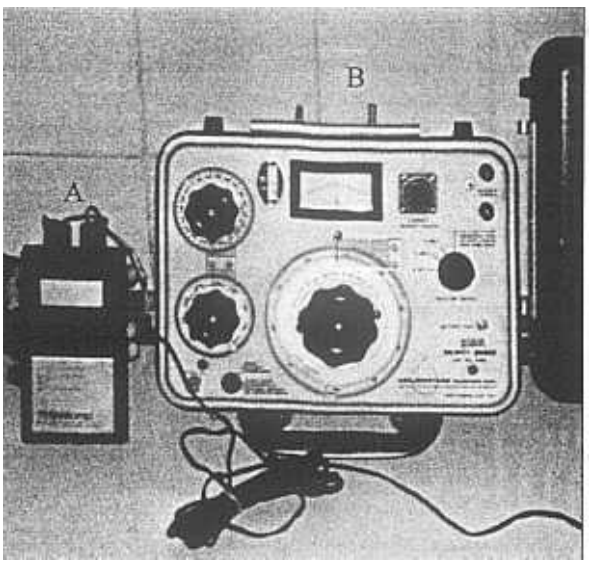


Fig. 6.7; (a) Humidímetro y (b) Puente de Wheatstone de Eijkelkamp.

contenido de humedad en el bloque, expresado como grado de saturación. Para averiguar la succión es necesario establecer una relación entre la medida del humidímetro y la succión. Esta cuestión se aborda en el apartado de calibración de los bloques de yeso.

Las medidas fueron tomadas sin interrupción a lo largo de casi tres años. Se han realizado visitas periódicas con una frecuencia de 15 ó 30 días.

En Octubre de 1994, el Institute of Hydrology de Wallingford, proporcionó un puente de resistencia con una precisión mayor (ver fig.6.7). Este otro puente, proporciona las medidas de resistividad directamente. En el apartado de calibración se describe también la calibración realizada para este segundo instrumento. A partir de octubre de 1994, las medidas se realizan conjuntamente con ambos instrumentos. Este tipo de instrumento también lo comercializa Eijkelkamp (1990).

Tratamiento de los datos

Los bloques de yeso proporcionan una medida indirecta del potencial mátrico, con una calibración adecuada del instrumento de medida. En los estudios de flujo de agua, es imprescindible conocer el potencial total en cada punto del perfil. El potencial total es el resultado de sumar el potencial mátrico y el gravitacional. En esta tesis se ha utilizado como plano de referencia la superficie del terreno, por lo que el potencial gravitacional presentará siempre signo negativo. En la figura 6.8 se muestra gráficamente como obtener el potencial total con los resultados proporcionados por los bloques de yeso.

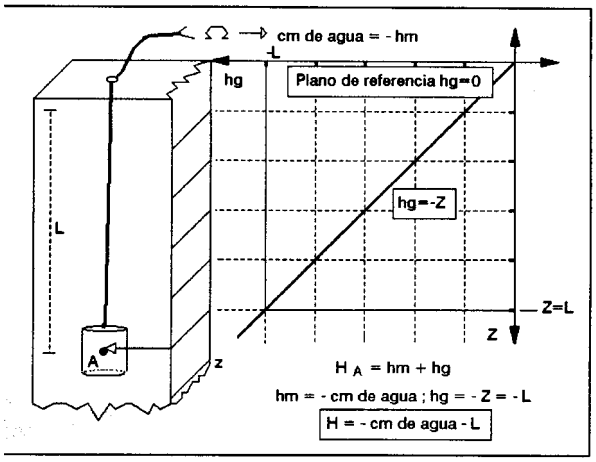


Fig 6.8; Conversión del potencial mátrico en potencial total para el caso de un bloque de yeso. El plano de referencia Z=0, está tomado en la superficie del terreno.

6.3.1.2 TENSIÓMETROS

Conjuntamente con los bloques de yeso, se han utilizado tensiómetros. Si bien es cierto que los bloques y los tensiómetros son complementarios, no se han podido instalar tensiómetros a las mismas profundidades a las que se han instalado bloques, ya que en un principio no se pudieron adquirir tensiómetros sino que se utilizaron algunos que estaban disponibles, con unas longitudes de 15, 30, 45 y 60 cm.

Se han empleado dos tipos diferentes de tensiómetros. En mayo de 1993 se instalaron tensiómetros con manómetro de espiral en las parcelas experimentales de Acequión y Las Tiesas. En octubre de 1994 se instalaron tensiómetros transductores conectados a un "data logger" en BX2, y BX6. En BX8 se instalaron 10 tensiómetros transductores, desde 2.65 m de profundidad hasta 11.65 m. Estos tensiómetros van montados en un ingenio, "tensiómetro de sondeo", que permite medir succión hasta 20 m de profundidad. El diseño del mismo ha sido realizado por el Institute of Hydrology de Wallingford.

6.3.1.2.1 Tensiómetros con manómetro de espiral

Se han utilizado tensiómetros de la marca Soil Moisture, el modelo "Jet Fill Tensiometer", ver la figura 6.10. Este modelo consta de un manómetro de espiral para medir la succión. Este tipo de tensiómetros se describen en el capítulo dedicado a instrumentación, apartado 5.2.3.

En la parcela de Acequión se instalaron 4 tensiómetros de espiral en mayo de 1993, a las profundidades de 38 cm, 53 cm, 70 cm, y 105 cm. En agosto de 1993 se retiran para evitar su deterioro, y se reinstalan a 45 cm, 60 cm, 70 cm y 93 cm.

En la parcela de Las Tiesas se instalan tres tensiómetros en mayo de 1993, a las profundidades 38, 52 y 68 cm. Debido a la dureza del terreno no se pudieron instalar a mayores profundidades.En Julio de ese año son destrozados por un tractor y ya sólo se reinstalan dos en diciembre de 1993 a 50 y 60 cm

Instalación de tensiómetros con manómetros de espiral

Los tensiómetros se han instalado siguiendo en gran parte las directrices dadas por los manuales del usuario proporcionados por "Soil Moisture", aunque ha sido necesario realizar alguna modificación (ver figura 6.9).

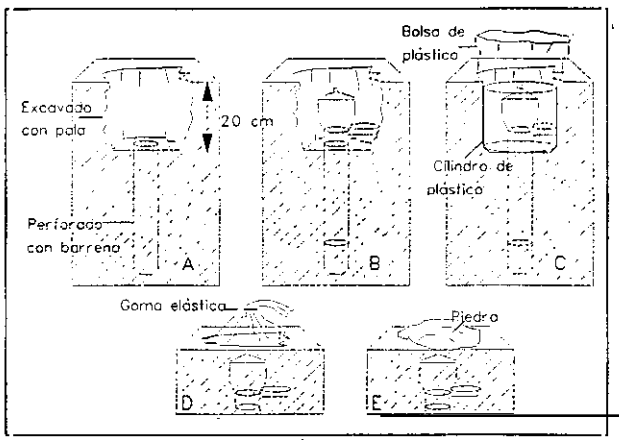


Fig. 6.9; Dibujo esquemático que representa el procedimiento seguido para la instalación de los tensiómetros de espiral en la parcela de El Acequión y Las Tiesas.

Con una pala se excavaron agujeros cilíndricos cuya profundidad osciló entre 20 y 40 cm, (dependiendo de la profundidad a la que se quería instalar el tensiómetro), de profundidad y unos 25 cm de diámetro. (ver fig.6.9a). En la base de cada agujero se perforó un pequeño sondeo con una barrena de diámetro idéntico al diámetro de los tensiómetros (fig.6.9a) y con una profundidad igual a la longitud del tensiómetro. Se montaron los tensiómetros de la manera que se explica a continuación:

- Se enroscan la cápsula porosa al cuerpo del tensiómetro.
- Para evitar que queden burbujas de aire atrapadas en las cápsulas porosas, se saturan con agua destilada. Esto se consigue rellenando parcialmente la cápsula con agua destilada y se espera hasta que esta gotee, indicando saturación completa. Al agua se le añade sulfato de cobre para evitar crecimientos de algas en las cápsulas.
- Se ajusta a cero la aguja del manómetro, haciendo girar un tornillo que tiene el manómetro para esa finalidad.
- Se rellena por completo el tensiómetro de agua. Se acopla mediante una rosca el manómetro, y con una pequeña bomba de mano se extrae el aire retenido en el interior del manómetro, facilitando que entre agua en su lugar.
- Se enrosca en la parte superior un depósito de agua, que queda incomunicado del cuerpo del tensiómetro. El depósito lleva en su parte superior un botón que cuando se presiona se establece comunicación entre depósito y tensiómetro.

Se introdujeron los tensiómetros (fig. 6.9b), en el agujero perforado en el suelo que tiene exacto diámetro que el propio tensiómetro.

Se colocaron unos cilindros de plástico muy ajustados al cilindro de 25 x 20 excavado en el suelo y con un plástico de bolsa se recubrió la parte superior (ver fig. 6.9c). Para su protección se taparon con tierra y una piedra para evitar curiosos (fig. 6.9c, 6.9d y 6.9e).

Las medidas se efectuaron con una periodicidad de 15 días. No obstante, los tensiómetros se han mantenido vacíos la mayor parte del tiempo, indicando unas succiones mayores de 800 cm de agua. Cada vez que se visitó la parcela experimental se rellenaron los tensiómetros y se extrajeron las burbujas de aire atrapadas en el interior del tensiómetro, tras efectuar la lectura.

6.3.1.2.2 Tensiómetros transductores

Con la ayuda de fondos procedentes de la UE, vía proyecto EFEDA, en agosto de 1994, se pudieron adquirir tensiómetros transductores y sistemas automáticos de adquisición de medidas. Por otro lado gracias a la colaboración del Institute of Hydrology de Wallingford, se pudo instalar un tensiómetro de diseño especial para medir succión hasta 20 m de profundidad. La instalación de todo el equipamiento se realizó en colaboración con esta institución.

Tensiómetros tipo DELTA-T

El tipo de tensiómetro transductor utilizado es el fabricado por DELTA-T (ver fig.5.12). Este tensiómetro lleva en lugar de un depósito de agua una piezorresistencia en su parte superior. El cuerpo del tensiómetro es muy similar al tipo de tensiómetro descrito en el epígrafe anterior.

Como ya se ha explicado en el capítulo 5, la piezorresistencia cambia de resistencia cuando se produce un cambio de presión. Resistencia y voltaje se encuentran relacionados. Cuando se aplica una corriente continua al transductor, se genera una diferencia de potencial en el mismo, que se encuentra relacionada con los cambios de presión que detecta. Los tensiómetros utilizados necesitan una corriente de 10.6 V DC, y proporcionan una respuesta en mV. Se puede establecer una relación voltaje-succión en el suelo, relación que se establece mediante un proceso de calibración. DELTA-T, proporciona una recta de calibración individual para cada transductor.

Estos tensiómetros se han conectado a un sistema automático de almacenamiento de datos de estado sólido. El sistema automáticamente cada hora envía una corriente continua al transductor y recoge la señal que en mV devuelve el mismo. El transductor necesita llevar incorporado cuatro cables, dos de entrada, (positivo y

negativo) a través de los cuales se manda la corriente, y los de salida, (positivo y negativo), a través de los cuales el transductor devuelve una señal en mV.

Se han instalado catorce tensiómetros transductores en las parcelas BX2 y BX6, a las profundidades 300, 200, 150, 100, 60, 40, y 20 cm en cada una de ellas.

Instalación de los tensiómetros transductores

El procedimiento de instalación seguido, básicamente es el mismo que el utilizado para instalar los tensiómetros con manómetro de espiral. Difiere exclusivamente la perforación realizada.

La perforación en el primer metro y medio se realizó con la ayuda de un percutor mecánico. La extremada dureza del suelo en las parcelas BX2 y BX6, imposibilitó la perforación mediante barrenas manuales. La perforación se realizó desde una plataforma para evitar compactaciones y alteraciones en el suelo.

De 1,5 a 3 metros se perforó con una barrena hueca de igual diámetro que el tensiómetro, y con una zapata cortante en el extremo (ver fig. 6.10). El golpeteo se realiza con una barra maciza de menor diámetro que la barrena, y cuya cabeza es una maza de hierro. La barra se desliza por el interior de la barrena, y con la cabeza en forma de maza se clava poco a poco la barrena en el suelo. El material se extrae con una barrena helicoidal que se desliza también a través de la barrena hueca.

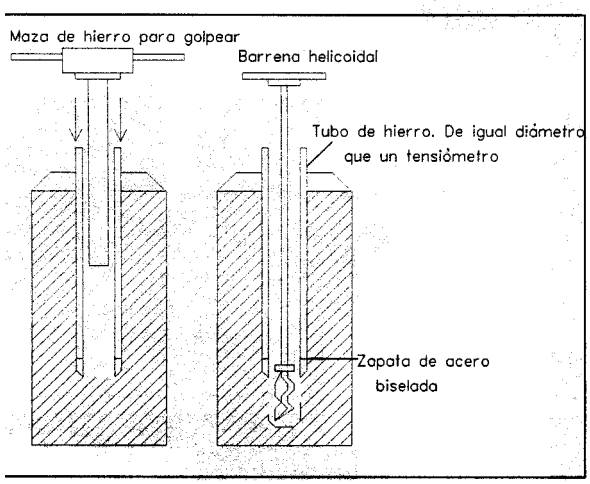


Fig. 6.10; Barrena utilizada para la instalación de tensiómetros transductores. Diseño original del IH de Wallingford, UK.

Una vez alcanzada la profundidad deseada, se extrae la barrena hueca con la ayuda de un gato, y se coloca el tensiómetro que queda muy ajustado dentro del pequeño sondeo. El sistema de perforación y diseño de las barrenas es propio del IH. Una descripción más completa de este sistema de perforación se puede consultar en Bell (1987) p.14.

Los cables de los transductores se conectaron a

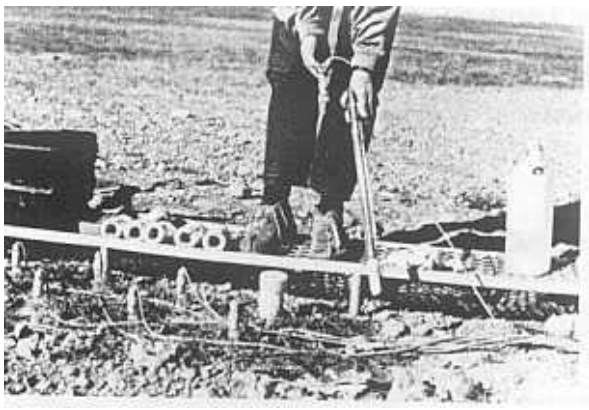


Fig. 6.11; Fotografía de tensiómetros transductores instalados en la parcela experimental BX2. Se aprecian los tubos protectores destinados a evitar averías por cambios térmicos.

un sistema automático de adquisición de datos, que fue programado para tomar automáticamente las medidas cada hora. En la figura 6.11 puede verse como queda instalada una batería de tensiómetros transductores.

Tensiómetro transductor de sondeo ("Borehole tensiometer")

Este tipo de tensiómetro se instaló en la parcela BX8 a las profundidades de 2.65, 3.65, 4.65, 5.65, 6.65, 7.65, 8.65, 9.65, 10.65 y 11.65 m. Además se incorporaron bloques de yeso a todas estas profundidades excepto a 7.65 y 8.65 m.

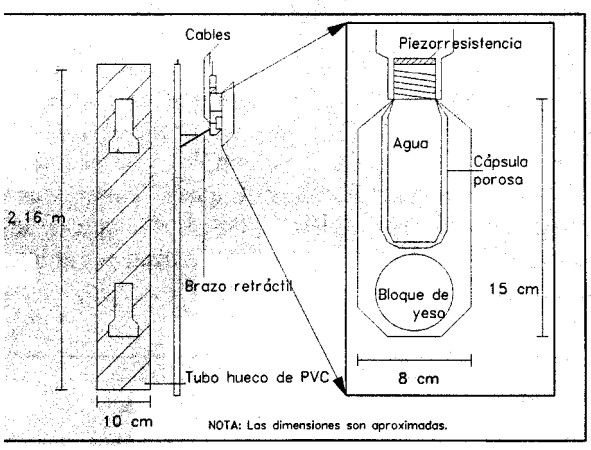


Fig. 6.12; Dibujo esquemático de un tensiómetro de sondeo. Diseño original del IH de Wallingford, UK.

El sistema básicamente cuenta con una serie de tubos de PVC, solidariamente unidos que sirven de soporte a 10 cápsulas porosas (ver fig. 6.12). Cada cápsula porosa, lleva enroscado un transductor de presión, cuyo cable se introduce en el tubo de PVC y a través del cual se conduce a la superficie del terreno.

El tensiómetro instalado lleva seis tubos de PVC de 2.16 m de longitud, por 10 cm de diámetro. Cada tubo presenta dos orificios separados un metro y lleva en su interior dos varilla de unos 8 mm de diámetro y unos 2.20

m de longitud cada una con un brazo móvil colocado a la altura de cada uno de los orificios de PVC. Las varillas llevan dos extremos machihembrados, de tal manera que pueden acoplarse extensiones. Cada brazo móvil lleva montada una cápsula porosa de unos 10 cm de longitud, y unos 2 cm de diámetro. El extremo de la cápsula porosa es una rosca, al cual puede acoplarse un transductor de presión, también a rosca. Las varillas están diseñadas de tal forma que girándolas en un sentido, puede extenderse el brazo móvil o encogerse. Se fijan en el interior del tubo con tornillos.

Cada cápsula lleva enroscada un transductor de presión, con sus correspondientes cables. El tipo de transductor utilizado ha sido suministrado por el IH, y es muy similar al descrito en el epígrafe anterior. Las cápsulas van montadas en soporte metálico que se fija al brazo móvil mediante un tornillo. El soporte metálico lleva un hueco, para incorporar un bloque de yeso si se desea.

Instalación del tensiómetro de sondeo

En la parcela BX8 se perforó un sondeo geotécnico de 10.6 cm de diámetro y 14 m de profundidad, como se ve en el siguiente apartado, con una doble finalidad: primero tomar muestras inalteradas, y en segundo lugar disponer de una perforación de algo más de 10 cm de diámetro, para poder instalar este instrumento.

Lo primero que se hace es saturar y rellenar las cápsulas porosas con agua destilada; una vez saturadas, se enrosca un transductor de presión a cada cápsula, y se monta la cápsula en un brazo móvil, fijándola con tornillos

En el interior del primer tubo se introducen dos varillas, cada una con su brazo móvil en el que van montados una cápsula porosa y un bloque de yeso. Se fijan las varillas al tubo con dos tornillos, y de tal manera que las aberturas del tubo de PVC queden enfrentadas a las cabezas móviles de las varillas. Los cables de los transductores y bloques de yeso se deslizan por el interior del tubo.

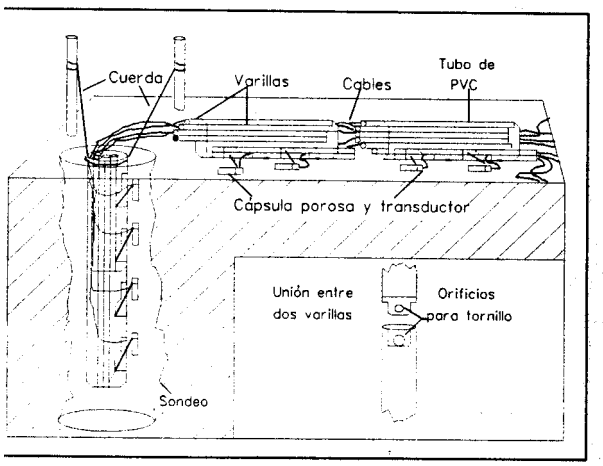


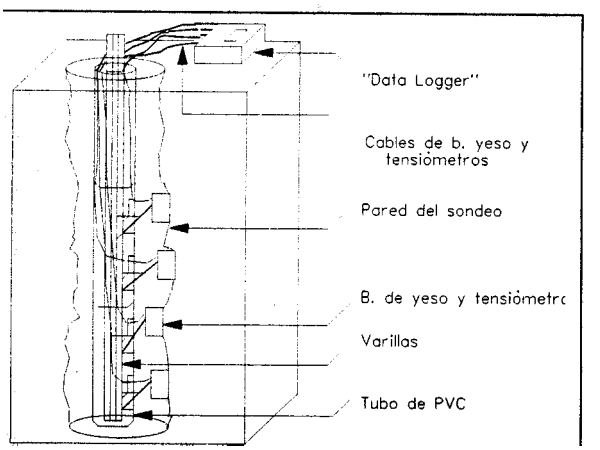
Fig. 6.13; Proceso de la instalación de un tensiómetro de sondeo.

El segundo tubo se monta de igual manera que el primero. Una vez montado, se colocan en línea el primero y el segundo tubo. Se introducen ahora otras dos varillas más en el segundo tubo, pero sin brazo móvil. Estas varillas se van a empalmar con las varillas del primer tubo, gracias a los extremos machihembrados de los que disponen (ver figura 6.13), y se van a fijar mediante tornillo. Los cables de los transductores del primer tubo se van a deslizar por el interior del segundo tubo. Una vez realizadas estas operaciones se empalman los dos tubos de PVC con cinta de embalaje muy fuerte.

Una vez unidos los dos primeros tubos, se colocaron dentro del sondeo y se dejaron suspendidos con cuerdas a ras del suelo. (figura 6.13).

Se prepararon otros dos tubos de la misma forma. El tercer tubo tiene ya en su interior 2 varillas que corresponden a las cápsulas porosas que debe llevar y otras cuatro varillas que no son sino las prolongaciones de las varillas contenidas en los tubos anteriormente montados. Contiene además otros tantos cables correspondientes a los cables de los transductores de los los primeros tubos. El cuarto tubo lleva en su interior 8 varillas, de las cuales 6 son extensiones, y 8 cables.

Una vez preparados dos tubos más, se empalman entre sí, y se unen también con cinta muy fuerte a los suspendidos en la boca del sondeo. Se introducen los cuatro tubos en el sondeo dejando ahora el cuarto a ras del suelo.



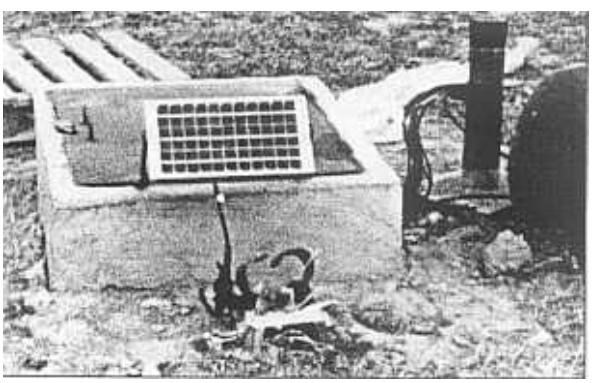


***Fig. 6.14;** Disposición final de un tensiómetro de sondeo y fotografía del estado final del tensiómetro de agujero en BX8.. Se puede apreciar también la arqueta hacia la que se condujeron los cables, el registrador de datos y el panel solar.*

De esta forma se fueron montado los tubos de dos en dos hasta dejar seis tubos montados. El último tubo es ciego, y a través del mismo sólo pasan 10 varillas que corresponden a las extensiones de cada una de las varillas que llevan un tensiómetro incorporado. El conjunto sólo se pudo bajar a 11.65 m, por lo que sobresalen 35 cm del último tubo sobre la superficie del terreno. En la figura 6.14 se muestra como queda todo el sistema una vez instalado. Aparecen sólo tres tubos instalados, para simplificar el esquema.

El sondeo de 14 m se encontraba encerrado en una arqueta. Al sobresalir 35 cm sobre el terreno, la arqueta no cerraba, por lo que se practicó un orificio en la tapadera. Se recubrieron los 35 cm que sobresalen con otro tubo de PVC, y con una tapadera de goma, para evitar la entrada de humedad. Se revistió con silicona el conjunto y con cinta aislante. (Ver figura 6.14).

Los cables de los transductores se pasan también por el interior de los tubos. Los transductores empleados llevan incorporados unos 13 m de cable coaxial. Los cables han sido conducidos y conectados a un registrador automático de datos situado en una arqueta próxima, y que recoge automáticamente las medidas cada hora.

En 8 de las 10 cápsulas porosas instaladas se acopló un bloque de yeso con su correspondiente cable, también de unos 13 m de longitud. Los cables de los bloques de yeso no se condujeron al registrador dado que el sistema no dispone del circuito necesario para medir impedancia, sino que se dejaron dispuestos para efectuar medidas manuales.

Se dejó instalado en el fondo del sondeo un transductor de presión para medir oscilaciones del nivel freático. En BX8 el nivel freático se encontraba en el momento de la perforación a 11.25 m desde la superficie del terreno. El transductor de presión se conectó a un sistema automático de almacenamiento de datos distinto del utilizado para los tensiómetros. Este "logger" se averió en noviembre del 94. En abril del 95 se conectó el cable de este transductor al mismo logger utilizado para los tensiómetros.

Sistema automático de adquisición de datos

Para almacenar los datos de succión procedentes de los tensiómetros transductores se han empleado tres sistemas automáticos de almacenamiento de datos, uno para cada una de las parcelas experimentales.

El tipo utilizado es un registrador de datos de estado sólido DELTA-T. Consta de 60 canales analógicos y dos digitales, todos de entrada, que sirven para recoger las señales enviadas por los sensores. También consta de otros dos canales de salida que sirven para alimentar sensores. El registrador presenta una salida estándar tipo RS232 para conectar a un ordenador. Lleva incorporado un programa informático ("DL"), que permite programar al sistema con el tipo de sensor que se va a utilizar, el tipo de señal que va a recibir, si debe o no mandar alimentación al sensor, cada cuanto tiempo debe recoger información y etc. Este programa permite incorporar las rectas de calibración de los sensores, con lo que se puede almacenar la succión directamente en hpa.

La alimentación del sistema automático de adquisición de datos se ha realizado con un panel solar (18 V DC), que envía energía a un transformador-acumulador, y este a una batería recargable de Pb. A su vez, el aparato lleva incorporadas siete pilas alcalinas de Ni-Cd (1.5 V), por si falla el panel solar. Por último lleva una pila de botón de Li, que en caso de fallo total de todo el sistema de baterías, mantiene en memoria todos los datos almacenados hasta ese momento. Más información y detalles se pueden consultar en DELTA-T (1993b).

El sistema ha sido programado para que tome cada hora automáticamente las medidas de succión proporcionadas por los transductores en las parcelas experimentales BX2, BX6 y BX8.

Se utilizaron también unos registradores OMNIDATA para recoger los datos de los transductores de presión colocado en el nivel freático. En BX8 este aparato falló un mes después de ser instalado. Está programado para recoger la medida de niveles cada dos horas. El transductor de presión colocado en el piezómetro 765/6/12 recogió sus datos sin problemas (ver apartado 2.7.3.3).

Tratamiento de los datos

Los tensiómetros con manómetro de espiral miden potencial mátrico directamente en cb (1 Bar es igual a 1013 cm de agua). Para la interpretación de los datos se han utilizado potenciales por unidad de peso, expresados por tanto en cm de agua. La unidad correcta de expresión en el SI sería el m; pero cuando la succión es pequeña resulta más adecuado utilizar cm.

Los tensiómetros transductores miden mV. Como ya se ha dicho existe una relación lineal entre potencial mátrico y mV. La casa fabricante proporciona las rectas de calibración mV-hpa. Aproximadamente, 1 hpa es igual a 1 cm de agua. El registrador proporciona directamente las medidas en hpa.

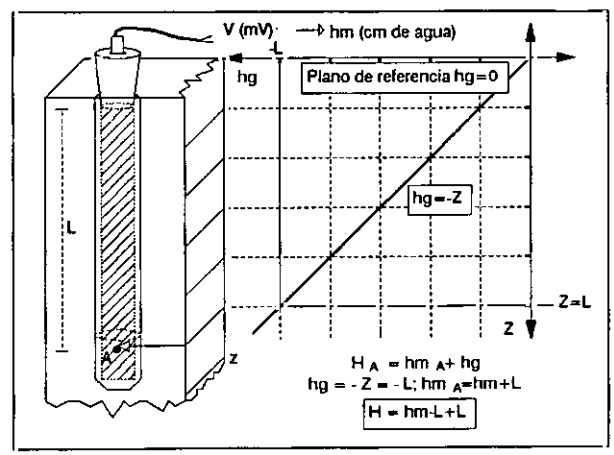


Fig. 6.15; Conversión del potencial mátrico en potencial total para el caso de un tensiómetro. Plano de referencia Z=0, tomado en la superficie del terreno.

En ambos casos lo que se obtiene es una medida de potencial mátrico, siempre negativo, al que hay que descontarle el efecto de la columna de agua que ejerce una presión positiva. Para estudiar flujo de agua, es necesario conocer el potencial total, y no solamente el mátrico. En la figura 6.15, se explica como se calculan potencial mátrico y total de la medida proporcionada por un tensiómetro.

Los tensiómetros de sondeo no llevan apenas columna de agua y la medida que proporcionan en mV puede ser linealmente relacionada con potencial mátrico.

La calibración de estos sensores fue realizada en el Institute of Hydrology. Se dispone de unas tablas en las que aparecen diversos valores de potencial en mm de Hg y mV normalizados (mV devueltos por el transductor / V aplicados al transductor). Se transformaron los mm de Hg en cm de agua y los mV se multiplicaron por 10.6, voltaje que suministra el logger a los transductores. Se ajustó una recta por mínimos cuadrados para cada uno de los transductores. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.1 (Para calcular el potencial total, sería necesario realizar una corrección idéntica a la que se realiza con los bloques de yeso, ver figura 6.8).

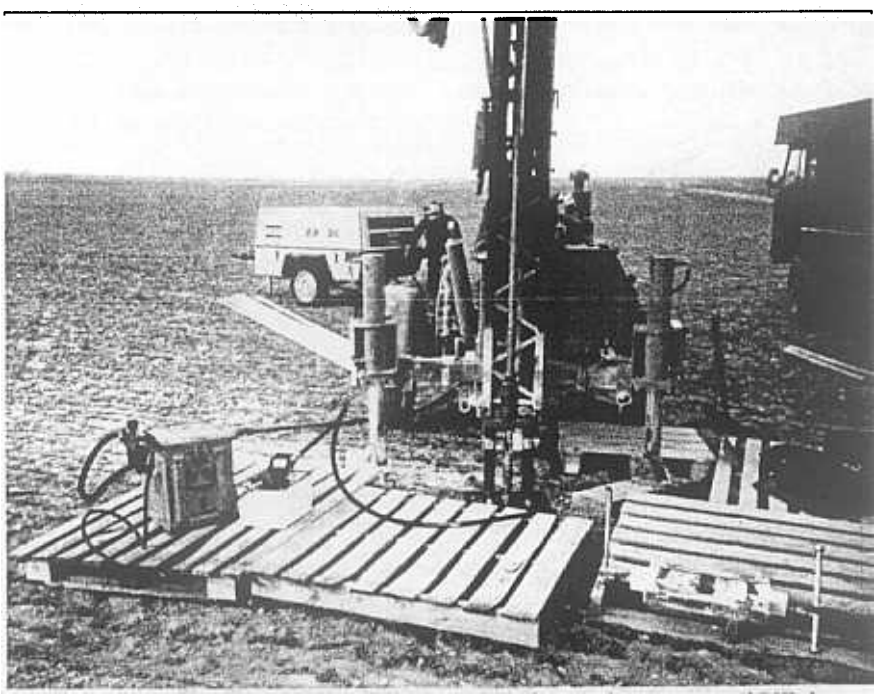
Tabla 6.1: Rectas de calibración de los transductores de presión del tensiómetro de sondeo. En todos los casos $r^2>0.999$.

Nº. TRANSDUCTOR	PROFUNDIDAD (en metros)	h_m=amV+b (cm)	
		a	b
28027	11,65	9,558846	12,88755
38903	10,65	9,821488	-35,6734
28028	9,65	9,586254	8,618539
38902	8,65	9,523791	-4,1597
38904	7,65	9,383934	77,15961
39489	6,65	9,419535	-0,51586
38901	5,65	9,44362	9,339088
39486	4,65	--	--
39488	3,65	9,512723	-0,34057
39487	2,65	9,522395	13,48097

6.3.2 MEDIDAS DE HUMEDAD

Con objeto de efectuar medidas de humedad natural en las parcelas experimentales BX2, BX6 y BX8, se instalaron tres tubos de acceso para medidas con de sonda de neutrones.

Los tubos fueron instalados hasta 560 cm en BX2 y 920 cm en BX6 y BX8. La perforación de los sondeos fue realizada por el personal del Instituto de Hidrología, con una pequeña máquina de rotación, y con diámetro de perforación de 4.5 cm. La máquina de perforación utilizada se muestra en la figura 6.16a.



campaña de sondeos de febrero de 1994 destinada a la realización de los sondeos ceso para las medidas de sonda de neutrones.

Como tubo de acceso se ha utilizado un tubo de aluminio de 4.45 mm de diámetro externo y 1.6 mm de espesor. En la figura 16b, se muestra el momento en el que se Introduce el tubo de acceso en la parcela experimental BX2. En extremo inferior del tubo se ajusta una pieza cónica (ver fig. 6.16c). Esta pieza es necesaria para poder extraer el tubo, con la fuente radiactiva, en el caso de que por una accidente la fuente se desprendiera de la sonda.

El tipo de sonda utilizada es la fabricada por el Instituto de Hidrología, y en la figura 5.2 se muestra precisamente un esquema de la misma.

Las medidas de sonda de neutrones fueron iniciadas en agosto de 1994. En un principio se realizaron con una frecuencia semanal, no obstante fue necesario reducir la frecuncia de las observaciones a una quincena y más tarde a un mes debido al elevado coste que supone la operación de la sonda.

Las medidas han sido tomadas en colaboración con La Universidad de Castilla-La Mancha y el Instituto de Hidrología, ambos grupos integrantes del mismo equipo de investigación en el que se enmarca este trabajo.

En los tubo de acceso situados en BX6 y BX8, las medidas se han tomado a las siguientes profundidades 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 230, 260, 290, 320, 360, 400, 440, 480, 520, 560, 600, 640, 680, 720, 760, 800, 840, 880 y 920 cm. En el tubo de acceso situado en BX2 las medidas se han tomado a 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 230, 260, 290, 320, 360, 400, 440, 480, 520, y 560 cm de profundidad.

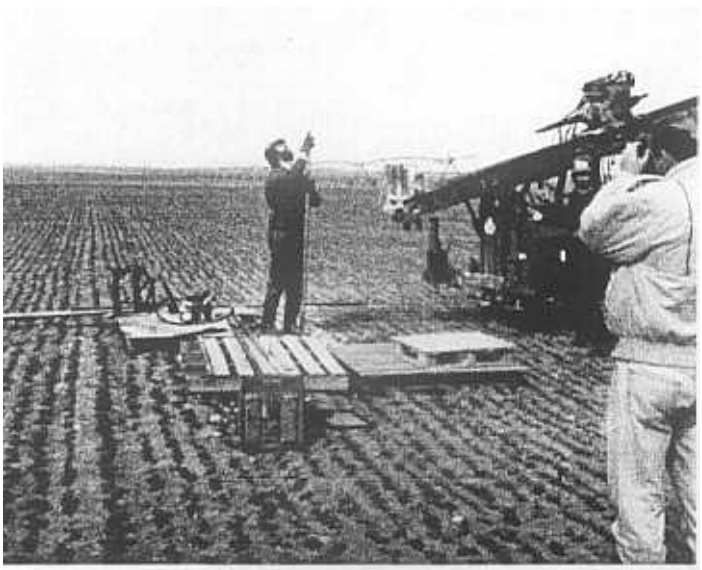


Fig. 6.16b; *Fotografía del momento en el que se introduce el tubo de acceso en el suelo en la parcela experimental BX2; A la derecha se distingue la máquina de perforación y el equipo utilizado para la realización de los sondeos.*



Fig 6.16c; Fotografía de detalle del tubo de acceso en el momento de la colocación de una pieza cónica metálica que va fijada en el extremo inferior.

6.3.3 LA INSTRUMENTACIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES

En la Tabla 6.2 se presenta un resumen de la instrumentación instalada en cada una de las parcelas experimentales.

En las figuras 6.3 y 6.4 se puede ver la distribución de las parcelas experimentales de Las Tiesas y Acequión.

En las figuras 6.17a y 6.18a, se puede ver el aspecto final de las parcelas BX2 y BX6.

En las figuras 6.17b y 6.18b se presenta la distribución final de los instrumentos instalados en las parcelas experimentales BX2 y BX6 que incluyen cada una tensiómetros transductores hasta 300 cm de profundidad y el tubo de acceso para medidas con sonda de neutrones, hasta 560 y 920 cm de profundidad respectivamente.

Tabla n.6.2: Resumen de los instrumentos instalados en cada una de las parcelas experimentales.

PARCELA EXPERIMENTAL	Bloques de yeso (número total de instrumentos, fecha de instalación y profundidad de cada sensor en cm).	Tensiómetros de espiral (número total de instrumentos, fecha de instalación y profundidad de cada sensor en cm).	Tensiómetros transductores (número total de instrumentos, fecha de instalación y profundidad de cada sensor en cm).
ACEQUION	Febrero de 1993 (50, 100, 150, 200, 250, 300) Noviembre de 1993 (50, 100, 150, 200, 250, 300, 420)	Mayo de 1993 (*38, *53, *70, *105) Septiembre de 1993 (45, 60, 70, 93) (*) Se quitan en Agosto de 1993 y se reinstalan en septiembre de 1993 a otra profundidad distinta.	No hay
LAS TIESAS	Febrero de 1993 (40, 70, 95, 115, 150) Noviembre de 1993 (40, 72, 100)	Mayo de 1993 (*38, *52, *68) Diciembre de 1993 (50, 60) (*) Se quitan en agosto de 1993 y se reinstalan en diciembre de 1993 a otra profundidad.	No hay
BX2	No hay	No hay	Octubre de 1994 (20, 40, 60, 100, 150, 200, 300)
BX6	No hay	No hay	Octubre de 1994 (20, 40, 60, 100, 150, 200, 300)
BX8	Octubre de 1994 (265, 365, 465, 565, 665, 965, 1065, 1165)	No hay	Octubre de 1994 (265, 365, 465, 565, 665, 765, 865, 965, 1065, 1165)
ALGIBARRO	No hay	No hay	No hay



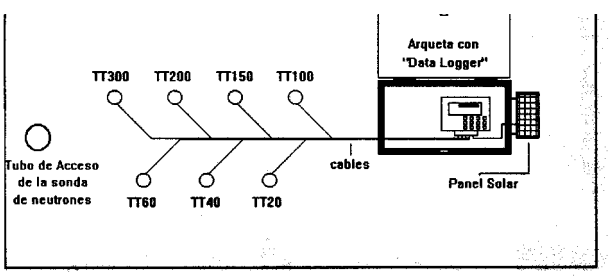
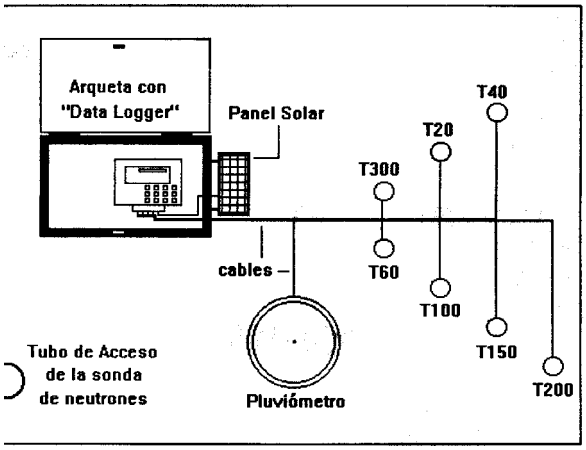


Fig. 6.17; *Disposición de los instrumentos en la parcela experimental BX2. En la fotografía puede apreciarse una batería de tensiómetros transductores al lado de la arqueta que contiene el sistema automático de adquisición de datos. Puede verse también, en un primer plano, el tubo de acceso para la sonda de neutrones. Para evitar la compactación del suelo en las zonas adyacentes a los instrumentos se ha dispuesto de unas estructuras metálicas y de madera que evitan el contacto directo con el mismo. Se puede ver también el esquema de la disposición de los instrumentos.*





ig. 6.18; Disposición de los instrumentos en la parcela cperimental BX6 localizada en un cultivo de maíz. En las otografías superiores pueden verse el tubo de acceso para la nda de neutrones y el pluviógrafo utilizados. En la fotografía ferior se puede ver la arqueta que contiene el sistema utomático de almacenamiento de datos y el proceso de recogida e datos por medio de un ordenador portátil. El dibujo presenta la disposición esquemática de todos los instrumentos stalados en esta parcela.

.3.4 TOMA MANUAL DE MUESTRAS

La toma de muestras ha sido realizada undamentalmente en las parcelas experimentales de lgibarro, Acequión, Tiesas, y BX8. Excepto en BX8, lónde se ha realizado un sondeo mecánico para ello, la oma de muestras ha sido manual.

En la tablas 6.3, 6.4 y 6.5 se pueden ver las que nuestras tomadas manualmente en las parcelas xperimentales de Las Tiesas, Acequión y Algibarro, la echa, y el destino dado a cada muestra. En las parcelas 3X2 y BX6 no se han tomado muestras.

Se han tomado ocasionalmente algunas muestras dicionales procedentes de otros puntos diferentes (tabla .6):

- Con objeto de estudiar la naturaleza de la costra alcárea se toman dos muestras alteradas en las vecindades e la parcela experimental de Las Tiesas, en un lugar donde costra se puede apreciar bastante bien.

- En el cauce seco del río Lezuza, dónde se pensó n principio ubicar una de las parcelas experimentales. l 25/10/91, se tomaron dos muestras inalteradas hasta 50 cm de profundidad. El tipo de terreno es exactamente gual que el que hay en Algibarro.

.3.4.1 PROCEDIMIENTO

Se han tomado dos tipos diferentes de muestras: lteradas e inalteradas.

Las muestras alteradas se han tomado mediante

una barrena helicoidal de 10 cm de diámetro de marca EIJKELKAMP, (Sample Ring Kit, model C). Consultar catálogo de EIJELKAMP (1990), pp.23. La descripción del juego de barrenas utilizado se realiza en el apartado 5.3, ver fig 5.18. Se ha procurado tomar siempre materiales litológicamente homogéneos. Las muestras se han preservado en bolsas de plástico en las que se ha anotado, fecha, lugar, y la profundidad. Las muestras alteradas se han numerado con numeración romana para distinguirlas de las muestras alteradas.

La toma de muestras inalteradas se ha efectuado de la siguiente forma:

Perforación hasta la profundidad deseada con la misma barrena helicoidal con la que se han tomado las muestras alteradas.

Una vez alcanzada la profundidad deseada se sustituye la cabeza helicoidal de la sarta de perforación por una cabeza cilíndrica con zapata cortante. En el interior se aloja un anillo cilíndrico, que es el que recoge la muestra (ver fig.5.18 b y c).

Se introduce la sarta de perforación, pero en lugar de a rotación, a percusión golpeando manualmente con una maza, hasta que el anillo cilíndrico interior se rellena de suelo.

Se colocan dos tapas de plástico en ambos extremos. Se envuelve la muestra en papel de parafina y se introduce en una bolsa de plástico donde permanece hasta el momento de su análisis.

Se etiquetan anotando la fecha, lugar, número de tomamuestras con el se han tomado y la profundidad. Una vez analizadas se les da una numeración definitiva.

Las muestras inalteradas se han empleado para dos fines en concreto:

- Obtener curvas de retención de los suelos de Barrax
- Investigar el contenido de humedad a la profundidad máxima que manualmente se ha podido alcanzar, o bien determinar la humedad residual natural de un suelo tras un verano muy seco (muestras M98, M99 y M111).

Tabla 6.3: Muestras tomadas manualmente en Las Tiesas

Fecha	Profundidad	Nº de Muestra	Análisis
4 de Mayo de 1993	0-30 cm	MXXXII	P
"	40-50 cm	MXXXIII	P
"	60-65 cm	MXXXIV	P
19 de Mayo de 1993	15-27 cm	M56	Gv
"	28-35 cm	M57	Pf
"	39-48 cm	M58	Gv
"	49-60 cm	M59	Pf
9 de Noviembre de 1993	25-33 cm	M80	Gv
"	40-48 cm	M81	Gv
9 de Septiembre de 1994	22-32 cm	M99	Gv(Hr)

Tabla 6.4: Muestras tomadas manualmente en el Acequión.

Fecha	Profundidad (cm)	N° de Muestra	Análisis	Fecha	Profundidad (cm)	N° de muestra	Análisis
3 de diciembre de 1992	(50 = 60)	M29	R	8 de noviembre de 1993	(50 = 58)	M62	Gv
"	(85 = 101)	M30	R	"	(90 = 96)	M63	Gv
"	(130 = 141)	M31	R	"	(115 = 125)	M64	Gv
"	(180 = 199)	M32	R	"	(145 = 155)	M65	Gv
"	(20 = 30)	M33	R	"	(170 = 179)	M66	Gv
"	(70 = 80)	M34	R	"	(210 = 220)	M67	Gv
"	(141 = 158)	M39	Gv	"	(251 = 271)	M68	Gv
"	(200 = 220)	M40	Gv	"	(308 = 317)	M69	Gv
"	(40 = 50)	M41	Gv	"	(345 = 355)	M70	Gv
"	(0 = 10)	MI	G	"	(0 = 5)	M82	Cv
"	(40 = 50)	MII	G	"	(10 = 20)	M83	Cv
"	(70 = 80)	MIII	G	"	(25 = 30)	M84	Cv
"	(75 = 85)	MIV	G	5 de diciembre de 1993	(51 = 61)	M71	Gv
"	(120 = 130)	MV	G	"	(90 = 98)	M72	Gv
"	(150 = 160)	MVI	G	"	(114 = 121)	M73	Gv
22 de febrero de 1993	(0 = 63)	MXX	G,S	"	(144 = 148)	M74	Gv
"	(63 = 100)	MXXI	G,S	"	(180 = 189)	M75	Gv
"	(100 = 140)	MXXII	G,S	"	(210 = 219)	M76	Gv
"	(140 = 160)	MXXIII	G,S	"	(250 = 258)	M77	Gv
"	(160 = 172)	MXXIV	G,S	"	(308 = 317)	M78	Gv
"	(172 = 184)	MXXV	G,S	"	(345 = ?)	M79	Gv
19 de abril de 1993	(190 = 230?)	MXXVI	G,S	4 de mayo de 1994	(20 = 29)	M85	Gv
"	(230 = 240)	MXXVII	G,S	"	(45 = 53)	M86	Gv
"	(247 = 255)	MXXVII	G,S	"	(72 = 82)	M87	Gv
"	(255 = 290)	MXXIX	G,S	"	(97 = 107)	M88	Gv
"	(290 = 310)	MXXX	G,S	"	(130 = 139)	M89	Gv
"	(330 = 344)	MXXXI	G,S	"	(157 = 165)	M90	Gv
18 de mayo de 1993	(45 = 52)	M43	Gv	"	(195 = 206)	M91	Gv
"	(52 = 60)	M44	Pf	"	(247 = 25?)	M92	Gv
"	(98 = 104)	M45	Gv	"	(290 = 300)	M93	Gv
"	(103 = 109)	M46	Pf	"	(346 = 352)	M94	Gv
"	(143 = 153)	M47	Gv	"	(390 = 400)	M95	Gv
"	(153 = 158)	M48	Pf	4 de mayo de 1994	(15 = 25)	M100	Gv
"	(214 = 223)	M49	Gv	"	(38 = 46)	M101	Gv
"	(229 = 235)	M50	Pf	"	(82 = 93)	M102	Gv
"	(252 = 260)	M51	Gv	"	(117 = 128)	M103	Gv
"	(262 = 272)	M52	Pf	"	(158 = 168)	M104	Gv
"	(290 = 305)	M53	Gv	"	(182 = 192)	M105	Gv
"	(315 = 324)	M54	Pf	"	(214 = 224)	M106	Gv
"	(0 = 10)	M55	Gv	"	(248 = 258)	M107	Gv
"	(324 = ?)	M60	Gv	"	(290 = 300)	M108	Gv
				"	(327 = 337)	M109	Gv
				"	(360 = 368)	M110	Gv
				"	(15 = 20)	M111	Gv,Hr

* Leyenda en la tabla 6.5

Tabla 6.5; Muestras tomadas manualmente en Algibarro y en parcelas de muestreo ocasional.

Fecha	Profundidad (cm)	N° de Muestra	Análisis
25 de octubre de 1991	(45 = 55)	M3	R
"	(75 = 82)	M4	R
"	(130 = 140)	M5	R
"	(150 = 160)	M6	R
"	(10 = 20)	M8	R
"	(170 = 180)	M7	R
16 de febrero de 1992	(5 = 23)	M9	R
"	(9 = 69)	M10	Gv
"	(65 = 75)	M11	Gv
"	(100 = 125)	M12	Gv
"	(150 = 157)	M13	Gv
"	(200 = 207)	M14	Gv
"	(244 = 251)	M15	Gv
"	(296 = 306)	M16	Gv
"	(324 = 331)	M17	Gv
"	(16 = 24)	M18	R
3 de mayo de 1992	(30 = 35)	M19	Gv
"	(65 = 77)	M20	Gv
"	(100 = 110)	M21	Gv
"	(135 = 148)	M22	Gv
"	(170 = 177)	M23	Gv
"	(215 = 223)	M24	Gv
"	(250 = 257)	M25	Gv
"	(275 = 280)	M26	Gv
"	(300 = 307)	M27	Gv
"	(330 = 335)	M28	Gv
Fecha	**Profundidad (cm)**	**N° de Muestra**	**Análisis**
3 de diciembre de 1992	(58 = ?)	M35	R,Gv
"	(75 = ?)	M36	R,Gv
"	(77 = 86)	M37	R,Gv
"	(100 = 110)	M38	R,Gv
"	(58 = 68)	M42	Gv
"	(139 = 146)	M61	Gv
"	(0 = 10)	MVII	G
"	(60 = 76)	MVIII	G
"	(65 = 75)	MIX	G
5 de junio de 1994	(10 = 18)	M96	Gv
"	(40 = 49)	M97	Gv
9 de septiembre de 1994	(26 = 32)	M98	Gv,Hr

R = Camara de Richards

Gv = Gravimetría

Pf = Papel de Filtro

G = Granulometría

S = Sedimentación

Cv = Control Volumétrico

Hr = Humedad Residual

Fecha/Lugar	Profundidad (cm)	N° de Muestra	Análisis
25 de octubre de 1991 (Lezuza)	(50 = 70)	M1	R
"	(100 = 120)	M2	R
4 de mayo de 1992 (Cantera Las Tiesas)	120	MXXXV	D
"	220	MXXXVI	D
Sondeo 765/5/4	(0 = 20)	MXXXVII	P
"	(30 = 50)	MXXXVIII	P
"	(85 = 90)	MXXXIX	P

R = Camara de Richards

D = Difractograma

P = Permeabilidad

Se han empleado dos tomamuestras exactos, pero de diferente tamaño, ya se pensaran destinar las muestras a un análisis gravimétrico de contenido de humedad o en cámara de Richards, para curvas de retención de un suelo.

Para las muestras destinadas a medir el contenido de humedad natural se ha utilizado una cabeza tomamuestras capaz de alojar en su interior un anillo cilíndrico de 5 cm de altura por 5 cm de diámetro.

Para las muestras con las que se iba a realizar un análisis en Cámara de Richards se ha utilizado una cabeza tomamuestras capaz de alojar en su interior un anillo cilíndrico de 2.5 cm de altura por 5 cm de diámetro. Como se vio en trabajos anteriores, Cfr. Casado (1991), muestras de 5 cm de longitud, deben permanecer tiempos mayores en el interior de la cámara de Richards, ya que tardan tiempos mayores en alcanzar el estado de equilibrio.

Con las muestras alteradas se han obtenido las distribuciones granulómetricas de los suelos de las parcelas experimentales. Dos muestras se han analizado con un difractómetro para analizar la composición mineralógica básica. Una de las muestras fue tomada en la costra calcárea, en una cantera muy próxima a las parcelas experimentales BX8 y Las Tiesas. Otra de las muestras fue tomado en un punto muy próximo a las parcelas BX2 y BX6.

6.3.5 TOMA MECÁNICA DE MUESTRAS: EJECUCIÓN DE UN SONDEO GEOTÉCNICO HASTA LA ZONA SATURADA en BX8

Como ya se ha dicho, con la doble finalidad de tomar muestras inalteradas hasta la zona saturada e instalar el tensiómetro múltiple, denominado tensiómetro de sondeo, se perforó un sondeo hasta 14 metros de profundidad en octubre de 1993.

En la figura 6.19a se puede apreciar una fotografía tomada durante la ejecución del sondeo. En la figura 6.1 se puede localizar el punto, (parcela experimental BX8), en el que se llevó a cabo la perforación. Se seleccionó este punto por los siguientes motivos:

- Es una zona deprimida, por lo que es de suponer que será una zona de acumulación de agua e infiltración.
- La costra aparece carstificada. Sería imposible perforar la costra con el sistema de perforación que se ha empleado.
- El punto es vecino a la parcela experimental de Las Tiesas.



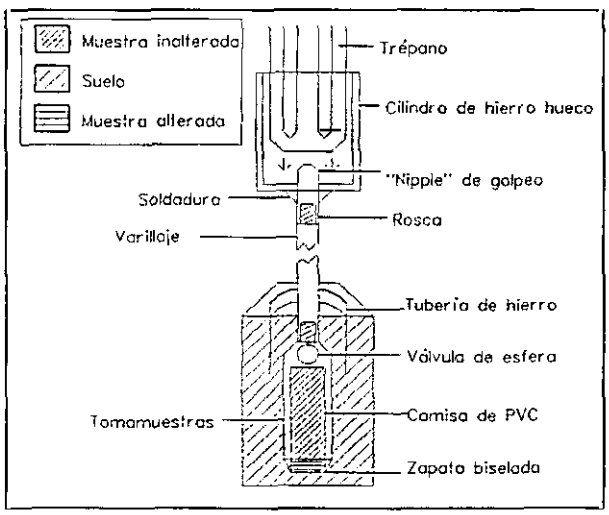


Fig. 6.19; Fotografía de la máquina de perforación utilizada durante la ejecución del sondeo y esquema explicativo del sistema utilizado.

La única máquina disponible para poder realizar este sondeo fue una máquina de percusión, por lo que hubo que adaptarse a este requisito. Se impuso como condición indispensable la no utilización de agua y el uso de un tomamuestras especial para la toma de muestra no alterada. El sondeo fue perforado por un método "no estándar", ya que hubo que adaptarse al tipo de máquina disponible y al suelo durísimo donde se tomaron las muestras. Se perforó tomando testigo continuo.

En el anexo 6, se añade a modo de curiosidad el pliego de condiciones del sondeo realizado. Hay que decir que la praxis fue totalmente diferente de la teoría por las razones que se dan a continuación. Aunque se intentaron seguir las ideas de Puy Huarte (1981) relativas a la toma de muestras no alteradas, no fue del todo posible ya que:

Los tomamuestras de pared delgada son muy adecuados para suelos blandos. En la zona dónde se perforó el sondeo el terreno es durísimo. Los técnicos de la empresa de sondeos ISSA (INDUSTRIAL DE SONDEOS S.A.) en donde se adquirió el material recomendaron, la utilización de un tomamuestras de pared gruesa y bipartido (tipo GMPV). Un tomamuestras de pared fina y con ensamble de teja se habría aplastado.

Cuando se toma muestra con un tomamuestra de pared gruesa, se alteran especialmente los bordes de la muestra, pero el interior permanece inalterado, por eso se considera perfectamente válida la toma de muestra realizada con un tomamuestras de pared gruesa.

La toma de muestra se ha realizado por golpeo. La compactación ha sido mínima, ya que se han controlado perfectamente los centímetros de tomamuestras introducidos en el terreno, y la cantidad de muestra recuperada. Siempre se intento en primer lugar recuperar la muestra por el método de hinca, sin golpear. Fue posible recuperar las muestras arcillosas por este método.

La mayor parte de las muestras se tomaron a percusión.

Puede por tanto que algunas muestras de menor consistencia hayan visto alterada su estructura primitiva, pero hay que reconocer que tomar una muestra inalterada en un suelo duro es casi imposible.

No obstante, antes de iniciar el sondeo se contactó con un experto en la realización de sondeos geotécnicos, y reconociendo las limitaciones de la técnica, consideró que las muestras estarían aceptablemente tomadas, siempre y cuando no se introdujera agua en la perforación, y el golpeteo que se diera fuera el necesario para introducir el tomamuestras en el terreno.

6.3.5.1 MATERIAL UTILIZADO

Como ya se ha dicho se utilizó una máquina de sondeos a percusión, que se puede ver puede ver en la figura 6.19.

Para perforar se empleó el propio tomamuestras

En la figura 6.20, se puede ver un esquema de dicho tomamuestras con las dimensiones del mismo. Es un tomamuestras GMPV de pared gruesa seccionado, y con camisa interior de PVC. Consta de cuatro cuerpos. El primero de ellos es casi todo macizo, presenta una rosca acoplable al varillaje, y una válvula de bola, para permitir la salida del aire atrapado en el interior del tomamuestras. El segundo y tercer cuerpo se acoplan entre sí mediante una rosca. Son huecos y están preparados para alojar una camisa de PVC en su interior. El cuarto cuerpo también es hueco, y su extremo termina con una zapata biselada de acero inoxidable y templado, que es lo que actúa como elemento de corte.

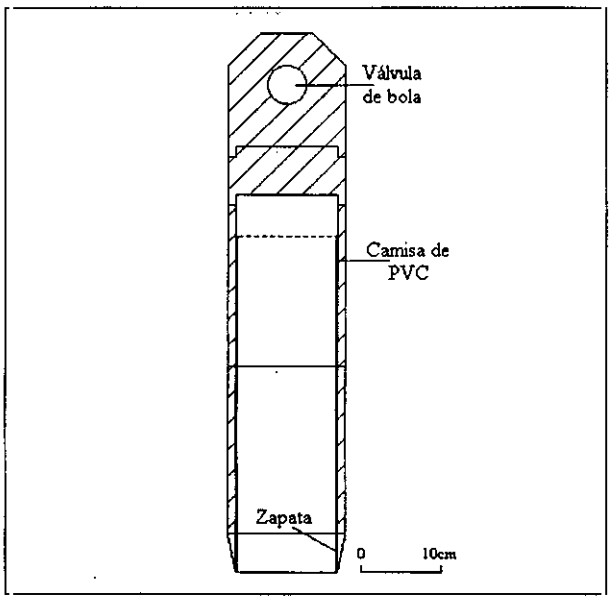


Fig. 6.20: Esquema del tomamuestra empleado en la perforación de un sondeo profundo en la parcela BX8. Tipo de tomamuestra GMPV de pared gruesa, seccionado.

La zapata aunque hueca, no tiene camisa en su interior, por lo que recoge los 5 cm primeros de terreno, que son los que están más alterados o pueden proceder de material caído de las paredes del sondeo.

Fue necesario encargar una zapata especial para tomar muestra. En un principio se intentó tomar muestra con la zapata estándar que ISSA vende acoplada al tomamuestras. Esta zapata presenta un diámetro interno exacto al diámetro del tomamuestras.

Se observó que al ser exactamente iguales el diámetro del material que la zapata cortaba y el diámetro del tomamuestras el material no entraba con facilidad en la camisa de PVC. Los rozamientos eran tales, que se llegaba a fundir el PVC, en el interior del tomamuestras, siendo imposible extraer muestras.

Se encargó a ISSA que fabricara una zapata especial cuyo diámetro de corte fuera 1 mm inferior al diámetro de la camisa interior. De esta manera se pudo extraer muestra sin ningún problema.

El instrumento para limpiar y ensanchar, fue también el propio tomamuestras. Se modificó una zapata estándar añadiéndosele un cordón de soldadura. Introduciendo el tomamuestras con esta zapata acoplada, se ensancha el sondeo y el tomamuestras recoge de esta forma los materiales del fondo y los procedentes de ensanchar el sondeo.

El varillaje: Barras de 1,5 metros de longitud y 6 centímetros de diámetro, con roscas machihembradas en ambos extremos. Acoplables al tomamuestras.

Como instrumentos de golpeo: se emplearon dos trépanos diferentes. En un principio se utilizó un trépano de 300 kg especialmente fabricado para este sondeo. Carecía de suficiente peso para introducir el tomamuestras en el suelo, por lo que fue necesario utilizar otro de mayor peso. No fue posible fabricar otro trépano, así que fue necesario utilizar uno estándar de los que se usan para perforar sondeos para agua. El de menor peso disponible fue uno de 3000 kg.

Punto de golpeo: Se golpeó sobre un "nipple" de golpeo acoplable al varillaje. Para evitar que durante la percusión el trépano bandeara se soldó al propio nipple un cilindro de hierro hueco y de mayor diámetro que el trépano a través del cual se efectuó el golpeteo. (ver figura 6.19).

6.3.5.2 PERFORACIÓN

Se comenzó a perforar el 10 de octubre de 1993. Se concluyó la perforación el 11 de noviembre de 1993. Se entubó el primer metro de la perforación con tubería de hierro de 11 cm de diámetro hasta 1 m de profundidad y además se clavó un anillo de 50 cm de diámetro, rodeando el sondeo, para evitar que el material de los bordes del sondeo volviera a caer en el interior del mismo. La metodología seguida fue la siguiente:

- Se introduce el tomamuestras en el suelo golpeando con el trépano. Si el suelo es blando, apoyando simplemente el trépano el tomamuestras se hinca en el suelo.

- Se extrae el tomamuestras del suelo, junto con toda la sarta de la perforación. Se desenrosca del varillaje, y se extrae la camisa de PVC, contenida en el interior del tomamuestras, ya rellena de muestra.

- Se colocan unas tapas de goma en ambos extremos de la muestras. Se enrolla cinta de embalar alrededor de las tapas y a continuación se parafinan los extremos de la muestra.

- Se anota, profundidades entre las que se ha tomado la muestra, se le asigna un número de muestra, y se marca con un rotulador indeleble toda esta información. Se marca también la polaridad de la muestra, cuál es el extremo superior y cual es el inferior.

- Se desenrrosca la zapata no estándar que se utiliza para tomar muestras, y se coloca en su lugar la zapata con cordón de soldadura. Se introduce de nuevo el tomamuestras y toda la sarta para ensanchar y limpiar hasta el fondo de la perforación.

- Se eleva la sarta de la perforación, se vuelve a desenrroscar el tomamuestras, y se vacía el tomamuestras del material procedente del ensanche y limpieza del sondeo. Se coloca la zapata no estándar, y

se introduce en el tomamuestras una camisa nueva de PVC.

- Al final de todo este proceso se entubó el sondeo con tubería de PVC de 8 cm de diámetro. Se utilizaron tubos de 2 m de longitud. Las uniones entre uno y otro se realizaron con pegamento especial para PVC. Se colapsaron los dos metros inferiores del sondeo, por lo que la profundidad final del sondeo es de 12 m. El sondeo permaneció entubado de esta manera hasta la instalación del "tensiómetro de sondeo". El piezómetro fue protegido con una arqueta de diseño exacto a la utilizada para proteger los bloques de yeso en las parcelas de Las Tiesas y Acequión.

Se comenzó un sondeo a 40 cm del sondeo definitivo. Debido a los problemas mencionados en el anterior epígrafe relacionados con el uso de una zapata "estándar", se partió por completo un tomamuestras y quedó en el fondo del sondeo, cuando iban perforados 3 m. Fue necesario ingeniar un mejor sistema de perforación y comenzar de nuevo.

Tras encargar una zapata con un diámetro de corte diferente, se pudo completar una perforación hasta 14 m de profundidad.

6.3.5.3 MUESTRAS TOMADAS

En el anexo n.6, en el parte diario de la perforación se detallan todas las muestras tomadas y un somera descripción litológica de los materiales que constituyen cada muestra. En la figura 7.66 se ha dibujado la columna litológica del sondeo.

Se tomaron un total de 36 muestras inalteradas. No siempre se rellenó por completo el tomamuestras. Cuando el horizonte a muestrear es muy duro, el rozamiento existente entre la pared del sondeo y el tomamuestras es tal que hay que aplicarle demasiados golpes con el trépano para conseguir introducir el tomamuestras por completo en el suelo. Se corre el riesgo de partir el tomamuestras.

En todo momento mientras se estaba tomando muestra, se vigiló que el golpeo del trépano fuera acompañado de un descenso de la sarta de perforación. Si se observaba que tras unos 5 minutos de golpeo la sarta de perforación no se movía, se procedía a la extracción del tomamuestras. Es por esto que la mayor parte de las muestras tomadas tienen una longitud de 30 ó 35 cm, y no los 50 cm que corresponden a la longitud total del tomamuestras. En cualquier caso, para no compactar la muestra la longitud máxima de muestra que se tomó en aquellos tramos más blandos, y en los que el tomamuestras se introdujo fácilmente en el suelo fue de 45 cm. En las muestras que fueron especialmente difíciles de tomar se incluye el tiempo que se tardó en introducir el tomamuestras en el suelo, y la cadencia de golpeo del trépano.

La zapata, admite en su interior una muestra de 5 cm de longitud. Lógicamente, al no tener camisa interior esta muestra es alterada. En algunos casos, corresponde a los primeros cm de muestra, que son los más alterados, si la limpieza del sondeo no se ha efectuado correctamente. En otros, son restos de material derrumbado de las paredes del sondeo.

Se procuró siempre que durante el proceso de limpieza de la perforación el tomamuestras se introdujera unos cuantos cm de más en el suelo para asegurarnos que el fondo del sondeo quedaba perfectamente limpio. En general no hubo desprendimientos de las paredes del sondeo, y el trozo de muestra que recupera la zapata se conservó como muestra alterada en bolsas de plástico, perfectamente numeradas.

En alguna ocasión no fue posible recuperar muestra inalterada debido a la dureza del tramo, por lo que toda la muestras se recuperó como inalterada, tal es el caso de la muestra BX8 (MXII).

6.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

6.4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad en las muestras inalteradas se ha realizado mediante gravimetría (ver apartado 5.1.1). En las tablas 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6 se indican las muestras que han sido sometidas a este procedimiento.

Los análisis se han realizado en tres laboratorios diferentes: el laboratorio de suelos del IRYDA, dónde se han realizado conjuntamente las curvas de retención, el Laboratorio de Geotecnia de La Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Santander, y el Laboratorio de Suelos de la Facultad de CC. Geológicas.

Merece la pena comentar que las muestras tomadas el día 16/2/92 en Algibarro fueron secadas a 60ºC hasta conseguir un peso constante, ya que no fue posible alcanzar los 105ºC debido a problemas técnicos de la estufa. Las demás muestras han sido secadas siempre a 105ºC. Los resultados obtenidos se comentan en el siguiente capítulo.

6.4.2 CALIBRACIÓN DE LOS BLOQUES DE YESO

La calibración de los bloques de yeso ha sido efectuada mediante dos técnicas diferentes. La primera, es el control del potencial total con soluciones salinas, técnica mediante la cual se han obtenido las curvas de retención de los bloques de yeso. La segunda mediante la técnica del papel de filtro, mediante la cual se han establecido las relaciones succión-ohmios, succión-medida del humidímetro, y curva de retención del bloque de yeso. Ambos métodos han sido ya explicados en el los apartados 5.2.2 y 5.2.5.1.

Aunque lo idóneo es realizar una calibración individual de cada bloque, la escasez de medios para realizar algunos análisis imposibilitó ésto. Una vez instalados parte de los bloques fue posible disponer de una balanza adecuada y de una estufa de desecación para

uso exclusivo, por lo que se realizó una calibración estándar. No obstante, los bloque presentan una textura casi idéntica por lo que no parece que los errores que se vayan a cometer sean muy grandes.

6.4.2.1 CALIBRADO MEDIANTE LA TÉCNICA DEL PAPEL DE FILTRO.

En un principio se pensó realizar la calibración de los bloques de yeso de acuerdo con la metodología propuesta por Aitchison y Richards, 1965, mediante una cámara de Richards. Pero dado que el laboratorio en el cual, hasta el momento se habían estado realizando los análisis, (laboratorio de Suelos, del IRYDA), fue desmontado, se consideró la técnica del papel de filtro como una posible alternativa.

Para corroborar la validez del procedimiento se consultó al Dc.J.Sáez, del Laboratorio de Geotecnia los del CEDEX. Según comunicación personal, la técnica es adecuada, pero realizó las siguientes precisiones. Siempre y cuando existe contacto con el papel de filtro se estima el potencial mátrico exclusivamente. Si el equilibrio entre el papel de filtro y el bloque se consigue sin contacto directo, en un ambiente cerrado, (ver ecuación 5.13), se obtiene conjuntamente potencial osmótico y mátrico.

El material empleado ha sido el siguiente: una balanza de precisión de hasta 0.01 gr para el pesado de los bloques de yeso. Una balanza de precisión 0.0001 gr para el peso de los papeles de filtro. Papel de filtro marca Schleicher and Schuell número 589, Banda Blanca. Este papel de filtro fue recalibrado por Sorenson et alt., (1989), p. 9. Más detalles sobre la técnica del papel de filtro pueden encontrarse en el capítulo dedicado a instrumentación, (apartado n.5.2.2). La manipulación del papel de filtro se ha realizado siempre con pinzas.

En este procedimiento se mantenido contacto directo entre el bloque y el papel de filtro, con lo que no se ha medido potencial osmótico. El método seguido se explica a continuación:

- En un primer lugar se sellan con silicona las juntas entre el material poroso del bloque y los cables, para evitar la circulación preferencial de fluido. Se marca el bloque con cinta aislante de colores para facilitar su identificación.
- Peso del bloque para conocer el peso seco.
- Saturación del bloque de yeso, mediante la inmersión de la parte inferior del mismo en un par de dedos de agua desionizada. Se dejan los bloques en el agua, hasta que la medida obtenida con el humidímetro marca un valor constante.Una vez saturado el bloque se pesa para averiguar el peso a saturación.
- Se toma un anillo de papel de filtro numerado para facilitar su identificación, y se dobla de tal manera que quede reducido a una banda de una anchura algo inferior a la altura del bloque de yeso, y cuya longitud le permita rodear por completo dicho bloque. Una vez adaptado de esta forma, se pesa el papel de filtro para conocer el peso seco del mismo.
- Se toma otro anillo de papel, y se dobla de tal manera que forme una funda protectora del papel de filtro que nos va a servir para realizar las determinaciones de succión.
- Tras permitir que el bloque pierda algo de humedad, se coloca alrededor de bloque, la banda de papel de filtro introducida dentro del papel protector, y se asegura un firme contacto. Se coloca cinta aislante alrededor del bloque de yeso. Se envuelve la cabeza del bloque en una bolsa de plástico muy apretada. Se introducen ahora cable y cabeza en una bolsa de plástico en la que se hace el vacío. Se introduce todo el conjunto en una tercera bolsa.
- Se utiliza una estufa de desecación para conseguir una temperatura constante. La temperatura utilizada ha sido de 22°C en unos casos y de 25ªC en otros. La variación de la temperatura en el interior de la estufa observada ha sido de hasta 1°C.
- Se deja transcurrir un tiempo de una semana (cfr.Sorenson et alt. 1989, p.6) y pasado este tiempo se pesan bloque y papel de filtro, y se mide el bloque. Para esta experiencia se han utilizado las dos clases de instrumentos de la figura 6.7..

Conociendo el peso seco y húmedo del papel de filtro se puede determinar el contenido de humedad en el papel de filtro, utilizando las ecuaciones propuestas por Sorenson et alt. 1989, p.9, (ver ecuaciones 5.10 y 5.11).

Como se ha pesado el bloque seco, se puede hallar el contenido volumétrico del bloque de yeso para distintos potenciales mátricos.

Como se ha ido midiendo con dos tipos de instrumentos diferentes, que son los que se utilizan en el campo para medir los bloques de yeso se puede establecer una relación también entre potencial mátrico y la medidas de resistividad o las proporcionadas por el humidímetro.

Se ha repetido el proceso hasta siete veces, con lo que se han obtenido 7 puntos de la curva de retención de los bloques. Este procedimiento se ha utilizado en cinco bloques. Con los resultados se han obtenido las curvas de retención de los bloques en desorción.

Resultados obtenidos

Se comentarán a continuación los resultados obtenidos, ya que se reserva el siguiente capítulo para comentar los resultados relativos a movimiento del agua en las distintas parcelas experimentales.

Se utilizaron 5 bloques, identificados por los colores amarillo-verde, gris amarillo, rojo, amarillo-rojo y gris-blanco. En la tabla 6.6, se presentan los resultados obtenidos con el procedimiento descrito en el apartado anterior.

Tabla 6.6: Resultados obtenidos en la calibración de los bloques de yeso por el método del papel de filtro, con medida exclusiva de succión.

	Medida del humidímetro (% humedad en peso)	Medida del Puente en Ohmios	gr de agua/gr de papel	Contenido volumétrico en bloque	Succión (pF)	Succión cm de agua
	28,5	--	0,377739	0,066777	3,506232	3207,985
	0,5	>100000	0,153951	0,010804	4,835528	68474,39
	93	105	0,692097	0,522192	2,149374	141,0503
BLOQUE A-V	87	190	0,60789	0,331376	2,206635	160,9292
	81	290	0,562064	0,250809	2,411339	257,8332
	76	390	0,514246	0,1889	2,69538	495,8834
	69	560	0,451883	0,137167	3,065816	1163,633
	66	615	0,4559	0,119536	3,041956	1101,428
	19	6140	0,352215	0,039817	3,657844	4548,246
	2	75600	0,24069	0,012679	4,320302	20907,49
BLOQUE G-A	88	138	0,617013	0,371413	2,200431	158,6468
	88	180	0,592709	0,298479	2,216958	164,8003
	81	290	0,520338	0,203495	2,659192	456,239
	74	419	0,471212	0,149218	2,950998	893,3018
	82	280	0,519729	0,210135	2,662809	460,0537
	61	660	0,444487	0,112607	3,109745	1287,492
	47	1420	0,404449	0,074444	3,347574	2226,253
BLOQUE ROJO	5	34600	0,216211	0,021863	4,465707	29221,8
	0,5	>100000	0,119531	0,007446	5,039984	109643,9
	78,5	336	0,549414	0,218616	2,48648	306,5353
	78,5	329	0,496484	0,170276	2,800883	632,2412
	57	930	0,463559	0,115999	2,996459	991,8788
	13,5	9600	0,347422	0,021863	3,68631	4856,356
	3	58200	0,275923	-0,00443	4,111015	12912,64
BLOQUE A-R	88,5	150	0,61505	0,393319	2,201766	159,135
	89	169	0,597274	0,342435	2,213853	163,6264
	83,5	250	0,534743	0,244906	2,573625	374,6497
	74	412	0,488218	0,159251	2,849988	707,9261

Una vez obtenidos estos resultados, se tomaron las relaciones succión-contenido volumétrico, succión-medida del humidímetro, succión-ohmios, medidas del humidímetro-medidas del puente, de cuatro bloques conjuntamente y se realizaron los siguientes tipos de curvas:

- Curva de calibración medida del humidímetro (grado de saturación) y succión (cm).
- Curva de calibración medida del puente de impedancias (ohmios) y succión (cm).
- Curva de correlación medidas del humidímetro (grado de saturación) y medidas del puente de impedancias (ohmios).
- Curva de retención del bloque de yeso. Las curva de retención realizadas para los bloques de yeso se comentará en el apartado dedicado a curvas de retención.

Se desecharon los resultados proporcionados por el quinto bloque, rojo-blanco, ya que se obtuvieron resultados anómalos y casualmente se observaron colonias de algas en su papel de filtro. Se piensa que los errores cometidos con este bloque puedan estar asociados a los crecimientos algares que se observaron en el papel de filtro.

Se ha observado también que el papel de filtro es muy poco sensible para succiones superiores a pF 4.1, ya que cambios de humedad de 0.01% en el papel provocan cambios en la succión de miles de cm.

- Curva de calibración medida del humidímetro (grado de saturación) y succión (cm).

Para realizar esta curva se han considerado todas las medidas obtenidas, incluso las succiones superiores a pF 4.1. Se ha hecho de esta forma ya que era necesario obtener al menos una estimación aproximada de la succión cuando las medidas del humidímetro son pequeñas.

Se ha realizado un ajuste por mínimos cuadrados para 25 funciones diferentes, incluyendo polinómicas de 4 y 5° grado. Se ha utilizado como base, los resultados obtenidos succión y grado de saturación medida con el humidímetro, que se pueden ver en la tabla 6.6. Se ha

realizado el ajuste de dos maneras diferentes:

1 - Considerando succiones mayores y menores de 4.1 pF

2 - Considerando sólo succiones menores de 4.1 pF.

La curva que mejor se ajusta, (ver fig.6.21), al primer caso es una exponencial de la forma

Succión = a b^X X^c ; siendo X, la medida del humidímetro.

Para el segundo caso el mejor ajuste se consigue con una polinómica de 3º grado con un r^2 de 0.987. La función exponencial ha dado un ajuste prácticamente igual de bueno con un r^2 de 0.983. Dado que es mucho más simple y parece más realista, se ha considerado exclusivamente como válida esta segunda..

En la tabla número 6.7 se dan los valores de a, b y c de ambas curvas.

Tabla 6.7: Resultados obtenidos con un ajuste de mínimos cuadrados para los valores de succión-grado de saturación en un bloque de yeso. Se presentan sólo las funciones que han dado un mejor ajuste.

	TODO EL RANGO DE SUCCIÓN	SUCCIONES INFERIORES A 4.1
	Succión = $a.b^X.X^c$	Succión = $a + bX + cX^2$
a	46490,52	6410,571
b	0,964622	-114,907
c	-0,447883	0,504204
r	0,94	0,98

En la figura 6.21 se muestra gráficamente ambas curvas. Se puede apreciar que son prácticamente iguales para medidas del humidímetro superiores a 30. A partir de este valor, la succión crece en la polinómica de una manera muy poco realista ya que para medidas del humidímetro próximas a cero, la succión es inferior a 7000 cm de agua. Aunque la curva exponencial se ha ajustado teniendo como base los resultados proporcionados por el método del papel de filtro, y este es poco preciso para pF superior a 4.1, se ha utilizado como curva de calibración definitiva, para transformar las medidas del humidímetro en succión. Es necesario tener en cuenta, por tanto, que para medidas del humidímetro, (expresadas en grado de humedad), inferiores a 10% las medidas de succión serán aproximadas, sin embargo más realistas que si se utilizase la función polinómica.

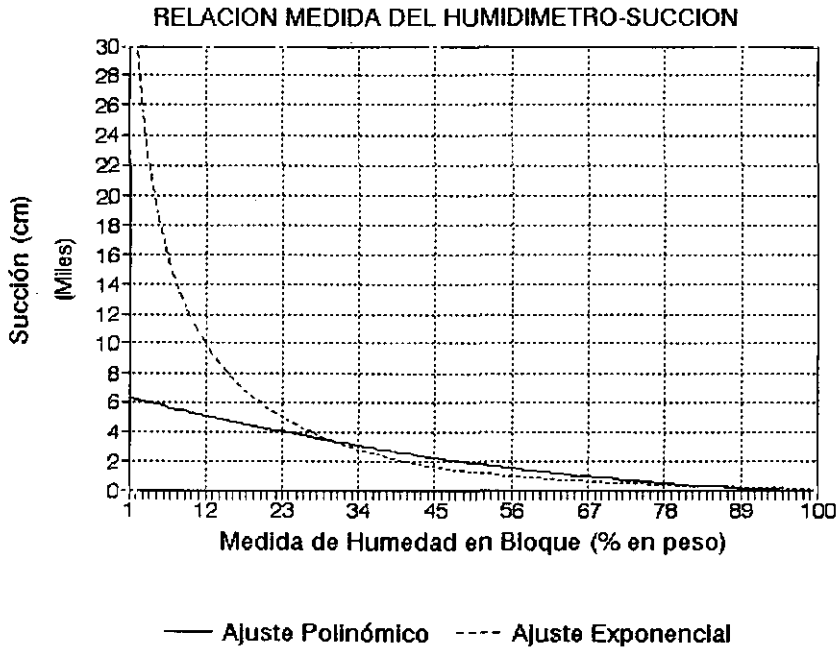


Fig. 6.21; Curva de relación grado de saturación en el bloque de yeso, medido con el humidímetro-succión en los bloques de yeso (cm).

- Curva de calibración succión - Impedancia (omhios)

De acuerdo con los resultados proporcionados por el método del papel de filtro (ver tabla 6.6), se ha establecido también una relación succión-impedancia (ohmios).

El medidor de impedancia utilizado es impreciso a resistencias muy grandes. Dispone de tres escalas de medida, la primera de 0 a 1000 ohmios. La segunda de 0 a 10000 ohmios y la tercera de 0 a 100000 ohmios. Cuando se mide hay que seleccionar primero la escala adecuada, y después leer la medida en una regleta graduada. Si se utiliza la primera escala, las divisiones de la regleta van de dos en dos ohmios. En la segunda escala las divisiones de la regleta son diez veces mayores, por tanto las divisiones van de 20 en 20 ohmios. En la tercera escala las divisiones de la regleta deben ser multiplicadas por 100, por tanto irán de 200 en 200 ohmios.

Si a esto se le suma la imprecisión del método del papel de filtro para succiones mayores, todo parece indicar que la utilización de las medidas muy grandes de resistencia no es adecuado, para la calibración.

Para ajustar una curva por mínimos cuadrados se han utilizado todos los valores sabiendo que los superiores pueden no ser exactos y de la misma forma que en el caso anterior, se han ajustado 25 funciones diferentes, incluidas polinómicas de tercer y cuarto grado.

El mejor ajuste en este caso lo ha dado una polinómica de quinto grado cuyo r^2 es igual a 0.98 y una exponencial con r^2 igual a 0.95. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.8 y en la figura 6.22 se puede ver la curva. Aunque aparentemente es mejor el ajuste polinómico, viene dado por una curva sinusoidal, que lo que hace es pasar por cada uno de los datos medidos, con una interpolación muy poco realista. Es por esto que se considera sólo como válido el ajuste exponencial.

- Curva de correlación medidas del humidímetro (grado de saturación, M%)-medida del puente de Impedancias (ohmios).

Para comparar la correlación existente entre las medidas del puente de impedancia, (ohmios) y las medidas del humidímetro, (grado de saturación), se tomaron 120 medidas tomadas en bloques de yeso simultáneamente con los dos instrumentos. Se observa que el coeficiente de correlación es superior a 0.9

- Curva de retención del bloque de yeso

Este tema se trata en el siguiente apartado, dedicado a la elaboración de las curvas de retención.

Tabla 6.8; Resultados obtenidos con un ajuste de mínimos cuadrados para los valores de succión-impedancia.

Succión	$y = ax^b$
a	4,5
b	0,79
r	0,96

6.4.3 CURVAS DE RETENCIÓN

Como ya se ha anticipado, se han determinado dos clases de curvas de retención: las curvas de retención de los bloques de yeso, y las curvas de retención de muestras de suelos.

Las curvas de retención de los bloques de yeso se han obtenido combinando dos técnicas: el método del papel de filtro y el control de la succión mediante soluciones salinas.

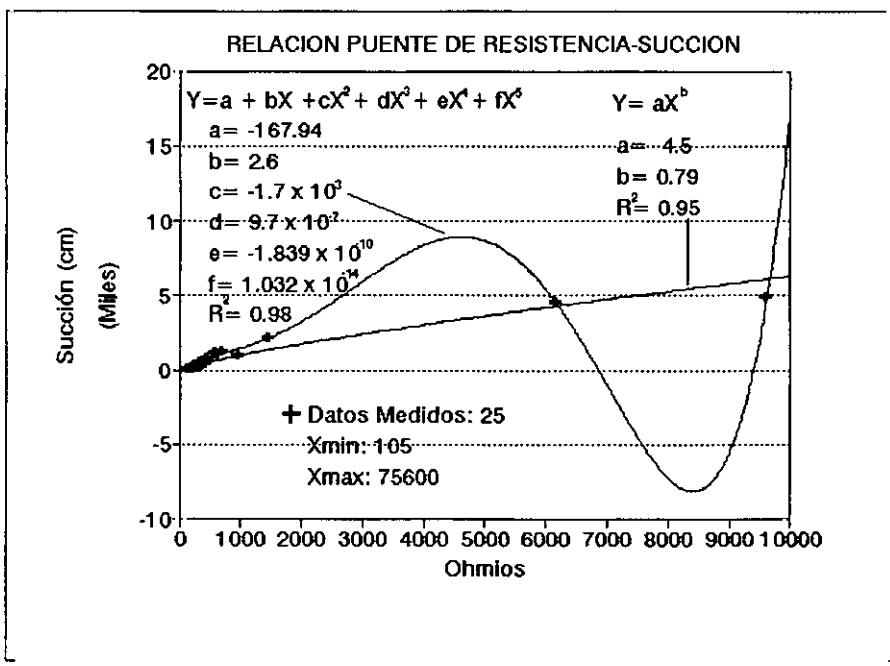


Fig. 6.22; Curvas de relación medida proporcionada por el puente de Impedancias-succión, en los bloques de yeso. Aunque el ajuste polinómico parece ser mejor, resulta más correcto utilizar la ecuación exponencial.

Las curvas de retención de las muestras se han elaborado con una cámara de Richards, y los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del IRYDA. La técnica del papel de filtro fue utilizada alternativamente, ya que dicho laboratorio fue desmontado definitivamente en mayo de 1993. Se aplicó también el método de Clapp y Hornberger (1984), (apartado 4.5.3).

6.4.3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS.

Se tomaron como ya se ha dicho, 20 muestras inalteradas con objeto de determinar las curvas de retención correspondientes a los perfiles en los que se tomaron muestras inalteradas para medir el contenido de humedad natural. Se han empleado dos métodos diferentes como se va a ver a continuación.

6.4.3.1. 1 Cámara de Richards

Los análisis de la muestras tomadas con este objetivo, se realizaron mediante una membrana de presión, ó cámara de Richards, (ver apartado 5.2.4) que permite obtener diferentes valores de succión y sus correspondientes contenidos volumétricos de agua para una muestra de suelo.

Pesando la muestra húmeda, la muestra seca y la muestra después de haber sido sometida a diferentes presiones se obtiene varios puntos de la relación contenido volumétrico de humedad y succión, esto es la curva de retención.

En esta experiencia se han empleado dos cámaras diferentes, una con placa porosa capaz de soportar presiones de hasta 1000 Kpa (ver figura 5.14a), y otra de hasta 15000 Kpa (ver figura 5.14b). La primera se emplea para los valores de succión inferiores (100, 316.22 y 1000 cm de agua) y la segunda para los superiores (15848.93 cm de agua).

El **procedimiento seguido** fue el siguiente. Se tomaron 20 muestras inalteradas con objeto de realizar las curvas de retención, con anillos cilíndricos de 2.5 cm de longitud por 5 cm de diámetro.

Los análisis de las muestras tomadas han sido llevados a cabo el Laboratorio de Suelos del IRYDA, bajo la dirección de la Dra. Carmen Pou, directora de dicho laboratorio.

Se ha determinado exclusivamente el lazo de desorción de cada curva. Esto quiere decir que partiendo de una muestra saturada se ha ido sometiendo progresivamente a succiones mayores. El procedimiento de análisis seguido se va a describe a continuación:

Se conservan introducidas en los anillos con las que se tomaron, y se protegen con un papel de filtro para evitar para evitar la pérdida de material. Se pesan para determinar su contenido de humedad natural y se colocan en una bandeja con agua, permitiendo que sólo la parte inferior de la muestra esté sumergida. Se dejan en este estado una semana para conseguir su saturación (0 cm de succión).

Se introducen en la cámara a presiones correspondientes a 100, 316.22, 1000, 15848.9 cm de succión; como resultado de las mismas las muestras ceden una determinada cantidad de agua a través de la placa porosa que conforma la base de la cámara. Se dejan las muestras dos días para cada una de las presiones a las que son sometidas y se pesan antes de ser sometidas a presión superior.

Por último se seca la muestra en un horno a 105°C durante 24 horas, y se pesa.

De la diferencia de pesada entre la muestra seca y la muestra saturada se obtiene el contenido volumétrico de agua que contiene la muestra saturada. Dela diferencia de pesada entre la muestra seca y la muestra sometida a una determinada presión de obtiene el contenido volumétrico de agua que contiene una muestra para una determinada succión.

Tras estos ensayos, se obtienen 5 puntos de la curva de retención. Se conoce el contenido volumétrico de humedad para saturación, 100, 316.22, 1000, y 15848.9 cm de agua. Con estos 5 puntos hay que ajustar ahora una curva.

van Genuchten (1978) propone una ecuación empírica para determinar las curvas de retención de un suelo (tal y como se vio en el apartado 4.5.2 del capítulo 4). Elabora un programa de ordenador "SOHYP", que facilita los cálculos. En función de unos pocos puntos de succión-contenido volumétrico de humedad medidos en laboratorio, ajusta los parámetros (α, θ_r, m y n) de la ecuación (4.63). Se puede introducir la humedad residual (θ_r), si es que se ha medido directamente, esto es optativo; si no, es calculada por el programa. El autor del programa considera, no obstante, importante que sea medido directamente en el suelo del que se desee realizar la curva.

El programa permite utilizar la aproximación de Mualem (1976) o la de Burdine (1953); según utilice la primera o la segunda m es igual a (1-1/n) ó igual a (2-1/n). Los resultados obtenidos se discuten en el capítulo 7.

6.4.3.1.2 Procedimiento de Clapp y Hornberger (1978). Análisis de tamaños de partículas por tamizado y sedimentación.

Como se explicó en el capítulo de fundamentos teóricos, la curva de retención de un suelo es en cierto modo el resultado de la distribución y tamaño de los poros de dicho suelo. Por tanto, existe una relación entre la textura y la estructura de un suelo y su curva de retención.

Un método simple para determinar las curvas de retención de un suelo, cuando no se dispone de algo mejor, fue propuesto por Clapp y Hornberger (1978). Basándose en las curvas de distribución granulométrica de las partículas de un suelo, clasifican 1446 muestras de suelos según la clasificación de suelos propuesta por la ISSS (ver capítulo 4 apartado 4.2.1). Para cada uno de los distintos tipos de suelos (sand, sandy loam, clay...etc.), calculan los parámetros de la ecuación de Campbell

(1974), ecuación 4.56, (ver capítulo 4 apartado n.4.5.3) para determinar las curvas de retención de un suelo: "b" y contenido volumétrico a saturación de cada muestra de suelo. Determinan la media y las desviaciones estándar de cada uno de los grupos de suelo y resumen los resultados en un tabla.

Como no fue posible realizar las curvas de retención mediante un Richards de todos los perfiles de suelos muestreados, se suplieron las curvas de retención utilizando este método. Fue preciso tomar muestras de suelos alterados y realizar las curvas de distribuciones granulométricas en un laboratorio. A cada tipo de suelo se les asignó la media de los parámetros calculados por estos autores, y la curva de retención se estimó utilizando la ecuación de Campbell (1974).

Los análisis por tamizados y sedimentación fueron realizados por el laboratorio de Geotecnia del Departamento de Ingeniería del Terreno, de la Universidad de Cantabria (Santander).

Tamizado y Sedimentación

Para obtener las distribuciones granulométricas de las diferentes muestras de suelo destinadas a tal fin se hace pasar una determinada cantidad de material disgregado por una malla de tamices de abertura variable. En este caso se han utilizado unos 300 gr de muestra aproximadamente.

Se ha utilizado la serie de tamices estándar ASTM (American Standart for Testing Materials). Las aberturas utilizadas han sido las de $1^{1/2}$"(38.1mm) 1"(25.4 mm), $^{3/4}$"(19.1 mm), $^{1/2}$"(12.7 mm), $^{3/8}$"(9.5 mm), $^{1/4}$"(12.7 mm), N°4 (4.76 mm), N°10 (2 mm), N°16 (4.76 mm), N°20 (0.840 mm), N°30 (0.590 mm), N°40 (0.420 mm), N°50 (0.297 mm), N°80, N°100 (0.149 mm), N°200 (0.074 mm).

Dado que en la mayor parte de las muestras analizadas existe un elevado porcentaje de muestra inferior al tamiz 200, para determinar la curva granulométrica completa ha sido necesario recurrir a análisis de sedimentación complementarios. El tamaño de partícula con este procedimiento se determina midiendo la velocidad de sedimentación de las partículas en el seno de un fluido.

6.4.3.1.3 Método del papel de filtro

Otro de los procedimientos alternativos utilizados para realizar las curvas de retención tras ser desmontado el laboratorio que realizaba este tipo de análisis, es el método del papel de filtro. Se ha utilizado papel de filtro de marca Schleicher and Schuell n.589, Banda Blanca. Este papel de filtro fue recalibrado por Sorenson et alt., (1989), p 9. Se han determinado las curvas de retención en desorción de algunas de las muestras inalteradas.

Básicamente se ha seguido el procedimiento descrito por Sorenson et alt. (1989), que utiliza este procedimiento para medir la succión natural de muestras inalteradas.

Se ha hecho lo siguiente:

- Se coloca un papel de filtro en la base de cada muestra, sujeto con una goma. Las muestras se conservan intactas e introducidas en el anillo de acero con el que se tomaron. Se saturan, introduciendo la base de la muestra en un dedo de agua desionizada. Se pesa la muestra saturada.

- Se dobla el papel de filtro en cuatro partes. Se pesa en una balanza de precisión. Se toman dos discos de papel de filtro de cualquier marca, entre los que se colocará el papel de filtro para su protección, y se pesan en una balanza de precisión.

- Se coloca el papel de filtro entre los dos discos, y estos en contacto con una de las caras de la muestra. Se colocan dos tapas de plástico en ambos extremos de la muestra y se protege todo con un film de plástico. Se introduce todo en una bolsa de este mismo material.

- Se dejan equilibrar una semana papel y muestra. Pasado este tiempo, se extrae el papel de filtro y se pesan muestra y papel por separado.

- Este proceso se ha repetido siete u ocho veces. Entre una y otra vez se deja que la muestra pierda algo de humedad, dejándolo una hora a temperatura ambiente.

- Por último se secan las muestras a 105°C, tras lo que se pesan.

- Utilizando las ecuaciones (5.10) y (5.11), conociendo el contenido de humedad en el papel de filtro en función de la masa, se puede determinar la succión en papel y muestra. De la diferencia de pesada entre la muestra seca y la muestra a una determinada succión se puede conocer el contenido de humedad de la muestra.

La curva de retención ha sido ajustada con el programa SOHYP de van Genuchten (1978), tal y como se ha explicado en el epígrafe anterior.

- Por último se secan las muestras a 105°C, tras lo que se pesan.

6.4.3.1.4Curvas de Retención de la Parcela Experimental de Acequión.

Se tomaron 6 muestras inalteradas a unos 1000 m de la parcela definitiva en la que se instalaran (M33 20-30 cm, M29 50-60 cm, M34 70-80 cm, M30 85-101 cm, M31 130-141 cm, M32 180-199 cm) en anillos de 2.5 cm de longitud, expresamente para realizar las curvas de retención de esta parcela. Se tomaron muestras hasta 2 m de profundidad. Se complementó esta tanda de muestras con la toma de 6 muestras alteradas (0-10 cm, 40-50 cm, 70-80 cm, 120-130 cm y 150-160 cm).

Se realizaron análisis en **cámara de Richards** de estas seis muestras. Con el «SOHYP», se ajustaron las curvas de retención a los puntos de succión-contenido volumétrico de humedad de cada muestra.

Con las **muestras alteradas** se realizaron análisis granulométricos. Se observa que entre el 100% y el 70% atraviesa el tamiz de menor tamaño utilizado. En las muestras que se tomaron con posterioridad se realizaron análisis por tamizado y sedimentación.

Con posterioridad fue necesario mover la parcela experimental unos 1000 m. Se tomó una nueva tanda de 12 alteradas muestras en suelos muy semejantes a los primeros pero por esas mismas fechas el laboratorio del IRYDA fue desmontado, y ya no fue posible obtener las curvas de retención por este procedimiento.

Se tomaron **otras 12 muestras alteradas** (0-63 cm, 63-100 cm, 100-140 cm, 160-172 cm, 172-184 cm, 190-230 cm, 247-255 cm, 255-290 cm, 290-310 cm, y 330-344 cm) entre los días 22/2/93 y 19/4/93 con objeto de realizar análisis de **tamizado y sedimentación.** Puesto que no fue posible realizar las curvas de retención por el primero de los procedimientos descritos se intentó aplicar el de Clapp y Hornberger (1978).

El 18/5/93 se toman siete muestras inalteradas entre 52-60 cm, 103-109 cm, 153-158 cm, 229-235 cm, 262-272 cm, 315-324 cm, 324-332 cm. Se tomó una muestra representativa de cada una de las secuencias litológicas existentes en la parcela experimental. Se realizaron las curvas de retención mediante el procedimiento del **papel de filtro.** Los resultados obtenidos se comentan en el capítulo 7, dedicado a la interpretación de resultados.

6.4.3.1.5 Curvas de Retención de la Parcela Experimental de Las Tiesas

Se tomaron 3 muestras alteradas en las Tiesas, a las profundidades de 0-30 cm, 40-50 cm y 60-65 cm.

Ante la imposibilidad de efectuar más análisis en el laboratorio de suelos del IRYDA, se optó por emplear el método propuesto por **Clapp y Hornberger (1978).**

El día 18/5/93 se tomaron dos muestras inalteradas correspondientes a los dos horizontes litológicos diferenciados aquí. Las curvas de retención se realizaron mediante el método del **papel de filtro.** Los resultados obtenidos se discuten en el capítulo 7

6.4.3.1.6 Curvas de Retención de la Parcela Experimental de Algibarro

S tomaron 8 muestras inalteradas el día 25/11/91, destinadas a ser analizadas en un Richards, procurando que cada muestra procediera de un horizonte litológico diferentes.

Se tomaron M8 10-20 cm, M3 45-55 cm , M4 75-82 cm, M5 130-140 cm, M6 150-160 cm, M7 170-180 cm, M9 15-23 cm y M18 16-24 cm. Con el SOHYP se ajustaron curvas de retención a cada una de estas muestras, y los resultados se pueden ver en el capítulo 7.

Se tomaron 3 muestras alteradas (0-10 cm, 60-75 cm y 110-120 cm). Se realizaron análisis granulométricos, y se observó que casi entre el 20 y el 50% de los tamaños eran inferiores al tamiz de menor tamaño utilizado (N°200). No fue posible por tanto clasificar estas muestras según la ISSS. No se dispone de muestra adicional para realizar los análisis de sedimentación.

6.4.3.1.7 Curvas de Retención de la Parcela Experimental BX8

En la parcela BX8 como ya se ha dicho se perforó un sondeo profundo con toma de testigo continuo. Para obtener las curvas de retención del terreno en esta parcela se enviaron 6 muestras al laboratorio de suelos del CEDEX. Con las mismas muestras con fue determinada también la conductividad hidráulica saturada. Las curvas de retención fueron realizadas utilizando el procediemiento del control del potencial mediante soluciones salinas.

6.4.3.2 CURVAS DE RETENCIÓN DE LOS BLOQUES DE YESO.

Para poder determinar si existían grandes diferencias estructurales entre unos bloques y otros, se elaboraron las curvas de retención de una serie de bloques de yeso por el método del **papel de filtro**. En el apartado (6.4.4.1) se ha descrito ya el procedimiento seguido.

Se utilizaron 5 bloques de yeso (rojo, amarillo-gris, amarillo, amarillos-rojo y blanco-rojo), y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.6. El papel de filtro de uno de los bloques utilizados (blanco-rojo), se colonizó de algas y los resultados fueron muy erráticos, motivo por el cual no se consideraron.

Los datos de succión y contenido volumétrico de humedad fueron ajustados a una curva de Van Genuchten (1978) mediante el programa SOHYP.

Para elaborar la curva estándar de un bloque de yeso, se calibraron de nuevo una serie de bloques utilizando soluciones de ClNa, para controlar la succión. Dado que el método del papel de filtro no es muy exacto para pF superiores a 4.2, se pretendía con esto, obtener algunos valores algo más fiables que los arrojados por el método del papel de filtro para valores altos de succión.

6.4.3.2.1 Control de la succión mediante una solución salina

Esta técnica empleada para determinar las curvas de retención de los bloques de yeso se ha utilizado en virtud de las sugerencia hechas por J.Sáez (1992), según una comunicación personal. Aparece descrita en Aitchinson y Richards (1965), aunque su uso persigue otro fin y es el de realizar las curvas de retención de muestras de suelos. Estos autores utilizan soluciones de ácido sulfúrico, mientras que aquí se ha empleado una disolución de NaCl. En el capítulo 5 se proporciona la información básica de este procedimiento. La relación entre composición de la disolución y succión, la proporcionó J. Sáez (1992), comunicación personal. Ver fig.5.16.

A los datos proporcionados por J.Sáez (1992) se ajustaron 3 curvas por el método de los mínimos cuadrados para una temperatura de 20, 25 y 30°C. La curva obtenida parece ser una parabólica cuya ecuación es

$Y = a \cdot b^X \cdot X^c$, dónde X e Y son respectivamente succión en bares y gr de ClNa por 1000 gr de agua, y a, b, y c constantes.

Las constantes para cada temperatura obtenidas son:

	20ºC	25ºC	30ºC
a	0.806475	0.820194	0,833765
b	1.001135	1.001183	1.001235
c	0.975151	0.975096	0.974781

Aunque con una solución salina se miden conjuntamente potencial mátrico y osmótico, el potencial osmótico puede ser considerado despreciable frente al mátrico, es por esto que los valores obtenidos se han considerado como succiones. El potencial osmótico debe ser considerado en medios muy salinos y con diferentes concentraciones en unos y otros puntos.

Se han utilizado 6 bloques para este proceso. Los punto de succión medidos han sido 1126, 28839 cm de agua y 8887, 39723 cm de agua, a una tª de 20 ºC. No todos los bloques fueron sometidos a todas las succiones, sino tres a las dos primeras y otros tres a las dos segundas.

El método es el siguiente:

- Se prepara una solución de agua desionizada y NaCl.

- Se vierte la disolución en una campana de desecación de las habitualmente utilizadas en los laboratorios. Se coloca un soporte de cerámica con múltiples taladros en la parte media de la campana. Los bloques se disponen en dicho soporte, sin que por supuesto entren en contacto con la disolución.

- Se coloca vaselina en los bordes de la campana, y de su tapa, y se cierra herméticamente. Uno de los orificios de la campana lleva una llave de paso que posibilita el que se pueda hacer el vacío. Con una bomba manual se extrae el aire del interior de la campana.

- Se dejan equilibrar los bloques con la atmósfera a temperatura constante durante al menos 20 días. Por la ecuación de la figura 5.14, se puede determinar una relación contenido de humedad en el bloque y la succión en bares. Los bares se transforman en cm de agua.

- El proceso ha sido realizado «en desorción». Esto quiere decir que el bloque de yeso ha sido sometido progresivamente a soluciones salinas cada vez más concentradas, y por tanto a potenciales cada vez más pequeños (esto es cada vez más negativos).

- Hay que resaltar que el control de la temperatura puede no haber sido adecuado, ya que no se disponía de cámara de temperatura constante. Las campanas se han mantenido en un laboratorio en el que la temperatura presenta pequeñas oscilaciones, y sumergidas en agua para minimizar dichas oscilaciones. Las desviaciones observadas, (controladas con un termómetro) han sido de ±1ºC.

6.4.3.2.2 Resultados obtenidos

Para obtener las curvas de retención se han ajustado los parámetros de van Genuchten (1978) utilizando el modelo SOHYP, a los datos. Como datos de partida se utilizaron los datos experimentales, la humedad residual, (que es practicamente igual a 0), y la humedad a saturación.

En un principio se utilizó la variante del modelo "SOHYP" que calcula la humedad residual. Pero no alcanzó convergencia, y el propio programa sugirió la utilización de otra variante que utiliza la humedad residual como uno de los datos de partida, y sugirió igualar

Tabla 6.10; Curvas de retención de los bloques de yeso. Parámetros de van Genuchten (1978) ajustados a los datos experimentales. Los datos utilizados sólo son los obtenidos con la técnica del papel de filtro.

BLOQUE	VARIABLE	VALOR	DESV. ESTAND.	T-STUDENT
	ALFA	.00616	.0019	3.25
A-V	N	1.98	.4294	4.62
	θ_r	0.5530		
	ALFA	.00844	.0015	5.45
G-A	N	1.65	.0960	17.19
	θ_r	0.4960		
	ALFA	.01726	.0049	3.52
R	N	1.51	.0638	23.72
	θ_r	0.5540		
	ALFA	.00755	.0008	9.30
A-R	N	1.69	.0658	25.69
	θ_r	0.5615		
	ALFA	.00802	.0010	7.98
TODOS	N	1.69	.0653	25.82
	θ_r	0.5300		

a cero dicha humedad residual. Concuerda perfectamente esto con los datos experimentales, ya que la humedad residual de los bloques también ha sido medida en el laboratorio. Para efectuar esta medida se saturaron los bloques y se pesaron. Se dejaron desaturar a temperatura ambiente y se volvieron a pesar. Se ha visto que en los 30 bloques en los que se ha medido θ_r es muy próxima a 0.001.

La **humedad a saturación** en los bloques fue medida en otros 30 bloques. Para las curvas individuales de los bloques A-G, R, A-V, A-R, se utilizaron las propias, y para la curva estándar se utilizó la media de la saturación medida en 30 bloques. Los resultados del ajuste se presentan en la tabla 6.10.

Como resultado se han obtenido 5 curvas de retención, correspondientes a cuatro bloques de yeso, y una quinta la media de todos ellos. Parece que los parámetros de van Genuchten (1978) obtenidos (ver tabla 6.10), son muy semejantes para todos los bloques, constituyendo la excepción el parámatro alfa del bloque rojo, indicando un valor de entrada de aire algo inferior al resto. No obstante, las diferencias encontradas no son muy significativas, por lo que podría resultar aceptable el realizar una calibración estándar.

En la figura 6.23 se presentan dos curvas de retención; La primera, utilizando todo el rango de succión medido con el papel de filtro; la segunda, utilizando el método del papel de filtro para pF inferiores a 4.1, y el control de la succión mediante una solución salina para los pF superiores.

Se puede apreciar que el valor de entrada de aire en los bloques oscila entre 14 y 125 cm (el parámetro alfa

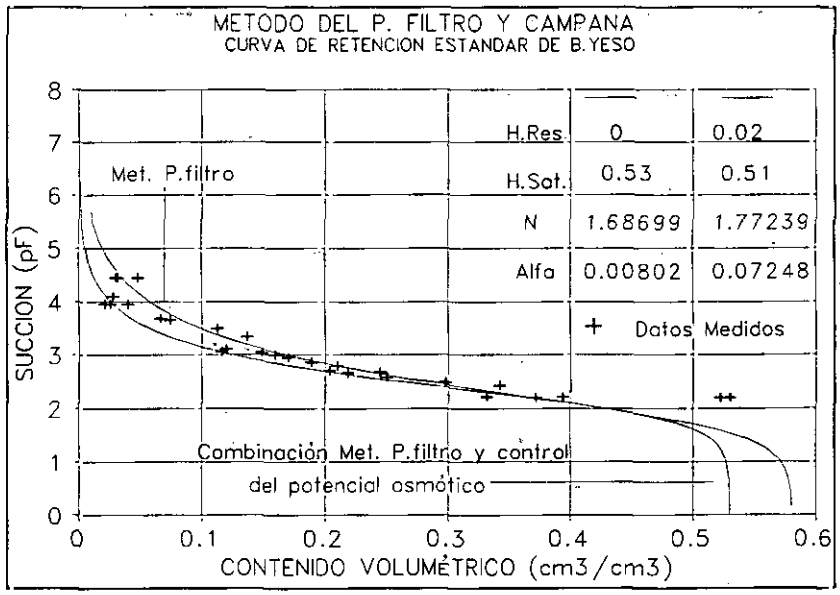


Fig. 6.23; Curvas de retención de los bloques de yeso.

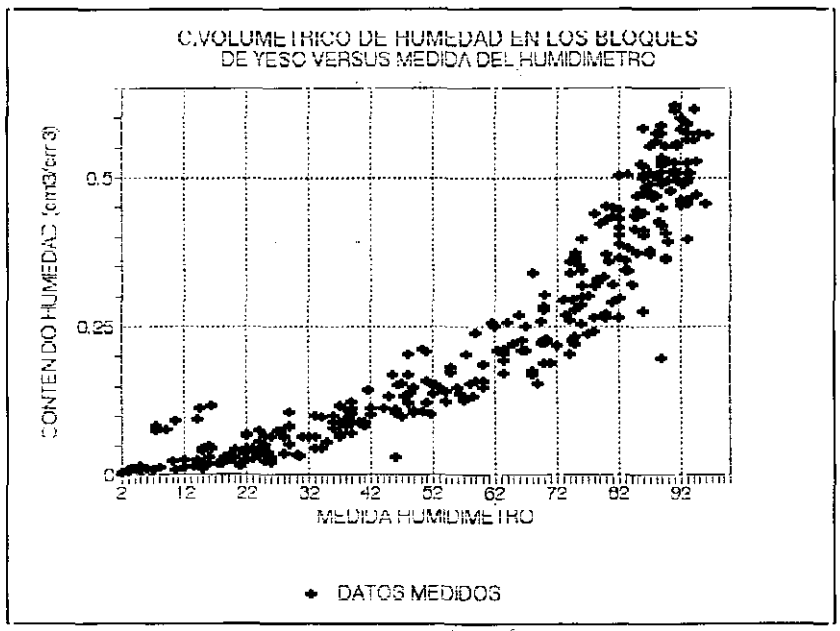


Fig. 6.24; Relación entre el contenido volumétrico de humedad en los bloques de yeso y la medida proporcionada por el humidímetro.

da una idea de dicho valor), y el parámetro N oscila entre 1.5 y 1.99. Parece que la textura de todos los bloques es muy semejante, y no parece por tanto que sea poco preciso utilizar una curva de calibración estándar para todos ellos. Las mayores diferencias se han encontrado en el contenido de humedad a saturación, que difiere considerablemente de unos bloques a otros. Carece esto de importacia, ya que por un lado las succiones medidas en campo con los bloques rara vez son menores de 100 cm de succión, esto quiere decir que estamos muy por encima del valor de entrada de aire.

Para succiones de 10000 cm se vuelven a apreciar diferencias entre unas curvas y otras, si bien no son excesivas. Esto indica que la precisión en las medidas de succión será óptima entre unos 100 y 10000 cm de succión aproximadamente, aceptable para succiones mayores de 10000 cm y escasa entre 0 a 100 cm.

En la figura 6.23 puede verse que las curvas obtenidas son ambas muy parecidas, y que las medidas de los valores altos de succión efectuados en campanas de desecación no mejoran sustancialmente los resultados.

Otro problema adicional, es la dispersión en las medidas de los bloques. Para tener una idea de la misma se realizaron 180 medidas de contenido volumetrico de humedad en el bloque versus medida del humidímetro. En la figura 6.24 se muestran los resultados obtenidos.

Se observa en esta figura, que la dispersión de las medidas de los bloques aumenta con el contenido de humedad. Son más precisos en el tramo inferior de la curva, y menos en el tramo superior. Por encima de 70, cambios en contenido volumétrico de humedad en el bloque apenas se ven reflejados en cambios en la medida del humidímetro. El contenido volumétrico de humedad aproximado a este valor es de unos 0.35 cm^3/cm^3. Para este valor la succión (ver figura 6.21) es de unos 100 cm de agua. Esto quiere decir que el rango óptimo de medida en cuanto a precisión se encuentra por encima de pF 2.

Se puede concluir observando que la medida de los bloques de yeso, incluso utilizando una calibración estándar es adecuada entre 100 y 10000 cm de succión.

6.4.4 ANÁLISIS DE PERMEABILIDAD

Se realizaron seis determinaciones de K saturada en muestras inalteradas tomadas en la parcelas experimental BX8. Las determinaciones de la conductividad hidráulica saturada se llevaron a cabo en el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX . Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6.11.

Tabla 6.11: Datos de conductividad hidráulica saturada de muestras procedentes del sondeo profundo realizado en BX8. Análisis realizados por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Resultados del permeámetro de carga constante ensayados en las muestras MXXXVIII, y MXXXIX.

MUESTRA SONDEO BX8	PROFUNDIDA DE LA MUESTRA	Ks (cm/s)	Ks (cm/d)	LITOLOGÍA
M-10	(182-195 cm)	5.6x10-5	5	Arcillas y Calizas
M-20	(586-599 cm)	1.8x10-5	1.5	Marga blanca
M-21	(634-647 cm)	2.4x10-5	2	Arcilla roja
M-22	(699-712 cm)	1.2x10-6	0.1	Arcilla roja
M-25	(851-864 cm)	6.4x10-6	0.5	Marga blanca
M-28	(1006-1019 cm)	4.9x10-6	0.42	Marga blanca

6.4.5 CALIBRACIÓN DE LA SONDA DE NEUTRONES

Como ya se ha explicado en el apartado 6.3.2 se instalaron tres tubos de acceso para sonda de neutrones en las parcelas BX2, BX6 y BX8. Las mediciones se realizaron con periodicidad semanal primero y después quincenal. Esta medidas fueron tomadas en colaboración con el IDR (Instituto de Desarrollo Regional) de Albacete.

La sonda de neutrones como ya se ha explicado en el apartado 5.1.2.1 emite neutrones a partir de una fuente radioactiva de alta energía. Estos neutrones son detenidos por núcleos de bajo peso atómico. En el suelo estos núcleos están fundamentalmente constituidos por el hidrógeno del agua intersticial. Se puede establecer por tanto, una relación contenido de humedad en el suelo y contaje del aparato (ver ecuación 5.3).

El contaje de la sonda, (R), no sólo depende del contenido de humedad en el suelo, sino también del agua de cristalización que incluyen ciertos minerales, o compuestos tales como la materia orgánica. No obstante, estas formas fijas de hidrógeno permanecen constantes en el suelo, y las variaciones de humedad son exclusivamente debidas a cambios del contenido de agua intersticial.

Es necesario establecer una ecuación de calibración individual para cada tipo de suelo, puesto que el contaje de la sonda depende del agua contenida en el suelo, del agua de cristalización de ciertos minerales o de la presencia de núcleos de bajo peso atómico diferentes al hidrógeno, (cloro, cadmio, boro e incluso hierro).

Schofield et alt., (1985), p.81, proponen una serie de ecuaciones estándar de calibración para distintos tipos de suelo, ya se trate de arcilla, arena o fango. Si no se requiere un grado de precisión grande consideran que estas ecuaciones son universalmente válidas. No obstante Bell

(1987) p.21, explica las tres técnicas básicas de calibración que existen para cada suelo específico; 1: Calibración en laboratorio con una columna de suelo que reproduce el perfil de suelo en el que se va a medir; 2: toma de muestras inalteradas y mediciones simultáneas con la sonda 3; calibración en laboratorio con muestras inalteradas basado en un modelo teórico de dispersión de neutrones en el suelo.

Las ecuaciones de calibración aquí utilizadas han sido determinadas por el tercero de los métodos mencionados.

Explicado de una manera simplista puede decirse que para determinar R consideran que los neutrones que regresan al detector dependen en parte de la absorción que sufren en el suelo y parte a la dispersión que experimentan. Para medir ambas componentes colocan una muestra de suelo de 300 gr en una pila de grafito entre una fuente de Am-Be y un detector. Miden la emisión de neutrones con y sin la muestra de suelo. Determinan así la absorción que sufren los neutrones en el suelo. Colocan un segundo detector fuera de la pila de grafito y determinan así los neutrones que atraviesan la muestra de suelo y se dispersan. Más detalle relativos a este método y a los resultados que proporciona puede consultarse en Vachaud et alt., (1977) ó Hodnett (1985).

Del modelo teórico mencionado y de los resultados de laboratorio obtenidos se llega a la conclusión que la curva de calibración presenta la siguiente forma:

$$(6.1)\quad \frac{R}{R_s} = (A\delta_s + B)(100 \times \theta) + C\delta_s + D$$

Dónde R es el contaje de la sonda; R_s es el contaje de la sonda en un estándar; A, B, C y D son constante físicas propias de cada suelo; δ_s es la densidad seca del suelo; θ es el contenido volumétrico de humedad del suelo.

Para determinar las ecuaciones de calibración en la zona de estudio el Institute of Hydrology (IH), tomó 7 muestras representativas de cada uno de los tipos de suelos presentes en la zona de estudio. Fueron tomadas en Tomelloso, dónde la litología es muy semejante a la de las parcelas de estudio. Las muestras fueron enviadas por el IH al "Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache" (Francia), lugar dónde fueron realizados los análisis. Los resultados se muestran en la tabla 7.12). Dado que el método es caro y muy laborioso no ha sido posible realizar una calibración específica para cada uno de los perfiles monitorizados. De estos suelos sólo fueron utilizados 4 en la obtención de las rectas de calibración finales.

Conociendo los parámetros de la ecuación 6.1 (ver tabla 6.12) y la densidad seca de cada tramo dónde se quiere determinar la humedad ha sido posible hallar las rectas de calibración para tramos homogéneos dentro de las columnas de cada parcela experimental (ver tabla 6.13).

Las densidades secas de los suelos fueron determinadas en el laboratorio de geotecnia del CEDEX, en 6 muestras tomadas en la parcela BX8 (ver tablas 7.13 y 14.), cuya litología es muy semejante a la de los perfiles en BX2 y BX6.

En la tabla 6.12 se presentan las rectas de calibración de las muestras "tipo"

Aunque ya se explicó en el apartado 5.1.2.1, hay que recordar que debido al decaimiento radioactivo de la fuente, y a derivas electrónicas el contaje de la sonda en un material estándar (R_s), puede no ser siempre el mismo. Para normalizar los resultados, debe realizarse una medida en agua pura contenida en un bidón de capacidad 50 l, antes de tomar medidas en el campo. Este procedimiento ha sido realizado sistemáticamente cada uno de los días que fueron tomadas medidas en las parcelas experimentales.

Tabla 6.12: Resultados de los análisis realizados para la calibración de la Sonda de Neutrones. Análisis realizados en "Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache" (Francia).

MUESTRA	A	B	C	D
CR10	1.80	9.42	73.93	68.03
CR70	2.74	9.78	102.43	86.10
CR125	2.99	9.61	90.99	78.82
CR200	2.42	9.63	86.20	76.02

A,B,C,D, Parámetros de la ecuación 6.1.

Tabla 6.13: Rectas de calibración de la sonda de neutrones definitivas de las parcelas BX2. BX6 y BX8

PARCELA	Muestra	δ_s	Prof.	a	b
BX2	CR10	1.462	10-30	0.837897	-0.03356
	CR70	2	40-80	0.655308	-0.07782
	CR70	1.69	80-230	0.693934	-0.06038
	CR200	1.66	260-290	0.732751	-0.04915
	CR70	1.64	320-400	0.700594	-0.05737
	CR200	1.66	440	0.732751	-0.04915
	CR70	1.69	480-560	0.693934	-0.06038
BX6	CR10	1.462	10-40	0.837897	-0.03356
	CR70	1.462	60-140	0.72538	-0.04617
	CR200	1.66	160-230	0.732751	-0.04915
	CR70	1.64	260-480	0.700594	-0.05737
	CR200	1.66	520-840	0.732751	-0.04915
	CR70	1.64	880-920	0.700594	-0.05737
BX8	CR10	1.462	10-60	0.837897	-0.03356
	CR70	2	80-100	0.655308	-0.07782
	CR70	1.69	120-230	0.693934	-0.06038
	CR200	1.66	260-320	0.732751	-0.04915
	CR70	1.64	360-520	0.700594	-0.05737
	CR125	1.66	560-680	0.686182	-0.04956
	CR200	1.55	720-920	0.754148	-0.04018

δ_s Densidad seca, a y b, pendiente y ordenada en el origen de la recta (5.3).

7. RESULTADOS OBTENIDOS E INTERPRETACIÓN

Como ya se ha explicado en capítulos anteriores se seleccionaron seis parcelas experimentales, (Acequión, Las Tiesas, BX6, BX2, BX8 y Algibarro), atendiendo a diversos criterios y con objeto de realizar medidas «in situ», de una serie de parámetros físicos del medio, tales como humedad del suelo y potencial mátrico. Se tomaron muestras alteradas e inalteradas de los suelos de las parcelas, con objeto de determinar en el laboratorio las curvas de retención, distribuciones granulométricas y conductividad hidráulica saturada. La mayor parte de los sondeos se ejecutaron manualmente y hasta cerca de 350 cm de profundidad, no obstante en la parcela BX8, se realizó una perforación mecánica hasta alcanzar el límite superior de la zona saturada (14 m).

Se monitorizaron cinco de las parcelas, tres de ellas (BX6, BX8 y BX2), con tensiómetros hasta 300 cm de profundidad conectados a sistemas automáticos de adquisición de datos, y se realizaron periódicamente medidas de humedad con sonda de neutrones hasta 920 cm de profundidad para las dos primeras y 560 cm para la última. En las parcelas de Acequión y Las Tiesas se instalaron bloques de yesos hasta 400 y 150 cm respectivamente, y las medidas se realizaron manualmente. El trabajo experimental realizado en Algibarro se limitó a la toma de muestras.

En este capítulo se analizan los principales resultados obtenidos en las parcelas experimentales, con unos y otros métodos y se exponen las principales conclusiones que ha sido posible extraer. Hay que enfatizar que nuestro interés se ha focalizado en el estudio del flujo de agua por debajo el plano de raíces. La evapotranspiración real, es un parámetro cuya determinación envuelve el uso de fórmulas empíricas de uso muy restringido. Con objeto de limitar incertidumbres, no se ha considerado el flujo de agua por encima del Plano de Flujo Nulo (PFN).

7.1 DATOS CLIMATOLÓGICOS Y RIEGOS

La finca de Las Tiesas, es una granja agropecuaria, de carácter experimental que pertenece al Instituto Técnico Agronómico Provincial de la Diputación de Albacete (ITAP). Esta finca desarrolla diferentes programas experimentales, para mejorar los cultivos, y todos los aspectos relacionados con la agricultura de la zona. Uno de ellos, y muy importante, es el regadío. En un intento de optimizar los riegos, el ITAP instaló una estación meteorológica automática, que estuvo funcionando hasta la primavera del año 1994. Con motivo del proyecto internacional EFEDA, marco de este estudio, el Instituto de Desarrollo Regional» (IDR) instaló una «estación meteorológica de referencia», («Anchor Station»), dentro de los terrenos de esta finca. En vista de ello, la antigüa estación de Las Tiesas fue trasladada a otro lugar. Los datos de precipitación que se han utilizado para las parcelas denominadas BX2, BX6, BX8, Algibarro y Las Tiesas proceden por tanto de la estación automática de Las Tiesas y de la «estación de referencia» del IDR.

Además se dispone de la información proporcionada por un pluviógrafo instalado en la parcela experimental BX6, que recoge datos de precipitación y riegos conjuntamente. El instrumento se ha conectado al sistema automático de recolección de medidas de la parcela BX6, por lo que el registro obtenido es también continuo.

La parcela experimental de Acequión, se localiza en una laguna seca de la cual toma su nombre, como ya se repetido varias veces. Los terrenos del lago y alrededores pertenecen a una finca llamada «Labor de Acequión», cuyos propietarios han instalado un pluviómetro cerca del antiguo humedal. Es por ello, que los datos de precipitación utilizados para esta parcela provienen de esta fuente adicional de datos.

7.1.1 PRECIPITACIÓN EN LAS PARCELAS BX2, BX6, BX8, LAS TIESAS Y ALGIBARRO.

Con los datos registrados por la estaciones del ITAP, y del IDR se han elaborado una serie de gráficos de precipitación correspondientes a los años 93, 94 y 95, ver fig.7.1, 7.2 y 7.3, y que se consideran extensivos para las parcelas BX2, BX6, BX8, Las Tiesas, y Algibarro.

En la figura 1.3, se puede observar el gráfico de desviaciones acumuladas para una serie de 125 años. Se puede observar como mientras el año 1992 fue un año muy húmedo el año 1994 se encuentra entre uno de los más secos del siglo. El gráfico de desviaciones acumuladas muestra una pendiente negativa desde el año 1993. Merece la pena subrayar estos comentarios, dado que el período a lo largo del cual se han efectuado las mediciones corresponde a un período seco, en el cual la recarga ha de ser previsiblemente inferior a la media.

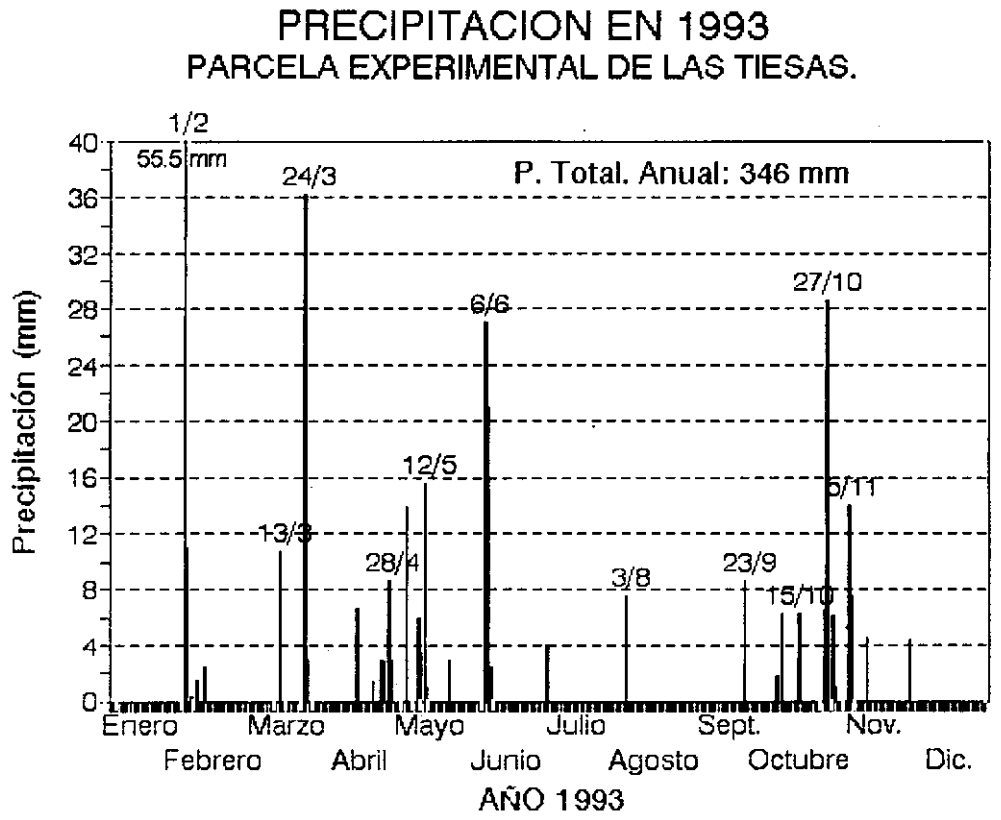


Fig 7.1; Precipitación en la Estación de Las Tiesas, año 1993.

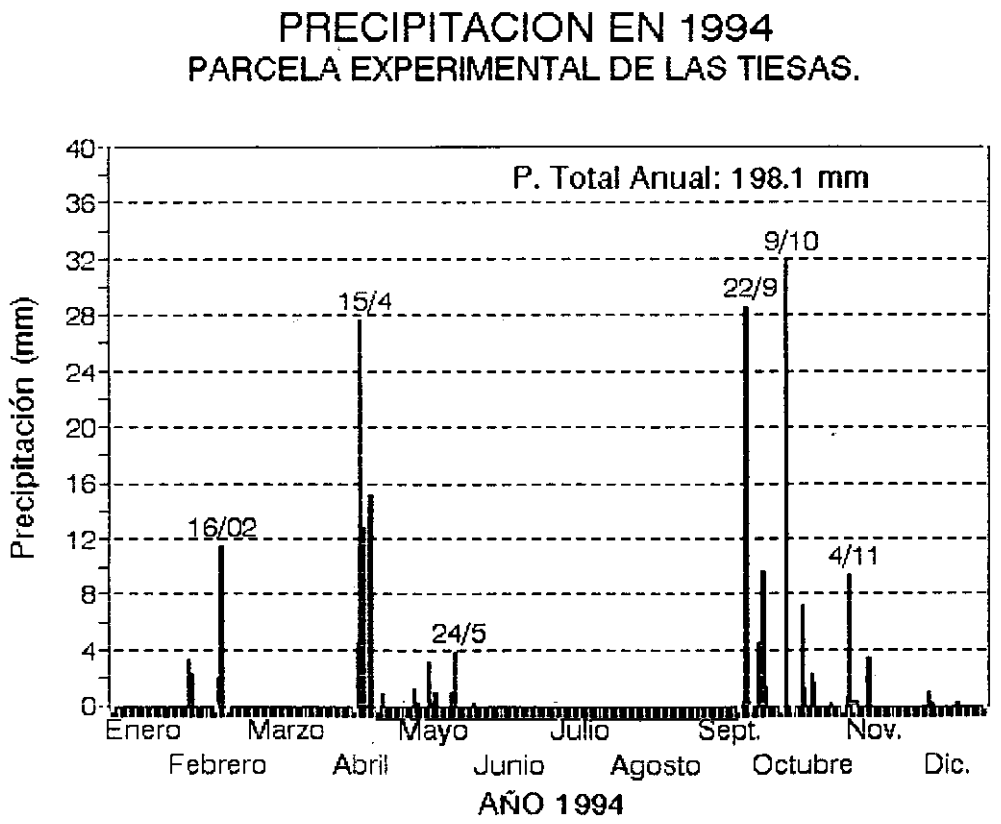


Fig 7.2; Precipitación en la Estación de Las Tiesas, año 1994.

En las figuras 7.1 y 7.2, se puede apreciar que la precipitación en esta estación se distribuyen irregularmente en una serie de chaparrones, que se producen a lo largo de cualquier época del año, excepto julio y agosto, que son los meses más secos del año. Las precipitaciones registradas en el año 93 se distribuyen a lo largo de 37 días, con una media de 9.3 mm. Las más elevadas corresponden al 1 febrero del 93, con 55.5 mm. El día 24 de marzo con cerca de unos 36 mm, los días 6 y 7 de junio con 48 mm entre ambos y 27 de octubre con unos 28 mm. Las demás precipitaciones registradas no excedieron nunca los 16 mm. Los día de lluvia del año 94 son 38, pero a diferencia del año 1993, la media es de 5 mm/día. Las precipitaciones más elevadas se registraron los días 15 de marzo con 28 mm, el 22 de septiembre con algo más de 28 mm y el día 9 de octubre con cerca de 32 mm. Los demás días de lluvia, lo precipitado no excedió apenas los 12 mm.

Aunque del año 1995, no se dispone de todos los datos de precipitación, hasta la fecha la lluvia precipitada ha sido de 101.6 mm (ver fig.7.3), distribuidos a lo largo de 21 días, mientras que para los años 1993 y 1994 hasta la misma fecha la precipitación era de 250.8 mm (25 días) y 170.1 (25 días). La precipitación se ha distribuido en una serie de lluvias puntuales, con dos máximos el 10 de junio con unos 23 mm, y el 21 de agosto con algo más de 32 mm. La lluvia los demás días no ha excedido los 8 mm. Hay que señalar que el gráfico correspondiente al año 1994 se ha elaborado la mitad con datos de la estación del ITAP, y la otra mitad con datos pertenecientes a la estación del IDR.

7.1.1.1 PLUVIÓGRAFO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL BX6.

Como ya se ha explicado en el capítulo anterior, con motivo de este estudio, se instaló un pluviógrafo en la parcela experimental BX6. Este instrumento se ha conectado a un sistema automático de adquisición de datos, de tal forma que recoge datos de precipitación y riego de forma continua. El tipo de pluviógrafo instalado es de «tipo basculante». Según Sánchez Rodriguez (1990), p.126 este tipo de instrumentos poseen en su interior dos cangilones basculantes unidos a un eje central. En cada semidepósito cabe una cantidad de agua equivalente a 0.05 mm. Estos cangilones se encuentran en equilibrio inestable, de forma que cuando uno de ellos se llena de agua, el peso de la misma hace que este descienda y se vacíe, exponiendo a ser llenado de agua el otro cangilón. El eje central se encuentra conectado a un contador de mercurio. Cada vez que se produce un vuelco, se cierra momentáneamente un circuito, (esto significa que han precipitado 0.05 mm), que el sistema automático registra, a través de un canal especial, que lo que realiza son conteos de todas las veces que se ha cerrado el circuito. Cada hora suma la precipitación habida y registra este dato en la memoria.

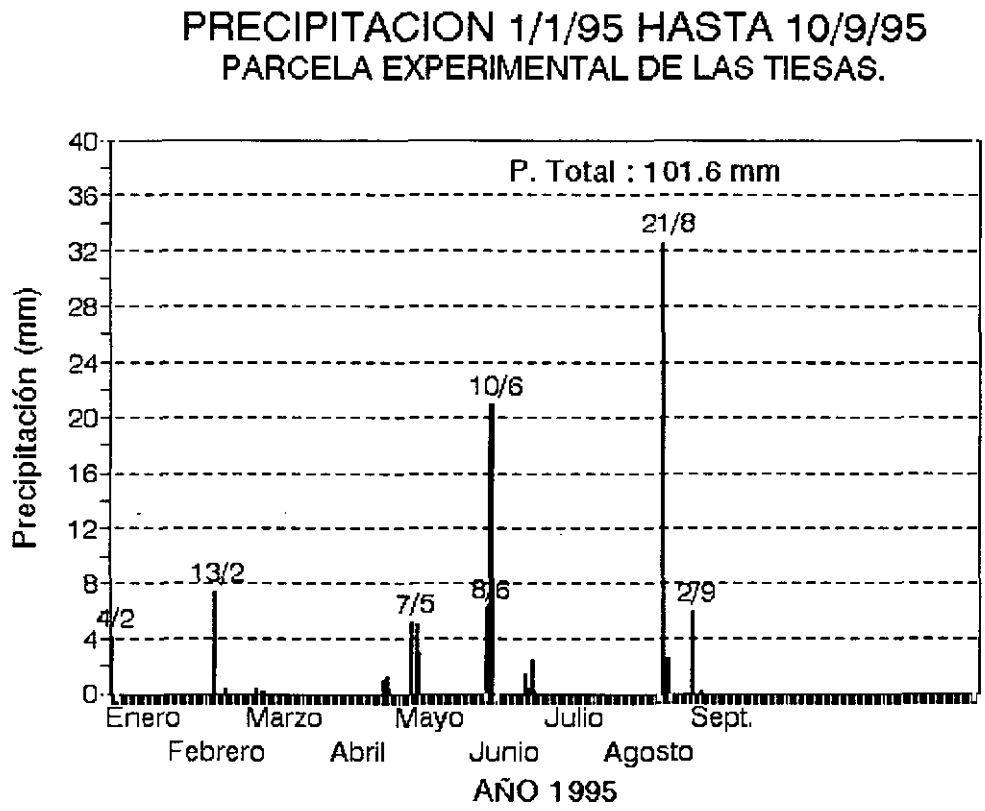


Fig 7.3; Precipitación en la Estación de Las Tiesas, año 1995.

7.1.2 PRECIPITACIÓN EN LA PARCELA DE ACEQUIÓN

En la finca de Acequión, dónde se localiza la parcela experimental del mismo nombre, se encuentra instalado un pluviómetro perteneciente a los dueños de la finca. Dicho pluviómetro es leído diariamente por su encargado hacia las 17.00 h. Si la precipitación es elevada hacia las nueve de la noche vuelve a efectuar una lectura, cuyos resultados suma a los datos obtenidos a las cinco de la tarde. Parece pues, que la lectura no se realiza con total regularidad, y no siempre en las mismas condiciones, no obstante resulta mucho más indicado utilizar los datos de este pluviómetro para esta parcela que los de la estación de Las Tiesas. En septiembre de 1993 cayó un chaparrón en la zona, y mientras que el pueblo de Barrax la precipitación se aproximó a 60 mm, en el Acequión apenas se registraron 25 mm. Con esto quiere indicarse la gran variabilidad espacial que existe en las precipitaciones, incluso en áreas muy homogéneas y apenas separadas una decena de kilómetros.

Como se puede ver en la figura 7.4 la precipitación total registrada en Acequión en 1993, es muy similar a la registrada en Las Tiesas, con 379 y 346 mm respectivamente. La precipitación se distribuyó a lo largo de 32 días con una media de casi 12 mm. Se puede observar que existen cinco episodios de lluvia muy intensa. El primero de febrero con cerca de 73 mm, el 24 de marzo con unos 24 mm, 7 y 8 de junio con 57 mm entre los dos días, 27 de octubre con 24 mm y 4 de noviembre con 22 mm. Obsérvese como coinciden casi totalmente estos días con los episodios más lluviosos registrados en la estación de Las Tiesas.

La pluviometría en el año 94, (ver fig.7.5), se encuentra por debajo de la media, con una precipitación de 241 mm, distribuida a lo largo de 25 días con una media de 9 mm. Los episodios más lluviosos corresponden a los días 15 y 16 de marzo con casi 48 mm, el 22 de septiembre con 28 mm y el 9 de octubre con casi 48 mm. La precipitación registrada los demás día apenas supera los 14 mm. Nuevamente las lluvias más intensas se registran los mismos día que en Las Tiesas, pero las cantidades son diferentes. Resulta muy llamativo como a lo largo de los meses de verano no se ha registrado absolutamente nada de lluvia, tal y como se puede observar también en la estación de Las Tiesas.

Respecto al año 95, sólo se dispone de información hasta el 16 de marzo de 1995. Prácticamente no ha llovido nada hasta esa fecha habiéndose registrado precipitación sólo tres días, el 1 de enero con 4.5 mm, y los días 13 y 18 de febrero con 9.5 y 0.5 mm respectivamente. El encargado de la finca informó verbalmente que el día 21 de agosto se registraron en el pluviómetro de la finca 54 mm de precipitación, como resultado de una tormenta y que entre marzo y agosto la precipitación fue casi nula.

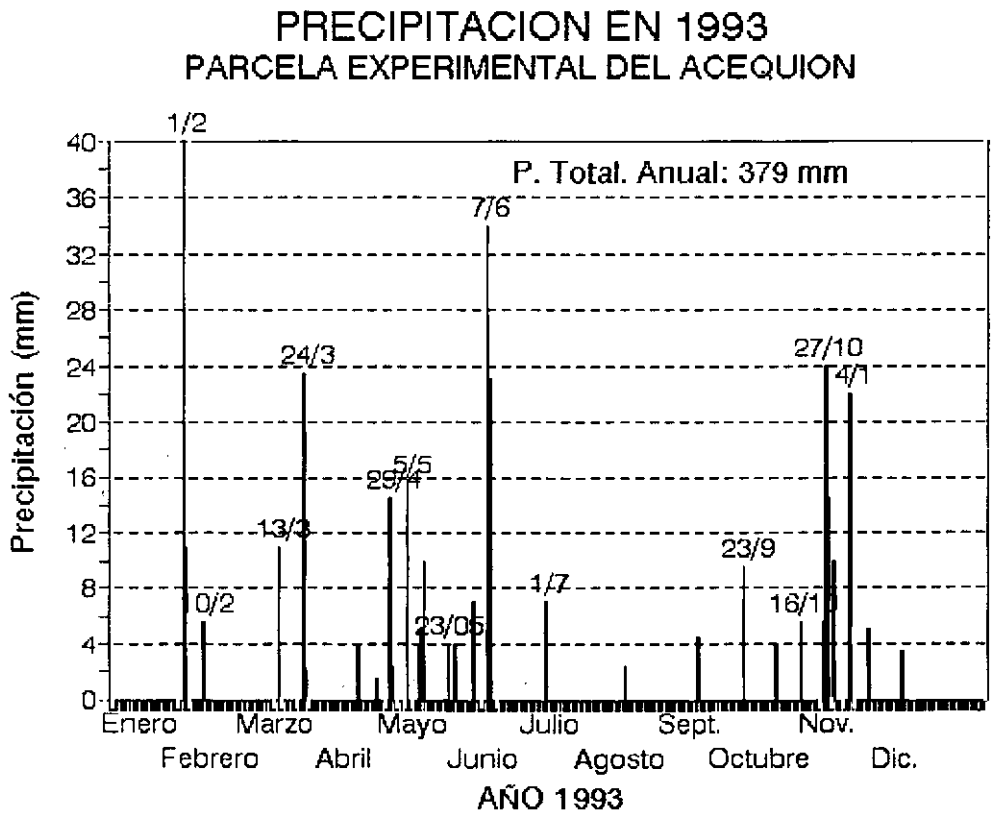


Fig 7.4; Precipitación en la Estación de Acequión, año 1993.

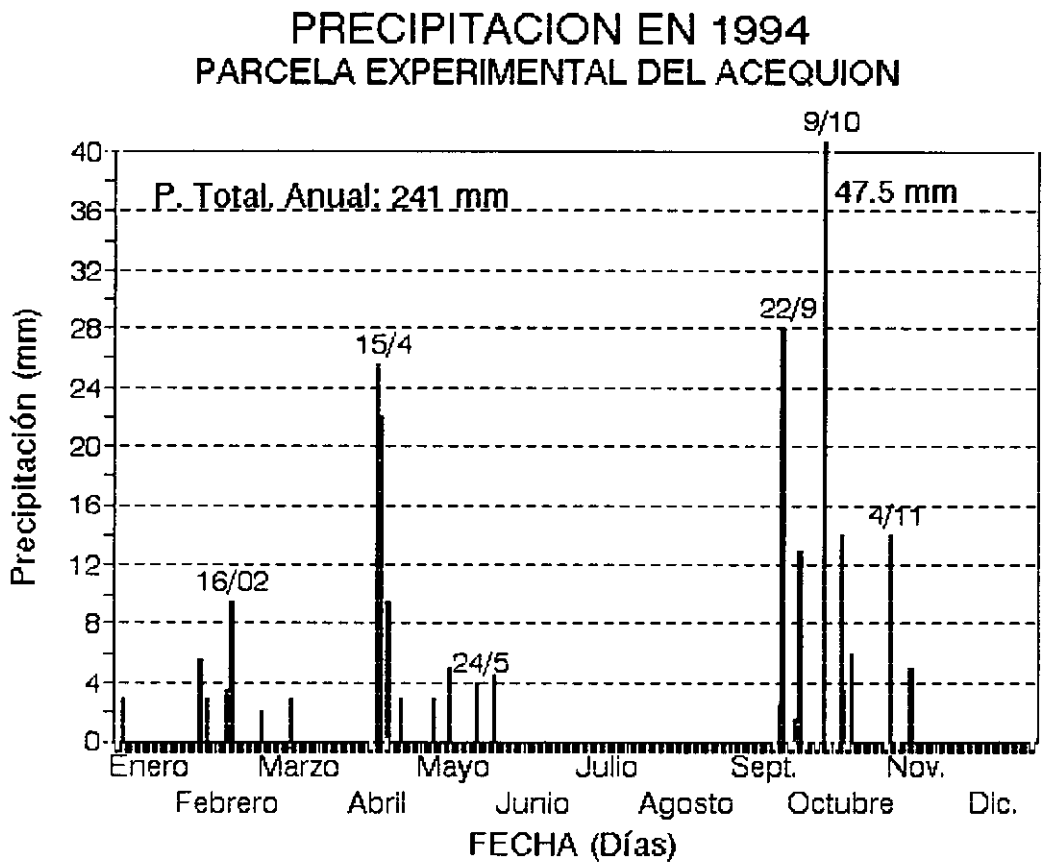


Fig 7.5; Precipitación en la Estación de Acequión, año 1994.

7.1.3 RIEGOS

Las parcelas experimentales BX6 y Las Tiesas están situadas en un regadío que se efectúa mediante un pivot. Las parcelas BX2, BX8, y Algibarro se localizan en terrenos destinados a cultivos de secano. La parcela de Acequión, situada en suelo desnudo, no obstante, fue sembrada y regada el año 1994.

La parcela de Acequión tuvo plantado girasol desde mayo hasta mediados de julio de 1994. El encargado de la finca informó que la dosis aplicada fue de 50 mm de agua distribuidos a lo largo de tres riegos, sin poder precisar con exactitud algo más. La dosis resulta del todo insuficiente (500 m^3/ha), no obstante hay que señalar que no se recogió la pipa, y que las plantas se agostaron. Se utilizaron aspersores, que se instalaron provisionalmente, como sistema de riegos.

La parcela BX6 estuvo sembrada con maíz dulce desde julio de 1994, hasta finales de septiembre de 1994, y desde mayo de 1995, hasta finales de agosto de 1995. El riego se efectúa con un pivot, y la dosis empleada según el encargado de riegos fue de 4930 m^3/ha (493 mm) en 1994 y 5821 m^3/ha (582 mm) en 1995. De acuerdo con la información arrojada por el pluviógrafo instalado en la parcela, los riegos comienzan el 23 de abril del 95, y según los datos de Las Tiesas el 20 de mayo y finalizan el 20 de agosto.

Las dosis de riego empleadas en el año 94, fueron facilitadas por el encargado de la finca del ITAP «Las Tiesas». En la figura 7.6a puede apreciarse su distribución. Comienzan en julio de 1994, y finalizan el 19/9/94. Las dosis aplicadas se distribuyeron muy homogéneamente a lo largo de la temporada, en días casi alternos. Los primeros días se aproximaron a 8 mm, ascendieron hasta 12 y por último las dosis diarias fueron de casi 16 mm. la precipitación registrada durante este período fue nula.

Los riegos en 1995 de acuerdo con en el pluviógrafo de BX6 (fig.7.6 b), fueron calculados suponiendo que la lluvia en BX6 fuera exactamente la misma a la precipitada en la estación meteorológica del IDR. Substrayendo las precipitaciones diarias registradas en la «Estación de Referencia» del IDR, de los aportes totales de agua registrados por el pluviógrafo se han obtenido los riegos. Se ha considerado riego, como toda aquella cantidad de agua que excediese de la precipitación diaria y lluvia lo restante. Los cálculos se han efectuado día a día y de acuerdo con los resultados obtenidos las precipitaciones habrían sido igual a 62.6 mm, y los riegos igual a 251 mm para todo el período de riegos.

Las precipitaciones registradas en la «Estación de Referencia» del IDR, para el mismo período de tiempo

ascienden a 95.2. Esto nos hace suponer que probablemente ha llovido menos en este punto que en el lugar dónde se ubica la estación, con lo que los riegos han sido infraestimados y las precipitaciones sobrestimado. Valga de ejemplo la tormenta del día 21 de agosto de 1995, en la que precipitaron 32.6 mm en Las Tiesas, mientras que el pluviómetro sólo registra 18.8. No obstante a tenor de este ejemplo los riegos habrían sido subestimados casi en un 40%, aunque existen otros datos que nos hacen pensar en errores mucho menores. Tal es la tormenta del 6 de junio de 1995, en la que precipitaron 21 mm según la estación automática del IDR, mientras que el pluviógrafo de BX6 registró 19.2 mm, lo que supone menos de un 9% de diferencia.

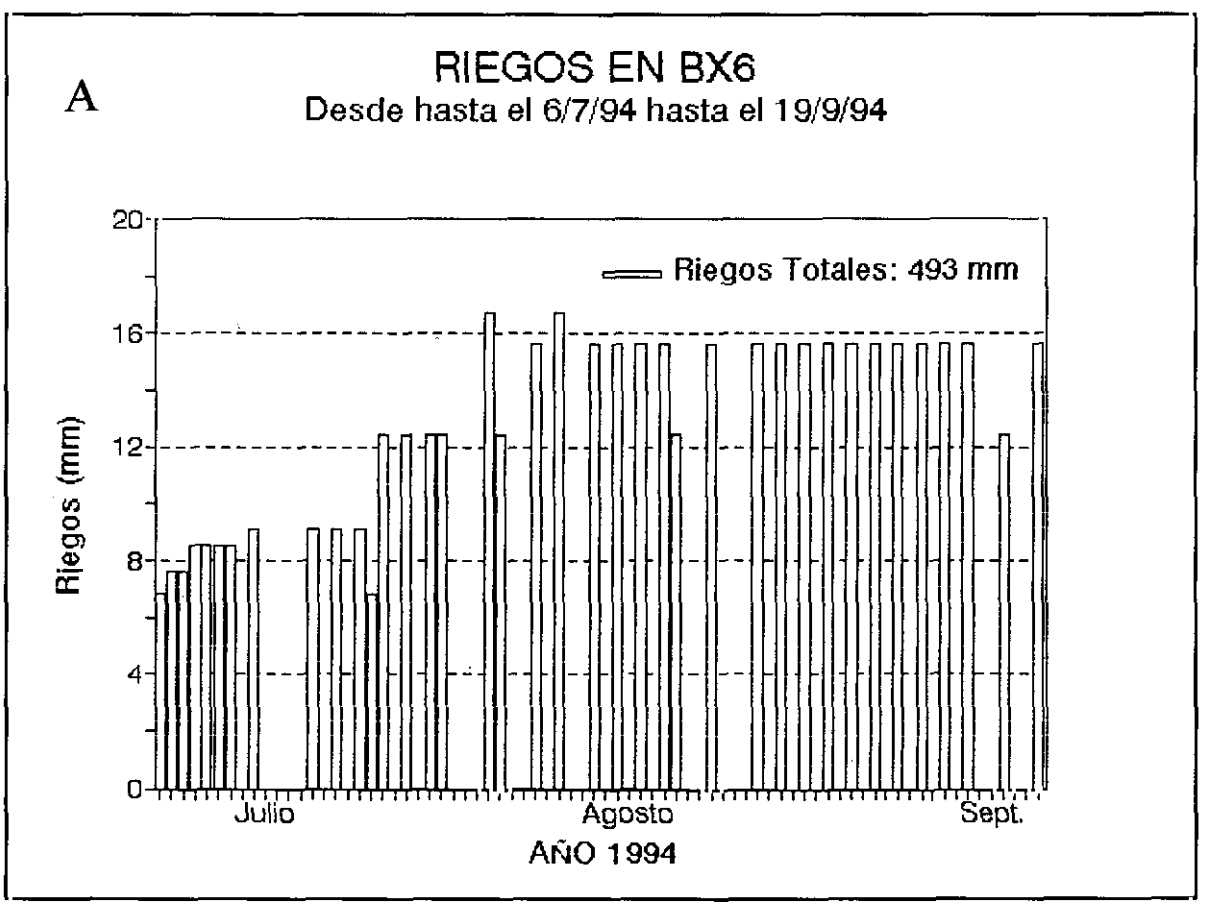
En la figura 7.6 b se presentan las dosis de riego determinadas con el pluviógrafo y los riegos aplicados en la parcela BX6, según datos facilitados por el encargado de Las Tiesas. Los riegos comienzan en mayo, y se distancian en el tiempo 5 ó 6 días. A finales de junio (alrededor del día 170), las dosis se hacen más frecuentes y se suceden continuamente cada dos o tres días hasta la fecha de la recogida, que este año fue finales de agosto.

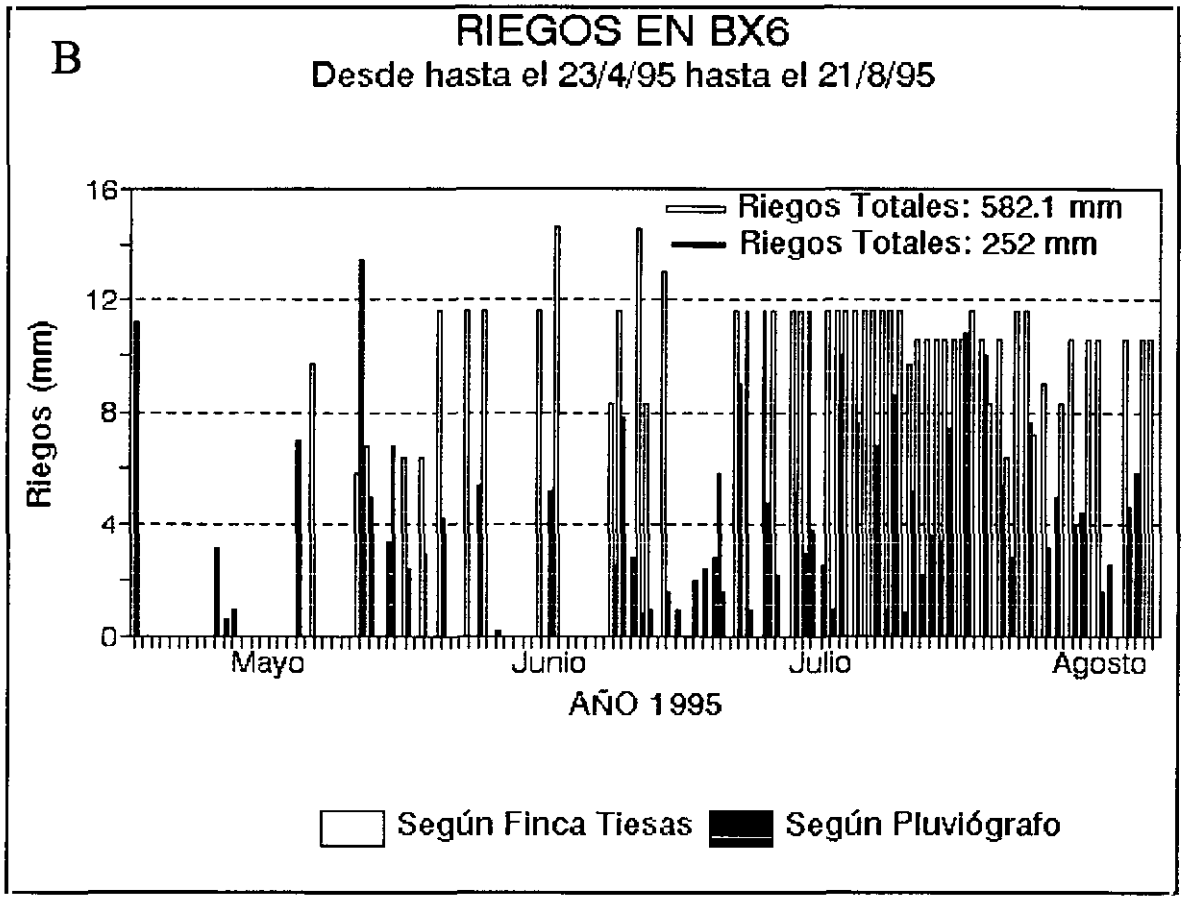
Parece no existir una gran concordancia entre las dosis de riegos facilitadas por los encargados de la finca y las determinadas con el pluviómetro, incluso según el pluviógrafo, los riegos parecen haber comenzado antes. Según nuestros datos las dosis de riegos aquí aplicadas serían igual a 2510 m^3/ha. Es muy posible que el pivot no distribuya el agua por igual, o incluso que el viento desfavorezca algunas zonas. De hecho se han observado pivots de cebada, en los que se pueden apreciar una alternancia de cebadas de gran tamaño y otras de menor tamaño, pudiéndose apreciar de una manera palpable como las zonas que se encuentran justo debajo del aspersor reciben más agua y las plantas se desarrollan más.

La discrepancia de fechas en el inicio de los riegos, entre el pluviógrafo BX6 y los datos proporcionados por el encargado de Las Tiesas, pudiera ser debida a que antes de plantar, fueron aplicados algunos riegos, con objeto de preparar el terreno para la siembra. Como los encargados de Las Tiesas sólo requieren las dosis aplicadas con posterioridad, las dosis aplicadas antes no son contabilizadas.

La parcela de **Las Tiesas** como ya se explicó en el apartado 6.2.2 ha sido regada en los años 1993 y 1994, de acuerdo con la información facilitada por el encargado de los riegos de Las Tiesas. El sistema de riego es mediante un pivot. Las dosis de riegos correspondientes al año 1993 no han podido ser consultadas, pero las dotaciones pueden estimarse como cercanas a los 3000 m^3/ha/año, para los cultivos de soja y cebada de esta parcela. Los riegos comienzan el 23 de marzo de 1993. Hasta el 4 de mayo se aplican tres dosis de riego, y cada vez que el pivot pasa aplica una dosis de unos 12 mm. Los riegos finalizan a finales de julio.

Las dosis de riego del año 1994 han sido facilitadas por el encargado de Las Tiesas (ver fig.7.6 c). Los riegos comienzan el 1 de julio y finalizan el 3 de septiembre. Se distribuyen muy regularmente en dosis de casi 12 mm/día.





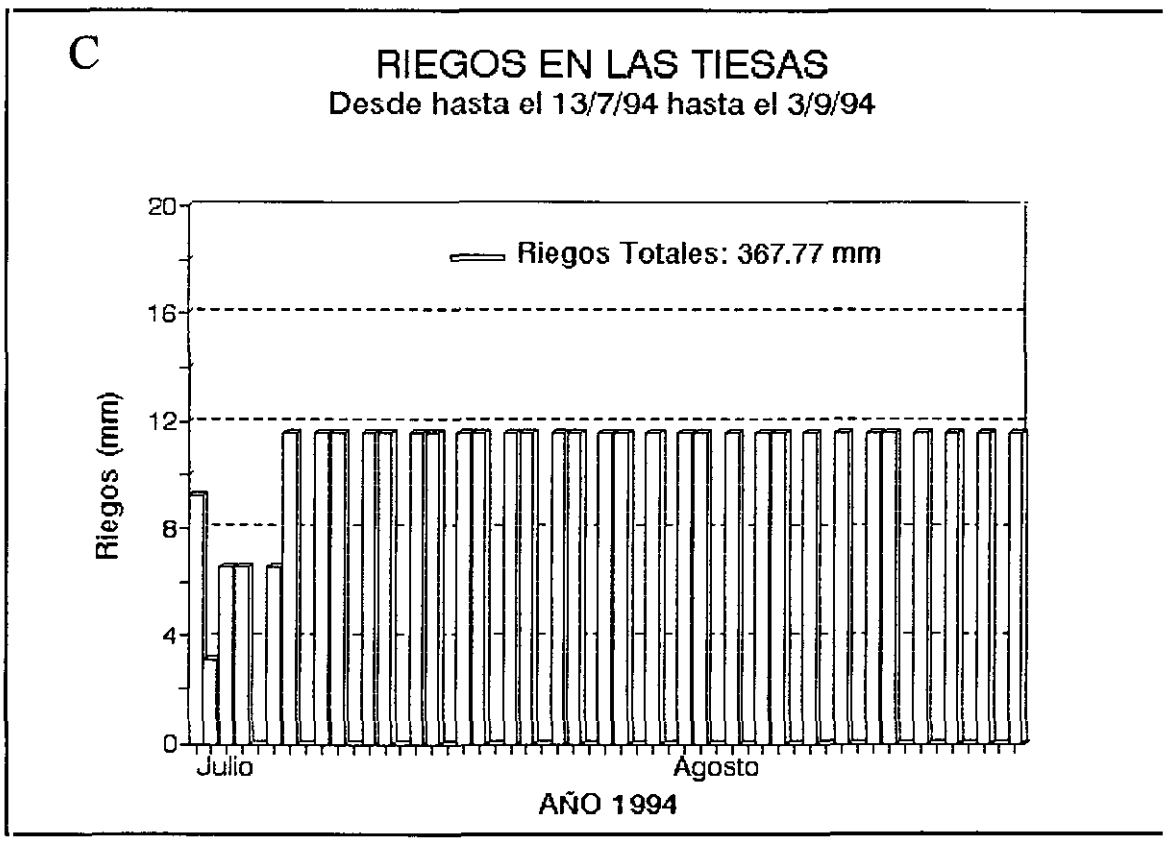


Fig 7.6; *Riegos en la parcelas BX6 y Las Tiesas. a) Dosis de riego en BX6, en el año 1994, según datos procedentes del ITAP (Albacete). b) Dosis de riego en BX6, en el año 1995, según datos del pluviógrafo instalado en BX6, y según datos del ITAP. c) Dosis de riego en la parcela experimental de Las Tiesas, año 1994.*

7.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL DEL ACEQUIÓN

En la parcela de Acequión fueron instalados un total de 13 bloques de yeso, entre 50 y 400 cm de profundidad, con objeto de medir succión. Se colocaron también cuatro tensiómetros, cuyo funcionamiento fue muy limitado, al encontrarse fuera de rango por largos espacios de tiempo (ver tabla 6.2). Se realizaron 8 sondeos, en los que se tomaron un total de 85 muestras (ver tabla 6.4). En dos de ellos se tomaron muestras alteradas exclusivamente (18 muestras), y en los demás las muestras se tomaron inalteradas (67 muestras).

Los datos de potencial mátrico medido con los bloques de yeso, fueron procesados para poder obtener la evolución del potencial total en el tiempo, y realizar con ellos cálculos de flujo. Con las muestras inalteradas (43 muestras), se determinó el contenido de humedad por técnicas gravimétricas, en 8 perfiles, hasta un máximo de tres metros. Con algunas muestras fueron determinadas las curvas de retención (desorción) de los suelos, por dos procedimientos diferentes: con las inalteradas (12 muestras), se realizaron análisis con cámara de Richards, y con el método del papel de filtro. Con once de las muestras alteradas, se utilizó el procedimiento de Clapp y Hornberger (1978). Gracias a los sondeos ha sido posible adquirir un conocimiento bastante exacto del perfil litológico de la parcela experimental hasta casi 4 metros.

Los resultados obtenidos con los tensiómetros no se presentan siquiera, ya que se mantuvieron casi por completo fuera de rango, y con los datos con ellos obtenidos no ha sido posible extraer conclusión alguna.

7.2.1 CURVAS GRANULOMÉTRICAS Y ANÁLISIS DE SEDIMENTACIÓN

El día 22/2/93 se realizó un sondeo manual para tomar muestras alteradas y se tomaron un total de 12 muestras homogéneas entre 0-63 (M-XX), 63-100 (M-XXI), 110-140 (M-XXII), 140-160 (M-XXIII), 160-172 (M-XXIV), 172-184 (M-XXV), 190-230 (M-XXVI), 230-240 (M-XXVII), 247-255 (M-XXVIII), 255-290 (M-XXIX), 290-310 (M-XXX), 310-344 cm (M-XXXI).

Con estas muestras se realizaron análisis por tamizado y sedimentación y los resultados obtenidos se presentan en los gráficos de las figuras 7.7 y 7.8. Con anterioridad se tomaron otras seis muestras que fueron exclusivamente tamizadas. Más del 50% de los tamaños resultaron ser inferiores al tamaño limo, por lo que no ha sido posible representar su curva granulométrica.

Para su clasificación se utilizó la clasificación de la International Society of Soil Science (ISSS), ver fig.4.2. Los diámetros equivalentes que utilizan son:

- Gravas: > 2 mm
- Arena: 2 - 0.02 mm
- Limo: 0.02 - 0.002
- Arcilla < 0.002

En la práctica, no obstante, el límite superior para el tamaño limo debe ser tomado en 0.05 mm (Cfr. Koorevaar et alt, 1994, p.5), ya que el diagrama triangular de clasificación que también propone la ISSS, utiliza este límite.

Según esta clasificación, ver figura 7.9, las muestras XX y XXI corresponderían a un fango limoso («silt loam»), la muestra XXII, un fango arenoarcilloso, («sandy clay loam»), la muestra XXIII, a un fango arcilloso, («clay loam»), y la muestra XXV a una arcilla limosa («Silty clay»). El resto de las muestras se clasifican como arcillas propiamente dichas.

De acuerdo con los resultados obtenidos parece se podrían diferenciar los siguientes tramos:

0-100 cm: un 20% arenas mal clasificadas, 22% arcillas y 58 % de limo. (muestras M-XX y M-XXI). Fango limoso.

100-160 cm: Arenas bien clasificadas con algo de grava, (50%). Limos 28% y arcilla un 22 %, (Muestra M-XXII, fango arenoarcilloso). A 140 cm el contenido en arena y grava decrece hasta un 33%. (Muestra M-XXIII). Aumenta el contenido en limos hasta un 37 y el de arcilla hasta el 30%. Fango arcilloso.

160-290 cm: El contenido en arena disminuye hasta ser inferior a 20%. El contenido en tamaño arcilla se hace dominante.

Se pueden diferenciar dos subtramos:

- 160-184 cm: Arena 17%, mal clasificada y con tamaños próximos a grava. Limos mal clasificados también 34%. Arcilla 49 %. (M-XXIV). Resulta particular la muestra M-XXV, semejante a la muestra anterior, pero con una gradación peor, y un mayor contenido en limos (44%). Arcilla a arcilla limosa.
- 184-290 cm: Contenido en arena próximo al 10%, y con tamaño siempre inferior a 0.2 mm. El contenido en arcilla oscila entre 50 y 70%. (M-XXVI hasta M-XXIX). Arcilla.

290-344 cm: Nuevamente el contenido en arena aumenta hasta un 30%. Los limos son sólo un 30% y la arcilla el 50%. (M-XXX y M-XXXI). Arcilla.

En conjunto puede observarse como los limos y arenas dominan en la parte superior del perfil, y como su contenido disminuye en profundidad, siendo sustituidos por arcillas.

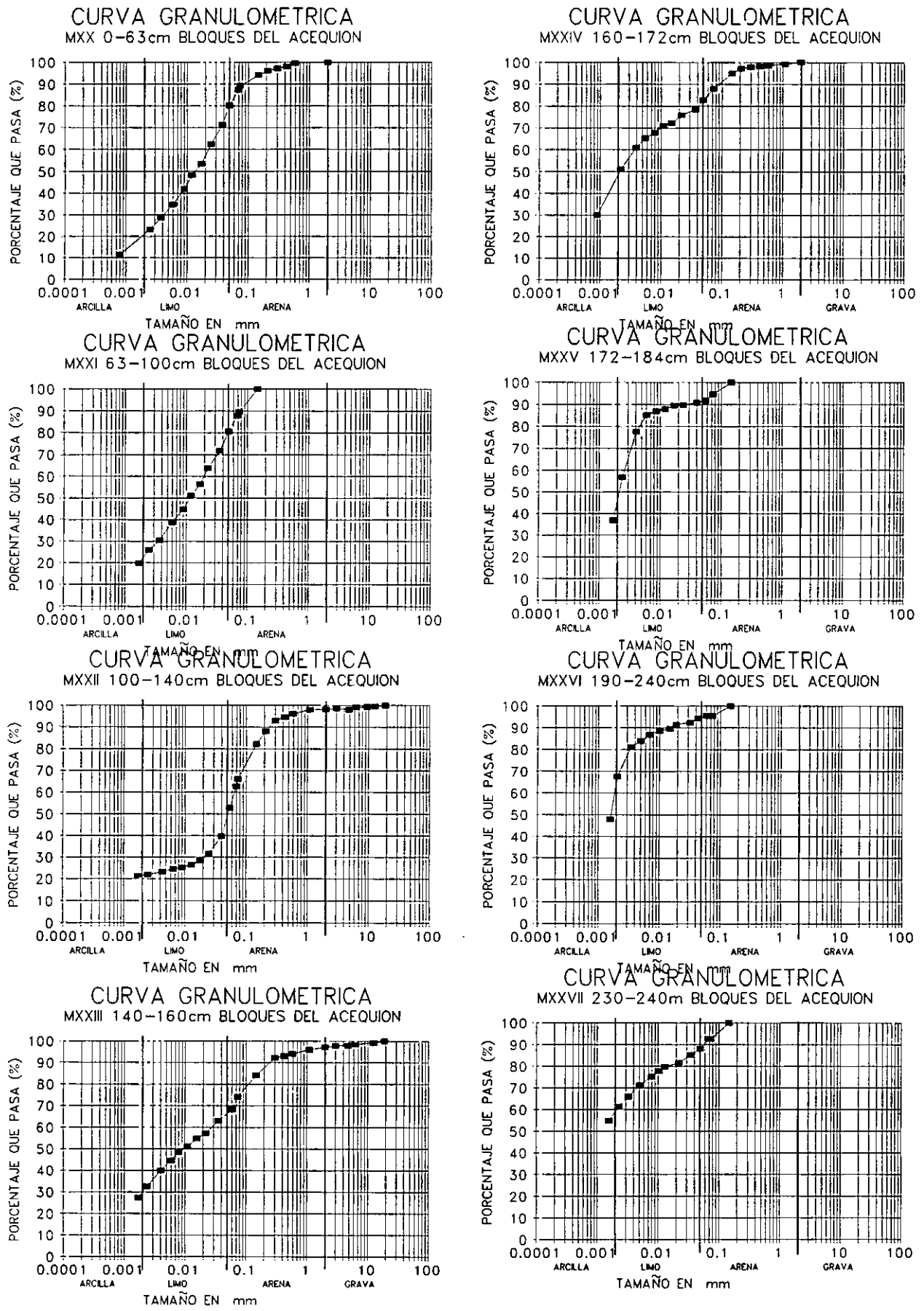


Fig 7.7; Curvas granulómetricas de la parcela experimental de Acequión.

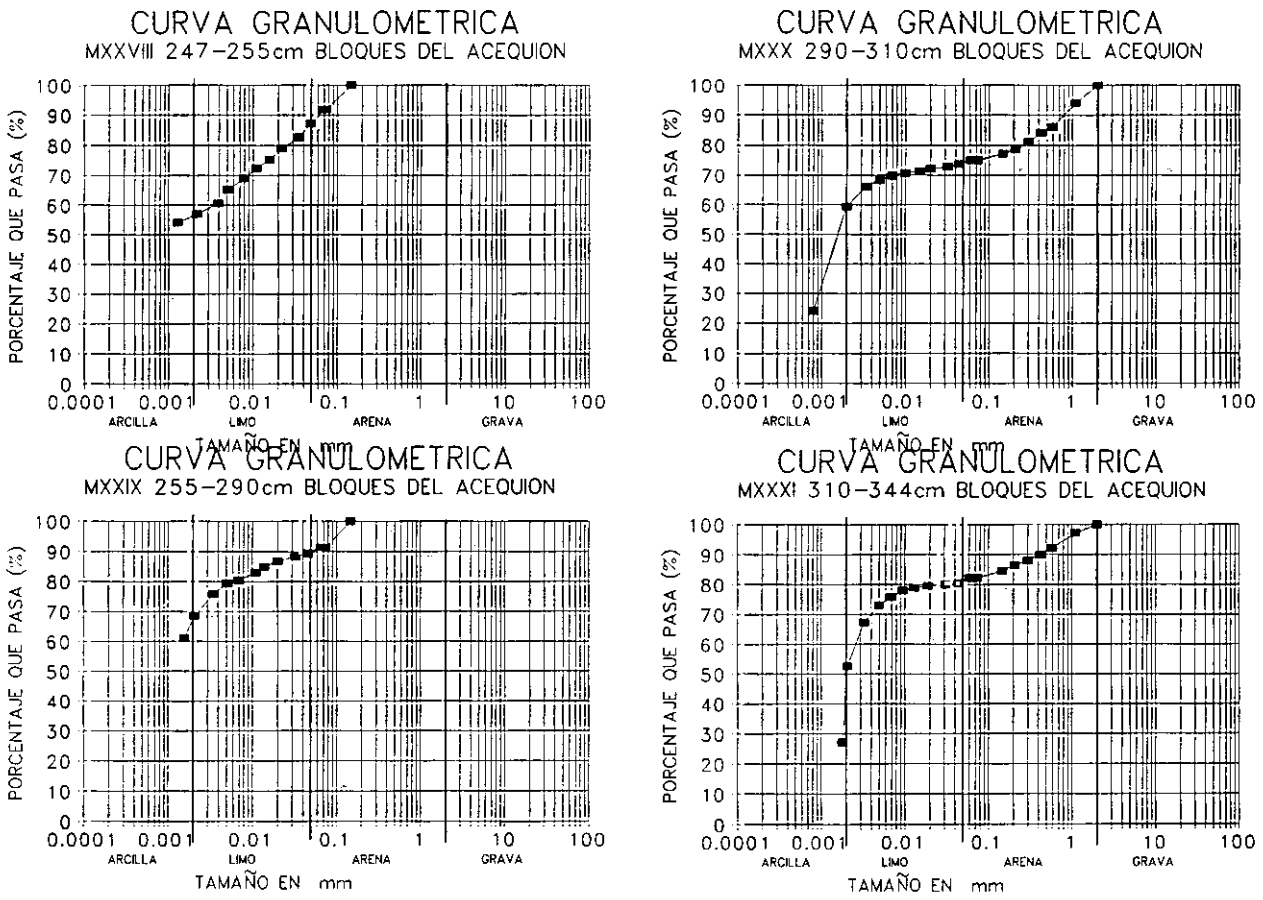


Fig 7.8; Curvas granulómetricas de la parcela experimental de Acequión.

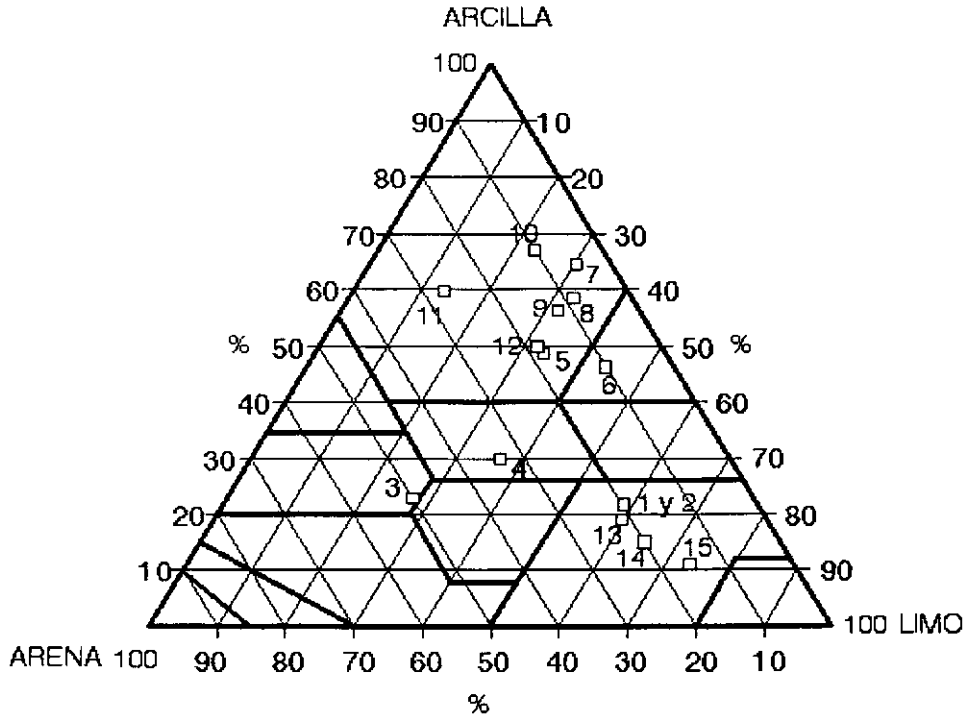


Fig 7.9; Clasificación de las muestras alteradas tomadas en las parcela experimentales de Acequión y Las Tiesas según la ISSS. Tamaño grava: > 0.2 mm. Tamaño arena: 0.2 - 0.05 mm. Tamaño limo: 0.05 - 0.002. Tamaño arcilla: < 0.002. 1 MXX, 2 MXXI, 3 MXXII, 4 MXXIII, 5MXXIV, 6 MXXV, 7 MXXVI, 8 MXXVII, 9 MXXVIII, 10 MXXIX, 11MXXX, 12 MXXXI, 13 MXXXII, 14 MXXXIII, y 15 MXXXIV. Muestras 1 a 12, de la parcela de Acequión. Muestras 13 a 15, de la parcela de Las Tiesas.

7.2.2. COLUMNA LITOLÓGICA

En la parcela experimental de Acequión han sido realizados un total de 8 sondeos entre 2 y casi 4 m de profundidad para tomar muestras no alteradas. Los sondeos se han realizado todos dentro de un radio de 7 m. Se ha elaborado una columna tipo de acuerdo con las observaciones realizadas «de visu» y teniendo en cuenta los resultados proporcionados por las granulometrías:

ACQ 1: 0-100 cm: Limos.

ACQ 1.1: 0-63 cm: Limo rico en carbonato cálcico con abundante materia orgánica y de color muy oscuro.

ACQ 1.2: 60-100 cm: Limo de color claro con menor contenido en materia orgánica.

ACQ 2: 100-165 cm: Arena bien clasificada y en secuencias granocrecientes a muro, de color verdoso, con cantos silíceos y de carbonatos, que alterna con capas centimétricas de arcilla. A 140 cm disminuye el tamaño de grano para gradualmente pasar a tamaño arcilla.

ACQ 3: 165-300 cm: Marga blanca. se pueden diferenciar diferentes unidades, que no siempre aparecen a las mismas profundidades ni tienen el mismo espesor:

ACQ 3.1: Arcilla blanca, de aspecto muy semejante a las margas del tramo ACQ3.3, pero más retráctil.

ACQ 3.2: Arcilla verde muy retráctil, con alguna pasada cm de margas blancas.

ACQ 3.3: Marga blanca, que alterna con capas centimétricas de arena fina silícea, y arena gruesa semejante a la arena del tramo 100-165 cm. Con algunos cantos de carbonatos.

En algunas columnas de las levantadas, por debajo del tramo 3 aparecen materiales semejantes a los descritos en el tramo 2.2.

7.2.3. CURVAS DE RETENCIÓN

Las curvas de retención en la parcela de Acequión se han obtenido utilizando tres metodologías diferentes, ya descritas en el capítulo anterior:

- 1. Cámara de Richards.
- 2. Método de Clapp y Hornberger
- 3. Método del papel de filtro.

7.2.3.1 CÁMARA DE RICHARDS:

El 3/12/92 se tomaron cuatro muestras inalteradas para obtener las curvas de retención de los suelos de esta parcela. Las muestras tomadas fueron la 29 (50-60 cm), 31 (130-141 cm), 32 (180-199 cm), y 41 (40-50 cm). Como ya ha sido explicado en el capítulo anterior se obtuvieron cuatro puntos de la curva con una cámara de Richards y mediante el modelo de van Genuchten (1978) se ajustan las curvas de retención en el lazo de desorción. Los parámetros de van Genuchten (1978), α, n, θ_r y θ_s de estas muestras se presentan en la tabla 7.1:

Las muestras de la tabla 7.1 se tomaron con anterioridad a la instrumentación de la parcela. Fueron tomadas a 1000 m fuera de la misma, en el centro de la laguna, punto en el que originalmente se pensó para instalar aparatos. Debido a problemas que surgieron con los permisos no fue posible utilizar dicho emplazamiento. No obstante, las muestras fueron tomadas en el mismo tipo de suelo. Las muestras 33, 29, 34 y 30 fueron tomadas en un tramo muy similar al tramo 0-63 cm de la parcela experimental. Las muestras 31 y 32 en un suelo similar al tramo 60-100 cm.

Las curvas de pF pueden verse en la figura 7.10.

7.2.3.2 MÉTODO DE CLAPP Y HORNBERGER

El método ya ha sido explicado en detalle en el apartado 6.4.3.1..2. Las muestras alteradas analizadas por tamizado y sedimentación fueron clasificadas de acuerdo con el triángulo de la figura 4.2, y los resultados se muestran en la figura 7.9. En la tabla 7.2 se muestran los parámetros de la ecuación de Campbell (1974) estimados por Clapp y Hornberger (1978) para cada una de las clases de suelos del triángulo de la fig.4.2 (ver apartado 4.5.3).

Las curvas determinadas con esta metodología pueden verse en la figura 7.11.

Tabla 7.1: Parámetros de van Genuchten (1978) para distintas muestras tomadas en la parcela experimental de Acequión.

PROFUNDIDAD (cm)	Nº DE MUESTR	α	n	θ_s	θ_r	TRAMO
50-60	M29	0.11991	1.36658	0.6252	0.35020	ACQ1.1
85-101	M30	0.16972	1.21147	0.4598	0.36353	ACQ1.1
130-141	M31	0.09222	1.35684	0.4452	0.35903	ACQ1.2
180-199	M32	0.10517	1.15975	0.4865	0.33570	ACQ1.2
20-30	M33	0.09602	1.11639	0.6765	0.03229	ACQ1.1
70-80	M34	0.05262	1.31463	0.5511	0.39120	ACQ1.1

Tabla 7.2: Parámetros de Clapp y Hornberger (1978), para las muestras tomadas en Acequión el 22/2/93.

Nº DE MUESTRA	PROFUNDIDA (cm)	CLASIFICACIÓN SEGÚN LA ISSS	Parámetro b	Parámetro h.	Parámetro θ_s	TRAMO
XX	0-63	Fango Limoso	5.3	78.6	0.485	ACQ1.1
XXI	63-100	Fango Limoso	5.3	78.6	0.485	ACQ1.1
XXII	100-140	F.Arenoso-Arcilloso	7.12	29.9	0.420	ACQ2
XXIII	140-160	Fango Arcilloso	8.5	63.0	476	ACQ2
XXIV	160-172	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.1
XXV	172-184	Arcilla limosa	10.4	49.0	0.492	ACQ3.2
XXVI	190-240	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.2
XXVII	230-240	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.2
XXVIII	247-255	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.2
XXIX	255-290	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.2
XXX	290-310	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.3
XXXI	310-344	Arcilla	11.4	40.5	0.482	ACQ3.3

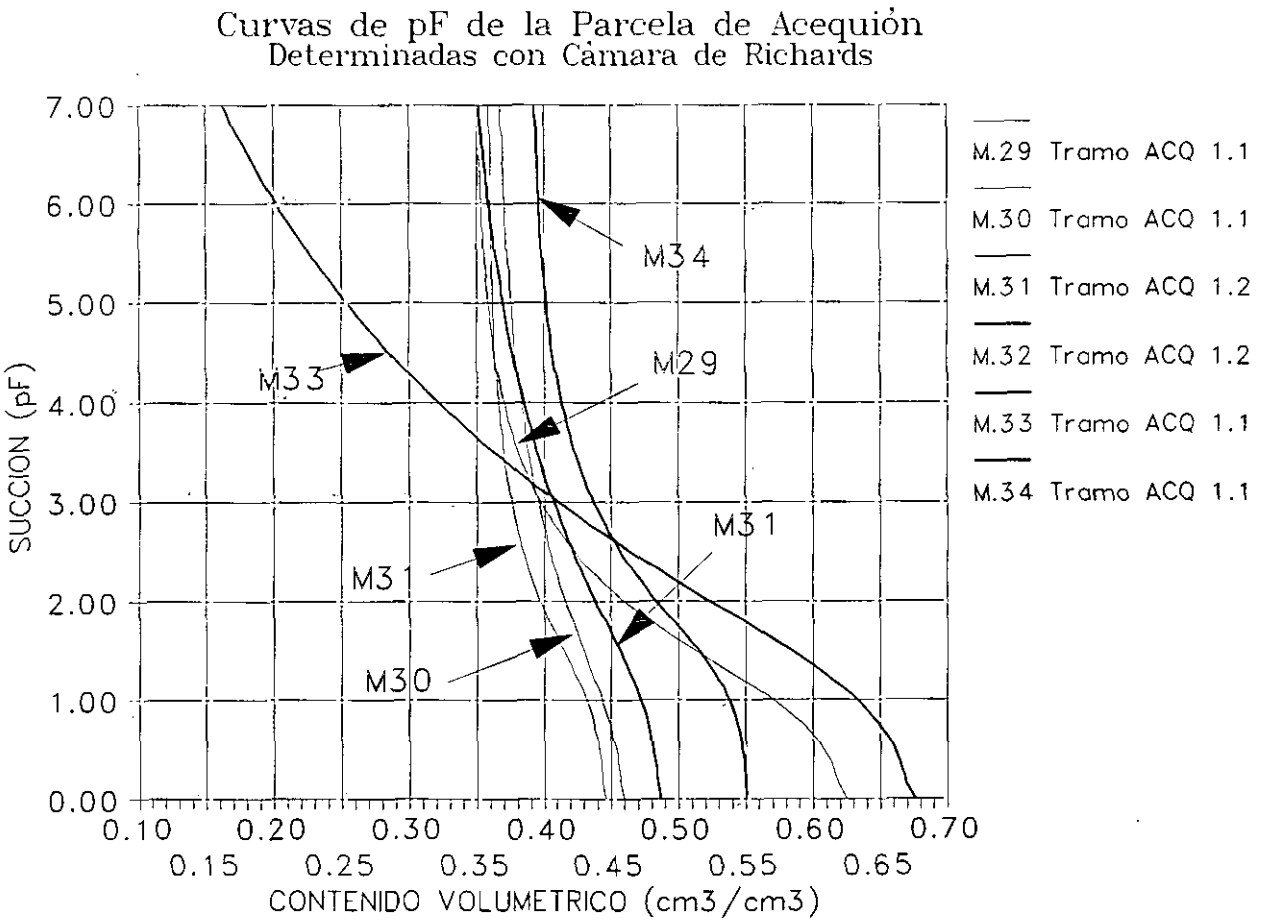


Fig 7.10; Curvas de pF, parcela experimental de Acequión. Determinadas en Cámara de Richards.

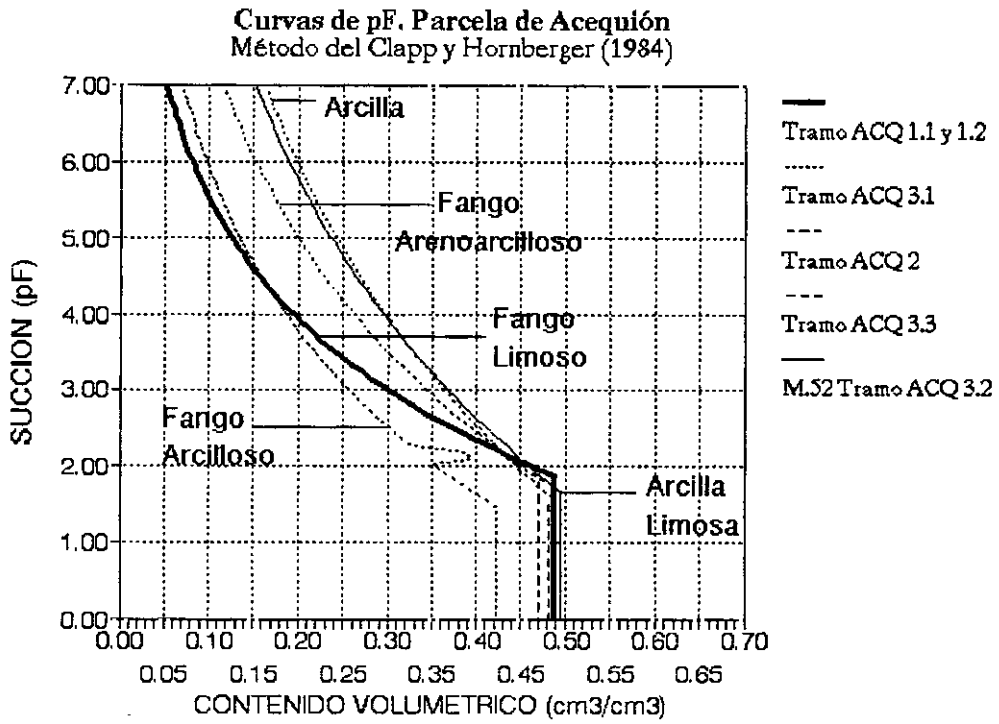


Fig 7.11; Curvas de pF, parcela experimental de Acequión. Determinadas utilizando el método de Clapp y Hornberger (1978).

7.2.3.3 MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO

Con parte de las muestras tomadas el 18/5/93 se elaboraron las curvas de retención mediante un procedimiento diferente, el método del papel de filtro, y con la finalidad de comparar los resultados. La metodología se describió en el capítulo anterior, ver apartad0 6.4.2.1. Las curvas de retención se realizaron partiendo de muestras completamente saturadas, por lo que el lazo obtenido es el de desorción.

Una vez determinada la succión en cada uno de los puntos, se ajustaron los parámetros de van Genuchten (1978) con el programa SOHYP. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla, 7.3. Las curvas propiamente dichas, se presentan en la figura 7.12.

Tabla 7.3: Parámetros de van Genuchten (1978) en las muestras analizadas con el método del papel de filtro.

PROFUNDIDA (cm)	Nº DE MUESTRA	α	n	θ_s	θ_r	TRAMO
50-60	M44	0.01106	1.2133	0.35118	0	ACQ1.1
103-109	M46	0.01162	1.29218	0.41032	0	ACQ1.2
153-158	M48	0.00219	1.30499	0.36873	0.19501	ACQ2
229-235	M50	0.00128	1.21701	0.49968	0.17634	ACQ3.2
262-272	M52	0.00723	1.22383	0.45753	0.23615	ACQ3
315-324	M54	0.00071	1.31793	0.69	0.19913	ACQ3
324-?	M60	0.29341	1.16773	0.66	0.38067	ACQ3
324-?	M60	0.00723	1.1086	0.53151	0.24471	ACQ3

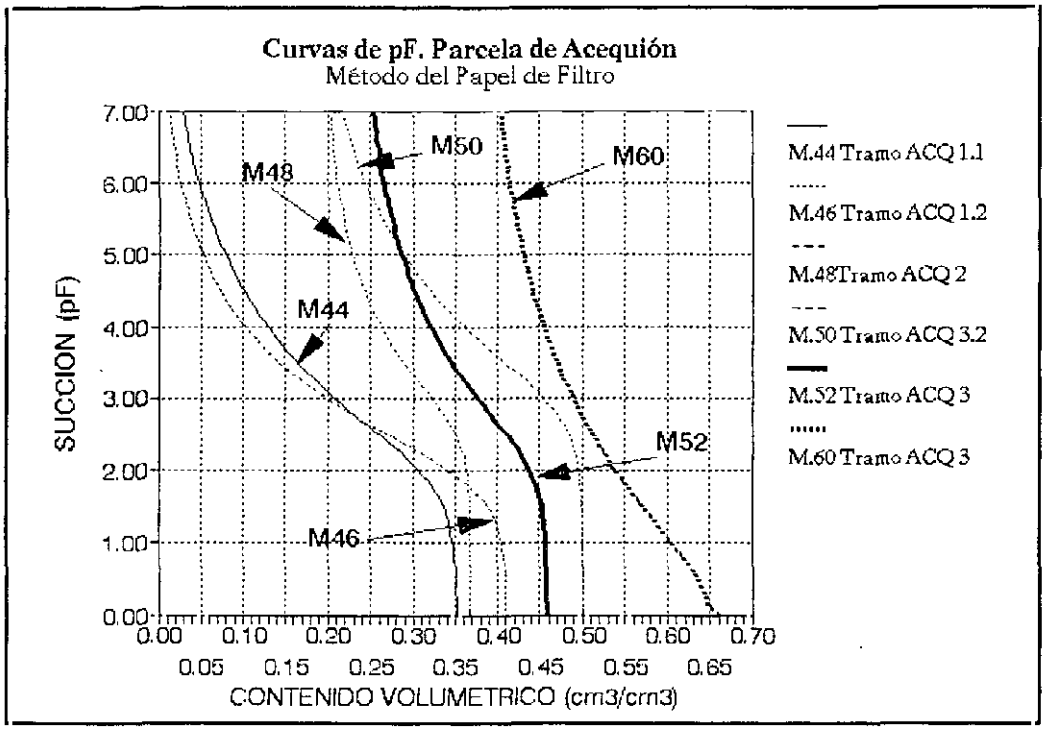


Fig 7.12; Curvas de pF, parcela experimental de Acequión. Determinadas utilizando el método del Papel de Filtro.

El contenido volumétrico de humedad natural medido en alguna de las muestras tomadas en litología semejante a M60 es mayor que el contenido de humedad a saturación de la muestra M60. Parece pues, que la saturación de esta muestra no fue conseguida durante los ensayos. Por tanto, para ajustar la curva de retención con el SOHYP, se tantearon dos contenidos de humedad a saturación diferentes (uno el medido en el laboratorio y otro estimado en función de los contenidos volumétricos de humedad natural medidos en muestras semejantes). Los resultados obtenidos para uno y otro se muestran en la tabla 7.3. Se dan más detalles en un apartado posterior, 7.2.6.1.

Los resultados que se obtuvieron con la muestra M54 fueron desechados. La muestra es muy arcillosa, y sufrió mucha expansión al ser saturada, y considerable retracción al ser secada. Debido a esto, durante su manipulación en los análisis realizados perdió material, no obstante a ello se presentan también los resultados obtenidos.

Van Genuchten (1978) recomienda medir la humedad residual real en condiciones naturales a ser posible. Para ello se tomó una muestra superficial M111 en septiembre de 1994, tras tres meses sin absolutamente nada de lluvia. Se analizó su contenido de humedad natural por secado en estufa y los resultados obtenidos muestran que el contenido de humedad residual que se alcanza bajo condiciones naturales en el limo 0-100 cm, (tramos ACQ 1.1 y 1.2), es muy próximo a cero (0.06 cm^3/cm^3).

El programa SOHYP se ajustó muy bien a estos resultados. En una primera instancia, las muestra M44 y M46 tomadas en el tramo ACQ1, se ajustaron utilizando el modo de cálculo triparamétrico, (el programa calcula

Tabla 7.4: Porosidad eficaz de las muestras inalteradas tomadas en la parcela experimental de Acequión.

PROFUNDIDA (cm)	Nº DE MUESTRA		TIPO DE ANÁLISIS	PROFUNDIDA (cm)	Nº DE MUESTRA	ϕ_e	TIPO DE ANÁLISIS
				50-60	M44	0.3512	P.FILTRO
				103-109	M46	0.4103	P.FILTRO
50-60	M29	0.2750	RICHARDS	153-158	M48	0.1737	P.FILTRO
85-101	M30	0.0963	RICHARDS	229-235	M50	0.3233	P.FILTRO
130-141	M31	0.0862	RICHARDS	262-272	M52	0.2214	P.FILTRO
180-199	M32	0.1508	RICHARDS	315-324	M54	0.4909	P.FILTRO
20-30	M33	0.6442	RICHARDS	324-?	M60	0.2793	P.FILTRO
70-80	M34	0.1599	RICHARDS	324-?	M60	0.2868	P.FILTRO

α, n, y θ_r), de esta forma no se alcanzó convergencia y el propio programa sugirió la utilización del modo de cálculo biparamétrico haciendo θ_r =0, en el cual se utiliza θ_r definido por el usuario y el programa calcula sólo α y n. Se observa pues, que existe un buen ajuste entre la humedad residual medida y la estimada por el propio programa.

La humedad residual sólo puede ser medidas en las muestras superficiales, dado que las muestras más profundas no están sometidas a las mismas condiciones que las superficiales en los meses secos del año.

7.2.3.4 RESULTADOS OBTENIDOS

Puede observarse que existen ciertas discrepancias los resultados obtenidos con cámara de Richards, método del papel de filtro, y Clapp y Hornberger (1978), para suelos muy semejantes.

Comparando los resultados obtenidos mediante los métodos del papel de filtro y cámara de Richards, (ver fig.7.10 y 7.12, y tablas 7.1 y 7.3):

- Los ensayos se han realizado en suelos muy semejantes, como ya se ha dicho, y sin embargo **el valor de entrada de aire** para muestras ensayadas con cámara y método del papel de filtro resultan completamente diferentes. El valor de entrada de aire (h_b), (que es la inversa del parámetro α), en las muestras ensayadas en cámara de Richards, resulta algo inverosímil. Así pues, parece que este valor oscila entre 0.05 y 0.19, lo que supondría un valor de entrada de aire comprendido entre 20 y 5 cm. Estos valores podrían ser típicos de una grava fina, y como se ha visto los materiales son limos y arcilla (tramos ACQ 1.1 y 1.2).

El valor de entrada de aire en las muestras ensayadas con el método del papel de filtro resulta aceptable, y oscilaría entre pF 2 y pF 3.2, ó sea entre unos 100 y unos 1400 cm de agua, considerando M54 incluida. Efectivamente, M54, presenta un valor de entrada de aire, de unos 1400 cm (pF 3.1). La muestra es muy arcillosa, y durante los ensayos sufrió fuertes expansiones y retracciones. Como ya se ha dicho se desechó por ello, aunque su h_b resulte razonable.

- **La humedad residual** ajustada por el SOHYP, para las determinaciones realizadas en muestras con cámara de Richards, se aproxima en todos los casos a 0.3, si se exceptúa la muestra superficial (M33, tabla 7.1, cuya humedad residual es igual 0.03.

En las muestras ensayadas con el papel de filtro la humedad residual ajustada por el SOHYP se aproxima en casi todos los casos a 0.2, resultando inferior a las muestras analizadas con un Richards. En la parte superficial, en el tramo ACQ 1.1 y 1.2, (0-100 cm), parece que la humedad residual es muy próxima a cero, cosa que parece ser corroborada en todas las muestras y por todas

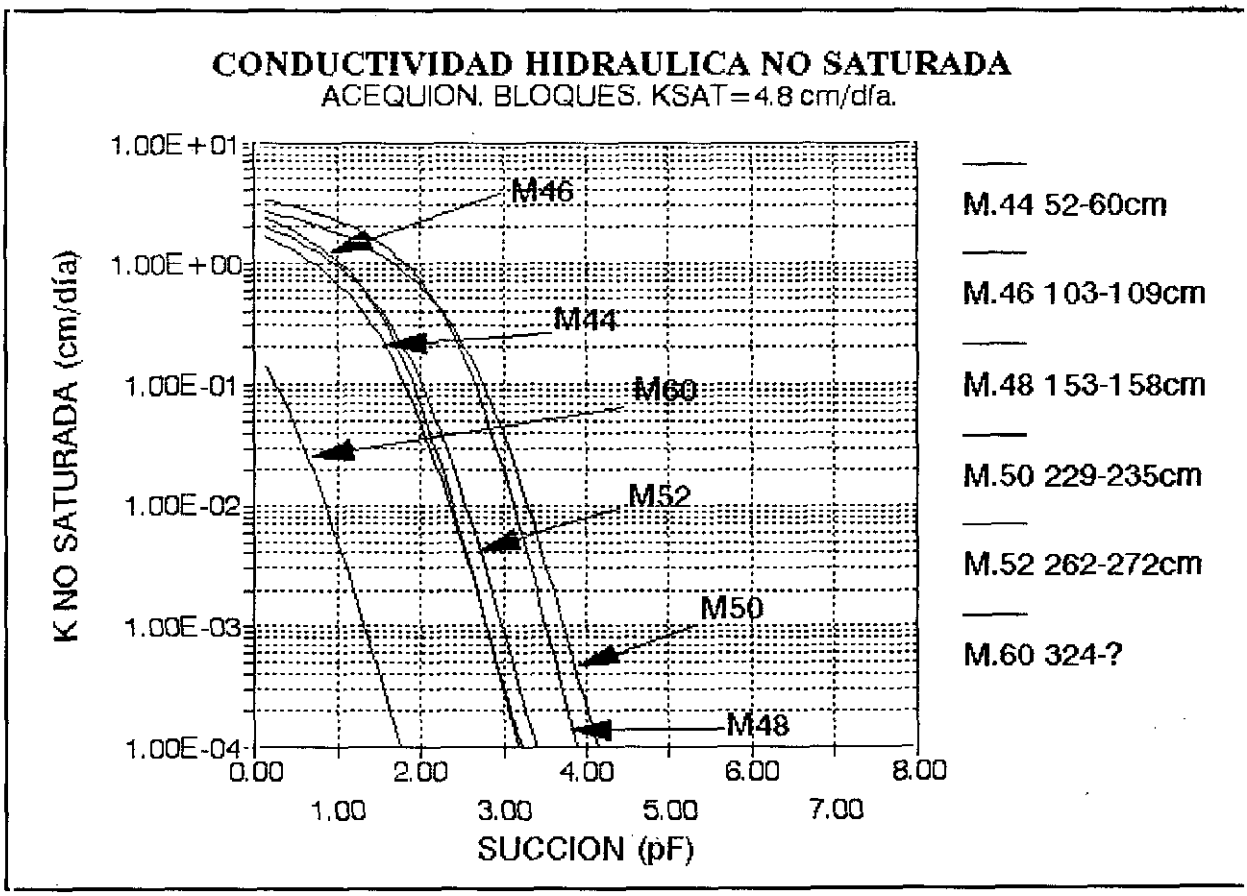


Fig 7.13; Curvas de conductividad hidráulica no saturada, para la parcela experimental del Acequión.

las metodologías utilizadas.

- **Las porosidades eficaces obtenidas** se presenta en la tabla 7.4, la porosidad eficaz se ha calculado como la diferencia existente entre el contenido volumétrico de humedad a saturación y la residual. Obsérvese como los resultados obtenidos con un Richards, para la parte superficial muestran porosidad eficaces de hasta casi un 65%, valor inverosímil, mientras que en profundidad oscila entre un 8 y un 30%. Con los ensayos del papel de filtro se obtuvieron porosidad eficaces comprendidas entre 20 y un 40%. Parece que la porosidad eficaz en la parte superior del terreno (0-100 cm), se aproxima al 40%, mientras que a profundidades superiores la porosidad eficaz es de un 20%. La muestra M54 presenta una porosidad eficaz del 50%, valor que resulta de nuevo excesivo, confirmándonos una vez más en la hipótesis, que los resultados obtenidos para esta muestra no fueron aceptables. Parece pues, que si no se tienen en cuenta algunos datos anómalos, los datos de porosidad eficaz en ambas tandas de muestras resultan coherentes.

- En cuanto al **método de Clapp y Hornberger** (1978), cabe decir que las curvas obtenidas se mueven dentro de los rangos de humedad a saturación (un 40% aproximadamente), y residual, (entre un 5 y un 15%), estimados por otros métodos. Puede observarse (ver fig.7.11), como efectivamente, las muestras superiores presentan una humedad residual pequeña (próxima a 0.05), muy semejante a la medida directamente. No obstante el tramo primero de la curva, es el que peor se resuelve, y es precisamente en las succiones más bajas, en las que se produce casi todo el movimiento de agua en el suelo. Esta última consideración nos hace rechazar por completo el método.

A modo de **conclusiones** podría decirse que:

- La humedad a saturación resulta ligeramente superior en las muestras ensayadas con un Richards, lo que podría implicar que en los ensayos con papel de filtro no se consiguió en algunas muestras una saturación adecuada. No obstante, el valor de entrada de aire en las muestras ensayadas con esta metodología resulta muy aceptable.

- Las curvas determinadas con cámara de Richards no son del todo adecuadas. Los valores de entrada de aire, (h_b), obtenidos con las muestras analizadas en la cámara resultan un orden de magnitud inferior a lo que cabría esperar.

- La humedad residual obtenida con ambas metodologías es muy similar, lo que parece indicar que el parámetro ha sido correctamente estimado en ambos casos.

- Una posible fuente de error en muestras arcillosas, es el cambio de volumen que sufren al ser sometidas a distintas succiones. Parece determinante en este tipo de muestras realizar mediciones de volumen, para cada uno de los puntos en los que se mida succión, independientemente de la técnica elegida.

- Parece que las curvas obtenidas con el método del papel de filtro, descartando la muestra M54, son las que han producido mejores resultados en su conjunto.

7.2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA:

Aunque se realizó un pequeño ensayo de infiltración en esta parcela, se obtuvieron unos resultados inverosímiles, por lo que no ha sido tenido en cuenta. Para estimar de una manera aproximada la conductividad hidráulica saturada se han tenido en cuenta algunas observaciones de campo.

Tras una tormenta de 73 mm precipitados en unas 10 horas, se observó que se formaba un charco de grandes dimensiones en las vecindades de la parcela experimental. El charco presentaba una altura de agua de unos 15 cm, y en dos días había desaparecido por completo. Vamos a suponer que como mínimo se infiltra en dos días y como máximo en 3 días. Esto nos da tasas de infiltración comprendidas entre 48 y 72 mm/día. Suponiendo que esta sea la tasa máxima de infiltración de este suelo (ver apartado 4.6.1.1), la tasa de infiltración llega a ser igual a la conductividad hidráulica saturada, por lo que se estima que la misma va estar comprendida entre 48 y 72 mm/día. Utilizando una hipótesis conservadora y dado que el último valor parece excesivo, se ha tomado una conductividad igual a 48 mm/día. Hay que señalar no obstante, que sólo sería válido para la parte superficial del perfil. No obstante, la carencia de datos hace que este valor se utilice para todo el perfil.

Para estimar la conductividad hidráulica no saturada $K(\theta)$, se ha utilizado el modelo de Mualem (1976). Para más detalles se refiere al lector al apartad0 4.5.3, ecuación 4.64, en el que se hace una descripción de este modelo. El código SOHYP de van Genuchten (1978) utiliza el modelo de Mualem para el cálculo de $K(\theta)$.

Es condición necesaria conocer la curva de retención en el lazo de desorción. Se han tomado las curvas de retención elaboradas con el procedimiento del papel de filtro, y asignando una conductividad saturada igual a 4.8 cm/día se han obtenido las curvas de la fig 7.13. En ellas se muestra la como varía la conductividad hidráulica cuando varía la succión.

Las curvas de conductividad obtenidas, se agrupan claramente en dos familias prácticamente paralelas, a excepción de M60. M48 y M50 presentan curvas de conductividad casi idénticas, aunque sus curvas de retención son completamente diferentes. M44, M46 y M52, forman el otro grupo. Se observa que para pF 2 (100 cm de succión), la conductividad para el primer grupo, es igual a 1 cm/día, mientras que para el segundo, se hace igual a 0.1 cm/día, un orden de magnitud menor. Parece que los resultados obtenidos debieran ser opuestos, ya que M48, está tomada en un tramo muy arenoso, no obstante, la matriz es completamente arcillosa, y la permeabilidad vertical resultante se encuentra siempre condicionada por el más impermeable de los materiales.

7.2.5 RESULTADOS PROPORCIONADOS POR LOS BLOQUES DE YESOS

A continuación se pasa a discutir los resultados que se han obtenido con las medidas sistemáticas de potencial mátrico efectuadas en esta parcela, así como los resultados obtenidos con la toma de muestras inalteradas.

7.2.5.1 POTENCIAL TOTAL

Como ya ha sido explicado en el capítulo anterior, en la parcela de Acequión se instalaron dos tandas de bloques de yeso. Un primer perfil, primera tanda, se instaló con 6 bloques cada 50 cm, entre 50 y 300 cm. Con posterioridad se procedió a la instalación de un segundo conjunto, segunda tanda. Se instalaron esta vez 7 bloques, entre 50 cm y 420 cm de profundidad. Los bloques de 50, 100, 150, y 420 cm se instalaron en sondeos independientes y los bloques de 200, 250 y 300 cm se instalaron en el mismo sondeo. Las medidas del primer conjunto de bloques, comenzaron en febrero de 1993 y se han medido ininterrumpidamente hasta septiembre de 1995. Las mediciones del segundo perfil de bloques comenzaron en diciembre de 1993 y sus medidas se han continuado hasta septiembre de 1995.

Con la curva de calibración elaborada para relacionar succión y medida del humidímetro, (ver fig.6.21), se ha obtenido la evolución de la succión a lo largo de más de dos años de medidas. Conociendo el potencial mátrico se determina automáticamente el potencial total sin más que sumar el potencial gravitacional, de acuerdo con la ecuación 4.26 y tal como se ha explicado en la figura 6.8.

En el gráfico de la figura 7.14 se puede observar la evolución del potencial total desde febrero del año 1993 hasta septiembre de 1995, de acuerdo con los resultados proporcionados por la primera tanda de bloques a 150, 200, 250 y 300 cm de profundidad.

- Puede apreciarse la existencia de dos periodos muy marcados, el primero comenzando en febrero de 1993. El potencial disminuye (se hace más negativo), casi constantemente, hasta julio de 1994, dónde se produce un brusco aumento. El segundo comienza en julio de 1994, con un nuevo descenso, hasta septiembre de 1995, dónde aumenta de nuevo.
- En conjunto, se observa que el potencial total es menor a 150 cm, que a 200, y este menor que a 250. Por el contrario a 250 cm se invierte este fenómeno, y el potencial es mayor a 250 cm que a 300. Indica esto la presencia de un plano de flujo nulo, (PFN), divergente a 250 cm. Por encima de dicho plano, el flujo es ascendente,

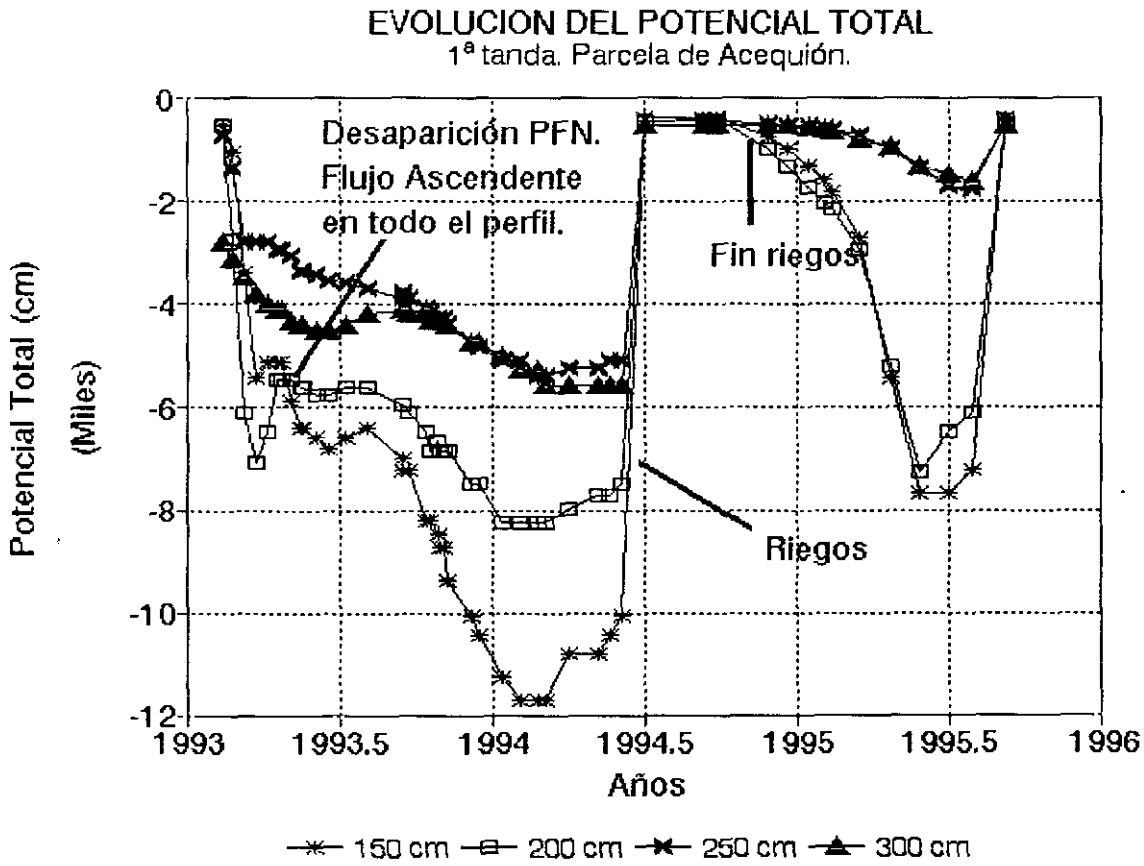


Fig 7.14; Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 1ª tanda de bloques, 150, 200, 250 y 300 cm de profundidad.

y por debajo descendente. Ocasionalmente, (el día 312, 8/11/93 p.e.), el PFN divergente se localiza por debajo de 300 cm, por lo que el perfil que se establece es un perfil típico de ascenso de humedad. Esta situación se mantiene prácticamente constante hasta julio de 1994, fecha en la que riegan.

- Tras los riegos, puede observarse como la situación vuelve prácticamente a estabilizarse, no obstante los valores de potencial total a 300 y 250 cm se mantiene elevados y muy por encima de los medidos en 1993. Esta situación se mantiene hasta agosto de 1995, fecha en la que vuelve a aumentar drásticamente el potencial, debido a una fuerte tormenta, (54 mm), registrada el 21 de agosto de 1995.

- En las figuras 7.4 y 7.5 se pueden consultar las precipitaciones habidas a lo largo del período de medidas en El Acequión. Puede observarse como el ligero ascenso de potencial observado alrededor del día 200 (17/7/93), se debe a las precipitación de junio del 93; precipitan 57 mm entre los día 6 y 7 (días 158 y 159). Se aprecia como los puntos a 150 y 200 cm de profundidad acusan claramente esas lluvias, con un cierto retardo, ya que el máximo se observa el día 214 (2/8/93) a 150 y 200 cm. A 250 cm no se observa ascenso alguno, sino una pequeña inflexión, y a 300 un ligero ascenso, ambos con un máximo el día 256 (13/9/95).

Las lluvias del mes de noviembre de 1993, apenas quedan reflejadas en variaciones de potencial total, sin embargo el dos de marzo de 1994, se observa un ligero ascenso de potencial a 150 y 200 cm, debido a estas precipitaciones.

- No puede determinarse hasta que punto han influenciado las precipitaciones el potencial total desde verano de 1994 hasta otoño del mismo año, debido a los riegos que fueron aplicados. Entre los días 4 de junio y 7 de julio de 1994 el potencial total se desplaza hacia los valores positivos. El potencial mátrico se hace próximo a cero, y el flujo llega a estar casi condicionado por la gravedad. Parece claro que se ha producido una entrada importante de agua en el perfil.

En la figura 7.15 se presenta le evolución del potencial total a 50 y 100 cm.

- Debe señalarse que los bloques de yeso se encuentran fuera de su rango de funcionamiento óptimo, cuyo límite superior de succión es 16000 cm de agua, (ver apartado 5.2.1), por lo que la sensibilidad que a estos potenciales debe esperarse es pequeña.

No obstante pueden apreciarse una serie de hechos. El primero de ellos es que las líneas se entrecruzan indicando flujo ascendente y descendente en la parte superior y en distintas etapas. Pese a ello, no se prestará demasiada atención a este fenómeno ya que con unos potenciales totales tan pequeños la conductividad hidráulica no saturada ha de ser muy próxima a cero y por tanto el flujo casi nulo.

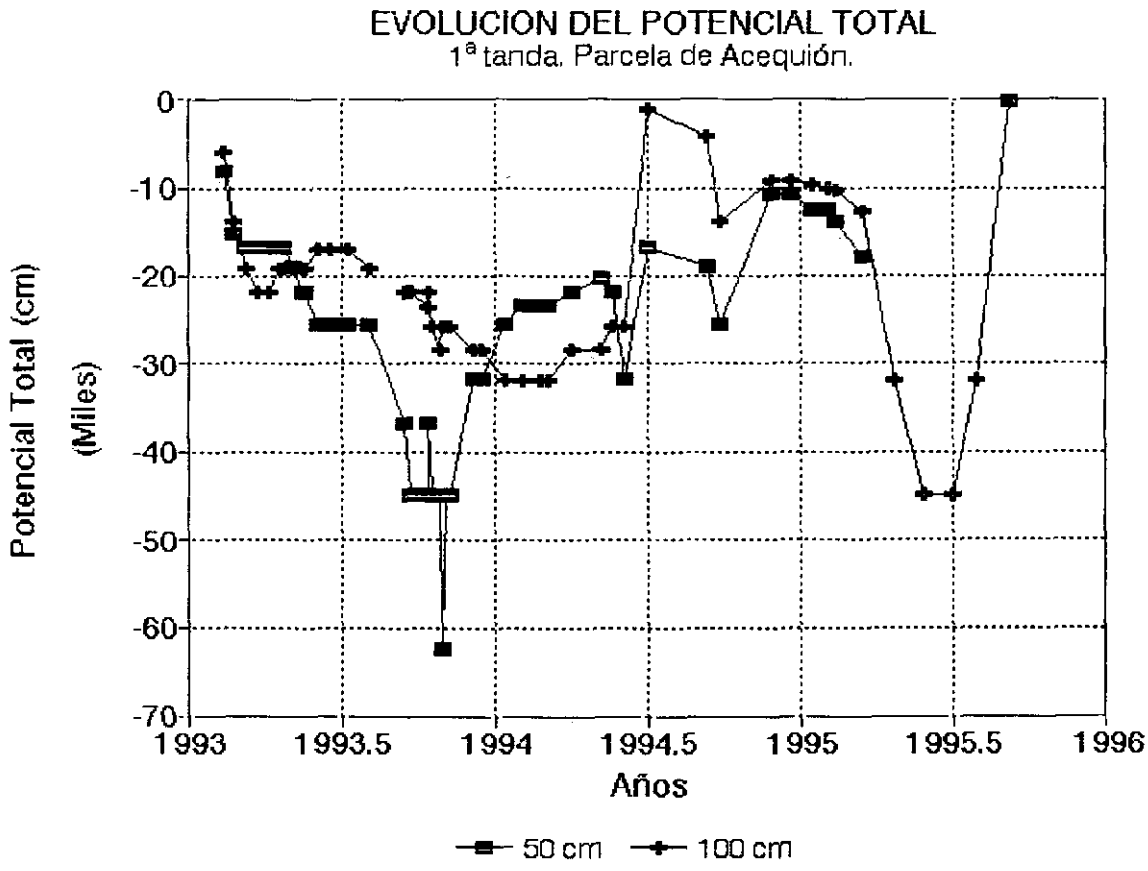


Fig 7.15; Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 1ª tanda de bloques, 50 y 100 cm de profundidad.

- El potencial total es más pequeño a 50 y 100 cm, que en el resto de los puntos medidos, indicando esto nuevamente que el perfil que se tiene es un perfil de ascenso de humedad.

Puede apreciarse como debido a las lluvias, comparar figuras 7.4 y 7.5, el potencial total presenta oscilaciones, y como existe un retardo en la repuesta del punto situado a 100 cm, con respecto del situado a 50 cm. Así pues las lluvias de noviembre de 1993, provocan un aumento de potencial casi inmediato a 50 cm, mientras que a 100 cm, el potencial total continúa disminuyendo hasta el día 22/2/94 (día 418), fecha en la que acusa un aumento.

El potencial total aumenta claramente en julio de 1994, debido a los riegos. A partir de esa fecha continúa descendiendo, hasta septiembre de 1995, fecha en la que se observa un brusco aumento debido a la tormenta del 21 de agosto de 1995.

En la figura 7.16 se puede observar la evolución del potencial total en la segunda tanda de bloques de yeso, a 200, 250, 300 y 420 cm desde diciembre de 1993 hasta junio de 1995. Parece que los resultados proporcionados por los primeros bloques instalados, presentan unos valores de potencial total muy semejantes. La tendencia general, en ambos gráficos es muy similar mostrando que el funcionamiento de los bloques ha sido aceptable.

- Resulta notorio como el potencial total en el primer perfil aumenta en todo el perfil con los riegos aplicados en el año 94, ya el día 2/7/94, mientras que en el segundo perfil, el aumento brusco se puede observar el 9/9/94. Hay que señalar que entre ambas fechas no se dispone de ningún dato.

- De acuerdo con la segunda tanda de bloques, el flujo es completamente ascendente desde 420 cm de profundidad, no obstante, en la segunda tanda no todos los bloques se encuentran localizados en un perfil completo, lo que hace que esta consideración deba ser tomada con cierta reserva.

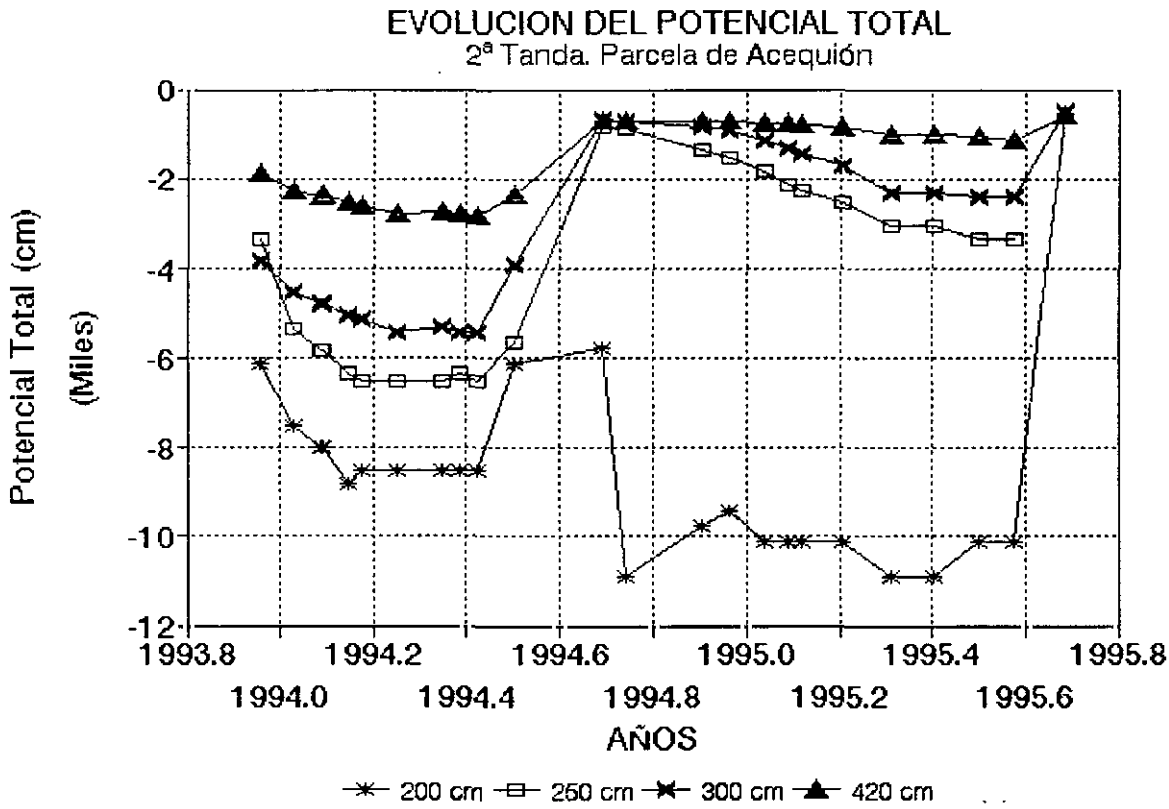


Fig 7.16; Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 2ª tanda de bloques, 200, 250, 300 y 420 cm de profundidad.

En la figura 7.17 se muestra la evolución de los bloques a 50 y 100 cm de profundidad en la segunda tanda y se observa que:

- Desde Diciembre de 1993 hasta junio de 1994:

Existe un marcado plano de flujo nulo convergente entre 50 y 100 cm. Obsérvese que el potencial total es menor a 100 cm que a 50 cm. Esta situación se mantiene prácticamente estable hasta el 4 de junio de 1994.

El potencial total oscila entre unos -5000 cm a 300 cm de profundidad y unos -33000 cm en superficie. Esto implica que el flujo está condicionado prácticamente por el potencial mátrico. El potencial total se mantiene prácticamente constante desde 150 cm de profundidad hasta 300 cm. Los primeros 100 cm experimentan más oscilaciones.

- A partir del día 5 de marzo de 1994 hasta el día 7 de julio todos los bloques acusan un suave aumento del potencial total, a excepción del bloque situado a 50 cm que muestra como el potencial total a esa profundidad es ahora más negativo que a 100 cm. El plano de flujo nulo ha desaparecido y el perfil es clásico de uno sometido por completo a evaporación, hasta los 300 cm por lo menos.

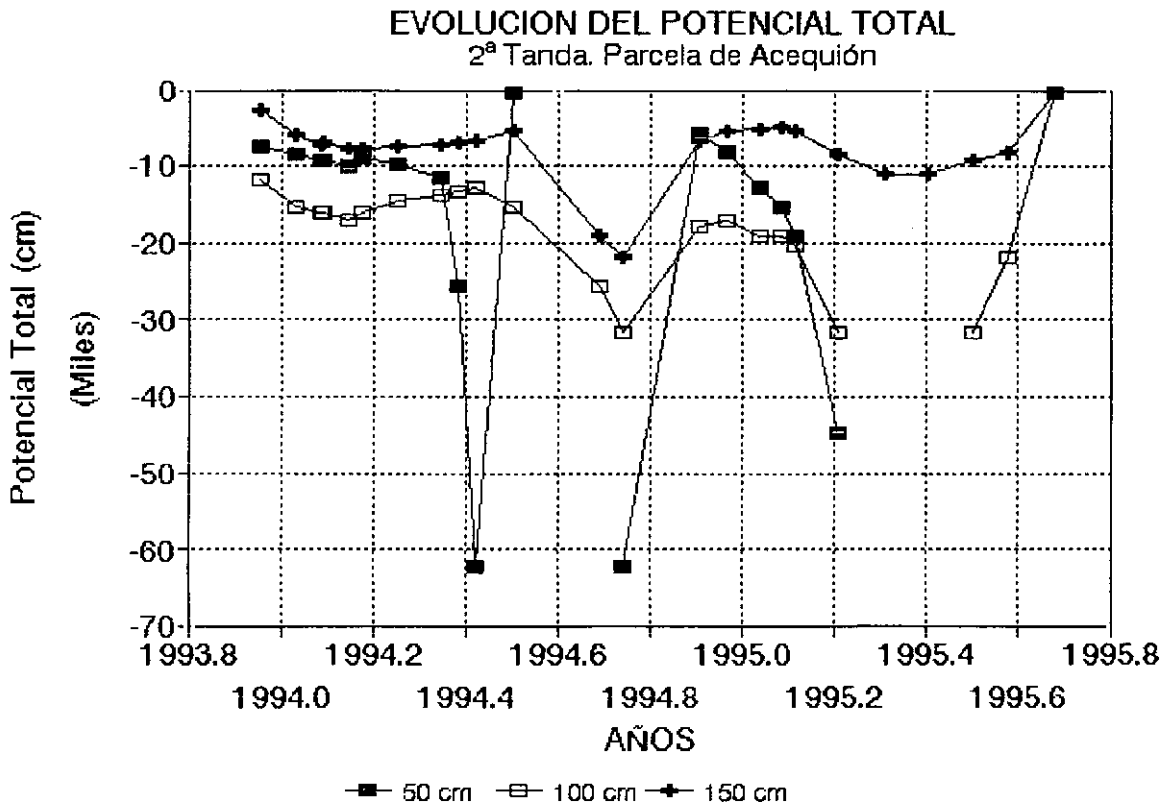


Fig 7.17; Evolución del potencial total en la parcela experimental de Acequión, a lo largo del tiempo. 2ª tanda de bloques, 50, 100 y 150 cm de profundidad

7.2.5.2 PERFILES DE POTENCIAL TOTAL

Se van a presentar a continuación, una serie de gráficos que muestran la evolución del potencial total en el perfil; se han seleccionado los más representativos.

En la figura 7.18, se muestra la evolución del potencial total, desde marzo de 1993, hasta julio del mismo año. El perfil se mantiene a lo largo de ese período con el aspecto que el gráfico muestra. En un principio, se observa flujo divergente a 150 cm, indicando esto una pérdida de humedad. Se puede observar como a 150 disminuye el potencial total, fruto de esa pérdida de humedad, comenzando a establecerse un perfil clásico de ascenso de humedad. Puede apreciarse la progresiva disminución de potencial total en la parte superior.

Entre 200 y 250 cm se localiza un PFN divergente, indicando que a partir de unos 250 cm el flujo se torna descendente.

En la figura 7.19 puede verse como a partir de noviembre del 93, se establece un perfil casi completo desde 300 cm de profundidad, de ascenso de humedad. Entre los días 3 de noviembre del 93 y 6 de mayo de 1994 se observa que se suceden entradas de agua en la parte superficial del perfil ya que el potencial total aumenta a 50 cm de profundidad, entre ambas fechas; no obstante, los potenciales totales son menores de -20000 cm, un pF superior a 4 de acuerdo con las conductividades estimadas (ver fig.7.13), supone un flujo de 0.0001 cm/día, y por tanto prácticamente despreciable. El día 4 de junio se puede observar como el flujo se torna descendente entre 200 y 300 cm de profundidad, no obstante a ello, los potenciales totales este último, día son menores de -5000 cm, por lo que el flujo es de nuevo ínfimo. Los día 22/2/ y 6/5/94, se observan sendos PFN convergentes, indicando un ligero humedecimiento de la parte superficial. Esta situación se mantiene estable, hasta julio de 1994, momento en el que instalan un riego por aspersores.

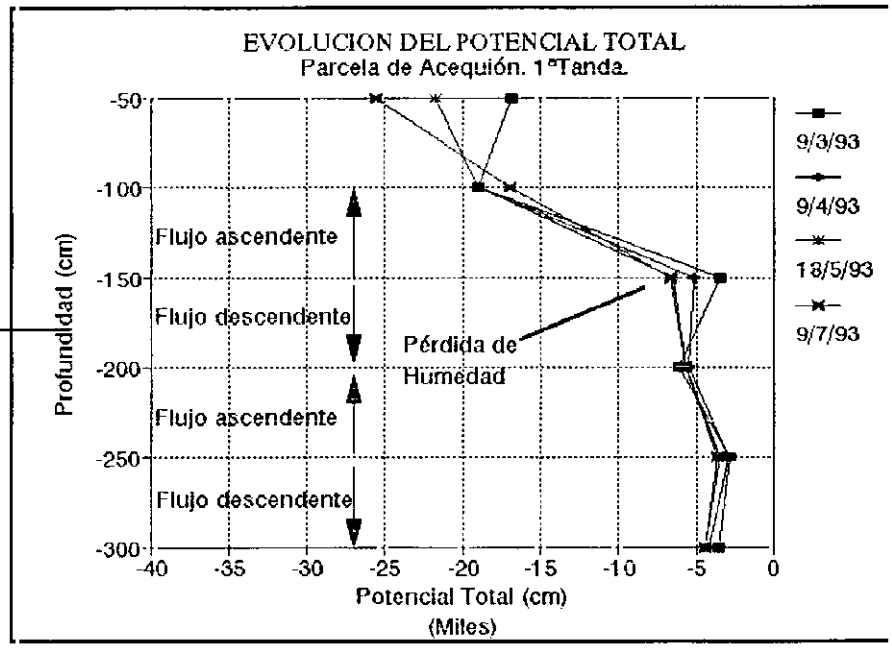


Fig 7.18; *Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 9/3/93, hasta el día 9/7/93. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.*

En la figura 7.20 se puede observar como se establece un perfil de drenaje. El perfil de drenaje sólo pudo ser observado en la parte inferior de terreno. Esto puede ser debido a la fuerte evapotranspiración originada por los girasoles; pese a que el contenido de humedad aumentó también en la parte superficial, la pérdida de agua fue muy rápida, y no queda registro de una parte superficial muy húmeda. La parte superior no se muestra (entre 0 y 150 cm), ya que los potenciales son muy pequeños (cerca de -10000 cm). Entre los días 2/7 y 9/9, el flujo es descendente entre 150 y 300 cm, mientras que los demás días el flujo descendente ya sólo se observa entre las secciones de 200 y 300 cm.

Entre los días 27/9 y 26/11 se comienza a formar un plano de flujo nulo convergente a unos 200 cm. Resulta incoherente el comportamiento de esta sección del perfil, ya que recibe constantemente humedad, y puede observarse como el potencial disminuye desde unos -400 cm el día 9/9, hasta -1700 el día 14/1.

En cuanto a la parte superficial del terreno conviene señalar que se ha mantenido a potenciales muy bajos. No ha sido posible observar un perfil completo de drenaje, simplemente debido a que la evapotranspiración hace que el contenido de humedad en la parte superficial disminuya muy rápidamente después de las dosis de riego aplicadas. Entre enero de 1995 y agosto de 1995, el perfil vuelve a estabilizarse de una manera muy similar a la mostrada en la figura 7.19.

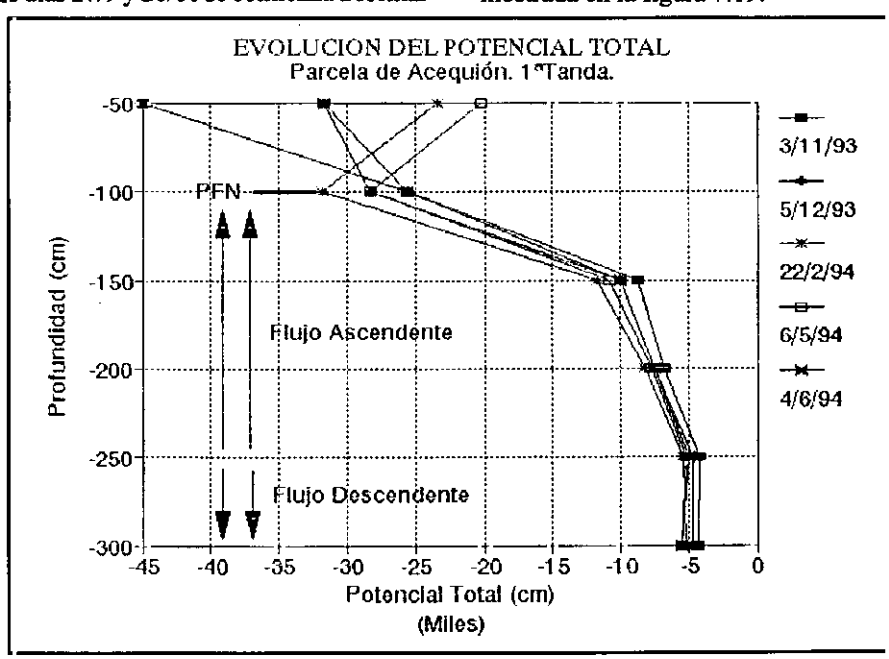


Fig 7.19; *Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 3/11/93, hasta el día 4/6/94. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.*

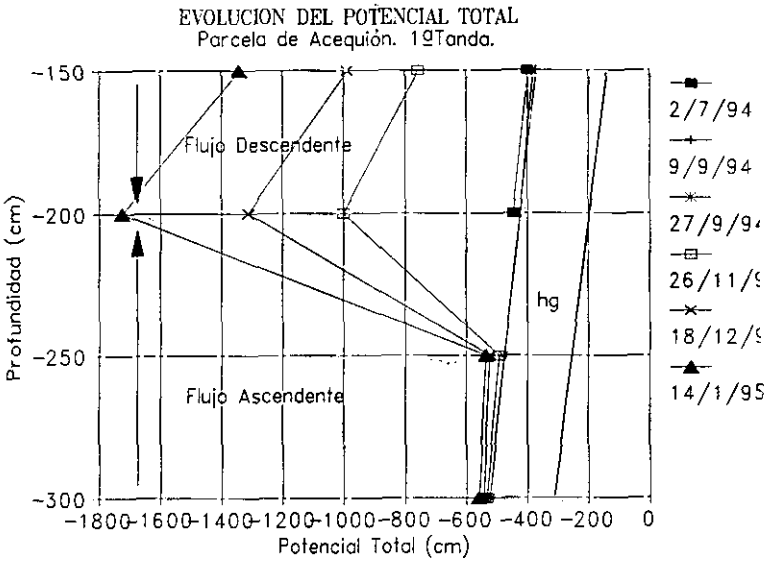


Fig 7.20; Evolución del potencial total en un perfil, desde el dia 2/7/94, hasta el día 14/1/95. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.

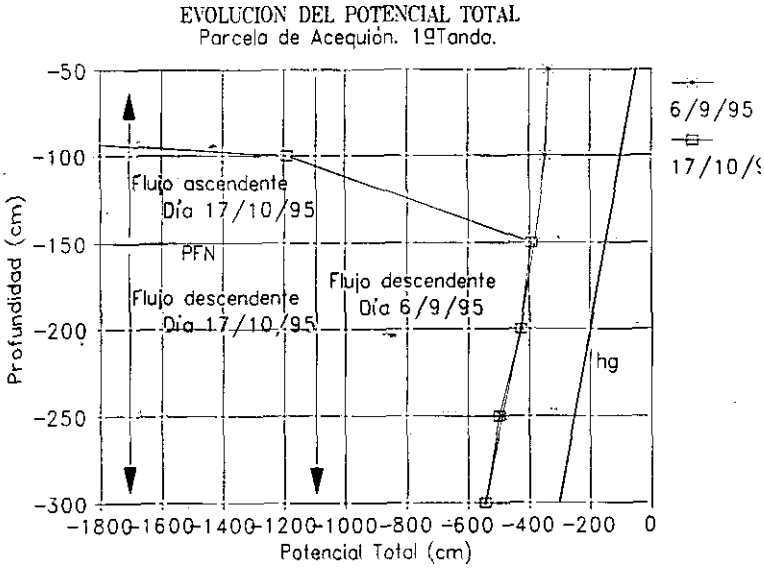


Fig 7.21; Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 6/9/95, hasta el día 17/10/95. Parcela de Acequión. 1ª Tanda de bloques.

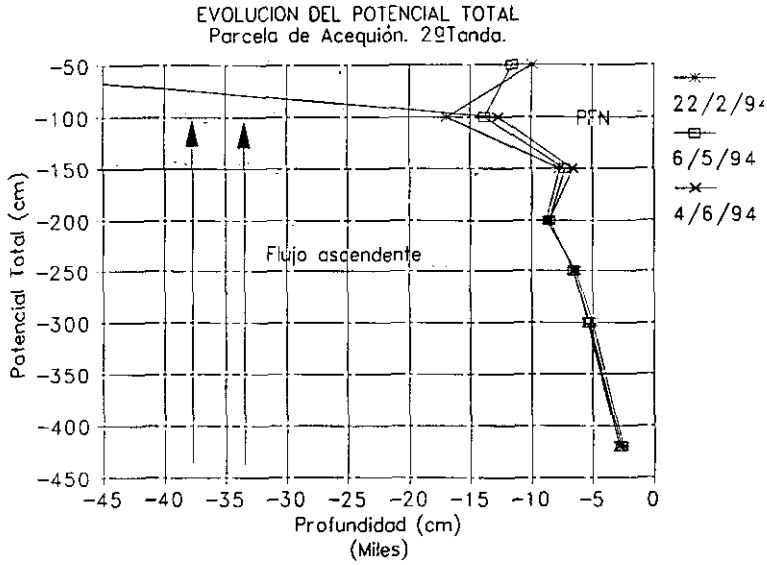


Fig 7.22; Evolución del potencial total en un perfil, desde el día 22/2/94, hasta el día 4/6/94. Parcela de Acequión. 2ª Tanda de bloques.

El 21 de agosto de 1995 una tormenta de 54 mm, provoca una saturación casi completa del perfil. Se presenta por último el perfil en otoño de 1995, los días 6 de septiembre y 17 de octubre de 1995, ver fig.7.21. Esta figura, presenta la particularidad de poder observarse un perfil de drenaje, inducido por una causa completamente natural. Es la primera vez en casi tres años de medidas, que parece haberse producido un fenómeno de infiltración importante, si se exceptúa el período de riegos. El día 9 se aprecia un perfil completo de drenaje, incluida la parte superior. El día 17 de octubre se puede observar como la parte superior hasta 50 cm se ha secado ya considerablemente, y aunque no aparece en el gráfico se mide un potencial total de -6139 cm a 50 cm de profundidad. Resulta novedoso, como frente al perfil de la figura 7.20 en la que el potencial total en la parte superior era de unos -10000 cm, aquí aumenta hasta -335 cm a 50 cm de profundidad el día 6/9. El hecho de haber podido observar potenciales tan altos en la parte superficial, pueda deberse quizás a que el suelo se encontraba desnudo, sin apenas vegetación alguna, con lo cual la evaporación apenas alcanza una franja de menos de 50 cm, mientras que el perfil mostrado en la época de riegos, el suelo estaba cubierto por girasol, cuyas raíces eran capaces de evapotranspirar agua obtenida a mayores profundidades. Se observa también como se aproxima el potencial total al gravitacional (h_g) indicando flujo casi condicionado por la gravedad. El día 17/10, la parte superior se ha secado y se ha formado un PFN divergente, no obstante los potenciales se mantienen casi a partir de 150 cm.

Se presenta la figura 7.22, en la que se muestra el perfil, pero elaborado con los resultados obtenidos con la segunda tanda de bloques, y para las fechas 22/2/94, 6/5/94 y 4/6/94. (Comparar con la figura 7.19). Parece que los resultados obtenidos con ambas tandas son muy semejantes; los potenciales medidos a 300, 200, 150, presenta ligeras o nulas variaciones una tanda con respecto de la otra. Este perfil presenta la particularidad de mostrar la evolución del potencial hasta 420 cm. Se observa como el flujo es ascendente ya desde los 420 cm de profundidad, de acuerdo con este perfil. Mayores desviaciones se observan de unas medias con respecto a otras en la parte superior del perfil, a 50 cm el bloque de la primera tanda mide el día 22/2 -23434 cm, mientras

que el de la segunda mide -9965 cm. No obstante ambos perfiles evidencian un ligero humedecimiento entre 50 y 150, indicando una misma tendencia.

En la figura 7.23, se muestra el evento de infiltración del 21 de agosto de 1995 y el más importante registrado, de acuerdo con la segunda tanda de bloques. Básicamente el flujo es descendente y totalmente gobernado por la gravedad, obsérvese como la línea de potencial gravitacional se aproxima al potencial total. Los potenciales de nuevo vuelven a ser semejantes a los representados en la figura 7.21, no obstante pueden observarse algunas diferencias. A 200 cm se observa que el potencial es menor que a 50 y a 250, indicando que el terreno a esta profundidad recibe flujo ascendente y descendente. Como consecuencia el terreno recibe constantemente humedad a 200 cm.

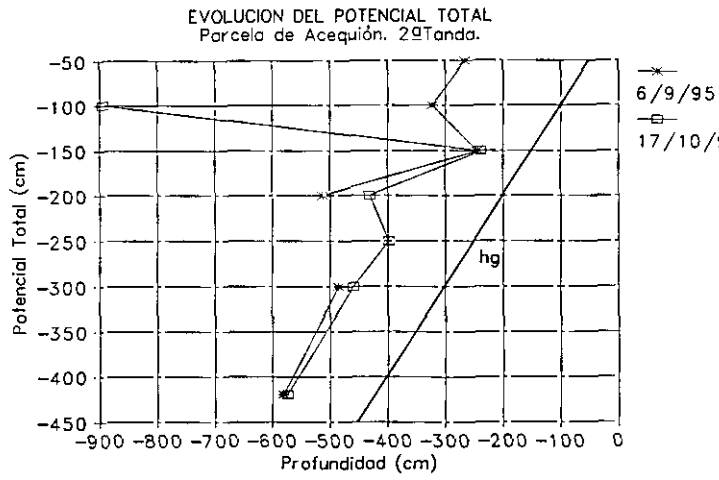


Fig 7.23; Evolución del potencial total en un perfil, los días 6/9/95 y 17/10/95. Parcela de Acequión. 2ª Tanda de bloques.

El potencial total por tanto ha de aumentar a esa profundidad tal y como sucede, ya que el día 17/10 el potencial total es -513, y el día 9/9 es igual a -431 cm. No obstante, en un perfil de drenaje tal y como el que se muestra, no deberían encontrarse fenómenos de este tipo ya que el flujo es totalmente descendente, y prueba de ello es que el punto localizado a 420 cm ha aumentado su potencial total desde -1109 cm, el día 27/7/95, hasta -574 cm el día 17/10/95. Este fenómeno se debe posiblemente a que los bloques con los que se ha realizado el perfil, se encuentran instalados en distintos sondeos.

Como principales conclusiones cabría señalar que:

- Durante casi tres años de medidas, en esta parcela el flujo ha sido mayoritariamente ascendente hasta 400 cm de profundidad, pudiéndose haber estado evaporando agua directamente de la zona saturada, que en este punto se aproxima a los 5 m de profundidad. No obstante, puede ser que puntos espacialmente muy próximos podrían estar uno recibiendo recarga, y otro sometido a evaporación, casi a la misma profundidad.

- Los episodios de infiltración (y por tanto la recarga) parece que han sido muy escasos, y haber afectado exclusivamente a los 200 cm superiores. La infiltración ha debido ser prácticamente despreciable, si se tiene en cuenta que el potencial total a 150 y 200 cm se ha mantenido con pocas excepciones entre -5000 y -12000 cm. No obstante a ello, en los momentos en los que se ha observado un perfil de drenaje si puede haber ocurrido recarga

- Los potenciales totales medidos en la parte superficial, se han encontrado fuera del rango de funcionamiento óptimo de un bloque de yeso, casi siempre.

- Sólo han sido registrados dos fenómenos claros en los que se ha podido producir recarga, uno debido a los riegos efectuados en el verano de 1994, y otro debido a una tormenta de 54 mm acaecida el día 21 de agosto de 1995.

- Debe señalarse que esta parcela se ubica en una hondonada, que cuando las lluvias exceden los 40 mm, en unas pocas horas se aniega, y recoge la lluvia precipitada en las cercanías. Debido a esto es muy posible que la infiltración que se registra aquí, no sea parecida a la que se registre apenas 100 m, fuera de la parcela.

7.2.6 RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TOMA DE MUESTRAS

Con objeto de contrastar los resultados proporcionados por los bloques de yeso, se perforaron como ya se ha dicho ocho sondeos de hasta casi 3 m de profundidad. En algunas ocasiones las muestras se aprovecharon para determinar las curvas de retención de los suelo, pero siempre se utilizaron para determinar el contenido volumétrico de humedad en el terreno.

Con los perfiles de humedad y conocidas las curvas de retención de un suelo se pueden también determinar los perfiles de potencial mátrico y de potencial total, utilizando el modelo de van Genuchten (1978), ver ecuación 4.63.

Lo más delicado de todo es asignar un determinado tipo de curva a cada una de las muestras de las que se conoce su contenido volumétrico de humedad. Una vez discretizado el perfil en tramos homogéneos, se asignó a cada tramo una curva de retención característica. Aunque se utilizaron tres procedimientos para estimar las curvas de retención, se van a presentar a continuación los resultados obtenidos utilizando sólo dos de los procedimientos, el método del papel de filtro y las obtenidas mediante el procedimiento de Clapp y Hornberger (1978).

7.2.6.1 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO

Es necesario asignar a cada una de las distintas unidades litológicas diferenciadas en el perfil su curva de

retención correspondiente. En la tabla 7.5 se pueden ver los tramos en los que fueron tomadas las muestras.

Los distintos tramos diferenciados, y especial el tramo ACQ 3 presenta tres unidades diferentes que no siempre aparecen en la misma posición. Para asignar a cada una de las muestras cuyo contenido volumétrico de humedad en estado natural se conocía, su curva de retención correspondiente, no solamente se utilizó el criterio de la profundidad a la que había sido tomada cada muestra. Dado que se conservan todas las muestras se realizaron grupos con litología homogénea, y se asignó a cada grupo su curva de retención por profundidad y semejanza litológica. El resultado se ajusta a lo que cabía esperar por las profundidades a las que fueron tomadas las muestras hasta unos 150 cm. En el tramo tres y en parte del tramo 2 no coinciden profundidad de la muestra y curva de retención asignada, debido como ya se ha dicho a la mayor heterogeneidad de los mismos.

En la tabla 7.5 se presentan las curvas de retención que corresponden a cada muestra:

Tabla 7.5: Curvas de retención asignadas a cada muestra inalterada

CURVA DE RETENCIÓN	NÚMERO DE MUESTRA Y PROFUNDIDAD DE LA MISMA (cm)	ASIGNACIÓN DEFINITIVA
M44	M43(45-52), M55(0-10) M62(50-58), M71(51-61) M85(10-29), M100(15-25) M101(38-46)	
M46	M45(98-104), M63(90-96) M72(90-98), M87(72-82) M102(82-93)	
M48	M47(143-153), M64(115-125) M65(145-165), M73(114-121) M74(144-148), M88(97-107) M89(130-139), M90(157-165) M103(117-128), M104(158-168)	
M50	M51(252-260), M68(251-271) M92(247-25?), M107(248-258	M89(130-139) M74(144-148)
M52	M49(214-223), M67(170-179) M67(250-258), M77(250-258) M91(175-206), M93(290-300) M106(214-224)	
M60	M53(290-305), M69(308-317) M70 (345-355), M75(180-189 M76(210-219), M78(308-317) M79(345-?), M94(346-352) M95(390-400), M105(182-192) M108(290-300), M109(327-337) M110(360-368)	M49(214-223) M68(251-271) M93(290-300) M104(158-168 M106(214-224)

Subrayado: Muestras a las que fue necesario aplicarles otra curva de retención diferente, a la asignada previamente por la profundidad a la que fueron tomadas. A esta muestras se les asignó su curva por semejanza litológica. Normal: Muestras cuya asignación inicial se mantuvo.

Aunque esta fue la asignación preliminar realizada, no se pudo calcular la succión de algunas muestras ya que la ecuación daba valores absurdos. Se analizó cada una de las muestras «problemáticas». Se observó que las dos principales fuentes de errores fueron las siguientes:

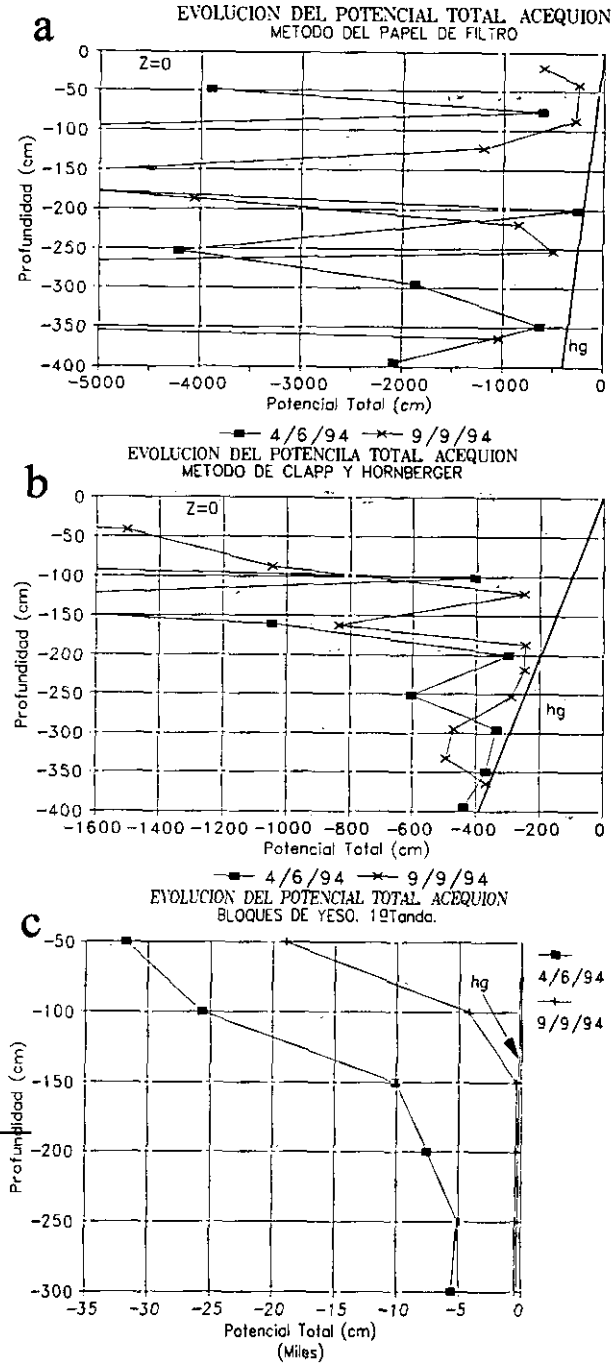


Fig 7.24; Evolución del potencial total los días 4/6/94 y 9/9/94. Datos procedentes de muestras inalteradas, utilizando a) las curvas de retención estimadas con el método del papel de filtro, b) utilizando el método de Clapp y Hornberger (1978), c) bloques de yeso.

- La humedad residual de la curva de retención era mayor que el contenido volumétrico de humedad de la propia muestra.

- El contenido volumétrico a saturación de la curva de retención era menor que el contenido volumétrico de humedad de la propia muestra. Este problema lo presentaban la mayor parte de las muestras cuya curva de retención es M-60. Repasando los datos se ha observado que el contenido volumétrico en estado natural de la muestra era 0.53151 (ver tabla 7.3), algo superior a la

saturación conseguida en laboratorio. La conclusión a la que esto conduce es que la muestra no llegó a saturarse en laboratorio. Las muestras tomadas a unos 300 cm estaban casi saturadas, con un contenido de humedad algo inferior a 0.66 cm3/cm3. Es por esto que se volvió a calcular la curva de retención de la muestra M-60 utilizando un contenido de humedad a saturación igual a 0.66. Los resultados se han presentado ya en la tabla 7.4.

En la tabla aparecen subrayadas aquellas muestras que dieron error con la curva de retención asignada. Obsérvese como las muestras problemáticas casi todas pertenecen al tramo 3, que como ya se ha dicho es muy heterogéneo. En la columna de la izquierda de la tabla se presenta la asignación definitiva dada a las muestras que en una primera interpretación dieron error.

Conocido por tanto el contenido volumétrico de humedad se determinó succión y potencial total. En la figura 7.24a se presentan dos de los perfiles de potencial total correspondientes a los sondeos realizados los días 4/6/94 y 9/9/94.

7.2.6.2 MÉTODO DE CLAPP Y HORNBERGER

De acuerdo con las granulometrías realizadas y con la clasificación de la ISSS, en la tabla 7.2 se han resumido los parámetros de Clapp y Hornberger (1978) para los distintos tramos diferenciados. Se observa que el tramo 1 es un fango limoso. El tramo 2 desde 100 hasta 140 cm es un fango limoso arcilloso, desde 140-160 cm es un fango arcilloso y desde 160 a 344 es arcilla, a excepción de un pequeño tramo 172-184 que es una arcilla limosa. Conociendo el contenido volumétrico de humedad y los parámetros proporcionados por Clapp y Hornberger, con la ecuación 4.56 se pueden hallar los perfiles de potencial mátrico y potencial total. En la figura 7.24b, se presentan los resultados obtenidos para los días 4/6/94 y 9/9/94.

Para poder establecer comparaciones, en la figura 7.24 c se presentan los perfiles de potencial total medidos con los bloques de yeso para esos mismos días.

7.2.6.3 RESULTADOS

De acuerdo con la figura 7.24 a, el potencial en el perfil oscila entre -5000 y unos -500 cm de agua, con algunas excepciones puntuales. Se observa una distribución de potencial muy irregular, con la existencia de una serie de altibajos. En algunas secciones estos «picos» parecen razonables. Obsérvese como la sección situada a unos 250 cm, el día 4/6/94 recibe humedad, y por consiguiente el 9/9/94 el potencial total ha disminuido. No obstante en otras secciones como la situada a unos 75 cm, se observan comportamientos opuestos. Esta sección pierde humedad el día 4/6/94, y contradictoriamente a lo que cabría esperar el potencial total el 9/9/94 es todavía mayor.

Ambas tandas de muestras han sido tomadas en fechas demasiado distantes, como para poder asegurar que los resultados obtenidos son incoherentes.

La distribución de potencial de acuerdo con las curvas de Clapp y Hornberger, no resulta inverosímil. Puede verse que la sección localizada a unos 160 cm de profundidad recibe humedad, con lo que se produce una lógica disminución de potencial. Idéntico fenómeno se observa a 250 cm de profundidad. Esta sección de terreno recibe humedad el día 4/6/94, por lo que el día 9/9/94 el potencial total ha aumentado. No obstante, como ya se ha dicho en el párrafo anterior, no se puede establecer comparaciones con perfiles tan distanciados en el tiempo.

El perfil obtenido con los bloques de yeso, (fig.7.24 c), es el más razonable, con una distribución de potencial total muy lineal en la parte baja del perfil como cabría esperar

Si se comparan los valores absolutos obtenidos con las curvas de Clapp y Hornberger, con las obtenidas con el método del papel de filtro y con los valores de potencial medidos con los bloques para el día 9/9/94 se observa que se encuentran dentro del mismo orden de magnitud en la parte baja del perfil. Existe sin embargo se observan discrepancias en la parte superior.

Prof.	Potencial Total		
	Bloques	Clapp y Horn.	P.Filtro
50 cm	-18934 cm	-984 cm	-245 cm
100 cm	-4224 cm	-19192 cm	-281 cm
150 cm	-373 cm	-65329 cm	-6839 cm
200 cm	-423 cm	-412 cm	-4053 cm
250 cm	-473 cm	-273 cm	-840 cm
300 cm	-523 cm	-350 cm	-364 cm

Si la comparación se realizase para los datos del día 4/6/94, las discrepancias son todavía mayores.

Parece que:

- En terrenos poco homogéneos con mucha variabilidad lateral los perfiles de potencial que se obtienen utilizando curvas de retención (determinada por el método que sea), no son adecuados, a menos que se determine la curva de retención con la propia muestra con la que se ha medido el contenido de humedad natural
- Puede suceder también, que la distribución horizontal del potencial mátrico sea muy variable. La muestras no se toman nunca en la misma vertical, ya que la humedad natural se determina mediante procedimiento destructivo, y por lo tanto no es razonable comparar dos perfiles situados en dos puntos diferentes, aunque sólo están separados algunos metros.

7.2.6.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

Como ya se ha dicho se determinaron las curvas de retención del terreno mediante diferentes metodologías. Dado que el método del papel de filtro parece haber sido el más satisfactorio, para obtener los datos de contenido de humedad, conocida la succión, se asignó una curva de retención a cada tramo litológico homogéneo, del perfil instrumentado con bloques de yeso. Esto se ha explicado

ya en el apartado 7.2.6.1.

Como se sabe la posición de cada bloque dentro de la columna litológica, se ha podido aplicar a cada sección del terreno su curva característica correspondiente, y conociendo la succión se ha podido determinar el contenido volumétrico de humedad (ver ecuación 4.63).

En la figura 7.25 puede observarse la evolución del contenido de humedad en un perfil entre 50 y 300 cm, de acuerdo con los bloques de yeso de la 1ª tanda y expresado en l/m^{-2}. La dos primeras medidas han sido despreciadas, aunque se muestran en el gráfico, ya que los bloques son saturados antes de ser introducidos en el terreno, y dichas medidas corresponden al período de estabilización del bloque.

Puede observarse como de acuerdo con los resultados obtenidos el contenido de humedad en el perfil decrece desde 582 mm el día 9 de marzo de 1993, hasta 553 mm el día 4 de junio de 1994. Con los riegos, la humedad aumenta, con un máximo observado el día 2 de julio de 1994, con 754 mm. A partir de esta fecha disminuye de nuevo la humedad contenida en el perfil hasta el día 29/7/95 con 570 mm, fecha a partir de la cual se produce un aumento de humedad de hasta 799 mm el

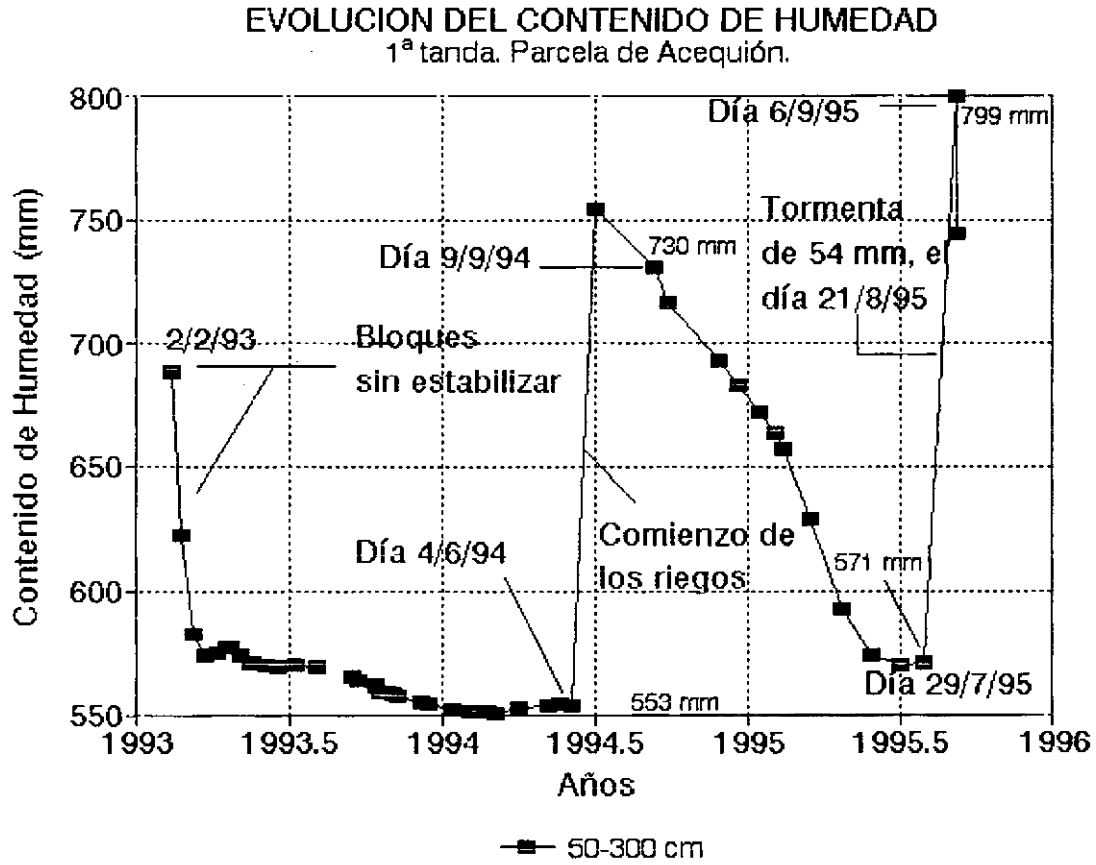


Fig 7.25; Evolución del contenido de humedad en el perfil de 300 cm en Acequión. 1ªTanda de bloques.

día 6/9/95.

La figura 7.26 es una figura análoga a la anterior, en la que se presenta el contenido de humedad almacenado en el perfil, de acuerdo con los resultados obtenidos con la segunda tanda de bloques. Para poder establecer comparaciones se ha dibujado la humedad almacenada en el perfil entre 50-300 cm y entre 50-420 cm. Los contenidos netos de humedad son muy similares en la primera y segunda tanda de bloques, para 50-300 cm, con máximos y mínimos prácticamente en idénticas fechas. Puede verse como el contenido de humedad es muy superior entre 300-420 cm, ya que la línea que representa la humedad almacenada en el perfil entre 50-420 cm, representa casi el doble de humedad que la línea entre 50-300 cm.

Para poder contrastar resultados los contenidos de humedad estimados con los bloques, se tomaron muestras inalteradas, con objeto de determinar el contenido de humedad directamente, las fechas 18/4/93, 8/11/93, 5/12/93, 4/6/94 y 9/9/94. Las muestras tomadas y las profundidades pueden consultarse en la tabla 6.4. Los resultados obtenidos se muestran en las figura 7.27 y 7.28. Se presenta también la descripción litológica individual de cada una de las columnas levantadas.

Como tendencia general, se observa que la humedad aumenta un 20%, si se compara las muestras tomadas por encima de 150 cm y las tomadas por debajo

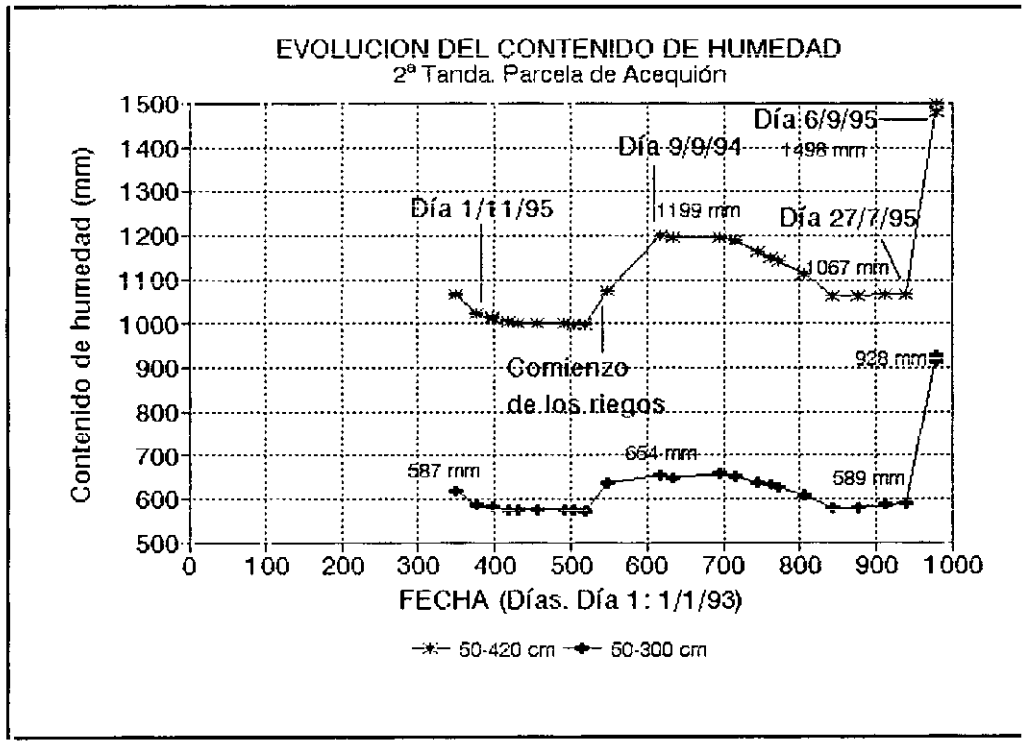


Fig 7.26; Evolución del contenido de humedad en el perfil de 420 cm en Acequión. 2ªTanda de bloques.

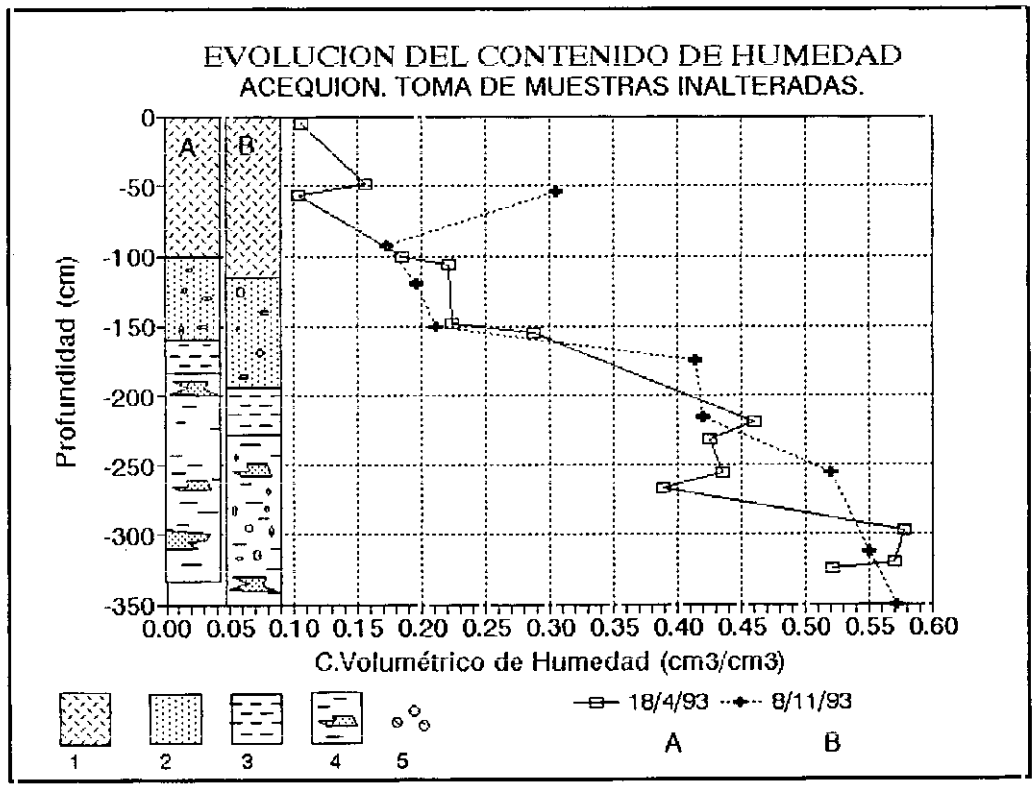


Fig 7.27; Evolución del contenido de humedad en el perfil, medido en muestras inalteradas los días 18/4/93, 8/11/93. Columna litológica de cada uno de los sondeos efectuados. 1: Tramo ACQ1. 2: Tramo ACQ 2. 3: Tramo ACQ 3.2. 4: Tramo 3.3. 5: Cantos calcáreos.

de esta profundidad. Parece que el contenido de humedad en la capa arenosa situada a 150 cm es muy bajo. El tramo ACQ 3, se encuentra casi a saturación, no obstante los potenciales totales medidos han sido elevados. Obsérvese sin embargo, como para pF superior a tres, (fig.7.12), el contenido de humedad es elevado, comprendido entre 0.38 y 0.45, dependiendo de la curva de retención que se trate.

Existe discrepancia entre la humedad medida directamente, y la determinada con los bloques. De

acuerdo con los datos de campo el contenido de humedad entre 50 y 300 cm, para cada una de las fechas en las que se tomaron muestras fue:

Fecha	C.Humedad Medido	C.Humedad Estimado
18/4/93	971.54 mm	576.98 mm
8/11/93	1288.60 mm	557.36 mm
5/12/93	1039.20 mm	554.79 mm
4/6/94	1330.73 mm	553.45 mm
9/9/94	1383.39 mm	730.38 mm

Esta diferencia, pudiera ser debida en parte a las heterogeneidades espaciales, que pueden originar distintos contenidos de humedad. En la figura 7.28, se observa que las muestras tomadas casi a la misma profundidad (unos 50 cm), el día 18/4/93 muestran una diferencia de un 5% en volumen, y no casi un 50%, que es la diferencia entre los resultados proporcionados por muestras y bloques de yeso.

Parece que a partir de junio del 94, se observa un aumento del contenido de humedad, cosa que coincide con los datos de los bloques.

Por todo lo visto puede decirse que las diferencias observadas entre las medidas proporcionadas por los bloques de yeso y las medidas directamente son debidas a la metodología utilizada. Utilizando la curva de retención para medir humedad con los bloques de yeso, resulta útil de forma cualitativa. La expresión que propone van Genuchten (1978) para describir la curva de retención, parece útil; no obstante, en algunos casos como este que aquí se presenta, pueden esperarse errores del 50% en los

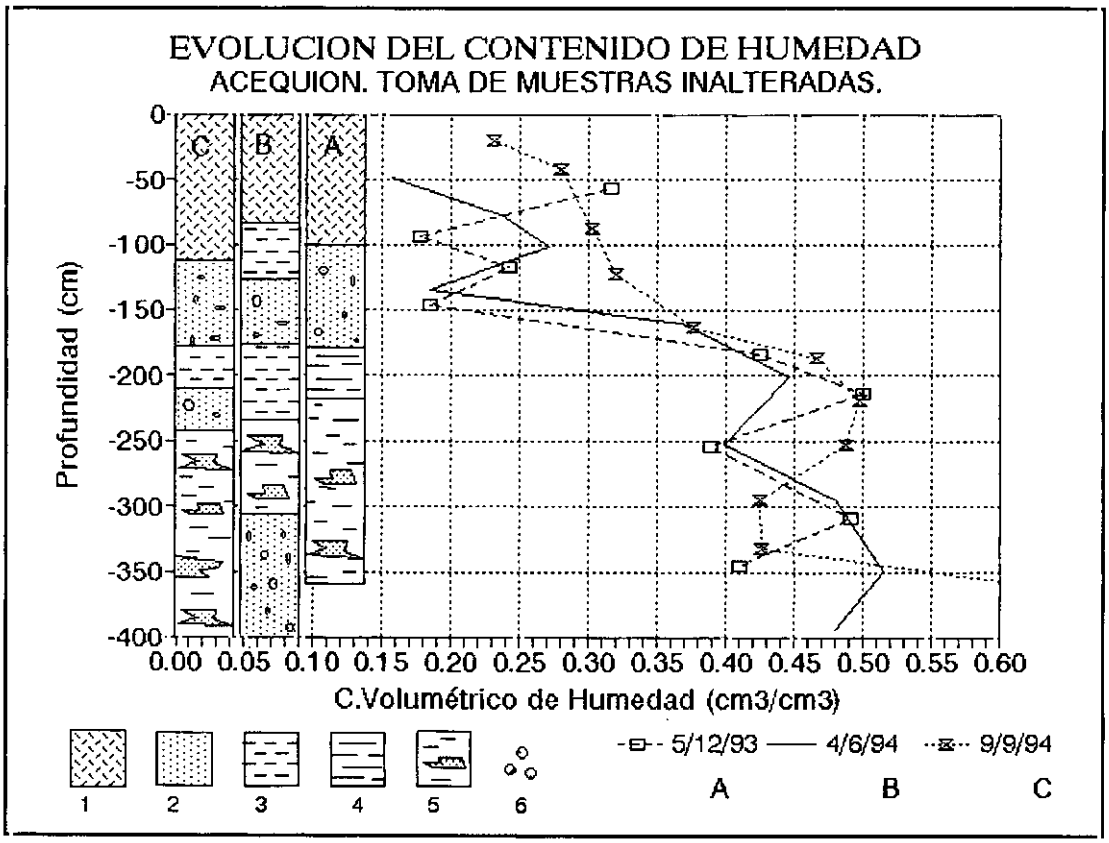


Fig 7.28; Evolución del contenido de humedad en el perfil, medido en muestras inalteradas los días 5/12/93, 4/6/94 y 9/9/94. Columna litológica de cada uno de los sondeos efectuados. 1: Tramo ACQ1. 2: Tramo ACQ 2. 3: Tramo ACQ 3.2. 4: Tramo 3.1. 5: Tramo 3.3. 6: Cantos calcáreos.

resultados obtenidos.

7.2.6.5 CÁLCULOS DE FLUJO

Se ha tratado de cuantificar el flujo que atraviesa la parte inferior del perfil, en una sección situada entre los dos últimos bloques de yeso de la 1ª tanda. Dichos sensores se sitúan a 250 y 300 cm, por lo que los cálculos se han realizado para la sección situada a 275 cm de profundidad.

Para realizar estos cálculos se ha hecho lo siguiente:

- Se asume que la distribución de potencial total entre ambos bloques es lineal, por lo que el gradiente se ha calculado determinando la pendiente de la línea de distribución de potencial total.
- La conductividad hidráulica no saturada se ha determinado con la curva de retención característica de la parte inferior del terreno, curva M22 (ver fig.7.12 y tabla 7.3). Es necesario conocer el potencial mátrico en la sección en la cual se quiere determinar $K(\theta r)$, por lo que de nuevo se asume distribución lineal de potencial

mátrico. En la sección localizada a 275 cm, suponiendo cierta esta aseveración, el potencial mátrico será la media del potencial mátrico medido a 250 y 300 cm. Conocido el potencial mátrico con la curva de la muestra M22, (ver fig.7.13), puede determinarse K(θ).

- El plano de referencia Z=0, para el potencial gravitacional se toma en la superficie del terreno.

- El caudal se determina con la ecuación 4.47.

- Dado que las medidas de potencial se han efectuado cada 15 ó 30 días, se dispone de una medida de flujo para cada 15 ó 30 días. Para los cálculos en los períodos intermedios en los que no se tomaron medidas, se asume que el flujo es una media del calculado para las fechas en las que se han efectuado mediciones.

En la tabla 7.6 se presentan los resultados obtenidos. En la última columna se presentan el caudal multiplicado por el lapso de tiempo transcurrido entre dos fechas sucesivas en la que se dispone de medidas.

Como puede verse, el flujo en el perfil ha sido mayoritariamente descendente, en la sección situada a 275 cm, todo el tiempo a lo largo del cual se ha realizado mediciones, al menos con la 1ª tanda de bloques. Nótese que gradientes positivos implican flujo descendente y viceversa.

- Sumando los caudales diarios calculados se obtiene que en los años 1993, 1994 y 1995, el caudal que atraviesa la parte inferior del perfil es respectivamente unos 2, 40 y 11 mm, redondeando las cifras.

- Los períodos en los que el flujo ha sido ascendente han sido muy limitados y prácticamente restringidos al año 1995.

- Se quiere enfatizar que estos cálculos no consideran el posible flujo que haya circulado por conductos ajenos a la matriz del suelo.

Tabla 7.6: Cálculo de los caudales que atraviesan la sección de 275 cm en el perfil de Acequión.

FECHA	i	K(θ)cm/dia	Q(mm/dia)	Q Total(mm)
09/03/93	-13.68904	6.62E-05	-0.009062	0.155959
24/03/93	-20.4952	5.72E-05	-0.011733	0.147488
05/04/93	-24.22218	5.3E-05	-0.012849	0.170203
19/04/93	-23.62888	4.85E-05	-0.011466	0.022932
21/04/93	-23.62888	4.85E-05	-0.011466	0.143938
04/05/93	-25.0305	4.27E-05	-0.010678	0.120551
17/05/93	-21.30606	3.69E-05	-0.007868	0.007868
18/05/93	-21.30606	3.69E-05	-0.007868	0.131393
04/06/93	-21.9465	3.46E-05	-0.00759	0.100987
18/06/93	-20.3208	3.36E-05	-0.006837	0.130351
09/07/93	-16.42712	3.4E-05	-0.005578	0.111468
02/08/93	-10.47332	3.54E-05	-0.003711	0.113014
13/09/93	-4.84454	3.45E-05	-0.00167	0.002023
14/09/93	-6.67922	3.56E-05	-0.002376	0.018649
22/09/93	-6.85928	3.33E-05	-0.002286	0.027393
13/10/93	-1.00000	3.23E-05	-0.000323	0.000633
14/10/93	-3.01474	3.13E-05	-0.000942	0.003687
18/10/93	-3.07986	2.93E-05	-0.000901	0.005329
27/10/93	-1.00000	2.83E-05	-0.000283	0.001982
03/11/93	-1.00000	2.83E-05	-0.000283	0.00137
08/11/93	-1.00000	2.65E-05	-0.000265	0.006491
05/12/93	-1.00000	2.16E-05	-0.000216	-0.00043
15/12/93	1.45128	2.09E-05	0.0003	-0.004755
31/12/93				
11/01/94	1.62502	1.82E-05	0.0003	0.003515
01/02/94	-3.71826	1.69E-05	-0.00063	0.003605
22/02/94	1.81616	1.58E-05	0.00029	0.001593
05/03/94	-3.91902	1.47E-05	-0.000577	0.022432
02/04/94	-6.73518	1.52E-05	-0.001026	0.034875
06/05/94	-6.73518	1.52E-05	-0.001026	0.017606
20/05/94	-9.45344	1.58E-05	-0.001489	0.02234
04/06/94	-9.45344	1.58E-05	-0.001489	3.035815
02/07/94	-1.00000	0.021535	-0.215355	16.54369
09/09/94	-1.00000	0.026417	-0.264173	4.492505
27/09/94	-0.907772	0.025887	-0.234994	12.69868
26/11/94	-0.805528	0.023375	-0.188295	2.862659
18/12/94	-0.364568	0.019735	-0.071947	0.9781
31/12/94				
14/01/95	-0.441682	0.017782	-0.078538	1.296088
01/02/95	-0.48689	0.013447	-0.065471	0.709473
12/02/95	-0.576136	0.011026	-0.063524	2.416647
16/03/95	-1.587518	0.005513	-0.087517	1.5853
23/04/95	0.1841	0.002216	0.00408	-0.19163
28/05/95	0.8829	0.000778	0.00687	-0.46772
02/07/95	4.33578	0.000458	0.01986	-0.41528
29/07/95	2.872	0.00038	0.0109	4.693372
06/09/95	-1.098264	0.022908	-0.251591	

TOTAL AÑO 1993:	1.5 mm
TOTAL AÑO 1994:	40 mm
TOTAL AÑO 1995:	9 mm

(i) Gradiente, K(θ): Conductividad hidráulica no saturada, Q: Caudal y Q total: caudal que ha circulado por la sección entre dos fechas consecutivas para las que se dispone de medida de potencial total.

7.2.6.6 CONCLUSIONES

- En cuanto a la instrumentación y técnicas utilizadas puede decirse que, los tensiómetros han resultado del todo ineficaces para medir succión, debido a los altos rangos de la misma registrados. Parecen haber sido mucho más adecuados los bloques de yeso.

- Los datos de humedad proporcionado por los bloques parecen ser inexactos, y la información obtenida parece ser adecuada exclusivamente desde un punto de vista cualitativo.

- Los contenidos de humedad medidos mediante la toma de muestras, parecen ser más razonables. No obstante, debido a la gran variabilidad litológica existente, resulta poco práctico realizar comparaciones con los datos obtenidos en sondeos diferentes.

- Las curvas de retención más adecuadas parecen haber sido las estimadas con el método del papel de filtro

- Los episodios de infiltración han sido muy limitados en el período a lo largo del cual se han efectuado mediciones, y los cálculos de recarga efectuados parecen indicar que los valores se aproximan a unos 2, 40 y 10 mm, para los años 1993, 1994, y 1995, respectivamente.

- En esta parcela puede haber estado evaporándose agua directamente de la superficie freática en algunos puntos concretos.

- A modo de conclusión se han realizado una serie de gráficos que muestran la variación de la posición del PFN divergente y convergente a lo largo del tiempo (fig.7.29 a 7.31). Ya que las medias de potencial tomadas no son continuas conviene enfatizar que en los períodos para los cuales no hay datos la posición de dicho plano se ha interpolado de la forma más razonable:

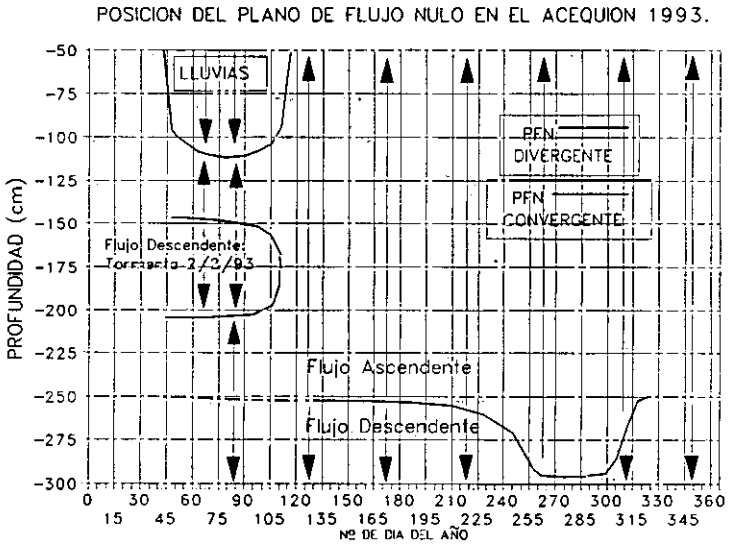


Fig 7.29; Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil del Acequión, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1993.

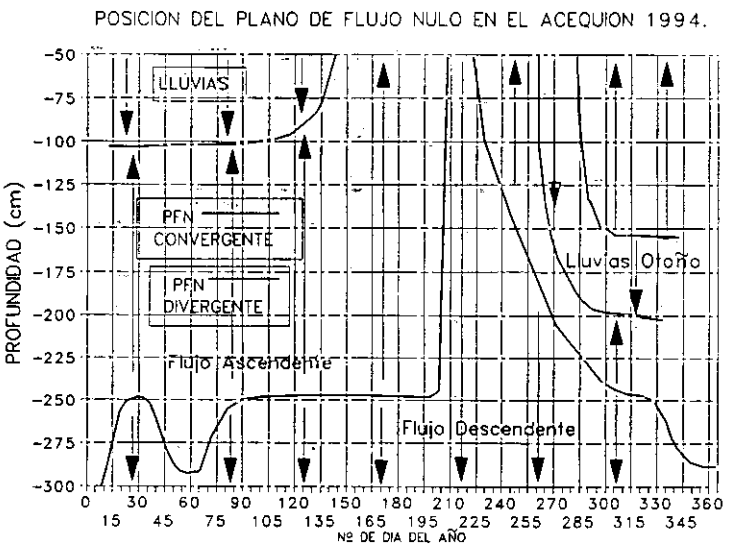


Fig 7.30; Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil del Acequión, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1994.

Parece que en el año 1993 (fig.7.29), ninguno de los episodios de lluvia penetraron más de 200 cm de profundidad. El PFN divergente se desplazó entre 250 cm y algo más de 300 cm, alcanzando la máxima profundidad en verano de ese año. Aunque no quedó constancia, las lluvias de otoño sí hicieron que dicho plano ascendiera hasta 250 a finales de año. La recarga registrada fue prácticamente nula, e igual a 2 mm.

En 1994 (fig.7.30), más seco que el año anterior, se repite la misma situación, pero a diferencia del año anterior el PFN divergente se sitúa a principios de año a mayor profundidad. Las lluvias apenas penetran más de 100 cm de profundidad. No obstante en julio instalan un regadío provisional, que hace que se forme un perfecto perfil de drenaje a partir del verano. Esto permite la entrada de cierta recarga procedente en su mayoría de los retornos de regadío. Las lluvias de otoño son capaces de penetrar hasta posiblemente más de 200 cm. El potencial debido a los riegos es mayor, y por tanto la conductividad hidráulica más alta.

La recarga registrada es igual a 40 mm, fundamentalmente debido a riegos.

En 1995 (fig.7.31), pese a ser todavía un año más seco se observa el primer episodio de recarga inducido por una causa natural. El 21 de agosto precipitan 54 mm de lluvia. Parece que el perfil se encontraba todavía a potenciales elevados que facilitaron esta entrada de agua. Posiblemente, sin los riegos aplicados en 1994,

no se hubiera formado un perfil de drenaje completo. De hecho, en febrero de 1993, se registró la lluvia más importante de las acaecidas, unos 70 mm, en 24 h, y pese a ello a principios de febrero de 1993 no se observa perfil de drenaje alguno (ver fig.7.29). Se observa que las lluvias de otoño alcanzan los 200 cm de profundidad, de nuevo favorecido este fenómeno por la existencia de un perfil muy húmedo. La recarga total fue hasta junio de 1995 de 10 mm.

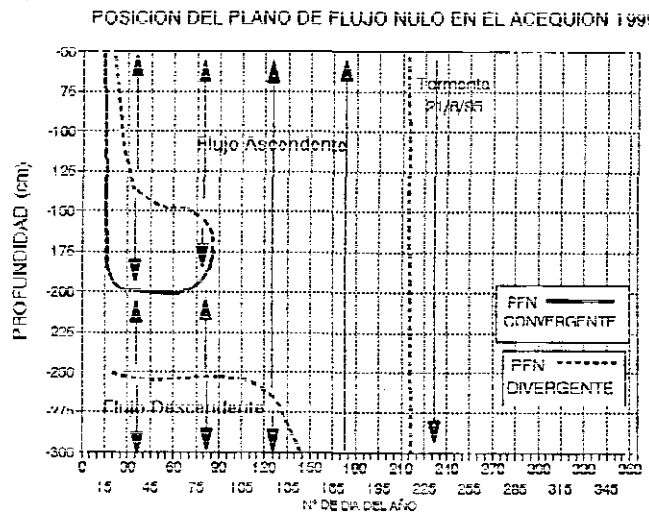


Fig 7.31; Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil del Acequión, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1995.

7.3 PARCELA EXPERIMENTAL DE LAS TIESAS

En la parcela experimental denominada «Parcela de Las Tiesas», se instalaron un total de 8 bloques de yeso con una profundidad máxima de 150 cm, en dos tandas diferentes (ver tabla 6.2). Con los bloques de yeso (previamente calibrados), se han tomado medidas de succión cada 15, ó 30 días a lo largo de 1993, 1994 y 1995.

Además se tomaron un total de 13 muestras (3 alteradas y 4 inalteradas), entre los años 1993 y 1994 (ver tabla 6.3).

Las muestras alteradas fueron utilizadas para determinar la distribución de tamaños, mientras que las inalteradas fueron utilizadas para determinar las curvas de retención y el contenido de humedad natural de las muestras.

7.3.1 COLUMNA LITOLÓGICA

A través de las perforaciones manuales realizadas, se ha podido saber que en esta parcela, la litología es muy homogénea, al menos hasta 150 cm de profundidad. Así pues de techo a muro se han diferenciado los siguientes tramos:

TES I 0-68 cm: Arcilla marrón oscura. Suelo de labor.

TES II 68-150 cm: Arcilla de color rojizo, con cantos de tamaño centimétrico calcáreos, algo de arena y frecuentes horizontes cementados por carbonato cálcico.

En los perfiles que se describen en sucesivos epígrafes puede visualizarse la columna (ver fig.7.36a y b).

7.3.2 CURVAS DE RETENCIÓN

Con dos de las muestras inalteradas, tomadas el día 9/11/93, se determinaron las curvas de retención de los suelos de Las Tiesas (ver tabla 6.3). Se utilizó para ello el método del papel de filtro. Con los datos obtenidos de contenido volumétrico versus succión, se ajustaron las curvas utilizando el programa SOHYP, de van Genuchten (1978). El día 9/9/94, se toma una muestra para poder determinar cual es la humedad residual del suelo en las condiciones más secas que se pudieron obtener, esto es, tras varios meses sin lluvia.

La humedad residual medida entre 22-32 cm, fue de 0.22. Se intentó ajustar la curva correspondiente a M57, utilizando la variante del SOHYP, que permite introducir la humedad residual como dato del modelo. Los datos se ajustaron muy mal a la curva obtenida, y fue necesario recalcular la curva pero sin introducir la humedad residual. La curva correspondiente a M59, se ajustó sin considerar el contenido de humedad residual como dato. Las curvas obtenidas pueden verse en la fig.7.32.

Los parámetros obtenidos pueden verse en la

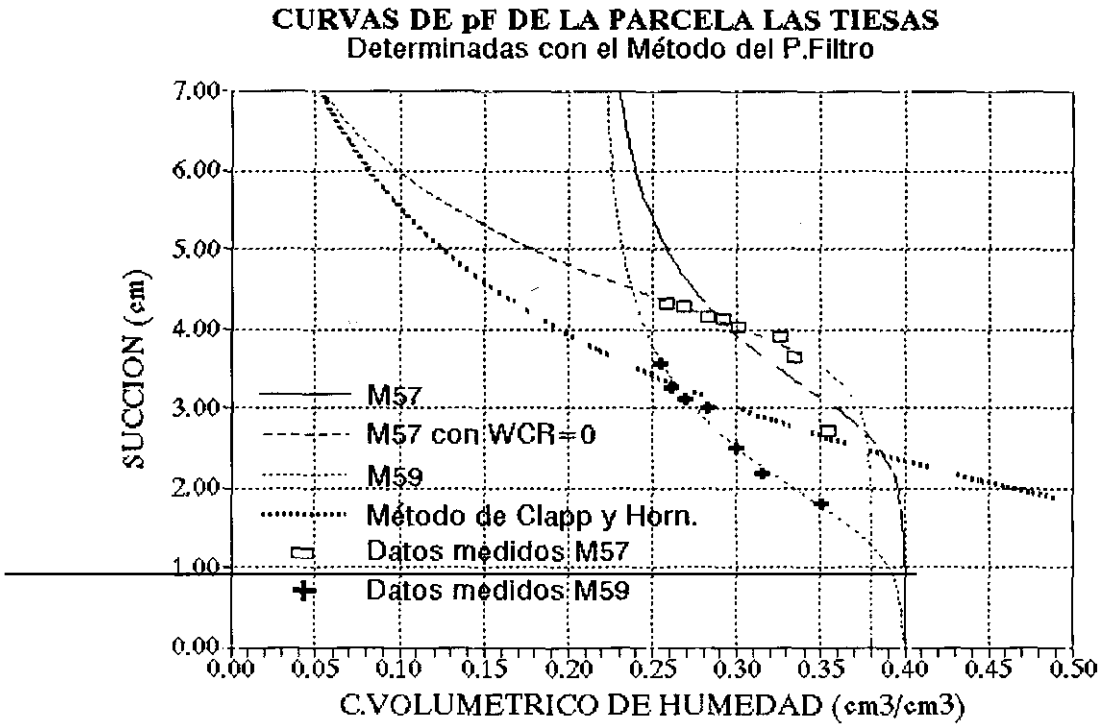
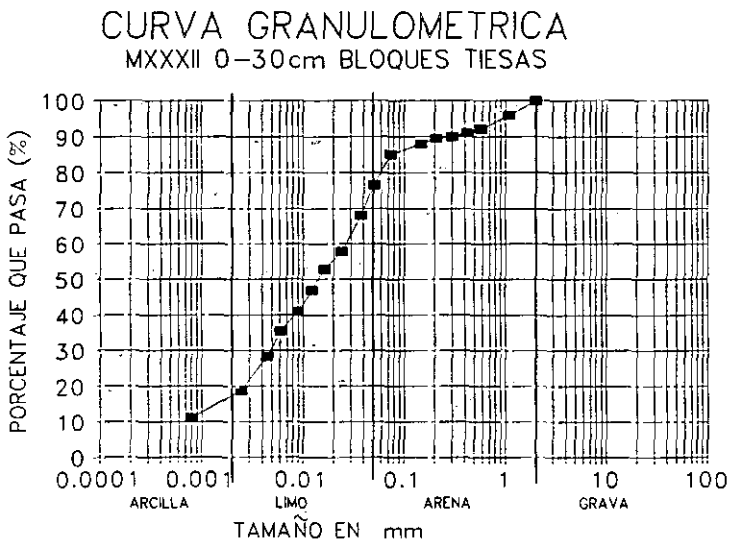


Fig 7.32; Curvas de pF, parcela experimental de Las Tiesas. Determinadas utilizando el método del Papel de Filtro y de Clapp y Hornberger (1978).

Tabla 7.7: Parámetros de van Genuchten 1978, para las curvas de retención de Las Tiesas.

Nº DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	α	n	θ_s	θ_r
M57	28-35	0.00017	1.26332	0.38	0
M59	49-60	0.03501	1.33319	0.40	0.2212



Los parámetros obtenidos pueden verse en la tabla 7.7.

La curva de retención M57, ha sido asignada a las secciones de terreno comprendidas entre 0 y 40 cm. M59 a las secciones de terreno comprendidas entre 40 y 150 cm de profundidad.

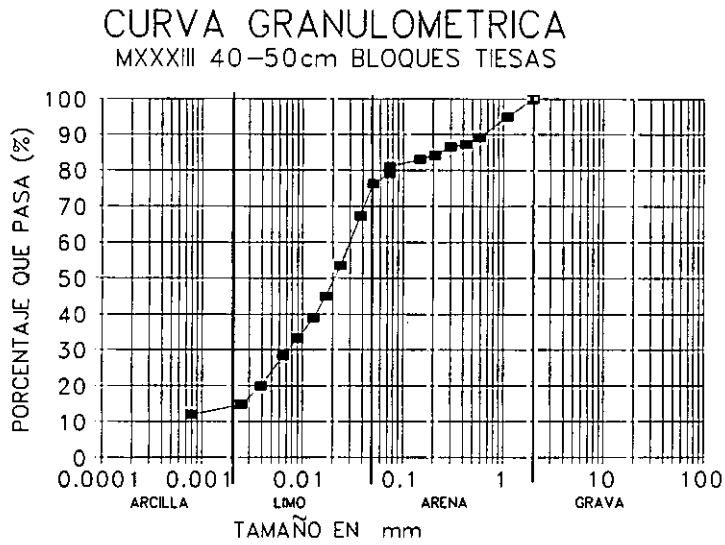
Como se hizo en la parcela de Acequión, se tomaron una serie de muestras alteradas (3 en este caso) (ver tabla 6.3), para determinar las curvas retención por el método de Clapp y Hornberger. Las curvas granulométricas de las tres muestras fueron realizadas por tamizado y sedimentación, y que pueden verse en la figura

7.33 a, b y c. Las muestras fueron clasificadas en el triángulo de clasificación de la ISSS, y puede verse en la figura 7.9. Las muestras MXXXII, MXXXIII y MXXXIV de acuerdo con esta clasificación, son fangos limosos. Los parámetros pueden verse en la tabla 7.2. En la figura 7.32 se muestra la curva de retención que Clapp y Hornberger estiman para un fango limoso. Simplemente de visu puede contrastarse la poca coincidencia que existe entre los datos experimentales medidos y la curva de retención ajustada para la muestra M59, muy semejante a MXXXIII y MXXXIV, y la curva de Clapp y Hornberger (1978).

7.3.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica no saturada ha sido estimada utilizando como en la parcela de Acequión, el programa de van Genuchten (1978), SOHYP. Como ya se ha dicho reiteradas veces este modelo combina la ecuación 4.63 por él propuesta, con el modelo de Mualem (1976) para obtener la ecuación 4.64, que relaciona la succión con la conductividad hidráulica no saturada. Es necesario conocer los parámetros α, n, θ_r, y θ_s, (ver tabla 7.7), así como la conductividad hidráulica saturada. Como conductividad hidráulica saturada, se ha tomado la medida en el CEDEX en la muestra inalterada BX8M10 de 5 cm/día. Esta muestra fue tomada en un material muy semejante a la litología que aparece en la parcela de Las Tiesas. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 7.34.

En esta figura puede verse las dos curvas de la conductividad hidráulica obtenidas, la primera para la muestra M57 y la segunda para la muestra M59. La muestra M57 fue tomada prácticamente en superficie, y se considera poco representativa. Puede apreciarse como de acuerdo con los resultados obtenidos para esta muestra con pF 3 (succión de 1000 cm), la $K(\theta)$ es de 1 cm/día, valor que resulta poco realistas. Quizás estos valores sean válidos para la parte superficial, dado que el terreno es tierra cultivada, esponjosa y frecuentemente removida. Las curva de retención y conductividad correspondientes a la M57 se han considerado representativas de los primeros 40 cm de terreno. Los valores de $K(\theta)$ que se obtienen con M59 (curva característica de la sección de terreno comprendida entre 40 y 150 cm de profundidad) son más razonables. Para pF 3 $K(\theta)$ es inferior a 0.0001 cm/día (ver fig.7.34).



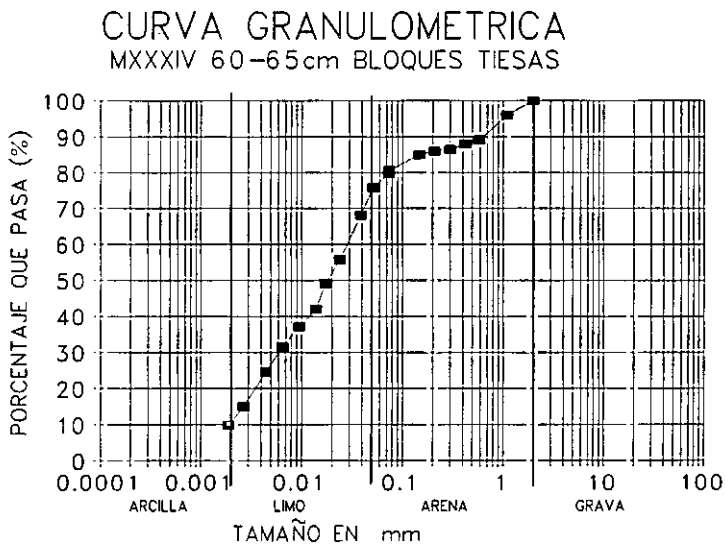


Fig 7.33; Curvas granulométricas de la parcela experimental de Las Tiesas

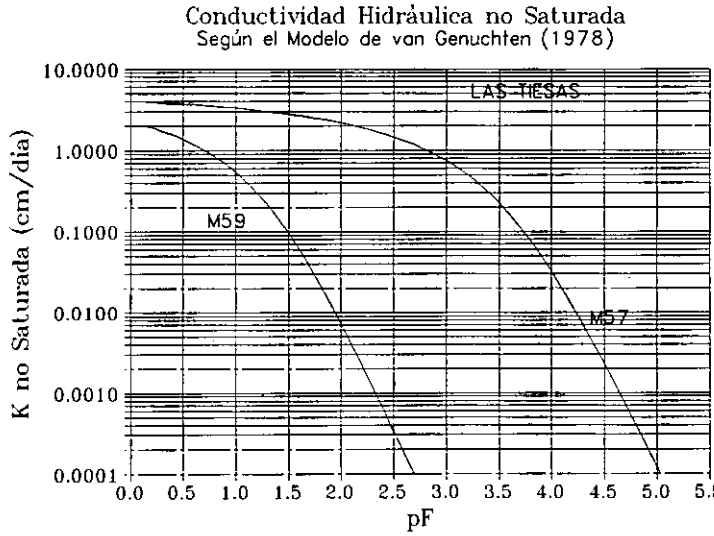
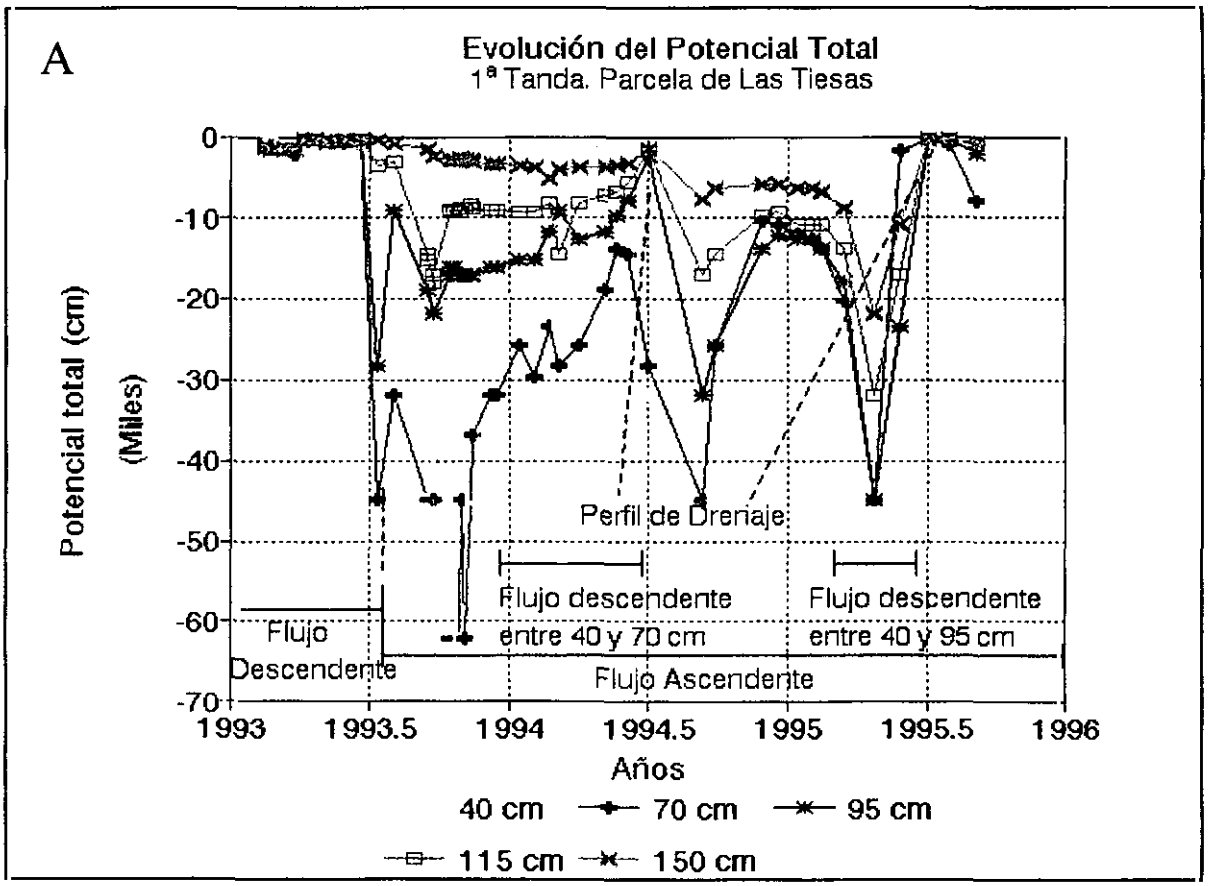


Fig 7.34; Curvas de conductividad hidráulica no saturada, para la parcela experimental de Las Tiesas.



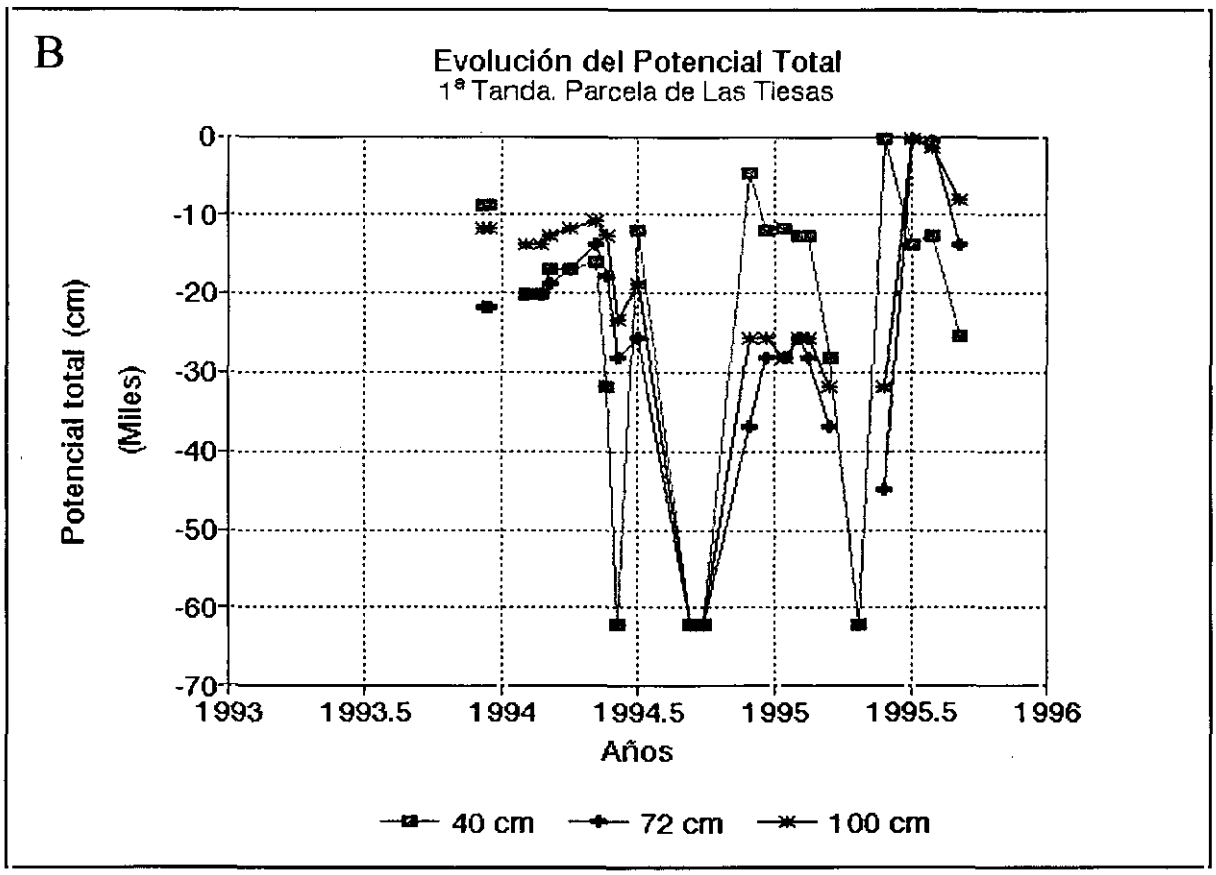


Fig 7.35; *Evolución del potencial total en la parcela de Las Tiesas, a lo largo del tiempo. a) Tanda primera de bloques de yeso, a 40, 70, 95, 115 y 150 cm. b) Tanda segunda de bloques de yeso, a 40, 72, y 100 cm.s*

Mediante una conversión apropiada, los datos de succión han sido transformados en datos de potencial total, (ver fig.6.8). Se ha podido determinar el potencial total, a las profundidades de 40, 70, 95, 115 y 150 cm con los bloques instalados en una primera tanda, y a las profundidades de 40, 72 y 100 cm con los instalados en una segunda.

En las figuras 7.35 a y b, se muestra la evolución del potencial total a lo largo del tiempo de acuerdo con el primer conjunto de bloques.

- Resulta notable como el potencial total, a grandes rasgos es superior a mayor profundidad, que en superficie. Esto implica la existencia de flujo mayoritariamente ascendente

- En segundo lugar debe resaltarse como sólo en tres momentos a lo largo del tiempo de medidas parecen haberse formado perfiles de drenaje completos. El primero entre los días 33 y 180, 2 febrero y 29 de junio de 1993, coincidiendo con un invierno lluvioso, y con el riego de esta parcela. El segundo tras las tormentas y lluvias de septiembre y octubre de 1994, en las que se registraron dos eventos con precipitación superior a 28 mm. El tercero, en julio de 1995, tras los riegos que fueron aplicados al sembrado de ajos que tenía la parcela. No obstante en 1994, el bloque situado a 150 cm apenas muestra aumento de potencial alguno.

- El potencial es extremadamente pequeño la mayor parte del año excepto en los tres momentos mencionados, y se encuentra comprendido entre -5000 y -60000 cm de agua, a todas las profundidades. Los mínimos observados corresponden a los veranos de 1993, 1994, y 1995. Existe un plano de flujo nulo convergente situado entre 70 y 115 cm prácticamente todo el año, no obstante hay períodos en los que ese plano desaparece y se originan perfiles de flujo ascedendente completos, p.e. el día 211, correspondiente al 30 de julio de 1993.

En la figura 7.35b, se observa la evolución del potencial total, medido con la segunda tanda de bloques de yeso. En conjunto el rango de potencial total oscila entre los mismos valores que los obtenidos con la primera tanda. En detalle no obstante, se aprecian discrepancias, obsérvese como alrededor del día 800, verano de 1995, los máximos registrados por los bloques de ambas tandas situados a 40 cm no coinciden. De la misma forma, la segunda tanda de bloques registra un mínimo entre los días 500 y 600, que se encuentra desplazado temporalmente con respecto a la primera tanda.

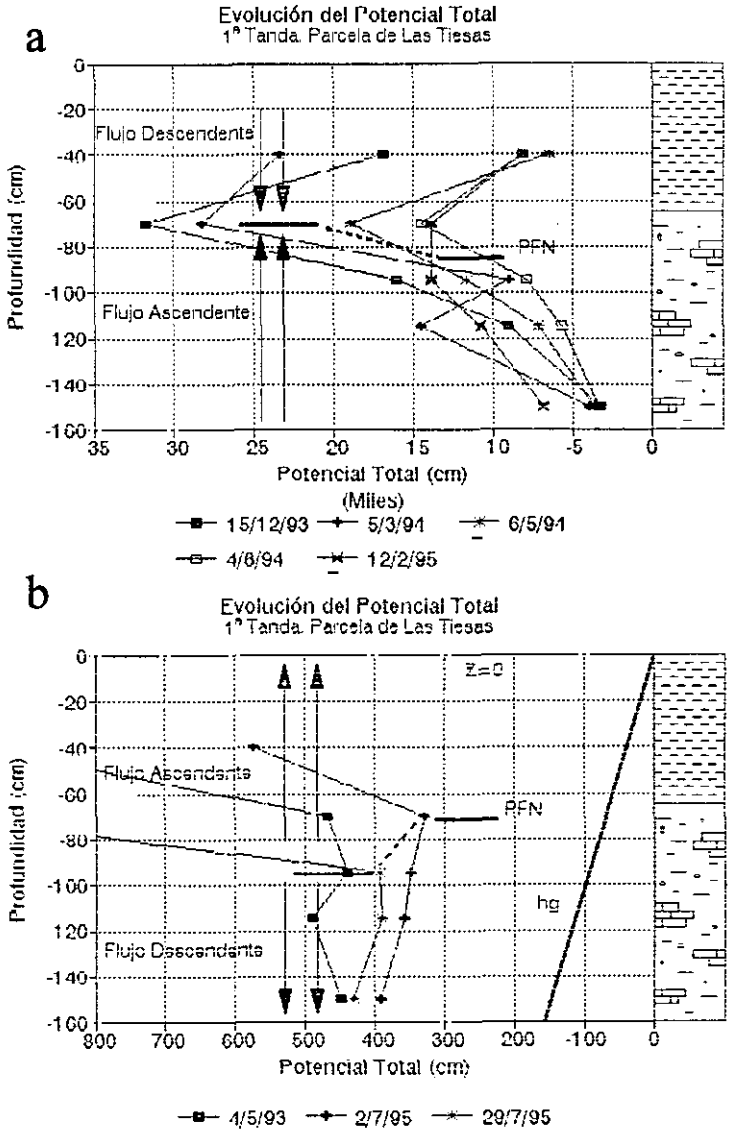


Fig 7.36; Evolución del potencial total en un perfil de 150 cm a) Perfiles con flujo ascendente desde diciembre de 1993, hasta febrero de 1995. b) Perfiles de drenaje.

7.3.4.1 PERFILES DE POTENCIAL

Se han recopilado una serie de perfiles (ver fig.7.36a), resumen de todas las «formas» de perfiles registrados. En estos perfiles puede apreciarse como existe un PFN convergente, que se localiza entre 70 y 115 cm. En ocasiones puede formarse un PFN divergente adicional (5/3/95, día 794), no obstante habitualmente lo que se ha observado es un perfil completo o casi completo de flujo ascendente.

En la figura 7.36 b, se presentan los pocas situaciones en los que se ha formado un perfil casi completo de drenaje, al menos hasta la profundidad a la cual se dispone del último sensor. Puede verse como el perfil correspondiente al 4/5/93, es casi, sin llegar a serlo un perfil de drenaje completo. Aunque durante la temporada de riegos de 1993, no pudo observarse un buen perfil de drenaje como tal, debido a la discontinuidad de las observaciones, parece muy probable que tales perfiles se hayan formado.

Otra posibilidad es que realmente la profundidad mayor que hayan alcanzado los riegos no excediera nunca los 150 cm.

Los días 2 y 29/7/95, se han observado sendos perfiles de drenaje desde 70 cm hasta 150 cm ó más y desde 95 hasta 150 cm ó

drenaje desde 70 cm hasta 150 cm ó más y desde 95 hasta 150 cm ó más. Corresponden como ya se ha dicho a la temporada de riegos de 1995. Puede apreciarse un PFN divergente, que desciende desde 70 cm, hasta 95 y desde el 2/7/95 hasta el 29/7/95.

7.3.5 CONTENIDO DE HUMEDAD

Las medidas de contenido de humedad, a falta de un sensor específico, se han obtenido utilizando las curva de retención M59 (ver fig.7.32). De acuerdo con estos resultados, el contenido de humedad se ha mantenido prácticamente constante, (ver fig 7.37) y a contenido de humedad residual. Efectivamente, comprobar que el contenido de humedad residual se aproxima a 0.2 a partir de 40 cm y como es casi igual a cero en superficie (ver tabla 7.7, muestra M59).

El contenido de humedad aumenta casi hasta la saturación en todas las secciones en dos las tres etapas mencionadas, y aproximándose a 0.35. La primera etapa se localiza entre marzo y julio de 1993, coincidiendo con los riegos dosificados en tal período, y la segunda con los riegos aplicados en 1995. En julio de 1994, se observa también un aumento de humedad a 95, 115 y 150 cm, y aunque no se aprecia un perfil de drenaje, para que tal aumento se haya producido, lógicamente ha de haber penetrado agua hasta tal profundidad.

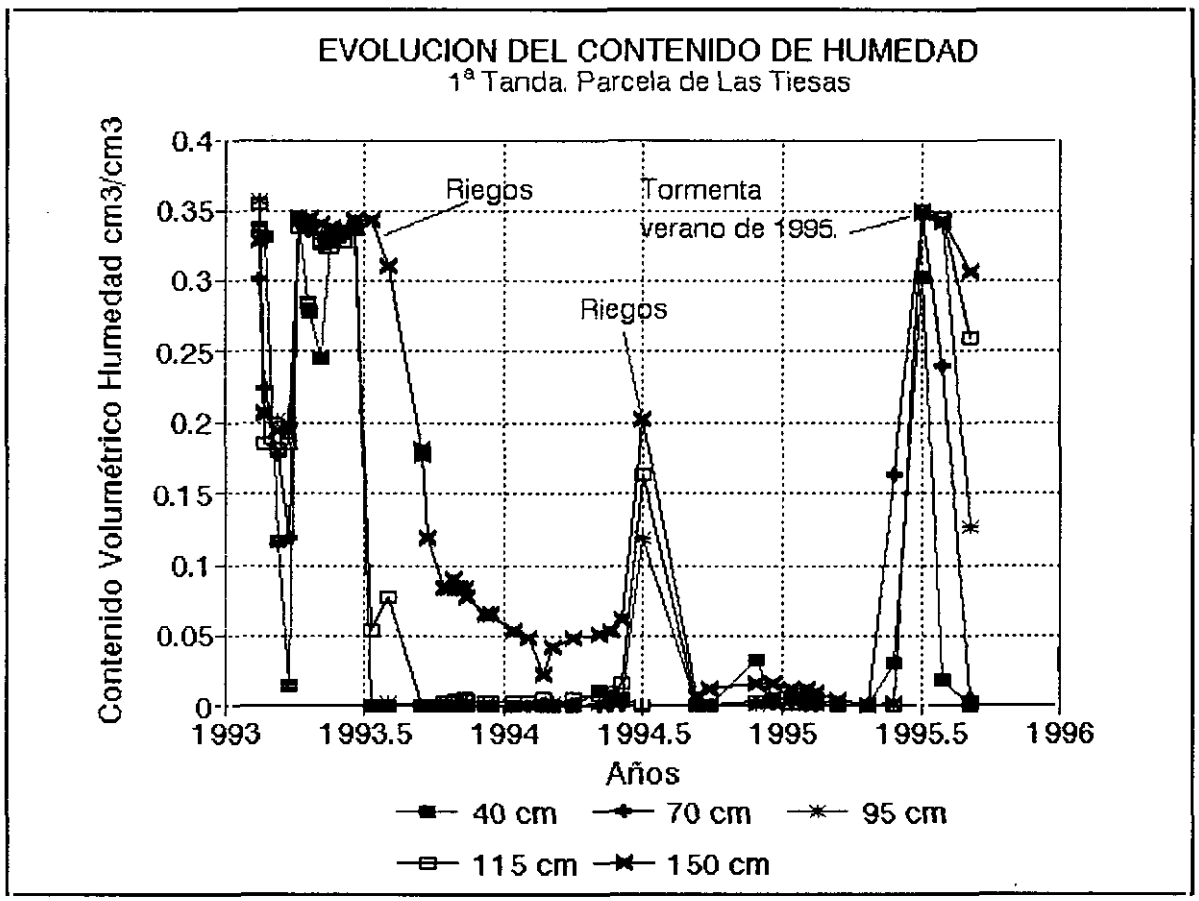


Fig 7.37; Evolución del contenido volumétrico de humedad a lo largo del tiempo, en la parcela experimental de Las Tiesas.

En la figura 7.6c, puede observarse que efectivamente esta parcela ha sido regada entre julio y septiembre de 1994. Se carece de medidas para el intervalo 2 de julio, 9 de septiembre, pero lo cierto es que el 9 de septiembre se ha establecido un perfil de evaporación por completo, y ya no quedan evidencias de los riegos, que finalizan el día 3.

La sección de terreno situada a 150 cm presenta contenidos de humedad superiores a los registrados en las demás secciones del perfil, no obstante el contenido de humedad excepto para los períodos con riegos se encuentran constantemente próximo al contenido de humedad residual.

Para contrastar los contenidos de humedad estimados con los bloques de yeso y las medidas reales, se tomaron muestras inalteradas en diversas fechas, ver tabla 7.8.

Se presentan a continuación, los contenidos de humedad natural medidos directamente en muestras inalteradas, las fechas 9/11/93 (día 313) y 19/5/94 (día 504).

Tabla 7.8 Contenido volumétrico de humedad, medido en las muestras inalteradas, tomadas en la parcela experimental de Las Tiesas.

PROFUNDIDAD (cm)	NºMUESTRA	C.VOLUMÉTRIC (cm3/cm3)
19-May-93		
15-27 cm	M56	0.3155
28-35 cm	M57	0.3209
39-48 cm	M58	0.3638
49-60 cm	M59	0.3441
09-Nov-93		
25-33 cm	M80	0.3155
40-48 cm	M81	0.2786
09-Sep-94		
22-32 cm	M99	0.2212

De acuerdo con los resultados obtenidos parece que la humedad natural medida y estimada son completamente diferentes (comparar los resultados de la tabla 7.7, con la figura 7.37). El bloque de yeso situado a 40 cm, el día 9/11/93, mostraba una humedad residual próxima a cero, mientras que según los datos medidos esta era de 0.27. Puede argumentarse que la variabilidad espacial a pequeña escala es grande, valgan de ejemplo las muestras M10 y M11 tomadas en Algibarro prácticamente a la misma profundidad, y el contenido de humedad es respectivamente 0.26 y 0.30, no obstante la diferencia es de apenas un 4% en volumen, y no de un casi 30% como sucede en este caso.

Para tratar de determinar si es coherente la humedad natural medida, se han realizados unos cálculos que permiten estimar de una manera aproximada, hasta que profundidad es capaz de saturar el perfil, el chubasco mayor de los registrados (36 mm, precipitados el 24 de marzo de 1993).

La curva de retención M57 es representativa de los primeros 40 cm de terreno. Análogamente, la M59 se ha considerado que es representativa de los 110 restantes. Se suponen las siguientes situaciones iniciales:

A) El contenido medio de humedad en el perfil es el contenido de humedad residual, esto θ_r =0 para los primeros 40 cm de terreno, y θ_r =0.22 para los 110 restantes. En el perfil pueden introducirse por tanto 0.4 mm, entre 0 y 40 cm, y 0.18 entre 40 y 110 cm.

- Se necesitan para saturar el perfil hasta 150 cm de profundidad:

Entre 0-40 cm: 0.38 x 40 cm = 15.2 cm = 152 mm

Entre 40-150 cm: 0.18 x 110 cm = 19.8 cm = 198 mm

Total: 350 mm

B) El contenido medio de humedad en el perfil es el contenido de humedad natural más alto de todos los medidos, esto es 0.36. Por tanto entre 0-40 cm caben 0.38-0.36, esto es 0.02. Entre 40-150 cm caben 0.4-0.36, esto es igual a 0.04.

- Se necesitan para saturar el perfil hasta 150 cm de profundidad:

Entre 0-40 cm: 0.02 x 40 cm = 0.8 cm = 8 mm

Entre 40-150 cm: 0.04 x 110 cm = 4.4 cm = 44 mm

Total: 52 mm.

Un chubasco de 36 mm, saturaría con 8 mm los primeros 40 cm de terreno, y los siguientes 28 mm de lluvia alcanzaría la profundidad:

Prof (cm) = 2.8 cm/0.04 = 70 cm; 70 + 40 = 110 cm.

De acuerdo con todo lo visto, no se ha observado que los frentes de infiltración superen los 110 cm de profundidad, lo que parece confirmar que el contenido de humedad natural en el terreno se aproxima a 0.36 y no a 0 como parecen indicar los bloques de yeso. Parece que la curva de retención elaborada para los bloques de yeso no es muy afinada para succiones muy altas, no obstante sí parece serlo para succiones más pequeñas, ya que el contenido de humedad medido, coincide en gran medida con el contenido de humedad estimado con los bloques para las temporadas de riego. Como ya se indicó en el capítulo anterior la técnica de calibrado utilizada, (técnica del papel de filtro) permite realizar estimaciones precisas en los rangos de pF 2.4 - 4.

Parece previsible que tormentas aisladas, aunque sean cuantiosas, no sean capaces de producir recarga alguna, especialmente en verano, en los que la ETR puede llegar a ser igual a 10 mm/día.

7.3.6 CÁLCULOS DE FLUJO

Como ya se ha dicho, apenas han sido descritos un par de perfiles que indiquen que el flujo descendente haya superado los 150 cm de profundidad. Han sido realizados un serie de cálculos del flujo que atraviesa el perfil en ellos. En la figura 7.38 se presenta la evolución del contenido de humedad en el perfil los días 2/7/95 y 29/7/95. Se ha representado conjuntamente la posición del PFN, deducida su posición de la figura 7.36b, y los flujos estimados. Para calcular el flujo, se considerado como representativa la curva de retención correspondiente a la muestra M59, (ver fig.7.34). Dado que el potencial total en la parte baja del perfil se distribuye casi linealmente, el gradiente se ha estimado calculando la pendiente de las rectas de potencial total que unen dos puntos de medida, de acuerdo con la fig 7.36b.

Según estos cálculos el caudal que atraviesa el perfil el día 2/7/95, oscila entre 0.003 y 0.007 mm/día. El día 29/7/95 es igual a 0.005 mm/día. Planimetrando la superficie comprendida entre las dos curvas de contenido volumétrico de humedad, se obtiene que el contenido de humedad ha disminuido en 3.5 mm, que con los caudales tan bajos calculados como los calculados, no parece que se pueda justificar esta diferencia. Si suponemos en el más favorable de los casos, que el día 2/7/95 entran 0.003 mm/día por la parte superior del perfil y salen 0.007 mm/día, en 27 días supone una disminución de humedad en el perfil de 0.11 mm.

Estas cifras vuelven a indicar que el modelo de van Genuchten (1978), para curvas de retención, tan frecuentemente utilizado en los modelos de flujo no saturado, puede causar errores de un 30% en las estimaciones de contenido de humedad.

7.3.7 CONCLUSIONES

- La primera conclusión relevante que puede extraerse de todo lo visto, es que a lo largo de los más o menos tres años a lo largo de los cuales se han tomado medidas, el perfil de 150 cm, se ha mantenido de una manera casi constante, como un perfil sometido a evaporación, ya que el flujo mayoritario ha sido ascendente.

- Es muy previsible que los episodios de recarga naturales hayan sido casi nulos a lo largo del tiempo de mediciones. Sólo han podido ser observados tres episodios en tres años (entre febrero y junio de 1993, otoño de 1994 y julio de 1995), y corresponden estos a temporadas de riegos. No se puede realizar categóricamente esta afirmación ya que no se dispone de un registro de medidas continuo, no obstante, parece que en los momentos en los que ha sido detectada infiltración a mayor profundidad de 150 cm ha quedado constancia de ello., ver el gráfico de evolución del potencial total con el tiempo (ver fig.7.35a y b).

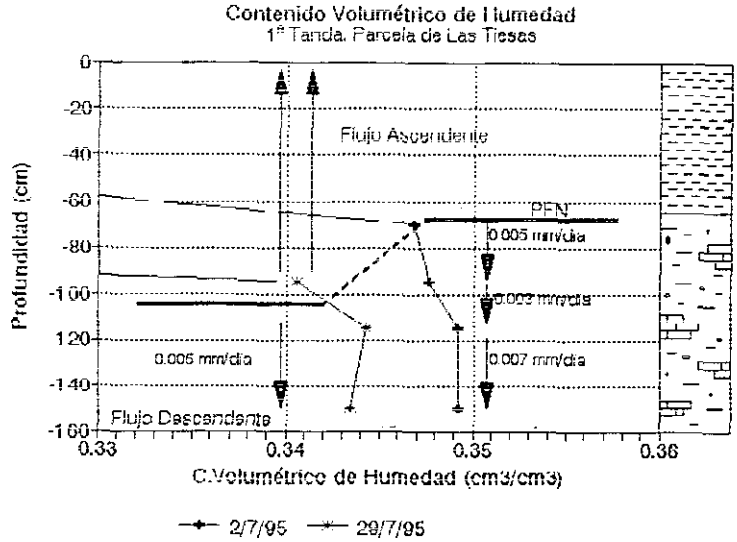


Fig 7.38; Evolución del contenido de humedad en el perfil de Las Tiesas, los día 2/7/95 y 29/7/95.

- Las medidas de humedad obtenidas con los bloques de yeso, no resultan satisfactorias completamente, ya que las succiones han sido muy bajas, y la curva de retención utilizada para tal estimación, no se encuentra bien calibrada en los rangos de succión elevados. Sí han servido bien de una manera cualitativa, no obstante, para el propósito de evidenciar los momentos en los que ha habido infiltración.

- Como una síntesis de todo lo visto, se han realizado una serie de gráficas para estudiar como ha sido el flujo anualmente en el perfil de Las Tiesas de 150 cm.

En la figura 7.39 se presenta como varían las direcciones de flujo durante 1993 en el perfil. Puede apreciarse que, existe un PFN convergente casi todo el año que se sitúa entre 70 y 115 cm de profundidad. Por encima de este plano el flujo es ascendente, y por abajo descendente. Alrededor del día 200, mes de julio, no se observa ningún PFN, y se forma un perfil completo de flujo ascendente, evidenciando que el fenómeno dominante es la evaporación. No se ha detectado ningún momento en el que el perfil sea por completo un perfil de drenaje, y el momento en el que más cerca ha llegado a estarlo fue durante los riegos aplicados entre finales de febrero y finales de junio de 1993. Coinciden los riegos también con un período de elevada pluviometría. No obstante incluso el agua que se hubiera podido infiltrar puede haber sido evaporada posteriormente, ya que en el momento en el que finalizan los riegos se establece un perfil de flujo ascendente, no se sabe hasta que profundidad.

Las lluvias de otoño forman de nuevo el PFN convergente, que no profundiza más de 70 cm, pese a que se registraron chubascos importantes como el del 27/10/93, con cerca de 28 mm (consultar la fig.7.1). Tras estos eventos, en noviembre y diciembre las precipitaciones casi nulas hacen que desaparezca el PFN, y se establezca de nuevo un perfil completo de flujo ascendente.

Puede observarse como esporádicamente se forma un plano secundario divergente en superficie, indicando que durante algunos momentos se producen fenómenos de evaporación, en la franja de terreno con flujo descendente.

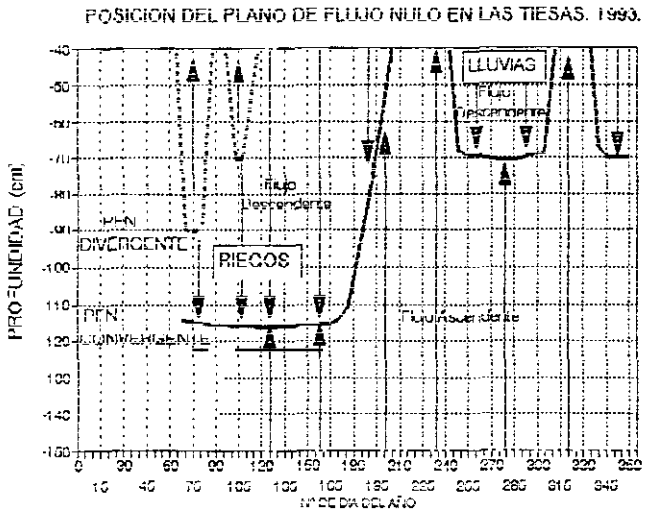


Fig 7.39; Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil de Las Tiesas, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1993.

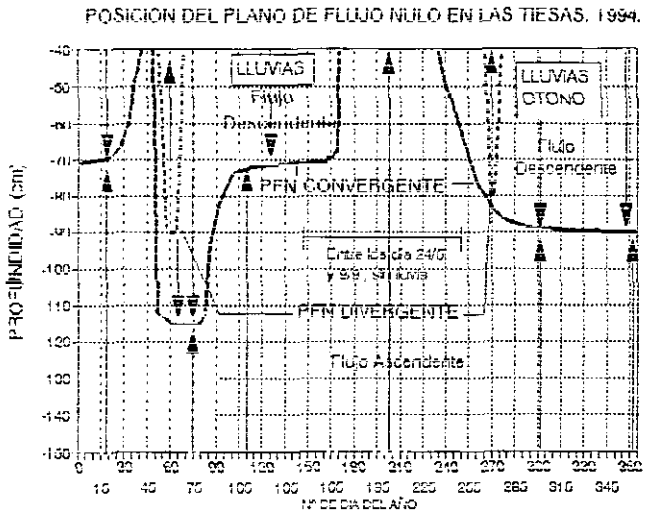


Fig 7.40; Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil de Las Tiesas, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1994.

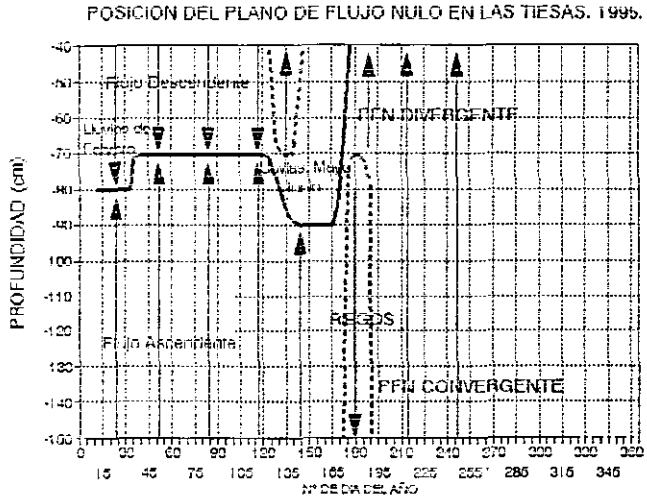


Fig 7.41; Posición del Plano de flujo Nulo en el perfil de Las Tiesas, y direcciones de flujo; evolución con el tiempo, año 1995.

En la figura 7.40, se presenta un figura análoga a la anterior, pero realizada para el año 1994. A grandes rasgos ambas figuras son parecidas. Efectivamente, se observa que hasta aproximadamente el día 180, existe un PFN convergente, y como este desaparece en torno al día 200, ya en verano el flujo es completamente ascendente. De nuevo en el otoño se vuelve a desarrollar el PFN convergente. A diferencia de la figura 7.39, se observa como en febrero se establece un perfil completo de flujo ascendente, que desaparece con rapidez.

A diferencia del año 1993 la profundidad del PFN convergente es de 70 cm a principios de año, aunque la cuantía de los riegos es prácticamente la misma. Parece que pueda ser debido a la menor pluviometría del año 1994. Por otro lado, el período a lo largo del cual el flujo es ascendente durante el verano, se prolonga más en 1994. No obstante las tormentas fuertes registradas en otoño de este año, son dos de 28 y 32 mm respectivamente los días 22/9 y 9/10 (fig.7.2), frente a una de 28 mm acaecida el 27/10/1993 (fig.7.1). El resultado, parece ser que el PFN convergente es capaz de profundizar y mantenerse hasta 90 cm en 1994, frente a los 70 cm del año anterior, por las mismas fechas.

Alrededor de finales de febrero, el plano de flujo nulo desciende hasta más o menos 115 cm de profundidad, aunque la precipitación registrada entre enero y febrero apenas alcanza los 20 mm. Como en el año anterior, de una manera secundaria se desarrollan esporádicamente PFN divergentes en la parte superficial del terreno.

En 1995, (ver fig.7.41), la evolución es muy semejante al año 1994, y la única diferencia muy notoria, es que en julio se forma un PFN divergente, pero esta vez en profundidad, y no en superficie como se venía observando. Corresponde este período a los perfiles de potencial total y humedad mostrados en las figuras 7.36b y 7.38, Parece que por primera vez en los tres años se registra un frente de infiltración que alcance 150 cm de profundidad ó más. Los caudales descendentes calculados son muy pequeños, rondando los 0.005 mm/día. Este evento de infiltración, no podría denominarse recarga, ya que después del mismo se forma un perfil completo de flujo ascendente, y parte o todo del flujo infiltrado puede haberse después evaporado.

- Aunque no se ha observado más que un único fenómeno de infiltración absolutamente claro e inconfundible, debe

señalarse que, el aumento de contenido de humedad y de potencial total a 150 cm, (ver fig.7.35 y fig.7.36b) en los años 1993 y 1994, coincidiendo con las temporadas de riegos, son evidencias inequívocas de que el agua se ha infiltrado hasta estas profundidades, en dos ocasiones más. Parece que en algún momento, que no ha podido ser reflejado en las figuras 7.35 y 7.40, han debido formarse sendos planos de flujo nulo divergente en profundidad, y semejantes al del año 1995. Tal y como sucede para este año, es muy posible que gran parte del agua infiltrada en estas dos ocasiones más no haya constituido agua de recarga, al formarse en 1993 y 1994, perfiles de evaporación completos tras las temporadas de riego.

7.4 PARCELA EXPERIMENTAL BX6

Como ya se explicó en el capítulo anterior, en la parcela experimental BX6 se instalaron seis tensiómetros transductores a 300, 200, 150, 100, 60, 40 y 20 cm. Fueron instalados en octubre del año 1994, y se han tomado medidas continuamente hasta agosto de 1995. Desde octubre hasta principios de febrero, las medidas obtenidas fueron incorrectas debido a una mala conexión. Con lo que se dispone de un período de medidas correctas desde el 31 de enero hasta el 6 de septiembre todo del año 1995.

En este mismo lugar se instaló un tubo de acceso para sonda de neutrones, hasta 10 m. Las medidas se han efectuado periódicamente cada semana desde agosto de 1994, hasta enero de 1995, y cada 15 días desde febrero hasta julio de 1995. Se efectuaron medidas a las profundidades de 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 230, 260, 290, 320, 360, 400, 440, 480, 520, 560, 600, 640, 680, 720, 760, 800, 840, 880 y 920 cm.

Se instaló además un pluviógrafo, para medir conjuntamente precipitación y riegos. Como ha sucedido con los transductores, funcionó inadecuadamente entre agosto del 94 y enero del 95.

Tensiómetros y pluviógrafo se encuentran conectados a un sistema automático de adquisición de medidas. Este instrumento lleva incorporado en la memoria una recta de calibración que es individual para cada transductor. Lo que el «data logger» mide directamente son mV, y estos son transformados a succión, medida en hpa. Aunque se comete un error de 1.9%, se pueden utilizar cm de agua en lugar de hpa, ya que un hpa es igual a 1.019 cm de agua. Para determinar el potencial total se suma el potencial gravitacional, tal y como se explica en el apartad0 6.16.

Con los resultados obtenidos se han realizado un serie de gráficos de evolución de potencial total y humedad, tanto en perfiles como en el tiempo.

7.4.1 PERFIL LITOLÓGICO

Para instalar los tubos de acceso para sonda de neutrones, el Institute of Hydrology, perforó una serie de pequeños sondeos, en diversos puntos como ya se ha explicado en el capítulo anterior. Uno de los lugares perforados fue la parcela experimental BX6. Gracias a estas perforaciones se ha podido describir la columna litológica en este punto. Se presenta a continuación la descripción facilitada por dicha institución.

BX6 I 0-50 cm Suelo

BX6 II 150-250 cm Margas

BX6 III 250-490 cm Cambio gradual a caliza blanca y blanda entre 250 y 280 cm. Caliza blanda con algunas intercalaciones margosas.

BX6 IV 490-850 cm Margas de variados colores que van del blanco al rojo y al amarillo.

BX6 V 850-950 cm: Alternancia de margas y calizas

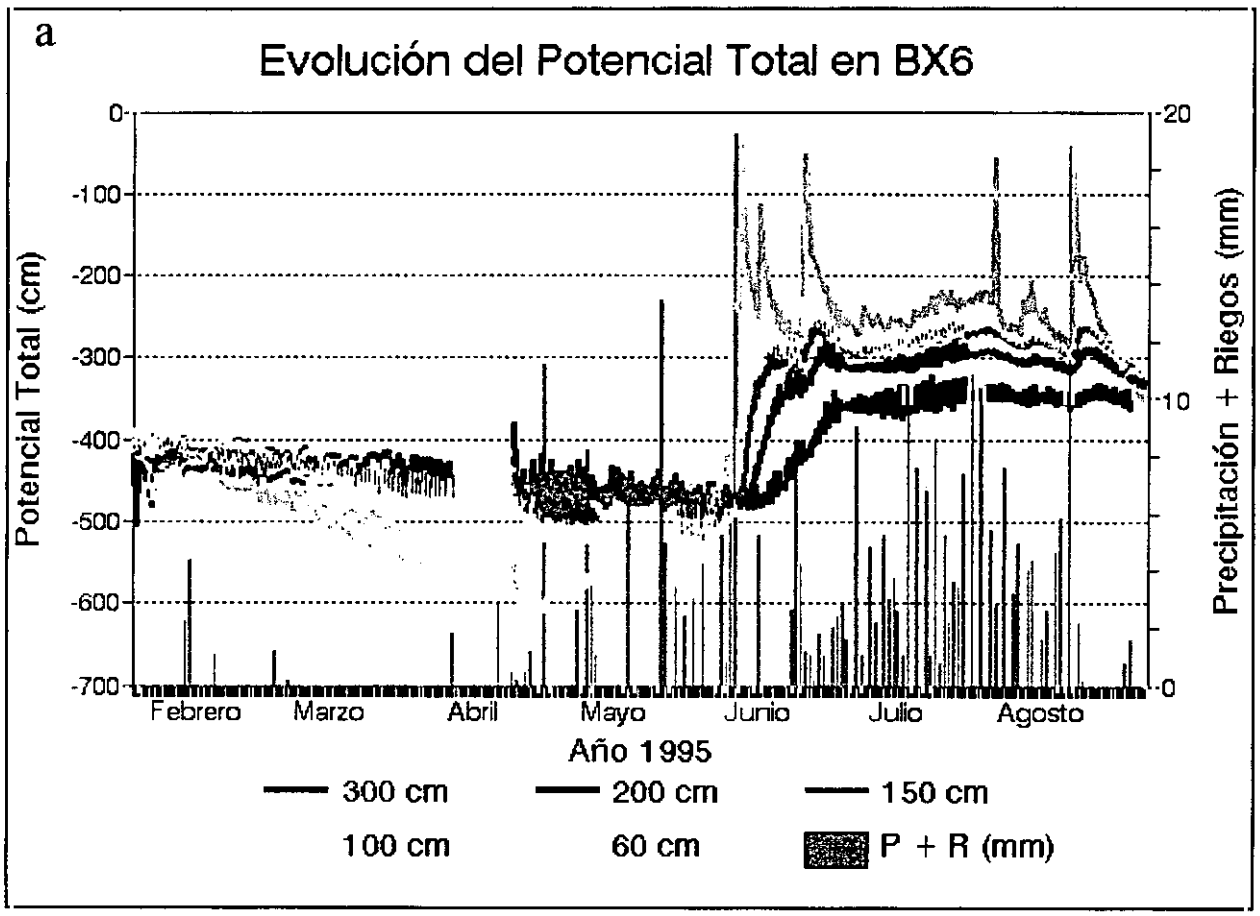
7.4.2 POTENCIAL TOTAL

En la figuras 7.42 se muestra la variación del potencial total desde 20 cm hasta 300, a lo largo del tiempo. Con este gráfico se pretende dar una visión de conjunto de la situación en esta parcela. Se han representado los datos de potencial diarios tomados siempre a las 24 h, desde el 31 de enero hasta el 6 de septiembre. Se representan también riegos y lluvias conjuntamente.

- Puede observarse la existencia de algunas lagunas, debidas a problemas instrumentales. En conjunto, y de acuerdo con este gráfico podrían diferenciarse dos períodos muy marcados. El primero entre finales de enero y principios de junio de 1994, (5 de junio). En esta primera etapa, no hay riegos, con excepción de los últimos días. Se puede apreciar la existencia de un plano de flujo nulo, (PFN), divergente, ya que el potencial total es mayor a 150 cm que a 200 cm. Tras el comienzo de los riegos puede diferenciarse una segunda etapa, alrededor del día 4 de junio de 1995, en la que se establece un perfil por completo de drenaje a partir del día 4. Obsérvese como el potencial total decrece con la profundidad.

- Se pueden apreciar una serie de «picos» en el gráfico que muestran fuertes descensos del potencial total muy bruscos. Coinciden estas fuertes oscilaciones con visitas al campo. Siempre que se rellenan los tensiómetros se notan aumentos en el potencial total muy bruscos. Tal es el caso de los picos que pueden apreciar en el gráfico alrededor de los días 12/02 y 16/03 coincidentes con sendas visitas a las parcelas experimentales.

- Se pueden apreciar una serie de oscilaciones cíclicas, que corresponden al día y la noche. Los transductores de presión, son dependientes de la temperatura, y por tanto los cambios de temperatura día-noche son los responsables de esto fenómenos. Las oscilaciones diarias de potencial son más notables a partir de mediados de marzo, posiblemente debido a que las diferencias de temperatura entre el día y la noche se hacen más acusadas.



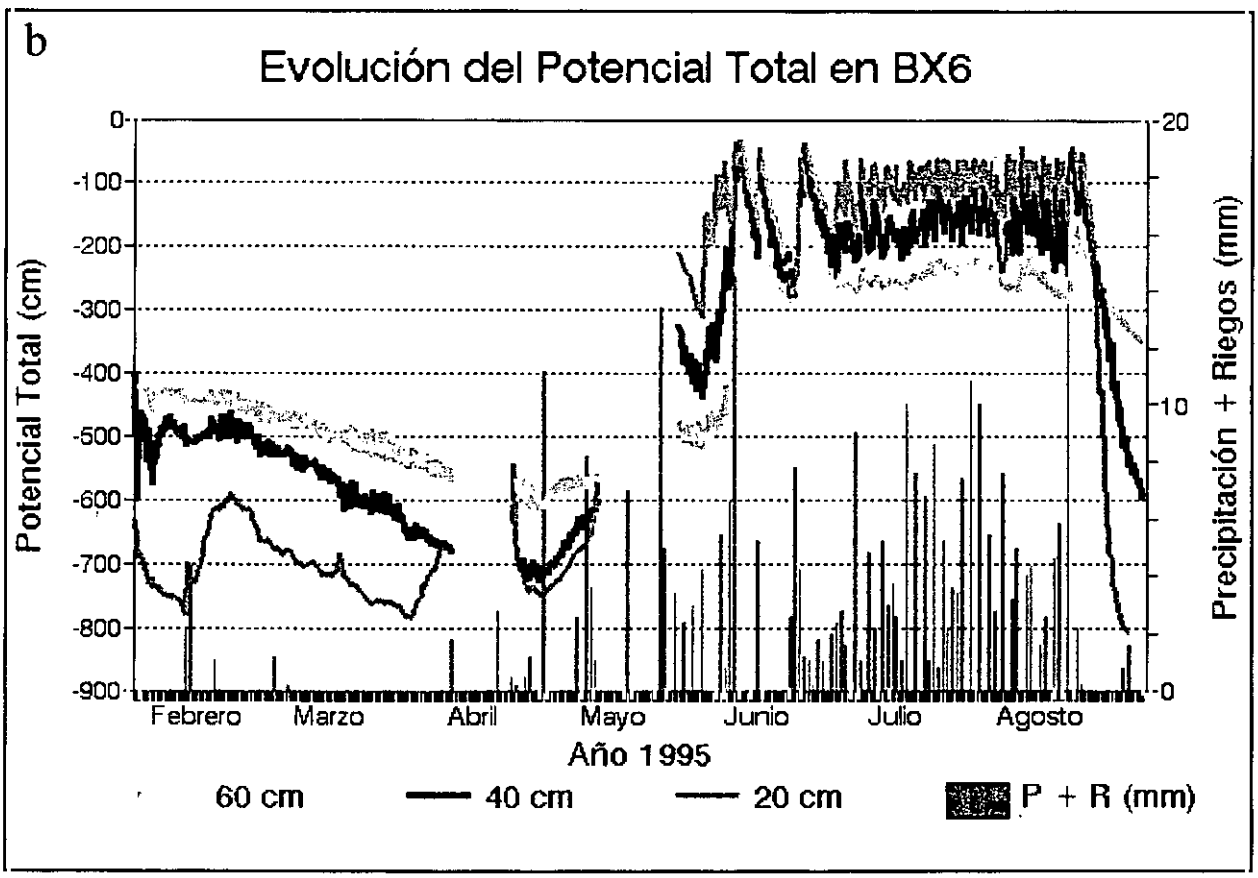


Fig 7.42; Evolución del potencial total en la parcela BX6 a lo largo del tiempo. a) Tensiómetros situados a 60, 100, 150, 200 y 300 cm. b) Tensiómetros situados a 20, 40 y 60 cm..

En la figura 7.43, se presenta un gráfico que muestra como efectivamente las marcadas oscilaciones que se aprecian corresponden a oscilaciones diarias, que no tienen que ver con variaciones reales de potencial total. Parece que en las horas centrales del día los transductores marcan potenciales más altos, y por las tardes y noches más bajos. Las oscilaciones pueden dar lugar a diferencias comprendidas entre 40 y 50 cm de potencial total, para el gráfico mostrado. Las diferencias serán mayores cuanto más marcada sea la diferencia de temperatura entre el día y la noche.

Para estudiar la variación del potencial total se han realizado perfiles hasta 300 cm con la evolución del potencial total de seis en seis horas. Por razones de espacio no se pueden presentar todos. Se ha realizado una revisión exhaustiva de cada uno de esos gráficos, y con ellos se han elaborados otros de resumen representativos de cada etapa. Se ha podido diferenciar gracias a estos gráficos otra etapa intermedia, en la que se comienza a establecer el perfil de drenaje. Esta tercera etapa abarcaría desde el 2 de marzo aproximadamente hasta el 5 de junio. A continuación se describirá con algún detalle cada uno de los períodos mencionados.

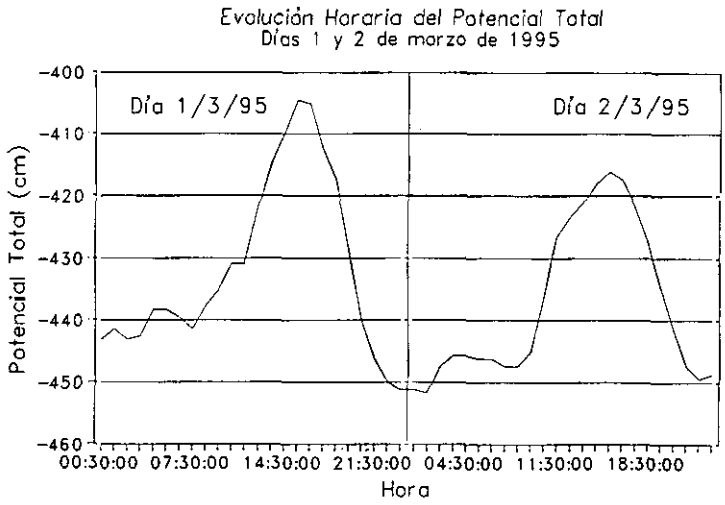


Fig 7.43; Evolución diaria del potencial mátrico en un transductor.

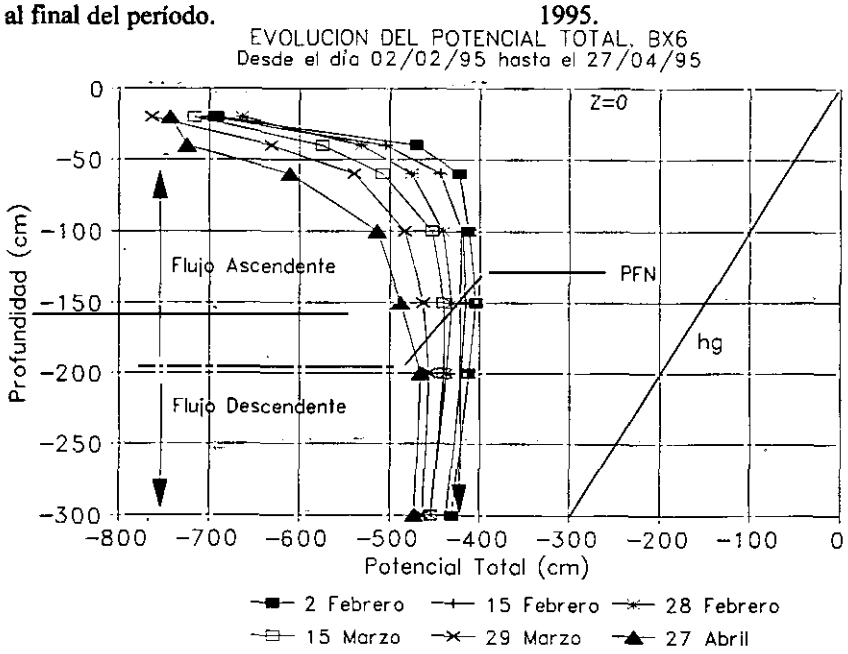
7.4.2.1. PERÍODO: PLANO DE FLUJO NULO DIVERGENTE 02/02/95 - 27/04/95

En los gráficos de la figura 7.42 a y b, puede observarse como en este período los fenómenos de infiltración son muy escasos. Existe un plano de flujo nulo divergente, que profundiza desde unos 150 hasta casi 200 cm al final del período.

Los potenciales más negativos se miden en la parte superficial del terreno. Los mayores potenciales se miden a 200 y 150 cm. Obsérvese como se entrecruzan las líneas correspondientes a los potenciales a 150 y 200 cm, poniendo en evidencia el desplazamiento del plano de flujo nulo (PFN). Efectivamente se localiza un PFN a unos 150 cm de profundidad. Este plano irá progresando lentamente hasta situarse a unos 200 cm de profundidad alrededor del día 3/03. El potencial total a 200 cm es menor que a 300, esto implica que el flujo de agua es descendente en la parte inferior del terreno, y ascendente en la superior, lo que quiere decir que nos encontramos con un PFN divergente.

El potencial disminuye gradualmente desde enero, hasta marzo, evidenciando muy escasos fenómenos de infiltración ó entrada de agua. No obstante la parte superficial del perfil, 20 y 40 cm, sí denotan las lluvias acaecidas en torno al día 12/02, ya que aumenta el potencial en torno a esas fechas. Alrededor del día 28 de marzo, el potencial total a 20 cm es superior que a 40, indicando flujo descendente entre 20 y 40 cm.

En la figura 7.44 se presenta los días más significativos de este primer período, desde el 2 de febrero hasta el 27 de abril de 1995.



El gráfico muestra las distribuciones de potencial a lo largo de seis días. Dada la variación de potencial que existe entre el día y la noche, para su elaboración se han empleado las medidas de potencial tomadas *siempre a la misma hora* (las 24 h en este caso). Se representa también el potencial gravitacional para poder estimar el mátrico si se desea en el mismo gráfico.

- Se observa que el plano de flujo nulo se encuentra situado a unos 150 cm, al principio del período. Conviene señalar que el punto con un potencial total mayor en todo el perfil se pudiera localizar entre 100 y 150 cm, o

Fig 7.44; Evolución del potencial total en un perfil de 300 cm entre los días 2/02 y 27/04/95.

entre 150 y 200 cm, pero dado que no se dispone de un registro de potencial total continuo, no puede determinarse con total exactitud su posición.

- Se puede observar como el potencial a la altura del plano de flujo nulo va decreciendo. Por encima de dicho plano el flujo es ascendente y por debajo descendente. El PFN profundiza conforme avanza el tiempo y se sitúa en torno a los 200 cm hacia el día 27 de abril. Como en el caso anterior, no puede determinarse su posición exacta.

En esta primera etapa apenas se observan fenómenos de infiltración, no obstante se pueden apreciar entradas de agua los días 4, 5 y 6 de febrero. Se presentan a continuación tres gráficos correspondientes a las entradas habidas el día 4 de febrero, ver fig.7.45 a 7.47

En la fig.7.45, se puede apreciar como entre las 4 h y las 5 h, ha progresado un frente de infiltración hasta casi 40 cm. El potencial se ha vuelto a hacer muy negativo en la parte superficial, y no queda registro de su paso por el sensor situado a 20 cm. A las seis horas el sensor situado a 60 cm, muestra un aumento de potencial total, lo que quiere decir que el frente de infiltración ya ha alcanzado esa profundidad.

En la fig.7.46 se puede apreciar como entre las 9 y las 11 h, el potencial disminuye a 60 cm, y como comienza a aumentar a 100, indicando que la parte más humedecida del perfil se localiza ahora a esa profundidad. Resultan muy llamativos los desplazamientos «en paralelo» de potencial total que manifiestan los sensores instalados en la parte baja del perfil. Estas oscilaciones previsiblemente son debidas a los cambios de temperatura que sufren los transductores a lo largo del día.

En la figura 7.47, se puede apreciar como la humedad en el perfil se ha redistribuido casi por completo volviendo prácticamente de nuevo a la situación inicial que se puede apreciar en la figura 7.44. Parece pues que el chubasco apenas sobrepasa los 100 cm de profundidad.

- Parece oportuno resaltar como incluso realizando un registro horario del potencial mátrico, no ha podido ser observado la penetración del frente de humedad desde la parte superior del perfil. Se puede observar como este episodio de infiltración ha durado apenas unas pocas horas, y como no quedaría constancia de dicho suceso a menos que se tomen medidas horarias de potencial.

A parte de nuevos fenómenos de infiltración muy aislados, como son los

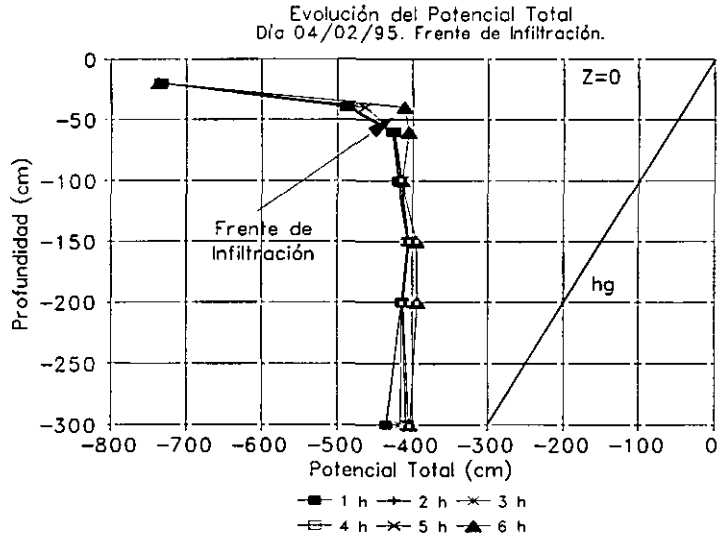


Fig 7.45; Fenómeno de infiltración registrado en BX6, el día 4 de febrero de 1995. Entre las 1.00h y las 6.00h.

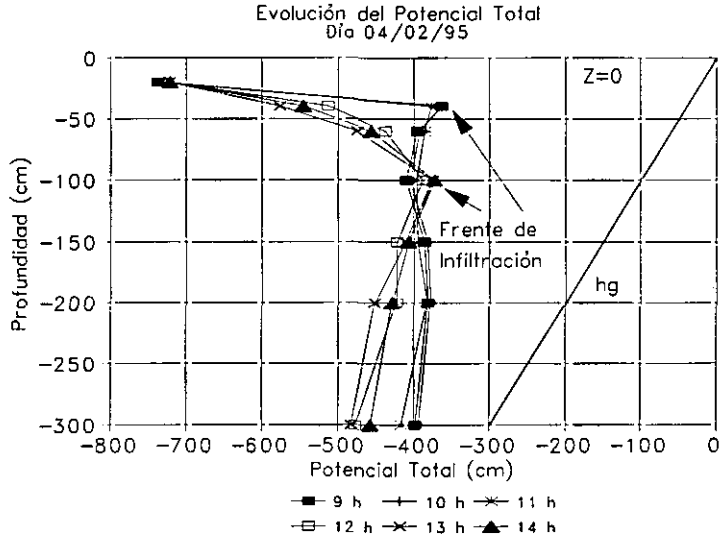


Fig 7.46; Fenómeno de infiltración registrado en BX6, el día 4 de febrero de 1995. Entre las 9.00h y las 14.00h.

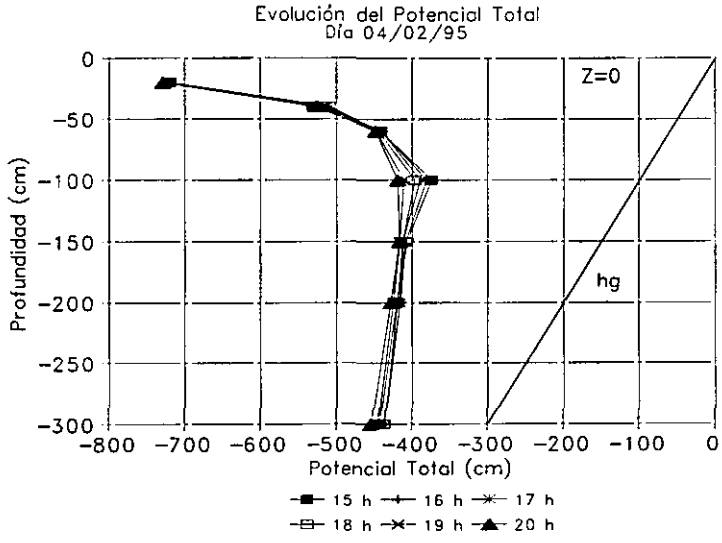


Fig 7.47; Fenómeno de infiltración registrado en BX6, el día 4 de febrero de 1995. Entre las 15.00h y las 20.00h.

acaecidos los días 4, 5 y 6 de febrero, el período se encuentra marcado por una casi total ausencia de fenómenos de infiltración y un plano de flujo nulo que desciende, lo que implica que el frente de evaporación alcanza progresivamente profundidades mayores.

Muy ocasionalmente se han detectado pequeñas anomalías:

- El potencial total en lugar de disminuir como cabría esperar en la sección del perfil localizada a la altura del plano de flujo nulo divergente, en algunas ocasiones aumenta.

- En algunas ocasiones la evolución del potencial total se realiza de forma «paralela», es decir el potencial aumenta o disminuye de igual manera en todos los puntos, y no paulatinamente como cabrías esperar en un proceso de drenaje o evaporación. Este fenómeno puede estar motivado como ya se ha dicho por los cambios de temperatura que sufren los transductores entre el día y la noche.

7.4.2.2. PERÍODO INTERMEDIO: ESTABLECIMIENTO DE UN PERFIL DE DRENAJE: 27/4/95-06/06/95

Desde finales de abril hasta principios de junio puede apreciarse como la distribución de la humedad en el perfil comienza a verse afectado por los riegos.

En la figura 4.42 b puede observarse como la primera dosis de riego, ya que las lluvias desde febrero han sido casi inexistentes (ver fig.7.3), hacen aumentar el potencial total a 20 y 40 cm, desde casi el límite de funcionamiento de un tensiómetro, hasta más de -400 cm.

En el gráfico de la figura 7.42 a, se muestra la evolución de potencial a mayores profundidades, 300, 200, 150, 100, y 60 cm. Se observa que los transductores por debajo de 60 cm no evidencian los primeros riegos hasta el día 4 de junio de 1995.

A continuación se presentan una serie de gráficos que muestran variaciones diarias de potencial total. Para evitar al máximo las variaciones aparentes inducidas por cambio de temperatura, se han realizado los gráficos con los datos tomados a las 24 horas.

El primer gráfico (ver fig.7.48), que se presenta corresponde a la evolución del potencial total desde el día 7 de mayo hasta día 12 de mayo. Este gráfico muestra como se va desarrollando un plano de flujo nulo convergente, y por tanto como va progresando un frente de infiltración. Obsérvese como en los cinco primeros días el frente de infiltración se localiza a unos 20 cm. A esta profundidad se localiza el plano de flujo nulo convergente. Este punto recibe por una lado drenaje superficial, y por otro lado recibe humedad de la parte inferior. El resultado, es que el punto se va humedeciendo progresivamente. El día 12 de mayo, puede observarse como el plano de flujo nulo ha profundizado hasta aparentemente 40 cm. Entre 40 y 60 cm no disponemos de ninguna medida de potencial, por lo que pudiera ser que incluso el frente de infiltración se encontrara ya a mayor profundidad, como parece indicar el hecho de que el potencial total a sesenta cm haya aumentado ya el día 12 de mayo.

Faltan datos entre el día 12 de mayo y 29 de mayo, por lo que no se puede establecer con precisión en que momento se establece por completo el perfil de drenaje.

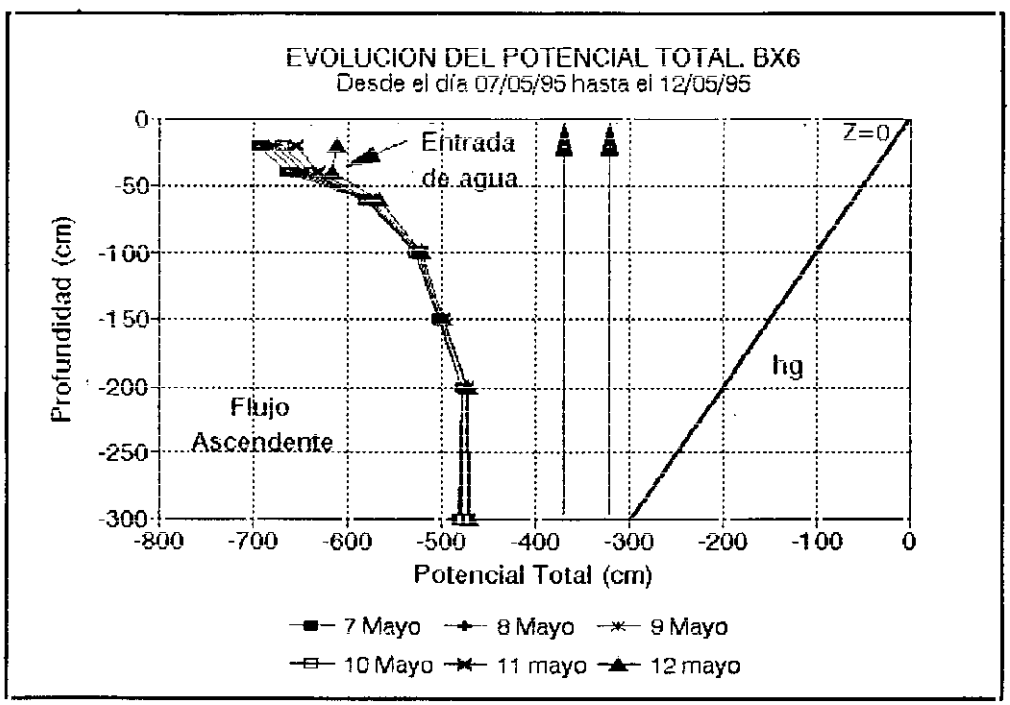


Fig 7.48; Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 7 de mayo hasta día el 12 de mayo de 1995.

En el siguiente gráfico (ver fig.7.49) se presenta la situación, que ya es muy diferente, desde el 29 de mayo hasta el 3 de junio. El PFN convergente se localiza ya a 60 cm. La parte inferior del perfil presenta un perfil de ascenso de humedad, no obstante se observa como el potencial ha aumentado ya en todo el perfil hasta 300 cm, a partir del 30 de mayo. Aunque el frente de humedad no ha alcanzado esta profundidad, el aumento de potencial que sufre la parte superior hace que el caudal que circule sea mayor y por tanto aumente el potencial. El caso límite sería el perfil completamente saturado, en cuyo caso el potencial total sería igual al gravitacional. La línea de potencial total coincidiría con la de la gravedad, y la conductividad hidráulica sería la conductividad hidráulica saturada.

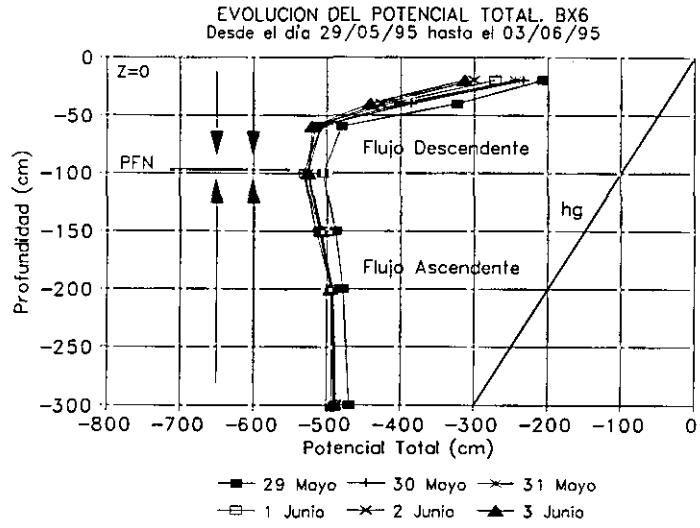


Fig 7.49; Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 29 de mayo hasta el día 3 de junio de 1995.

Se presenta por último un gráfico (ver fig.7.50), en el que se puede apreciar muy bien como se redistribuye la humedad en el perfil, entre los días 9 y el 10 de junio en la parte superior del perfil. Los riegos continúan y el potencial total muestra que el frente de infiltración alcanza los 100 cm. La parte superior se encuentra saturada, y prueba de ello es que el potencial total es mayor que el gravitacional, el día 11 de junio hasta casi 60 cm.

Una vez que la parte superior se ha humedecido, obsérvese como el frente de infiltración que comienza a progresar el día 9 de junio a la 20 h desde unos 20 cm, ha descendido ya hasta más de 100 cm en unas pocas horas (8 h, del día 10 de junio).

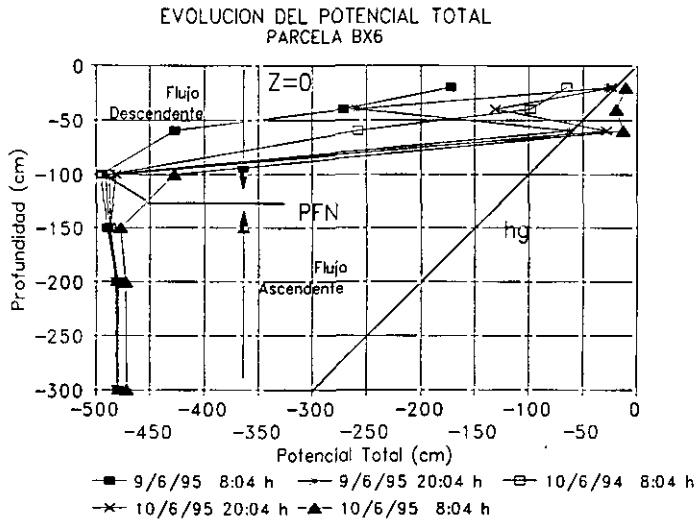


Fig 7.50; Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 9 hasta el día 10 de junio de 1995, de 12 en 12 h.

7.4.2.3. TERCER PERÍODO: PERFIL DE DRENAJE 06/06/95-PRINCIPIOS DE SEPTIEMBRE.

En el tercer período que se ha podido diferenciar, se establece un perfil por completo de drenaje (ver fig. 7.42 a y b). Este período comienza a principios de junio y finaliza con el último riego el 26 de agosto.

- En este período puede apreciarse como el potencial es mayor a 20 que a 40 cm, y a 40 cm, que a 60, y así sucesivamente, indicando un flujo de agua prácticamente descendente.

- Resultan muy destacadas las oscilaciones cíclicas que se pueden observar. Estos bruscos aumentos y disminuciones de potencial corresponden a los momentos de riego. Al regar se produce un brusco aumento del potencial a 20, 40 y 60 cm, seguido de una brusca disminución al ser evaporada el agua rápidamente.

- Merece la pena comentar como en algunos momentos muy puntuales se desarrolla un PFN convergente, por ejemplo como el 30 de agosto, el potencial total a 60 cm (-289 cm) es superior que a 40 cm (-353 cm), indicando que el flujo es ascendente entre ambas profundidades.

- Resulta muy llamativo como las habituales oscilaciones cíclicas se minimizan a partir del día 29 de julio. Coincide este fenómeno con el aumento de las dosis de riego, y debido en parte a la menor diferencia entre las temperaturas del día y de la noche.

En el gráfico de la fig.7.51, se presenta como se redistribuye la humedad en el perfil, desde el 16 de junio hasta el 21 de junio de 1995. Puede verse en la gráfica como el día 16 el potencial total entre 0 y 100 cm de profundidad es inferior a -200 cm. Obsérvese como a 300 cm de profundidad el potencial es igual a -490 cm. Se puede ver como progresivamente se redistribuye la humedad en el perfil, de tal forma que el día 21, el potencial total en la parte superior del perfil ha disminuido hasta -250 cm (implicando que ha disminuido el contenido de humedad), mientras que el potencial total en la parte inferior ha aumentado hasta -375 cm, (implicando que la humedad se ha redistribuido y que la parte baja del perfil se ha humedecido).

Cuanto más se humedezca el perfil, los perfiles de potencial total tenderán a aproximarse con paralelismo a la línea de potencial gravitacional (hg, que se ha dibujado en el gráfico), aumentará la conductividad hidráulica y el caudal que circule será mayor. La separación entre el perfil de potencial total y la línea de la gravedad dependerá por tanto de la conductividad hidráulica no saturada y por ello del contenido de humedad. Puede observar como al aumentar el contenido de humedad en perfil, las líneas de potencial, tienden a aproximarse a la línea de la gravedad.

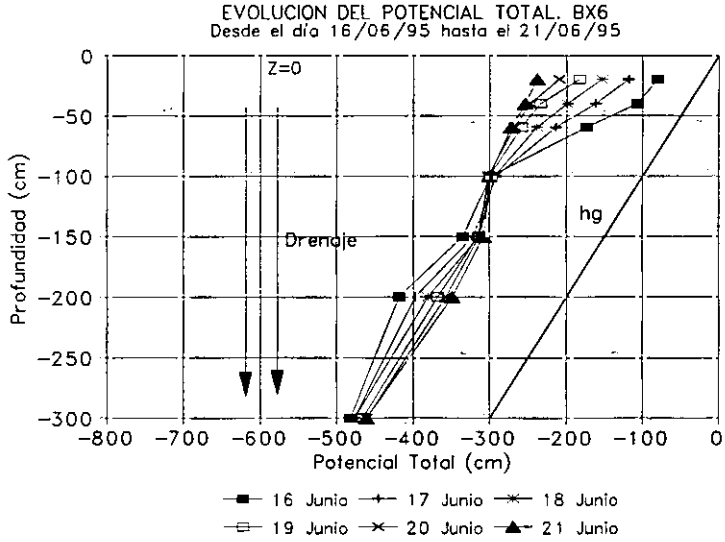


Fig 7.51; Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 16 de junio hasta el día 21 de junio.

En la siguiente figura (fig.7.52), se presentan otros perfiles típicos de este período, entre las fechas 6 y 11 de julio de 1995. Puede verse que el potencial total en el perfil continúa aproximándose a la gravedad. No obstante puede verse una tendencia ocasional a desarrollar un PFN convergente a unos 100 cm de profundidad, parece que pueda ser causado por la existencia de un tramo litológico con propiedades hidráulicas muy diferentes al resto del perfil, no obstante el perfil litológico no evidencia la existencia de tal tramo.

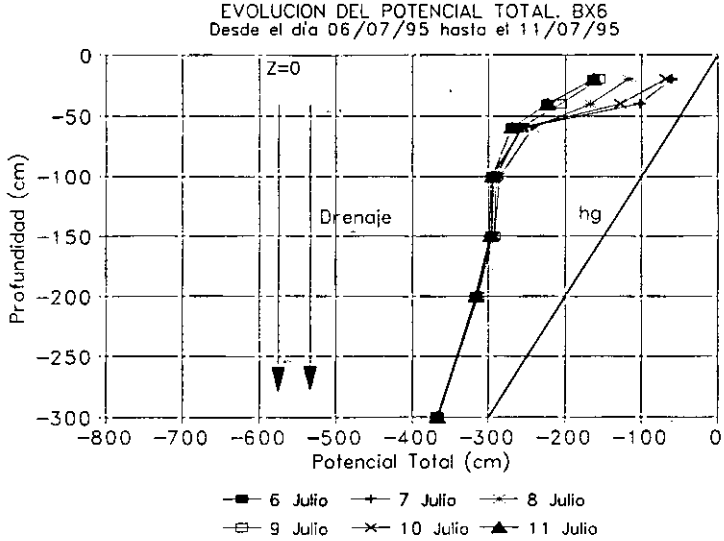


Fig 7.52; Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 6 de julio hasta el día 11 de julio.

A partir de finales de agosto, aproximadamente hacia el día 26, se suspenden los riegos. Como resultado, la humedad disminuye en el perfil, y por tanto el potencial total comienza a disminuir. En la figura 7.53, se puede observar como en cuanto deja de haber aportes constantes por la superficie del terreno, se comienza a formar un PFN divergente que en pocos días, llega a situarse a 60 cm de profundidad.

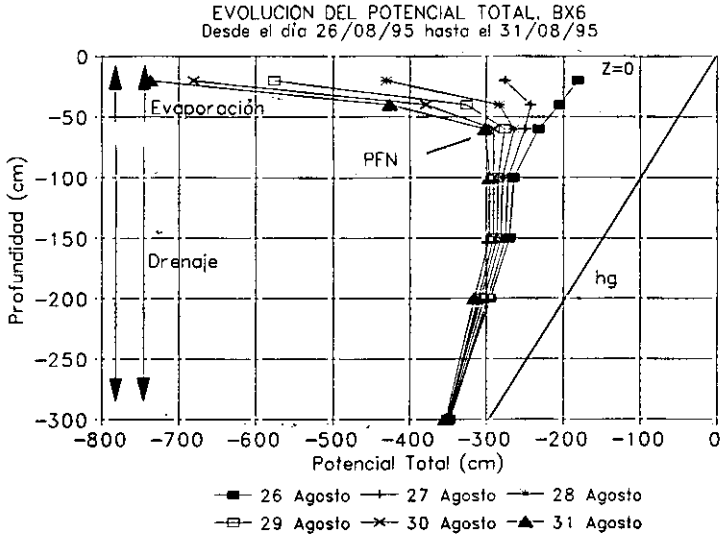


Fig 7.53; Evolución del potencial total en BX6, en un perfil de 300 cm desde el día 26 hasta el día 31 de agosto.

7.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Para estudiar el contenido de humedad en esta parcela experimental, se han tomado medidas de humedad con sonda de neutrones a las profundidades de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100,

120, 140, 160, 180, 200, 230, 260, 290, 320, 360, 400, 440, 480, 520, 560, 600, 640, 680, 720, 760, 800, 840, 880 y 920 cm.

Las medidas de humedad comenzaron en agosto de 1994. Inicialmente se programó una medida semanal, pero con posterioridad y por motivos económicos fue necesario recortar estas medias a dos mensuales. Es por esto que desde agosto de 94 hasta enero del 95, las medidas se encuentran espaciadas una semana, mientras que a partir de febrero del 95, se espacian dos semanas.

Merece la pena comentar que existe un cierto desfase entre las medidas de sonda de neutrones, y las tensiométricas. Mientras que las medidas de humedad comienzan en agosto de 1994, las medidas tensiométricas no empiezan hasta febrero de 1995, debido a problemas instrumentales. Por el contrario, las medidas tensiométricas se prolongan hasta octubre de 1995 mientras que las de sonda finalizan en julio de 1995.

Las medidas de conteo de la sonda de neutrones fueron transformadas en contenido volumétrico de humedad de acuerdo con lo explicado en el apartado 6.4.5.

7.4.3.1 EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO

En la figura 7.54 se presenta una evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 920 cm de profundidad, y desde agosto de 1994, hasta julio de 1995.

Para calcular la humedad total se ha calculado el contenido de humedad medio entre dos profundidades sucesivas para las que se dispone de medida de sonda de neutrones, y por tanto de contenido volumétrico de humedad. Se ha considerado que el contenido de humedad entre una profundidad digamos 20 cm y la siguiente 30 cm es igual a la superficie de un trapecio cuyas bases serían el contenido volumétrico de humedad a 20 cm (0.175 cm^3/cm^3) una, y el contenido volumétrico de humedad a 30 cm otra (0.239 cm^3/cm^3), calculando la superficie (S) de dicho trapecio S = 1/2 (0.175 cm^3/cm^3) (0.239 cm^3/cm^3), y multiplicando el resultado (en este caso 2.07) por 10, se obtiene la humedad almacenada en el perfil entre 20 y 30 cm, expresada en mm, 20.7 mm en este caso.

La humedad total se ha calculando sumando todas las estimaciones individuales.

Puede verse como el contenido de humedad al principio del período de medidas es bajo (3196 mm, el 10 de agosto de 1994). A partir de esta fecha, el contenido de humedad aumenta hasta alcanzar un máximo el día 22 de noviembre de 1994 con 3359 mm. Entre ambas fechas el contenido de humedad aumenta en 163 mm. A partir de esta fecha disminuye el contenido de humedad hasta 3311 mm, el día 18 de enero del 95, con una pérdida neta de humedad de 48 mm. El día 2 de febrero, se registra un mínimo con 3245 mm, con una disminución de la humedad de 66 mm con respecto a la fecha anterior de medida. Esta brusca disminución es extraña, y puede deberse a un error sistemático en las medidas tomadas dicho día. A partir del día 18 de enero, comienza a aumentar el contenido de humedad, llegando la humedad almacenada en el perfil de humedad hasta los 3351 mm, el día 15 de marzo. A partir de esa fecha se produce una brusca pérdida de humedad de 138 mm, con un mínimo absoluto el día 27 de marzo. A partir de esta fecha aumenta también rápidamente el contenido de humedad en 168 mm, alcanzando un máximo el día 19 de julio de 1995.

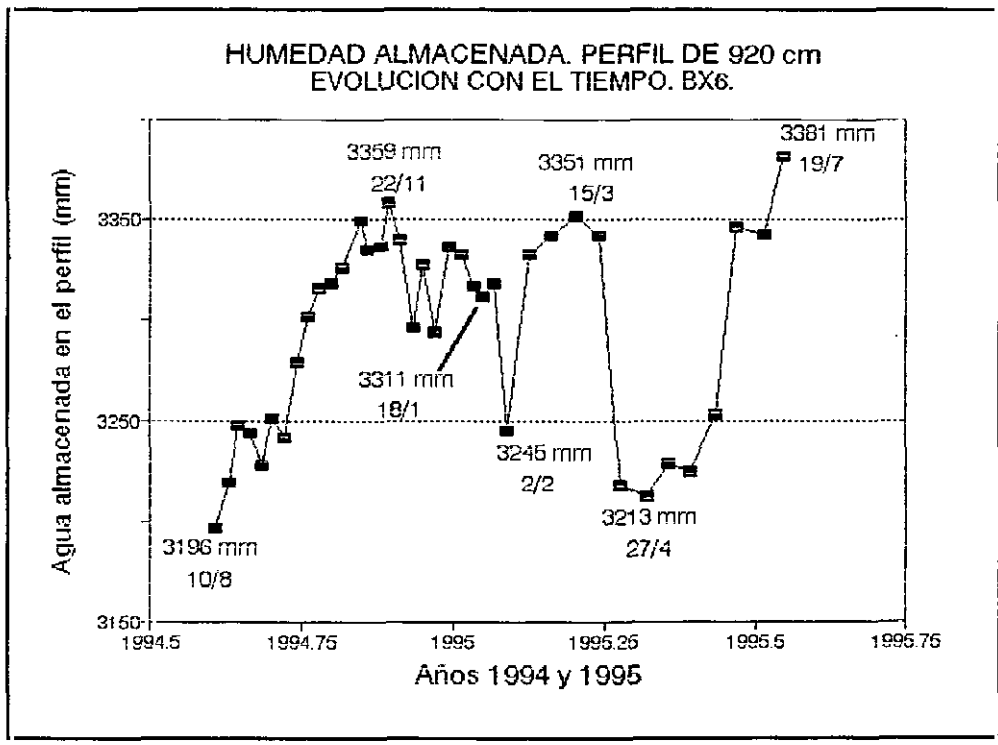


Fig 7.54; Evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 920 cm, y desde agosto de 1994, hasta julio de 1995 en BX6.

En la tabla 7.9 pueden consultarse los incrementos de humedad registrados en el perfil para los intervalos de tiempo entre los cuales se han tomado medidas, para 1994. Se incluyen los datos de precipitación entre dos fechas consecutivas de medida según la estación automática del IDR y según el pluviógrafo instalado en BX6.

Puede decirse que el aumento de humedad registrado entre verano y otoño de 1994, viene muy claramente justificado por las precipitaciones y riegos.

Obsérvese como el contenido de humedad continúa aumentando hasta mucho después de haber finalizado los riegos de 1994. No obstante realizando un minucioso análisis de datos, (que no se presenta aquí por razones de espacio), se observa que no existe una relación directa entre riegos y aumento de humedad en el perfil. En múltiples ocasiones se detecta un incremento de la humedad en la parte inferior del perfil, sin que las medidas precedentes de humedad en la parte superior acusen aporte de agua alguno. Parece que de alguna manera se producen aportes horizontales de humedad al perfil.

El brusco descenso de humedad registrado en marzo de 1995, podría corresponder a un incremento de evaporación, debido a la preparación que se le da al terreno antes de la siembra.

En la tabla 7.10 se presenta de forma análoga a la tabla anterior riegos y precipitaciones para el año 1995.

Resulta muy notable, como de acuerdo con esta tabla no parece existir una relación directa entre precipitaciones y riegos y el incremento de humedad en el perfil para el período 2/2/95 al 14/2/95. Se observa como precipitaciones y riegos suman 6.6 mm, según el pluviógrafo BX6 y 7.4 según la estación del IDR, mientras que el aumento de humedad asciende a 86 mm, entre 10 y 100 de profundidad. Esta incoherencia parece confirmar la suposición de que las medidas tomadas en la fecha 2/2/95 son erróneas.

Tabla 7.10: Precipitación y humedad acumuladas en BX6 (entre 10 y 100 cm y 100 y 300 cm de profundidad) en 1995 para dos fechas sucesivas de medida de sonda de neutrones.

AÑO 1995	100-920 (mm)	10-100 (mm)	P (mm)	Riegos (mm)	P+R(*) (mm)	P+R(@) (mm)
5/01 - 11/01	-12.31	-3.69	0.0	0.0	0.0	?
12/01 - 17/01	-2.83	-2.52	0.0	0.0	0.0	?
18/01 - 24/01	4.85	1.99	0.0	0.0	0.0	?
25/01 - 1/02	-69.08	-3.98	0.0	0.0	0.0	?
2/02 - 14/02	87.56	0.04	7.4	0.0	7.4	6.6
15/02 - 27/02	10.24	-1.16	0.4	0.0	0.4	1.0
28/02 - 14/03	12.3	-2.46	0.6	0.0	0.6	1.4
15/03 - 28/03	-5.69	-4.45	0.0	0.0	0.0	0.0
29/03 - 10/04	-99.85	-23.63	0.0	0.0	0.0	1.8
11/04 - 26/04	4.11	-9.23	1.0	0.0	1.0	3.8
27/04 - 09/05	-1.24	16.76	11.8	0.0	11.8	23.2
10/05 - 22/05	-1.15	-2.85	3.0	9.7	12.7	11.6
23/05 - 7/06	16.27	11.71	0.0	55.4	55.5	36.8
8/06 - 19/06	44.35	49.42	33.6	37.8	71.4	31.8
20/06 - 6/07	-6.34	2.84	4.4	73.1	77.5	37.6
7/07 - 19/07	35.74	2.83	0.0	104.37	104.37	33.6
SUBTOTAL Increm	+215.5	+85.6	62.2	280.4	342.6	189.2
Decrem	-198.5	-54.0				
19/07 - 20/08	?	?	0.0	301.7	301.7	114.4
21/08 - 6/09	?	? 4	1.4	0.0	41.4	41.4
TOTAL		10	3.6	582.1	685.7	345.0

(*): Datos de precipitación procedentes de la estación del IDR, y datos de riegos procedentes del ITAP. (@): Datos procedentes del pluviógrafo BX6.

Han sido realizados un serie de gráficos para estudiar como varía el contenido de humedad en cada uno de las distintas unidades litológicas descritas en el apartado 7.5.1. El contenido medio de humedad en el perfil para cada sección de terreno se ha calculado de acuerdo con lo explicado en el primer párrafo de este apartado, dividiendo el contenido total de humedad obtenido por la longitud de la sección considerada.

En la figura 7.55, puede verse la evolución del contenido de humedad total entre 0 y 160 cm de profundidad y entre 160 y 220 cm. Aunque el límite de la unidad se encuentra a 150 cm, no siempre se ha podido realizar el cálculo a las profundidades exactas.

Tabla 7.9: Precipitación y humedad acumuladas en BX6 (entre 10 y 100 cm y 100 y 300 cm de profundidad), para dos fechas sucesivas de medida de sonda de neutrones.

AÑO 1994	100-920 (mm)	0-100 (mm)	P (mm)	RIEGOS (mm)	(*)P+R (mm)
10/08 - 17/08	14.11	8.68	0.0	46.8	46.8
18/08 - 23/08	24.13	4.37	0.0	43.65	43.65
24/08 - 30/08	-10.16	6.29	0.0	46.8	46.8
31/08 - 6/09	-7.08	-8.58	0.0	46.8	46.8
7/09 - 13/09	16.59	6.35	0.0	62.4	62.4
14/09 - 20/09	-13.29	3.59	0.0	28.05	28.5
21/09 - 27/09	21.25	15.71	34.0	7.5	41.5
28/09 - 4/10	24.15	-0.54	13.4	0.0	13.4
5/10 - 11/10	4.37	9.80	31.8	0.0	31.8
12/10 - 18/10	2.21	-0.07	8.4	0.0	8.4
19/10 - 24/10	15.98	-8.06	3.8	0.0	3.8
25/10 - 4/11	26.98	-3.39	10.2	0.0	10.2
5/11 - 8/11	-13.75	-1.05	0.8	0.0	0.8
9/11 - 18/11	4.15	-2.89	3.4	0.0	3.4
19/11 - 21/11	18.88	3.74	0.0	0.0	0.0
22/11 - 28/11	-12.30	-6.64	0.0	0.0	0.0
29/11 - 6/12	-41.50	-2.46	0.0	0.0	0.0
7/12 - 12/12	33.62	-1.69	1.2	0.0	1.2
13/12 - 19/12	-29.65	-4.03	0.2	0.0	0.2
20/12 - 28/12	43.63	-1.36	0.0	0.0	0.0
29/12 - 4/01	-6.28	2.60	4.2	0.0	4.2
TOTAL	+250.0 -134.0	+61.12 -40.8	111.4	274.5	385.9

(*): Para el cálculo del volumen total, precipitación más riegos (P+R), se han utilizado los datos de riegos facilitados por el ITAP y la precipitación en la estación del IDR.

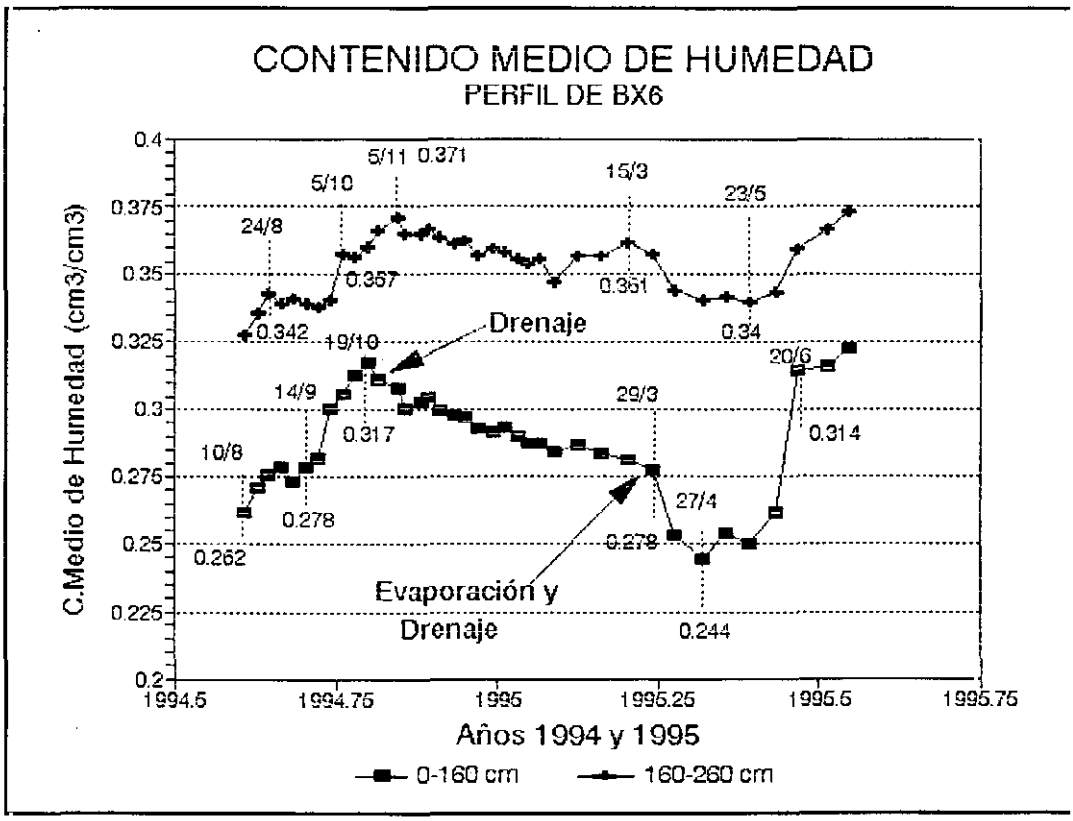


Fig 7.55; Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX6. Entre 0 y 160 cm de profundidad y entre 160 y 220 cm.

Entre las fechas 8/10/94 y 19/19/94 aumenta el contenido de humedad, parece que debido a los riegos, en la capa superficial de terreno. A partir de esta fecha disminuye un 4% en volumen el contenido medido de humedad muy previsiblemente debido a drenaje. En marzo se observa una brusca disminución del contenido de humedad, que se ha supuesto debida fundamentalmente a un aumento de la evaporación provocado por la remoción del terreno. El 20/6/95, aumenta de nuevo el contenido de humedad en el terreno debido a los riegos de 1995.

La franja de terreno comprendida entre 160 y 260 cm experimenta una evolución semejante a la anterior. No obstante, parece que los riegos de otoño de 1994 provocan que el contenido de humedad aumente hasta principio de noviembre. Se observa que a mediados de marzo disminuye el contenido de humedad medio en un 2% en volumen.

En las figura 7.56 a y b se muestra la evolución del contenido medio de humedad entre 260 y 520 cm, y entre 520 y 840 cm. A diferencia de las dos anteriores, en estas secciones parece que el contenido de humedad aumenta ininterrupidamente hasta abril de 1995. Desde finales de este mes el contenido de humedad disminuye en ambos casos. La pérdida que sufren las secciones superiores podría estar ocasionando un aumento del contenido de humedad en las secciones inferiores. Puede observarse como la medida tomada el 2/2/95 parece anómala. Se observa en marzo un importante descenso de humedad. El contenido medio de humedad permanece relativamente constante en ambas secciones y muy semejante en ambas en torno a 0.42 cm^3/cm^3.

En la figura 7.57 se muestra por último la evolución del contenido medio de humedad en la sección inferior del perfil para la cual se dispone de medidas. Se aprecian oscilaciones mayores que en las dos secciones inmediatamente superiores. El contenido de humedad, no obstante se mantiene relativamente constante. Parece que el terreno se halla muy próximo a la saturación si se asume que las curvas de retención de las muestras tomadas en BX8, son extensibles a estas muestras, especialmente BX8M25 y BX8M28, tomadas en materiales muy semejantes a BX6 (ver tabla 7.11).

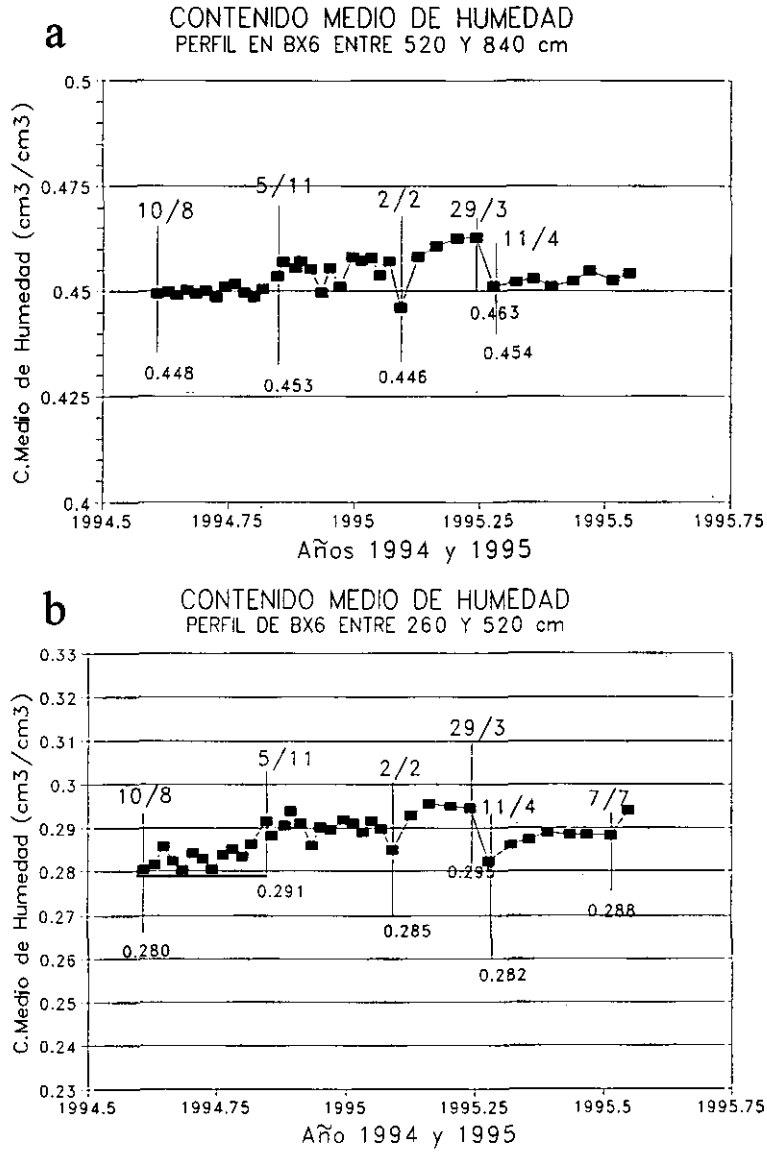


Fig 7.56; Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX6. a) Entre 260 y 520 cm de profundidad. b) Entre 520 y 840 cm.

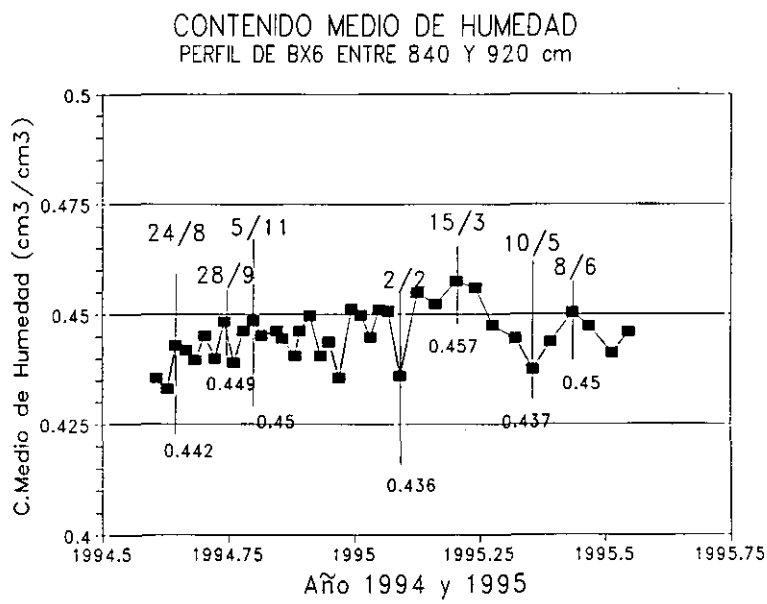


Fig 7.57; Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX6. Entre 840 y 920 cm.

7.4.3.2 PERFILES DE HUMEDAD

A continuación se presenta la evolución del contenido de humedad, en un perfil completo de 920 cm, ver figura 7.58. Se muestran las fechas consideradas más significativas para todo el período de medidas, que ya han sido señaladas en la figura 7.54, esto es las fechas en las que se han registrado un máximo y un mínimo, 10 de agosto de 1994 y 15 de marzo de 1995. Se ha incorporado también una columna litológica para facilitar su interpretación.

- En cuanto a la variación del contenido de humedad en el tiempo puede observarse como se mantiene relativamente constante. Se han representado en el gráfico las fechas que registran máximos y mínimos contenidos de humedad. Obsérvese que si se exceptúan los 2 primeros m de terreno, (dónde se aprecian oscilaciones del hasta 10% en volumen), la variación de la humedad apenas excede el 3% en volumen en la parte inferior.

- En cuanto a la variación del contenido de humedad en el espacio lo primero que llama la atención de este perfil son los bruscos cambios de contenido de humedad que se observan. Esto es debido a la heterogeneidad litológica del perfil estudiado. El contenido volumétrico de humedad difiere mucho de unas unidades a otras. Así pues en la unidad BX6 I, se observa que el contenido de humedad oscila entre 0.29 y 0.37, en la unidad BX6 II entre 0.20 y 0.35, para la segunda, mientras que en las unidades BX6 IV y BXV lo hace entre 0.40 y 0.52. Hay que señalar el bajo contenido de humedad que se ha medido en algunas secciones de la unidad BX6 III, con contenidos próximos a 0.1. Podrían interpretarse como zonas con baja porosidad eficaz. No hay que olvidar que se trata de una caliza, con lo que la porosidad puede variar mucho de unos puntos a otros. En la unidades BX6 IV y V, el contenido de humedad es muy alto como ya se dice arriba, y de este hecho podría inferirse que la porosidad eficaz es superior en estas unidades, comparadas con las demás. El contenido volumétrico de humedad, se acerca en algunos puntos a 0.52. Este terreno presenta es semejantes a las de la parcela BX8, cuyas curvas de retención muestran saturación comprendida entre 0.28 y 0.45. Podrá pensarse que el límite superior de la zona saturada puede hallarse cerca, no obstante según la fig.2.10, parece que se halla al menos a 20 m de profundidad en este punto.

- Debido a la mencionada heterogeneidad litológica, resulta muy difícil apreciar fenómenos de redistribución de humedad en el perfil.

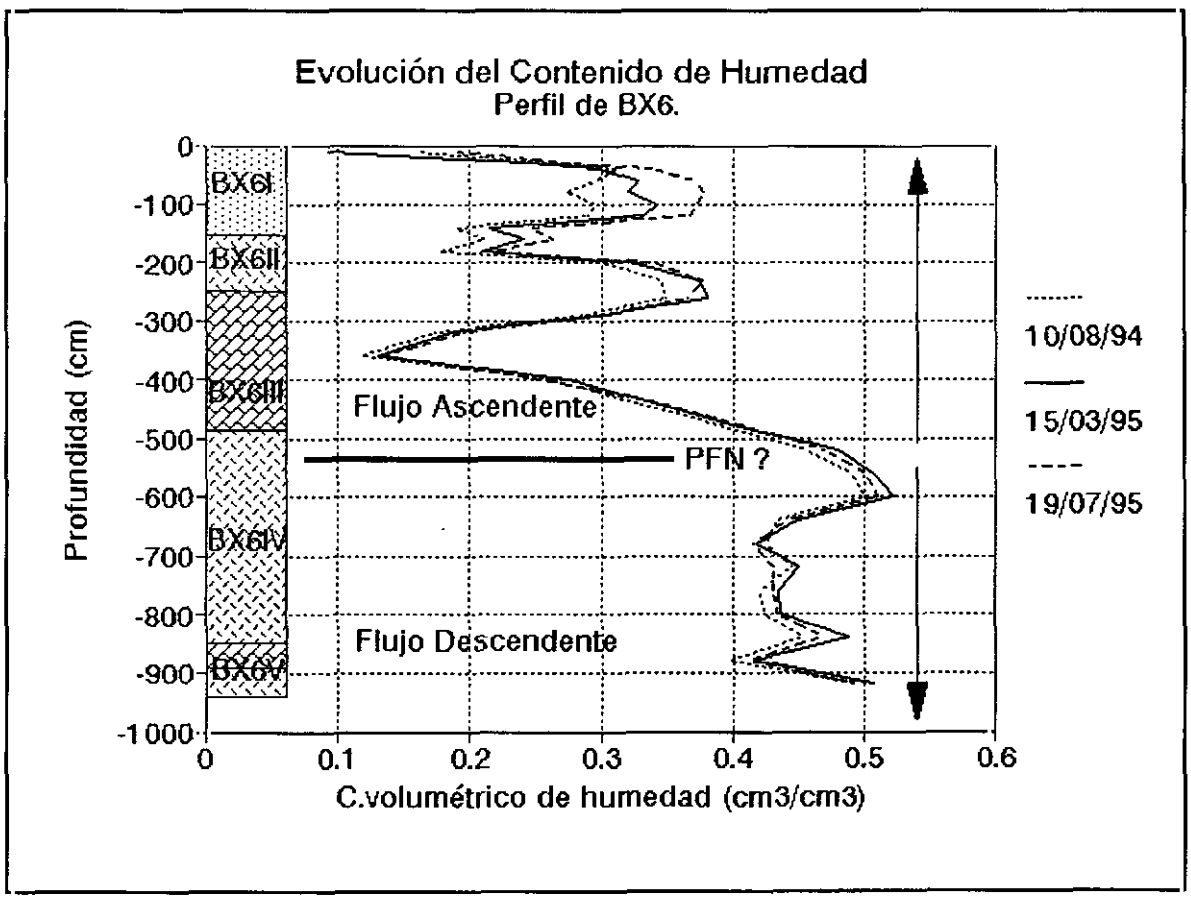


Fig 7.58; Evolución de la humedad en un perfil de 920 cm en BX6.

7.4.3.3 CÁLCULO DE CAUDALES

Con las medidas conjuntas de potencial total y contenido de humedad, se ha tratado de realizar una serie de cálculos del agua que se ha infiltrado en este perfil a lo largo del tiempo de medidas. Para realizar dichos cálculos se ha intentado aplicar **el método del plano de flujo nulo**, descrito en el capítulo 4.

Para utilizar esta metodología se necesitan medidas conjuntas de humedad y tensiometría. Los perfiles de tensiometría permiten determinar las direcciones de movimiento del flujo en el perfil. Las de humedad permiten determinar de una manera cualitativa que parte del flujo llegará a constituir evaporación y cual recarga. Si se dispone de dos medidas consecutivas de potencial que evidencien que el perfil se está secando, puede asumirse que el decremento que se observe en la reserva del perfil por debajo del PFN, constituirá el caudal que ha drenado, y que constituirá la recarga cuando atraviese el límite superior de la zona saturada.

En el primer período de los diferenciados es el único momento en el que puede apreciarse la existencia de un plano de flujo nulo. En la figura 7.44, se presenta la evolución del potencial total en el perfil para los días en los que se han tomado medidas de humedad con sonda de neutrones. De acuerdo con la tensiometría el contenido de humedad desciende continuamente. Se puede observar como el perfil se seca progresivamente desde el día 2/2/95 hasta el 27/4/95. También puede apreciarse que el plano de flujo nulo se mantiene en torno a 150 cm hasta el día 28 de febrero, y como llega a rondar los 200 cm de profundidad, el día 15 de marzo. En la tabla 7.11 se presentan el incremento de la reserva entre fechas sucesivas para las que se han tomado medidas de humedad. La humedad entre 150 y 200 cm para las fechas 28/2 y 15/3 se reparte equitativamente entre el flujo ascendente y descendente.

Tabla 7.11: Contenidos de humedad en el perfil de BX6 entre 150-290 cm, 200-290 cm y 150-200 cm. Incremento de la reserva en el perfil entre dos fechas consecutivas.

FECHA	C(mm)	R(mm)	Fecha	C(mm)	R(mm)	Fecha	C(mm)	R(mm)
	150-290 cm			200-290 cm			150-200 cm	
02-Feb-95	443.77		28-Feb-95	316.07				
15-Feb-95	455.12	11.35	15-Mar-95	319.10	3.03	28-Feb-95	141.57	
28-Feb-95	457.65	2.53	29-Mar-95	318.94	-0.16	15-Mar-95	144.07	2.49
			11-Apr-95	307.66	-11.28			
			27-Apr-95	306.34	-1.32			

C(mm): Contenido total de humedad en mm, entre las profundidades y las fechas indicadas. R(mm): Incremento de la reserva en el perfil entre dos fechas consecutivas.

Parece que el contenido de humedad entre 150 y 300 aumenta entre las fechas 2/2/95 y 15/2/95 en 11.35 mm, no obstante la medida del día 2/2/95 no es muy fiable como ya se ha dicho. A pesar de ello, entre el 15/2/95 y el 28/2/95 el contenido aumenta de nuevo en 2.5 mm. Esta situación se repite entre las fechas 28/2/95 y 15/3/93. Se observa que el contenido de humedad entre 200 y 290 cm aumenta en unos 4 mm entre ambas fechas.

Los cálculos realizados muestran que el contenido de humedad disminuye a partir del día 29/3/95 y el 11/4/95 en unos 14.4 mm. No obstante se resultan inconsistentes los datos tensiométricos y los datos de contenido de humedad, para el período 2/2/95 y 15/3/95.

Suponiendo que el método del PFN hubiera arrojado unos resultados aceptables, y de acuerdo con los mismos 14 mm habrían constituido recarga entre las fechas 15/3/95 y 27/4/95 (44 días), lo que supondría un caudal igual a casi 3 mm/día. Estas cifras pueden parecer excesivas, no obstante conviene recordar que la recarga se produce en momentos muy señalados, y no de manera continua.

Parece pues que el citado método carece de utilidad en este caso. Los resultados obtenidos de nuevo muestran que se producen aportes de humedad laterales o bien a través de caminos preferenciales.

Se dispone de curvas de retención y de conductividad hidráulica no saturada para la parcela BX8, en la que la litología es muy semejante a la litología en la parcela BX6.

Dado que el método del PFN no muestra resultados aceptables se ha intentado realizar cálculos de flujo que atraviesa la parte inferior del perfil. Dado que el PFN divergente parece haber alcanzado una profundidad máxima de 200 cm, parece lógico considerar que el caudal que atraviese la parte inferior del perfil constituye recarga.

Para **el cálculo de caudales** se ha seguido exactamente el mismo método que el utilizado para la parcela de Acequión y que ha sido explicado en el apartado 7.2.6.5.

Las curvas que se han considerado más parecidas son la M25BX8 y M28BX8. Se ha calculado el gradiente hidráulico a 250 cm, considerando una distribución lineal de potencial total entre 200 y 300 cm. Se ha calculado la conductividad hidráulica no saturada diaria a 250 cm, (calculando el potencial mátrico medio entre 200 y 300 cm), para el período 2/2/95 hasta el 12/6/95, fecha en la que ese establece un perfil de drenaje, considerando válidas las curvas de retención anteriormente citadas, y utilizando el modelo de van Genuchten (1978) para la curva de conductividad. Para realizar estos cálculos se ha tomado siempre las medias de potencial a las 24.00 h. Se han efectuado cálculos diarios independientes para el período de riegos comprendido entre las fechas 12/6/95 y 6/9/95.

Los cálculos diarios pueden consultarse en el anexo 5. No obstante se presenta a continuación un resumen de los resultados obtenidos, (tabla 7.12):

Tabla 7.12: Caudales calculados a 250 cm de profundidad en la parcela experimental BX6. Período 2/12/95-12/6/95.

PERÍODO	CAUDAL EN mm (Curva de Retención M25)	CAUDAL EN mm (Curva de retención M28)
2/2/95-12/6/95	8,65	4,03
12/6/95-6/9/95	20,5	10,3

De acuerdo con los resultados obtenidos la recarga calculada para el período 2/12/95-6/9/95 sería de unos 14 mm o de unos 28 mm, según se considerara válida una curva de retención u otra. El caudal que circula por la parte inferior es unas 7 o 9 veces superior en la temporada de riegos. Parece que de los 582 mm de dosis que se utilizaron, se perdieron cantidades comprendidas entre 10 y 20 mm, lo que supone una pérdida comprendida entre el 1.5 y el 3% de la dosis utilizada, que es un valor excesivamente pequeño, no obstante, en esta parcela se sigue un control de riegos, y se calcula la dósis diaria que debe aplicarse.

7.4.3.4 CONCLUSIONES

De acuerdo con todo lo visto puede afirmarse que en la parcela experimental de regadío BX6 existe una cierta discrepancia entre las medidas tensiométricas y las de contenido de humedad. Así pues mientras los tensiómetros evidencian disminución del contenido de humedad en el perfil, las medidas efectuadas con sonda de neutrones muestran el fenómeno contrario. Esta discrepancia deja de ser tal durante el período de riegos, no obstante las medidas de humedad no pudieron prolongarse más allá del 27 de julio de 1994, y las medidas tensiométricas se prolongan hasta el día 9 de septiembre de 1995.

Es razonable pensar que las discrepancias halladas puedan deberse a los métodos de medida utilizados. La metodología de estudio en zona no saturada, ha sido desarrollada en países con climas húmedos. Por todo lo visto es previsible que en lugares con abundante precipitación ó riego, el flujo matricial sea muy importante. Por el contrario, en lugares áridos, como la zona de estudio, pueda ser que predomine el flujo por «caminos preferenciales», sobre el flujo tipo «pistón». Así pues, en BX6, los resultados proporcionados por tensiómetros y sonda son muy coherentes cuando el terreno esta húmedo, discrepantes cuando esta muy seco.

Por otro lado es previsible además que sucedan varias cosas:

- Que existan estratificaciones en el perfil que favorezcan movimientos horizontales de agua.
- La existencia de una costra calcárea debajo del suelo puede ocasionar el que exista cierta infiltración preferencial, al ser unos puntos más permeables que otros, y que parte del agua que aquí se infiltra provenga de áreas más alejadas.

En cuanto a los métodos utilizados para estimar la recarga, debido a la discrepancias existentes, el Método del Plano de Flujo Nulo resulta inadecuado. No obstante, se han podido realizar algunos cálculos aceptables de los caudales que circulan por la parte baja del perfil a través de la matriz del suelo, y que dado que el PFN no profundiza más de 200 cm puede constituir recarga. La recarga para el período 2/2/95 hasta el 6/9/95 pueden oscilar entre 14 y 28 mm. Conviene señalar que en estos cálculos no se incluye el posible flujo que no circula a través de la matriz.

7.5 PARCELA EXPERIMENTAL BX2

El estudio de la parcela BX2, se ha realizado siguiendo el mismo esquema que para la parcela anterior. La parcela BX2 fue instrumentada de la misma forma que BX6. A diferencia de la parcela anterior, BX2 se localiza en un terreno que no se riega. En esta parcela no se instaló pluviógrafo alguno, y el tubo de acceso para sonda de neutrones sólo alcanza 560 cm.

Se dispone de un registro continuo de potencial mátrico desde febrero de 1995, hasta septiembre de 1995, así como de datos de humedad desde agosto de 1994 hasta julio de 1995.

7.5.1 COLUMNA LITOLÓGICA

La columna litológica de esta parcela no fue levantada, ya que los materiales que se extrajeron durante la perforación del tubo de acceso para sonda de neutrones se pulverizaron casi todos. Fue posible describir los materiales que aquí aparecen en un sondeo perforado a apenas 50 m de esta parcela por el IH (Institute of Hydrology). Estos datos fueron facilitados por esta institución.

BX2I 0-30 cm: Suelo arcilloso y rico en carbonato cálcico.

BX2 II 30-60 cm: Caliche

BX2 III 60-250 cm: Caliza blanda.

BX2 IV 250-300 cm: Margas

BX2 V 300-400 cm: Margocalizas

BX2 VI 400-450 cm: Margas

BX2 VII Caliza margosa

BX2 VIII: Caliza blanda

7.5.2 EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL TOTAL

En la figura 7.59 se presenta la evolución del potencial total cada 12 horas desde el día 30 de enero hasta el día 6 de septiembre a 300, 200, 150, 100, y 60 cm.

- Se puede observar como el potencial total se halla a lo largo de todo el período de medidas casi fuera del rango de medidas de un tensiómetro, muy próximo a -900 cm.

- Se aprecian seriadamente bruscos aumento de potencial, que corresponden a los días en los que se ha repuesto agua en los tensiómetros.

- El tensiómetro situado a 60 cm, se encuentra la mayor parte del tiempo fuera de rango, con excepción de los intervalos de tiempo comprendidos entre 30 de enero de 1995 y 1 de marzo de 1995, y 2 de julio de 1995 al 6 de septiembre.

- El tensiómetro de 100 cm queda fuera de rango desde el día 4 hasta el 24 de abril de 1995. El potencial total disminuye desde -750 cm hasta alcanzar casi -1000 cm el 4 de abril. Queda fuera de rango, y parece que el a partir del día 24 de abril comienza a aumentar de nuevo. El 25 de agosto de 1995, se vacía de agua, posiblemente debido a que se suelta el transductor, o a que alguien lo toca.

- Los tensiómetros de 200 y 150 siguen una evolución semejante, se mantienen a potencial total alrededor de los -700 cm. Se observa una tendencia positiva a partir del día 5 de junio de 1995. El potencial disminuye ligeramente alrededor del día 29 de julio de 1995, cosa que coincide con una de las visitas al campo. A partir de esta fecha pueden observarse unas oscilaciones diarias de mayor entidad que las habituales.

- El tensiómetro situado a 300 cm, se mantiene más o menos constante en torno a los -600 cm. El día 26 de marzo de 1995, comienza a disminuir progresivamente el potencial hasta situarse en torno a los -800 cm (casi fuera del rango de medida de un tensiómetro), para volver a situarse en torno a los -600 el día 28 de mayo de 1995.

En la siguiente figura 7.60 se presenta la evolución del potencial total a 60, 40 y 20 cm. Los resultados obtenidos parecen sugerir que el flujo entre 20 y 60 cm es descendente, ya que el potencial total a 20 cm es mayor que a 40 cm y este mayor que a 60 cm. Parece que estos tres tensiómetros se han mantenido fuera de rango prácticamente todo el período de medidas, con excepción del tensiómetro de 60 , como ya se ha comentado unas líneas más arriba.

Se quiere hacer notar, como el primer tensiómetro en quedar fuera de rango en el mes de febrero, es el situado a 20 cm, luego el de sesenta y por último el de cuarenta cm, cosa que resulta con poca lógica. Hubiera resultado más lógico que se vaciara primero el de 20, luego el de 40 y por último el de 60 cm. El tensiómetro de 20, parece haber estado funcionando desde el día 28 de abril hasta principios de septiembre. Por otro lado se puede observar que las oscilaciones «día-noche», parecen alcanzar hasta casi 200 cm de diferencia, por lo que puede que su funcionamiento durante ese período haya sido inadecuado. No obstante, los días 7, 9 y 10 de mayo de 1995, la precipitación fue de 10.2 mm, así como en los días 8 y 10 de junio de 1995, se registraron precipitaciones de 33.6 mm entre ambos días, lo que por otro lado hace pensar que realmente sí funcionó este tensiómetro.

Sí se pudo constatar que los tensiómetros de 20, 40 y 60 cm, estuvieron prácticamente vacíos todas y cada una de las veces que fueron visitados.

- El potencial total a 300 cm es menor que a 200 cm, y este a su vez menor que a 150, con excepción del período final de medidas. Esto podría indicar que entre 150 y 300 el flujo es descendente.

En conjunto parece que los tensiómetros se ha mantenido fuera de rango hasta 300 cm de profundidad. Parece algo evidente en los superiores, ya que al contener menor cantidad de agua se vacían antes. Los tensiómetros localizados a 100, 150, 200 y 300 cm, parecen encontrarse también en el límite de funcionamiento de un tensiómetro, no habiéndose vaciado debido a que son repuestos con agua antes de su completo vaciado.

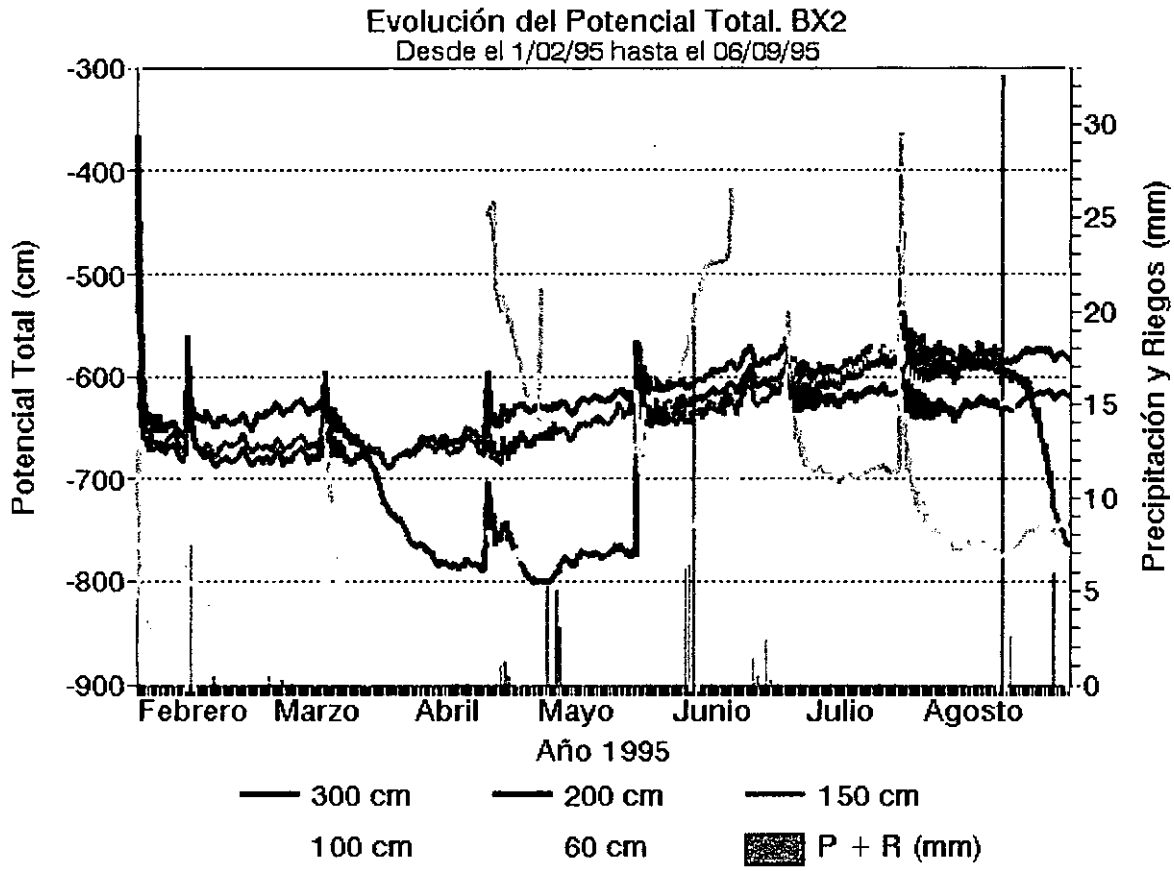


Fig 7.59; Evolución temporal del potencial total, a 60, 100, 150, 200 y 300 cm de profundidad en la parcela experimental BX2.

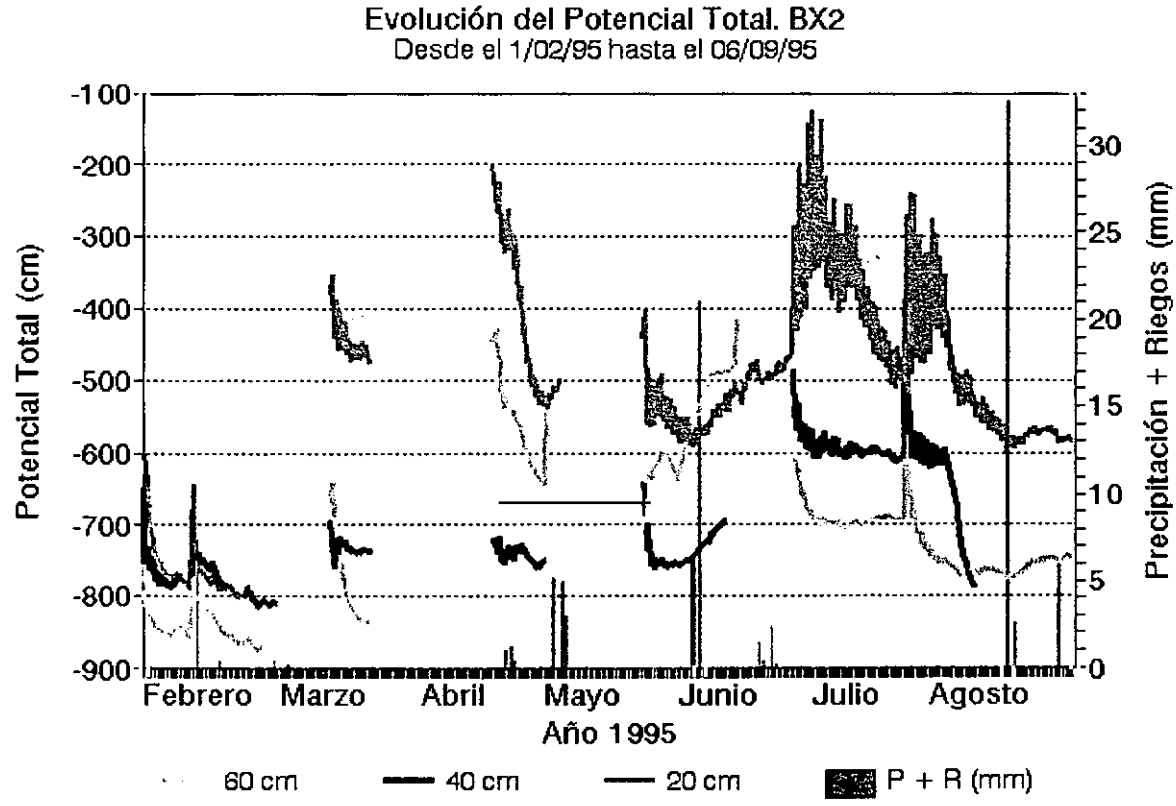


Fig 7.60; Evolución temporal del potencial total a 20, 40 y 60 cm de profundidad en la parcela experimental BX2.

En la figura 7.61 se muestra la evolución del potencial total en un perfil desde el 26 de abril de 1995 hasta el 24 de junio de 1995. En esta figura se presenta la evolución del potencial total por debajo de 100 cm hasta 300 cm de profundidad, ya que el funcionamiento de los tensiómetros superiores es completamente inadecuado. Aparentemente, existe un PFN divergente a unos 200 cm de profundidad. No obstante, el comportamiento que muestra es absolutamente incoherente, ya que parece que la sección localizada a 200 cm pierde humedad, y sin embargo el potencial aumenta de forma continua desde el día 26 de abril hasta el 24 de junio.

Este perfil se ha mantenido tal cual, a lo largo del período de medidas, con muy escasas variaciones.

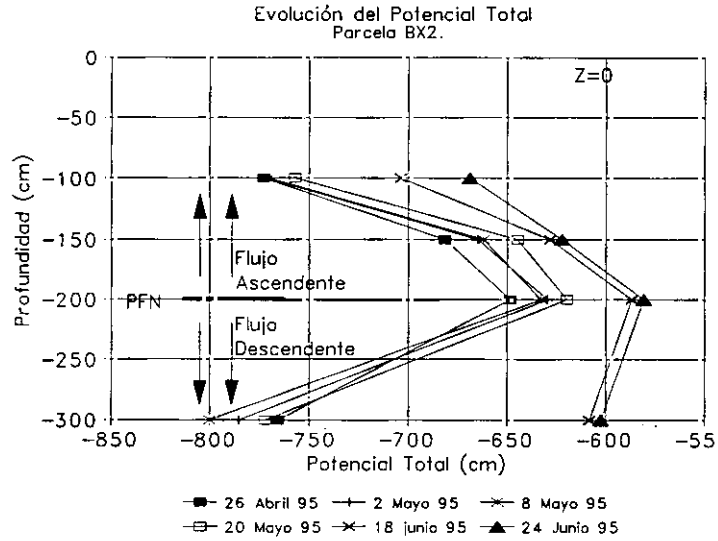


Fig 7.61; Evolución del potencial total en el perfil de 100 a 300 cm de profundidad, en BX2, entre el 26 de abril de 1995 y el 24 de junio de 1995.

En la figura 7.62 se presenta un perfil completo para que pueda apreciarse la forma tan extraña que presenta la distribución del potencial total en esta parcela, considerando los tensiómetros superiores. Se aprecian de nuevo incongruencias. Obsérvese como la sección a 150 cm, parece estar perdiendo constantemente humedad, y no obstante a ello el potencial total en lugar de disminuir, aumenta.

Este tipo de fenómenos se han observado sistemáticamente en los tensiómetros más profundos, parece pues que este tipo de sensores de potencial no son adecuados en regiones de escasa precipitación.

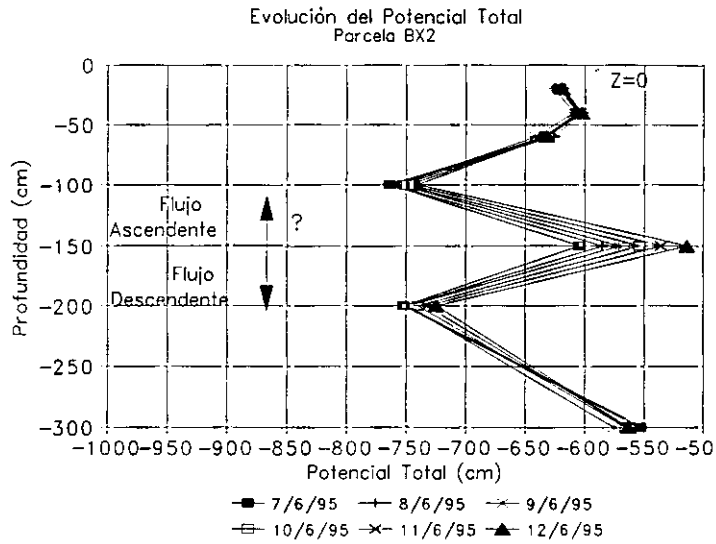


Fig 7.62; Evolución del potencial total en el perfil de 300 cm en BX2, entre el 6 de junio de 1995 y el 12 de junio de 1995.

7.5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se presentan a continuación una serie de gráficos que muestran la evolución del contenido de humedad en esta parcela, tanto en el perfil como a lo largo del tiempo.

Las medidas efectuadas con sonda de neutrones proporcionan medidas de contenido volumétrico de humedad. Para calcular el contenido de humedad almacenado en el perfil, se han efectuado los mismos cálculos que en la parcela BX6 (ver principio del apartado 7.4.3.1)

En la figura 7.63 se muestra la evolución del contenido de humedad almacenado en el perfil de 560 cm. Se presentan conjuntamente los datos de precipitación, no diaria, sino de la lluvia registrada en la «Estación de Referencia» del IDR, entre dos fechas sucesivas en las que se han tomado medidas con sonda de neutrones (ver tablas 7.9 y 7.10). Hay que señalar que la escala temporal del gráfico no es proporcional, limitación necesaria para poder representar conjuntamente datos de precipitación y contenido de humedad.

- Pude apreciarse como el contenido de humedad aumenta de una manera muy brusca con las precipitaciones registradas en otoño de 1994 (105.8 mm, desde el 21/9/94 hasta el 18/11/94). Se observa como la magnitud de la precipitación, concuerda bastante bien con el incremento de humedad en el perfil, 79 mm.

- A partir del día 29 de septiembre, el contenido de humedad en el perfil disminuye constantemente. Se observan algunos ascensos esporádicos, que también coinciden con algún episodio de lluvia, no obstante la pendiente de la línea es negativa.

- De nuevo el día 2/2/95 presenta un mínimo, confirmando que la sonda de neutrones no trabajó apropiadamente en esa fecha. Comparar con la figura 7.54.

En la figuras 7.64 se muestra la evolución del contenido medio de humedad entre 10 y 150 cm, y entre 150 y 560 cm.

- Lo primero que se debe resaltar, es que el contenido medio de humedad es extraordinariamente bajo. Obsérvese como en la parte superficial en ocasiones ronda los 0.05, indicando que el suelo se halla casi a contenido residual de humedad. Es notorio esto mismo

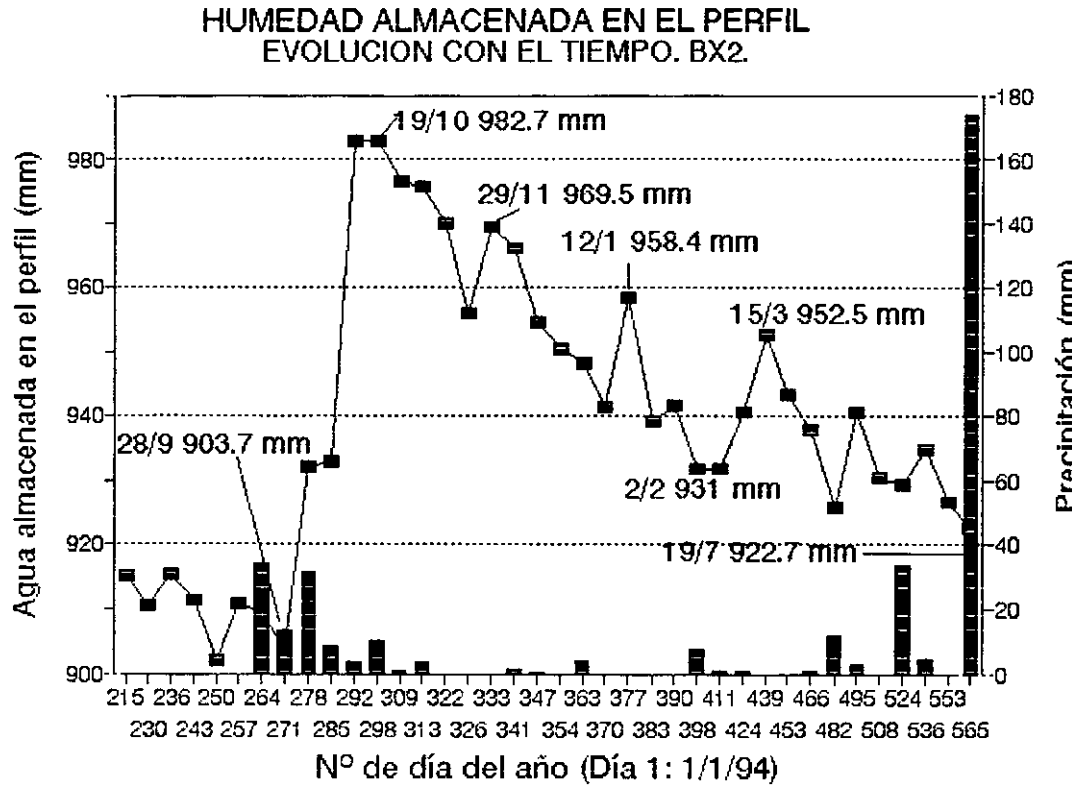


Fig 7.63; Evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 560 cm, y desde julio de 1994, hasta julio de 1995 en BX2.

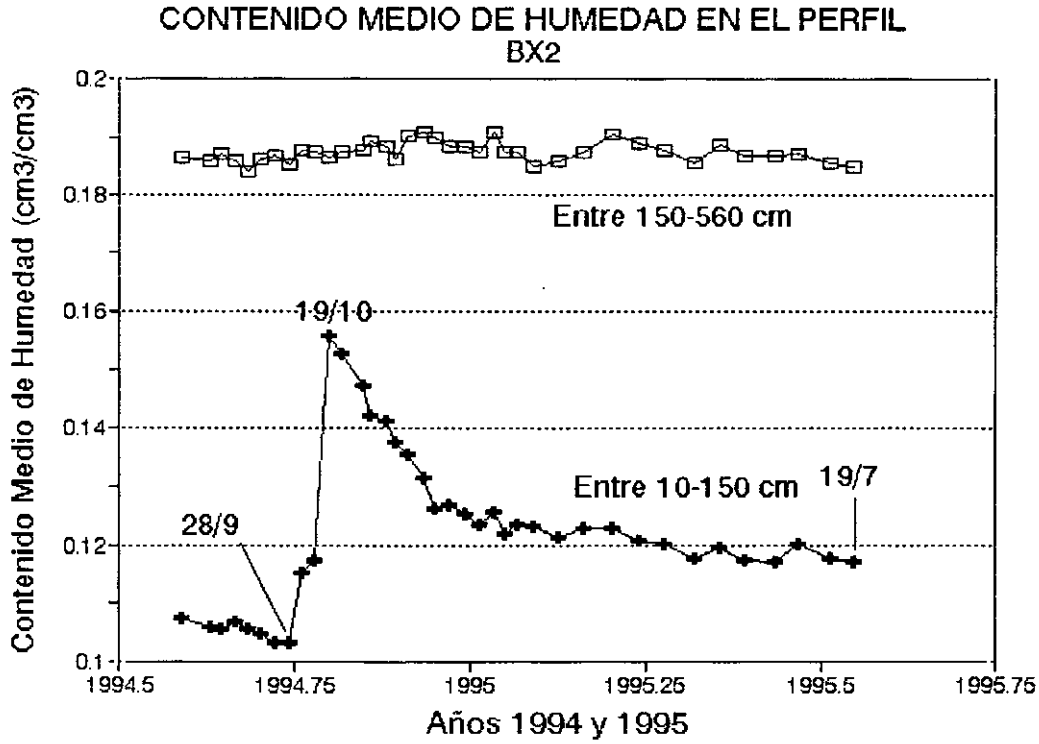


Fig 7.64; Evolución del contenido total medio de humedad desde 10 hasta 150 cm, y desde 150 hasta 560 cm, en BX2. Desde agosto de 1994, hasta julio de 1995.

también para el tramo comprendido entre 150 y 560 cm, que a pesar de presentar contenidos de humedad algo superiores, estos rondan los 0.17.

- Parece que el contenido de humedad en la parte superficial, sí presenta variaciones inducidas por las precipitaciones. Por el contrario, el contenido de humedad entre 150 y 560 cm se mantiene bastante constante. Esto parece indicar, que las precipitaciones registradas a lo largo de 1994 y 1995, no han sobrepasado apenas los 150 cm del perfil.

Compárense las figuras 7.63 y 7.64, y obsérvese que las variaciones de humedad en el perfil están completamente inducidas por la franja superficial (10-150 cm), dado el paralelismo entre los gráficos 7.63 y el gráfico de la franja 10-150 cm.

Se presenta por último una figura (ver fig.7.65), en la que se muestra la evolución del contenido de humedad en el perfil, para seis días, en los que se han observado las máximas variaciones.

- El contenido de humedad en el perfil es bajo. Se mantiene por debajo de 0.2 cm^3/cm^3, en los 3 m superiores, con alguna excepción muy puntual. En los 2 m restantes apenas supera los 0.35 cm^3/cm^3.

- En cuanto a la evolución del contenido de humedad en el tiempo, puede verse como se mantiene muy constante, si se exceptúan los 80 primeros cm de terreno, con variaciones de hasta 0.25 en contenido volumétrico.

- La variación espacial del contenido de humedad, tal y como se observaba en el perfil BX6, es fuerte. Parece que entre 130 cm y 260 cm aparece una capa de calizas, (BX2 III), cuyo bajo contenido de humedad puede ser debido a una porosidad eficaz pequeña. El contenido de humedad aumenta notablemente a partir de los 3 m de profundidad, lo que podría indicar un aumento de la porosidad eficaz en profundidad. El límite superior de la zona saturada se encuentra próximo a 20 m (ver fig.2.10), por lo que tal aumento de humedad no parece ser debido a un límite superior de zona saturada próximo.

Se han tomado las curvas de retención elaboradas para la parcela BX8, determinadas en suelos muy similares. Se ha observado como con estas curvas de retención, contenidos de humedad de 0.15, implican potenciales comprendidos entre 3.9 y 4.9 pF, dependiendo de si se emplea una curva u otra.

Parece pues que se puede confirmar al hipótesis previa de que los tensiómetros han de encontrarse fuera de rango. Succiones de 4 pF, implican potenciales mátricos iguales a -10000 cm de agua, completamente fuera del rango de este instrumento.

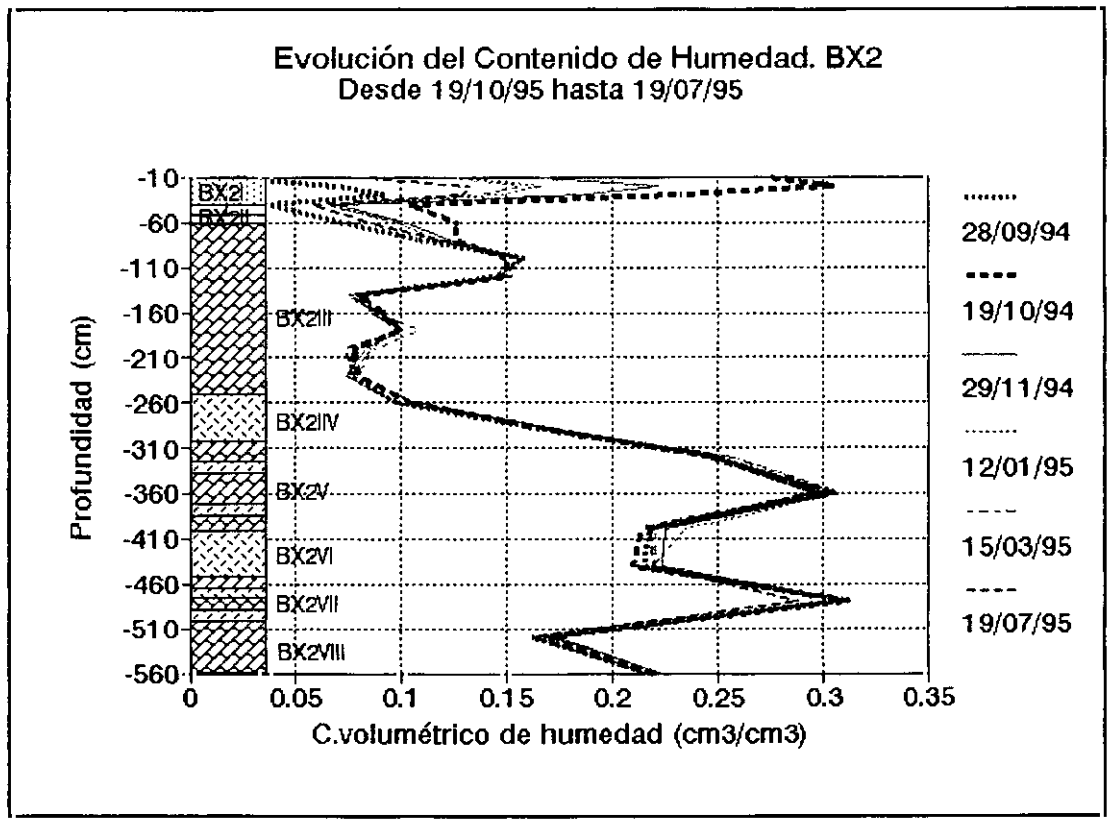


Fig 7.65; Evolución del contenido de humedad en el perfil de BX2, entre 10 y 560 cm de profundidad.

7.5.4 CONCLUSIONES

El tensiómetro no es un instrumento adecuado para efectuar medidas en la parcela no regada, ya que los potenciales medidos son muy superiores al rango de medida del tensiómetro. Esto puede ser concluido tras analizar los resultados obtenidos tanto con los propios tensiómetros, como analizando los contenidos de humedad medidos, si se transforman en succión con las curvas de retención.

El perfil se ha mantenido prácticamente a contenido residual de humedad casi todo el tiempo a lo largo del cual se han realizado mediciones. Las lluvias parecen haber afectado a la parte superficial del terreno, pero no han sobrepasado los 150 cm. Es probable que a lo largo del tiempo que han sido tomadas medidas la recarga en la zona haya sido muy próxima a cero, aunque no nula, dado que sí se observan variaciones de humedad a más de 4 m.

La carencia de un perfil coherente de potencial imposibilita realizar estimaciones de flujo en esta parcela.

7.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL BX8

En esta parcela, como ya se ha dicho, fue perforado un sondeo profundo, con la colaboración del ITAP. Se tomaron muestras inalteradas, para determinar algunos parámetros hidráulicos de este tipo de terrenos, tales como la conductividad hidráulica no saturada o las curvas de retención de los suelos.

Con posterioridad, fue instalado un tensiómetro de sondeo, con objeto de medir succión hasta el límite superior de la zona saturada. Se instalaron tensiómetros transductores desde 2.65 m hasta 11.65, cada m, así como bloques de yeso a las mismas profundidades, excepto a 6.65 y a 7.65 m. Para más detalles se remite al capítulo anterior.

7.6.1 COLUMNA LITOLÓGICA

Se dispone de una descripción muy completa de la columna litológica en BX8 hasta unos 14 m, debido a que la perforación del sondeo en el que se instaló todo fue seguida minuciosamente a pie de sondeo. En la figura 7.66 se puede observar la columna litológica hasta algo más de 13 m.

Se han diferenciado los siguientes tramos:

BX8 I. 0-97 cm: Suelo vegetal rico en arcilla.

BX8 II. 97-205 cm: Arcilla con cementaciones carbonatadas muy duras, y cantos de carbonato cálcico. Corresponde la costra regional que recubre toda la zona de estudio. En este punto no presenta ni la dureza ni la consistencia que en otros puntos. En otros lugares es una roca caliza dura que puede presentar espesores de casi 2 metros.

BX8 III. 205-265 cm: Arcilla arenosa

BX8 IV. 265-350 cm: Margas.

BX8 V. 350-548 cm: Margocalizas.

BX8 VI. 548-613 cm Marga blanca.

BX8 VII. 613-770 cm: Arcillas plásticas rojas.

BX8 VIII. 770-879 cm: Margas blancas.

BX8 XIX. 879-1029 cm: Margas blancas con algunas cementaciones carbonatadas. A partir de 983 cm margas casi saturadas.

BX8 X. 1029-1128 cm: Margocalizas.

BX8 XI. 1128-1317 cm: Calizas margosas, alternando con margas blancas.

(Nota: Cuando se menciona aquí la palabra arcilla, el termino debe entenderse como arcilla mineral, ya que de visu es difícil decidir el tamaño de partícula de un material)

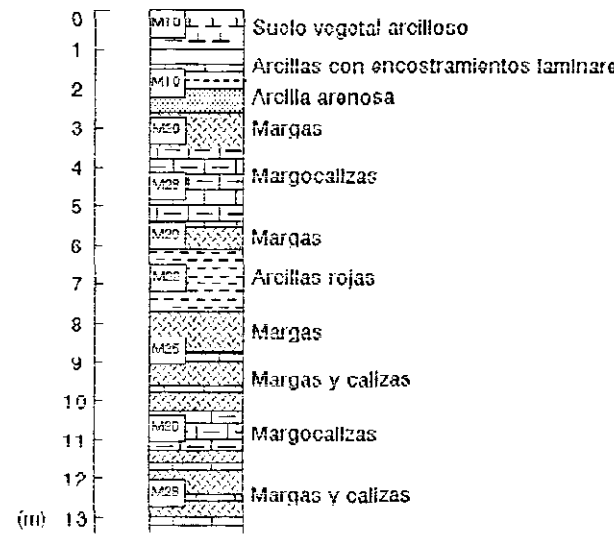


Fig 7.66; Columna litológica sintética para el perfil de 13 m en BX8.

7.6.2 CURVAS DE RETENCIÓN

Las curvas de retención de las muestras inalteradas extraídas en el sondeo de 14 m en BX8, fueron realizadas en el CEDEX (Centro de Estudios Experimentales, del Ministerio de Obras Publicas). Las determinaciones fueron realizadas partiendo de una muestra saturada, hasta su completa desecación. Esto quiere decir que el lazo de la curva determinado corresponde al lazo en desorción.

En la tabla 7.13 se presentan los resultados obtenidos de contenido volumétrico versus succión. En la tabla 7.14 se presentan distintos parámetros medidos en estas mismas muestras, así como los parámetros de las curvas de retención ajustadas mediante el programa SOHYP de van Genuchten (1978).

Tabla 7.13: Valores de contenido volumétrico de humedad-succión en muestras inalteradas. Parcela BX8. Según el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

Succión (kp/cm2)	(cm)	(pF)	θ BX8M28	θ BX8M20	θ BX8M25	θ BX8M22	θ BX8M10	θ BX8M21
0	0		0.451468	0.33795	0.378701	0.28301	0.376649	0.333099
0.5	500	2.6989	0.413929	0.307984	0.363409	0.267018	0.369217	0.317013
1.2	1200	3.07918	0.35969	0.283012	0.3468	0.251349	0.360603	0.300169
2.35	2350	3.37106	0.309733	0.256376	0.327068	0.230834	0.349794	0.276495
4.6	4600	3.66275	0.277618	0.228241	0.296482	0.205957	0.334086	0.24751
9.2	9200	3.96378	0.235511	0.196943	0.259812	0.16202	0.292536	0.209268
13.7	13700	4.13672	0.198115	0.182626	0.232845	0.136336	0.265005	0.187567

Tabla 7.14: Propiedades físicas, conductividad hidráulica saturada y parámetros de van Genuchten (1978). Muestras inalteradas tomadas en BX8.

Nº DE MUESTRA	PROFUNDIDAD	δ_s gr/cm3	M (%)	Ks (cm/d)	θ_s	θ_r	α	N
BX8M10	(182-195 cm)	1.69	20.4	5	.3767	0.0	.00018	13.143
BX8M20	(596-586 cm)	1.66	21.4	1.5	.3380	0.0	.00138	12.067
BX8M21	(647-634 cm)	1.5	18.2	2	.3331	0.0	.00056	12.688
BX8M22	(712-699 cm)	1.61	21.8	0.1	.2830	0.0	.00047	13.615
BX8M25	(864-851 cm)	1.64	20.7	0.5	.3787	0.0	.00048	12.398
BX8M28	(1019-1006cm)	1.43	28.3	0.42	.4515	0.0	.00134	12.684

Dónde δ_s ,Densidad seca, M grado de humedad, K_s conductividad hidráulica saturada, θ_r contenido de humedad residual, θ_s contenido de humedad a saturación, α y N parámetros de van Genuchten (1978).

Obsérvese como los valores de los parámetro N y valor de entrada de aire (h_b), inversa del parámetro α son muy semejantes a los determinados para las muestras de Acequión mediante el método del papel de filtro, (comparar con la tabla 7.2). El valor de entrada de aire para este tipo de litología oscila entre unos 555 cm y unos 5555 cm (pF 2.7 y 3.7 respectivamente). Quizás resulte excesivo el valor de 5555 cm, ya que esto implicaría que este tipo litológico daría lugar a una franja capilar de casi 60 m. No obstante parece que los resultados obtenidos son satisfactorios.

Los valores de contenido de humedad a saturación, (θ_s), oscilan entre 0.28 y 0.45. En cuanto a la humedad residual, (θ_r),se realizó una pasada inicial del modelo de tal forma que el modelo calculara la humedad residual. No alcanzó convergencia, y el propio modelo sugirió realizar una nueva pasada considerando la humedad residual igual a cero.

Cabe decir que la humedad residual que se alcanza en condiciones naturales ha sido medida directamente con una muestra muy seca tomada en la vecina parcela experimental de Las Tiesas, (M-99), y parece que la humedad residual en superficie tras tres meses sin lluvia se aproxima a 0.22. No obstante, y como se verá posteriormente las medidas tomadas con sonda de neutrones muestran como en profundidad hay puntos cuyo contenido volumétrico de humedad se encuentra muy próximo a 0.05.

En la figura 7.67 se muestra una figura en la que se representas las curvas de pF. Puede observarse como las curvas BX8M21 y BX8M20 son prácticamente iguales. De la misma forma la K_s, es prácticamente igual en ambas. Parece pues que ambas han sido realizadas con dos muestras muy semejantes. No obstante las descripciones litológicas de visu son completamente diferentes (consultar anexo 6), ya que una corresponde a una marga blanca (BX8M20), mientras que la otra a una arcilla rojiza.

De la misma forma las curvas de BX8M10 y BX8M25 son también muy semejantes, sin embargo las curvas de conductividad son completamente diferentes (ver fig.7.68).

Considerando que la porosidad eficaz viene dada como la diferencia entre la humedad residual y la humedad a saturación, puede concluirse que la porosidad en este tipo de suelos oscila entre 0.28 y 0.45.

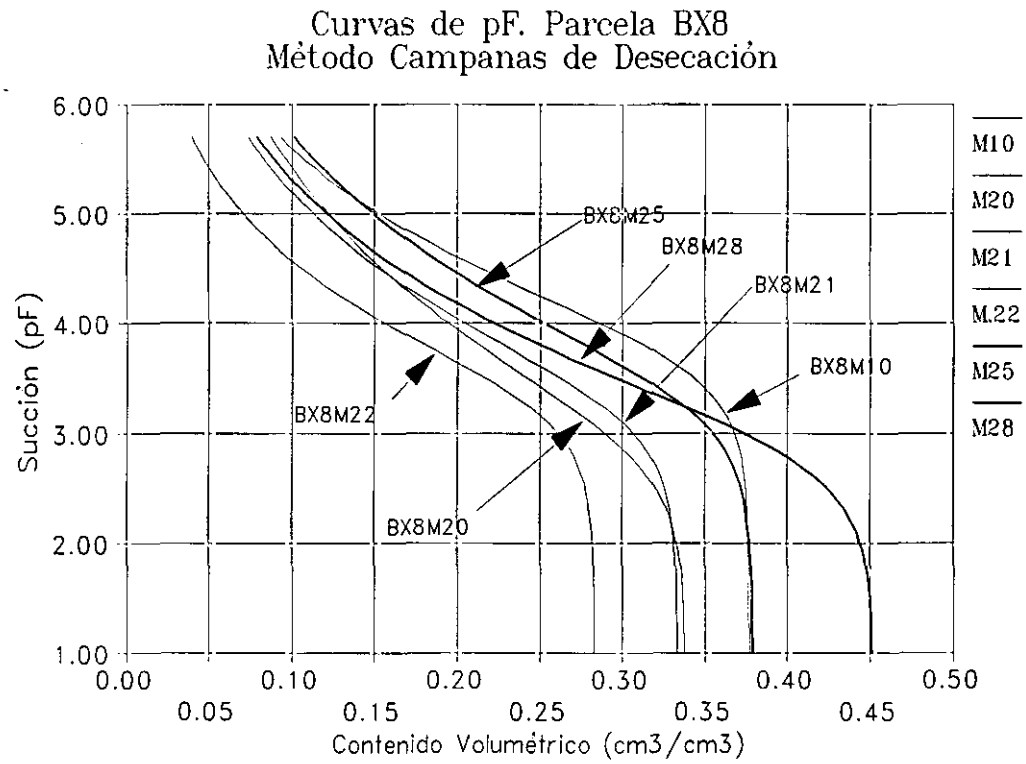


Fig 7.67; Curvas de retención de las muestras inalteradas procedentes en el sondeo realizado en BX8.

7.6.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Para determinar la conductividad se utilizaron células triaxiales con presión en cola. La conductividad hidráulica saturada se analizo con las mismas muestras inalteradas utilizadas para las curvas de retención. Los análisis también fueron realizados en el CEDEX, y los resultados obtenidos pueden consultarse en la tabla 7.13. Se determinaron algunos otros parámetros tales como densidad seca o contenido de humedad en estado natural. Con los parámetros de van Genuchten (1978), ver tabla 7.14, y la conductividad hidráulica saturada es posible ajustar una curva conductividad hidráulica no saturada-succión. Para ello se ha utilizado de nuevo el programa SOHYP, y los resultados obtenidos pueden verse en la figura 7.68

Obsérvese como para una succión de 1000 cm (pF3), el logaritmo de la conductividad hidráulica se aproxima a -2.5 en las curvas BX8M10, BX8M20 y BX8M21, lo que implica una conductividad no saturada de 0.03 mm/día. Las curvas correspondientes a los horizontes más profundos del perfil muestran sin embargo como para pF 3, el logaritmo de la conductividad no saturada es próxima a -1, o que esta es igual a 1 mm día. Parece pues que la parte superior del perfil presenta una conductividad hidráulica saturada alta comprendida entre 50 y 15 mm/día (ver tabla 7.14), y sin embargo esta disminuye muy

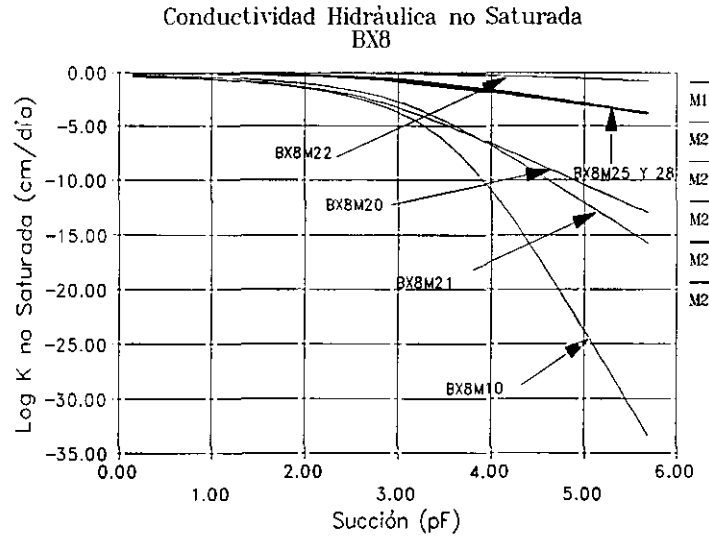


Fig 7.68; Curvas de conductividad hidráulica no saturada, para las muestras inalteradas procedentes del sondeo realizado en BX8.

rápidamente, de tal forma que para potenciales superiores a 3000 cm el flujo ha de ser prácticamente despreciable. Por el contrario la parte inferior del perfil, (BX8M22, BX8M25 y BX8M28), presenta unas conductividades saturadas discretas comprendidas entre 1 y 5 mm/día, y sin embargo, la conductividad disminuye con el aumento de succión en menor cuantía, de tal forma que para que la conductividad no saturada sea de 0.03 mm/día la succión ha de aproximarse a pF 5 (100000 cm). Ambas situaciones favorecen el proceso de recarga.

Una vez determinadas curvas de retención y de conductividad, se ha asignado a cada tramo del perfil más o menos homogéneo una curva de retención y de conductividad específica, por similitud litológica con las muestras tomadas

En la figura 7.66, puede verse las curvas asignada a cada horizonte litológico distinto.

7.6.4 TENSIÓMETROS TRANSDUCTORES Y BLOQUES DE YESO

En la parcela experimental BX8 se instalaron 10 tensiómetros transductores hasta una profundidad máxima de 11.65 m y 8 bloques de yeso conjuntamente con los transductores, tal y como se ha explicado en el apartad0 6.3.1.2.

Se dispone por tanto de la evolución del potencial mátrico a las profundidades de 11.65,10.65, 9.65, 8.65, 7.65, 6.65, 5.65, 4.65, 3.65 y 2.65 m y para los meses de febrero, marzo, abril mayo y junio. El transductor de presión instalado a 11.50 m para medir las oscilaciones de nivel freático, no funcionó correctamente desde noviembre de 1994 a marzo de 1995. En esta fecha comienza a funcionar con normalidad, no obstante una inadecuada calibración el mismo, impide presentar por el momento los resultados obtenidos.

Los bloques de yeso se han medido con una regularidad mensual, desde octubre de 1994 hasta junio de 1995.

Se han dibujado una serie de gráficas para mostrar la evolución del potencial total a lo largo de los meses durante los cuales se han tomado medidas. Para estudiar la dirección del flujo se ha sumado el potencial gravitacional al mátrico, y se ha considerado el osmótico despreciable (ecuación 4.44). En las figuras 7.69 y 7.70, se presentan los resultados obtenidos con los tensiómetros transductores y en la figura 7.71, los proporcionados los bloques de yeso.

7.6.4.1 POTENCIAL TOTAL MEDIDO CON LOS TENSIÓMETROS TRANSDUCTORES

En la figura 7.69, se aprecia la evolución potencial total a las profundidades de 5.65, 6.65, 7.65, 8.65, 9.65, y 10.65 m, ya que el transductor situado a 11.65 m, no ha funcionado correctamente. El bloque de yeso instalado a tal profundidad tampoco ha funcionado, lo que nos hace pensar en un problema de conexiones. Probablemente ambos sensores se encuentren situados en zona saturada, un inadecuado sello en las conexiones hacen que queden cortocircuitadas.

Se observa como a 10.65, y 9.65 m, las oscilaciones son escasas manteniéndose el potencial total entre -1156 cm y -1184 cm y entre -1112 cm y -1177 cm, respectivamente. A 8.65 las oscilaciones son mas acusadas, y el potencial total se mantiene entre -921 cm y -1144 cm.

Aparentemente existe un cierto paralelismo en la evolución de los valores de estos tres tensiómetros. Para confirmar o desechar este punto se han correlacionado linealmente los datos de las series de valores de estos tres tensiómetros. Los resultados obtenidos muestran que existe un cierto grado de correlación entre los tensiómetros situados a 10.65 y 9.65 m, con un coeficiente de correlación próximo a 0.7. Por el contrario no existe correlación alguna entre los tensiómetro de 10.65 y 8.65 con un coeficiente de 0.084.

A partir del día 3 de junio de 1995, el tensiómetro situado a 8.65 muestra un aumento progresivo de potencial total a esta profundidad. Este mismo fenómeno se vuelve a observar el día 21 de agosto de 1995 a 965 cm. Esta situación puede deberse a dos fenómenos, o bien los tensiómetros se están vaciando, o bien está aumentando el contenido de humedad en la parte inferior del perfil. Es razonable suponer que el límite superior de la zona saturada haya descendido a partir de febrero, dado que a partir de abril comienzan a regar. Resulta inverosímil que ante el descenso del límite superior de la zona saturada los tensiómetros experimenten un aumento de potencial, en lugar de un descenso como cabría esperar. La conclusión a la que esto nos lleva, es que los tensiómetros se están vaciando de agua.

En esta figura se ha representado la evolución del potencial total reflejada por los tensiómetros situados a 6.65 y 7.65 m. Resultan notorias dos cosas. La primera es que el tensiómetro situado a 7.65 m presenta valores de potencial total muy altos, próximos a cero. La segunda es que el tensiómetro de 6.65 m presenta valores positivos. No es razonable que no exista variación de potencial total alguna. Tampoco es verosímil que el tensiómetro mida presiones positivas a menos que se encuentre en zona saturada, y por debajo del límite superior de la zona saturada. La única explicación posible es que estos tensiómetros no han funcionado correctamente en ningún momento.

Si se observa la evolución de los potenciales mátricos en los tensiómetros de 565 y 465 cm (fig 7.70), se puede apreciar que el total oscila entre -605 y -725 cm (-40 cm y -160 cm, para el mátrico respectivamente), en ambos casos. Aparentemente el potencial total es casi constante y por tanto $\frac{\partial h_m}{\partial z}=0$, lo que implicaría que el flujo está por completo gobernado por el potencial gravitacional. A diferencia de otros tensiómetros, estos dos muestran un humedecimiento progresivo desde el mes de febrero. La única explicación razonable para este fenómeno, es que los tensiómetros se encuentren fuera de rango, y la evolución que aparece no es otra que la provocada por el vaciado de ambos tensiómetros.

Dado el llamativo paralelismo que existe en la evolución del potencial en ambos tensiómetros se ha realizado una correlación lineal entre el bloque de valores correspondientes al tensiómetro de 565 cm y al grupo de valores correspondientes al tensiómetro de 465 cm. Los resultados obtenidos para 1969 datos, muestran que existe una fuerte correlación lineal entre uno y otro con un coeficiente de correlación de 0.999. De nuevo parece que el comportamiento de estos tensiómetros es anómalo, y que los valores que miden son absurdos.

Por último hay que destacar que hay dos tensiómetros que parecen no estar funcionando

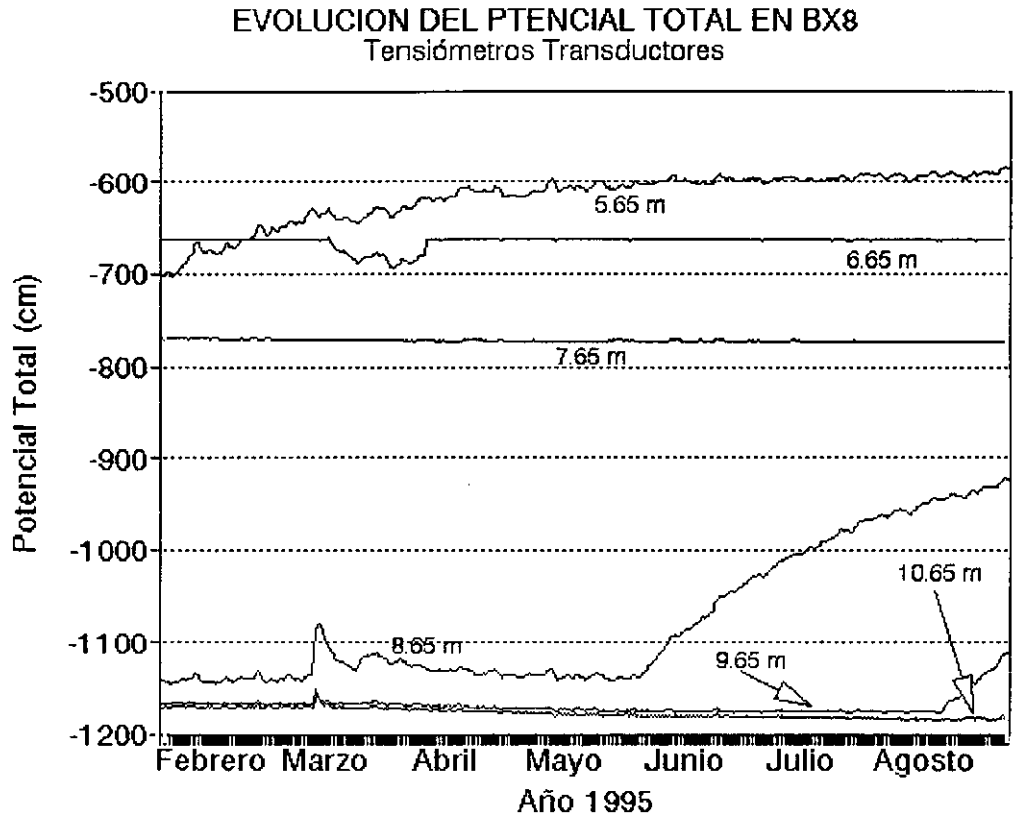


Fig 7.69; *Evolución temporal del potencial total a 665, 765, 865, 965 y 1065 cm de profundidad. Parcela experimental BX8, de acuerdo con los tensiómetros transductores.*

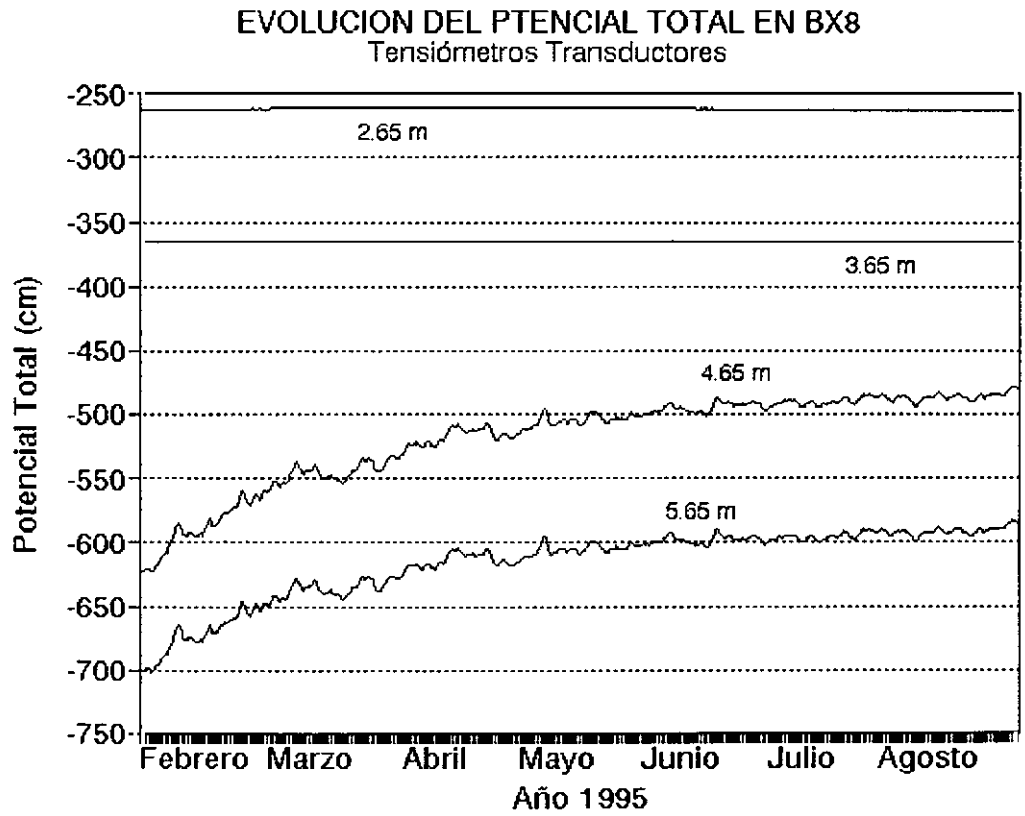


Fig 7.70; *Evolución temporal del potencial total a 265, 365, 465 y 565 cm de profundidad. Parcela experimental BX8, de acuerdo con los tensiómetros transductores.*

adecuadamente tampoco, y estos son los situados a 365 y 265 cm de profundidad. En la figura 7.70 se observa que su respuesta es prácticamente una línea recta. La causa más previsible es que el potencial mátrico se encuentre a estas profundidades por encima de los -800 cm, límite teórico del funcionamiento de un tensiómetro. El de 3.65 cm parece mostrar un intento de respuesta a partir de marzo. Sin embargo lo probable es que las cápsulas porosas se hallen por completo vacías, y por esto no se recuperen incluso aunque el potencial mátrico disminuya.

Por todo lo visto, puede decirse que el funcionamiento del tensiómetro de sondeo es muy limitado. Solo se han obtenido resultados aceptables para unos pocos meses en los tensiómetros situados a 10.65, 9.65 y 8.65 m. La explicación más probable, es que el contacto cápsula porosa-suelo no sea aceptable, de tal manera que parte de las cápsulas se encuentren en contacto con las atmósfera circundante, y el agua se escape de la cápsula y sea evaporada. De esta forma se vacían los tensiómetros, empezando por los más superficiales, dónde las succiones son mayores. Otra limitación que parece haber tenido un papel importante, es la imposibilidad de rellenar las cápsulas.

En la figura 7.69 se observan tres picos muy marcados en la evolución del potencial total a 8.65, 9.65 y 10.65 m de profundidad. Estas bruscas variaciones pueden haberse ocasionado por una oscilación brusca de la presión atmosférica. Para comprobarlo, se ha dibujado en la figura 7.71 una evolución paralela de potencial total medido por los transductores y presión atmosférica. Puede apreciarse como en torno al día 11 de marzo de 1995, se produce una importante bajada de presión, y como los transductores marcan potenciales totales más bajos. La disminución de potencial en el transductor situado a 8.65 m se prolonga más en el tiempo que en los otros dos transductores. Para que exista una correcta medición, los transductores se encuentran en contacto con la atmósfera mediante un tubo hueco que va incluido dentro del cable coaxial, que se conecta al logger. Si se produce una brusca variación de presión, y el cable se halla algo obstruido, puede producirse un efecto como el observado hasta que se igualan la presión en el tubo y en la atmósfera.

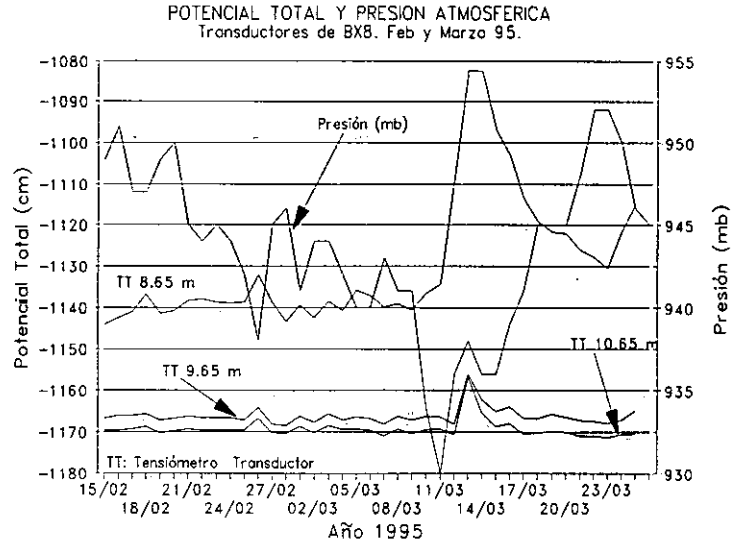


Fig 7.71; Evolución del potencial total en BX8 a 1065, 965 y 865 cm, de acuerdo con los tensiómetros transductores, comparación con los registros de presión atmosférica, durante febrero y marzo de 1995.

7.6.4.2 POTENCIAL TOTAL MEDIDO CON LOS BLOQUES DE YESO

Se dispone de datos de potencial total adicionales generados por los bloques de yeso. Estos bloques vinieron ya montados como una sola pieza junto con las cápsulas porosas (ver fig.6.12) y no fue posible realizar su calibración individual. No fueron facilitados los datos de calibración de los mismos, por lo que dado que presentan una textura semejante al de los instalados en las parcelas experimentales de Acequión y Las Tiesas, se ha utilizado la misma curva de calibración, que la obtenida para estos últimos. (ver tabla 6.8 y fig.6.22).

Los bloques situados a 1165, 265 y 665 sistemáticamente aparecen como fuera de escala en la escala de medidas del puente de impedancia utilizado. Siempre marcan más de 100000 ohmios. Debido a esto ni siquiera puede intentarse utilizar la curva de calibración. Lo más probable es que esto se deba a un defecto de conexión. Si la causa de ello fueran los potenciales muy bajos, en algún momento dado se hubiera podido medir algo, cosa que nunca ha sucedido.

En la figura 7.72 se muestra la evolución del potencial total a 365, 465, 565, 965 y 1065 cm de profundidad. El gráfico se ha realizado con una escala de tiempo no proporcional, para poder visualizar con mayor facilidad las fechas en las que fueron tomadas las medidas.

Los primeros datos, son poco fiables, debido a que los bloques de yeso tienen un tiempo de estabilización largo.

Se observan discrepancias entre los resultados proporcionados por los bloques y los tensiómetros, especialmente para los sensores situados en la parte alta del perfil, esto es 5.65, 4.65 y 3.65 m. No obstante los situados en la parte inferior del perfil, (esto es 10.65 y 9.65 m), muestran resultados parecidos. En el capitul0 5 se mencionó el rango de medida de los bloques de yeso. Son óptimos para medir succiones comprendidas entre 315 y 16000 cm (cfr. Aitchinson y Richards, 1965). Parece pues lógico que en la parte inferior del perfil los bloques se encuentren fuera de rango óptimo de precisión, aun midiendo correctamente.

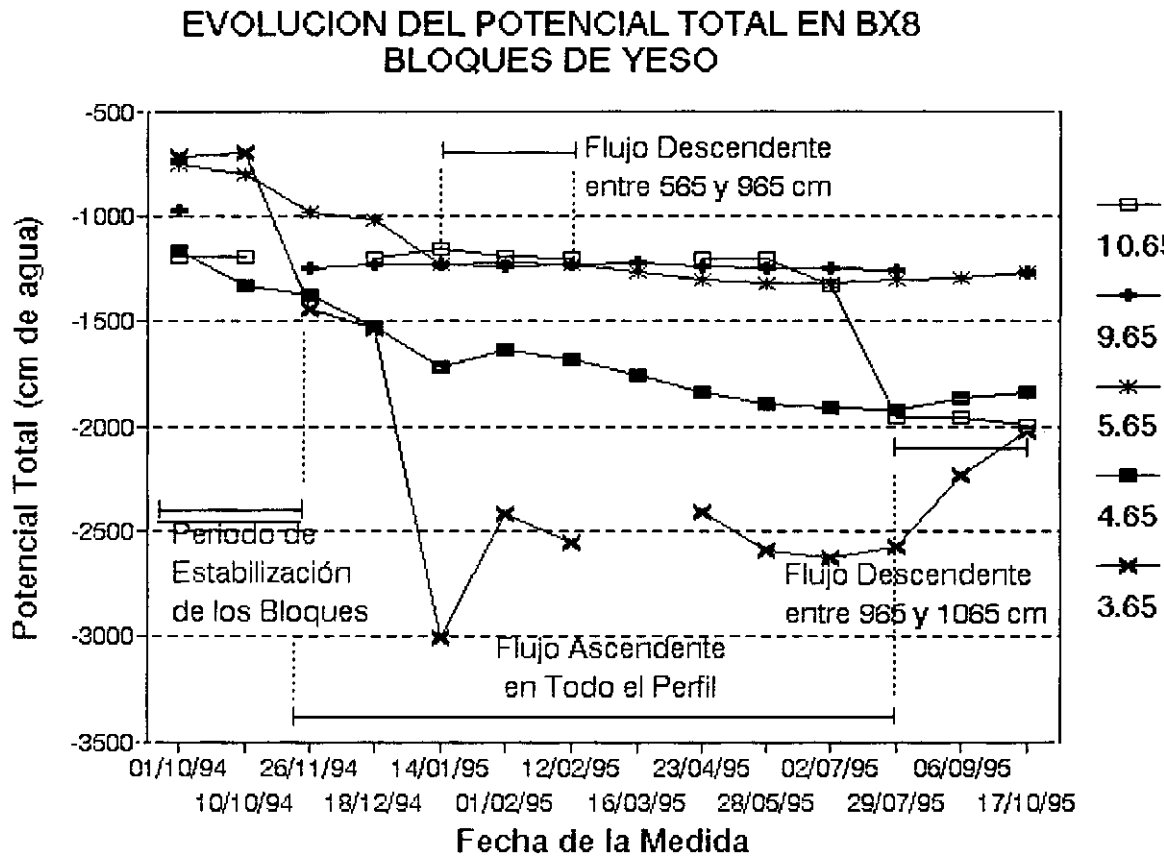


Fig 7.72; Evolución del potencial total en en BX8 de acuerdo con los los bloques de yeso.

Durante el período de medidas ha habido una serie de bloques que no han dado respuesta alguna. Estos son los situados a 1165 cm, 865 cm, 265 cm. Como ya se explicó en el epígrafe anterior el bloque de 11.65 m, se encuentra en zona saturada. No se ha encontrado una explicación satisfactoria para el mal funcionamiento de los demás. Posiblemente, el de 2.65 m se encuentra situado en una zona con potenciales muy altos, de tal forma que el puente de impedancias no es capaz de medir.

El potencial total a 10.65 y 9.65 m, de acuerdo con los bloques de yeso, permanece prácticamente constante, y a unos -1200 cm de potencial total, medida que no difiere demasiado de la proporcionada por los tensiómetros. El potencial total es algo mayor a 1065 cm, que a 965, lo que podría estar indicando flujo ascendente.

Este mismo gráfico muestra que el potencial total de acuerdo con el bloque de yeso situado a 5.65 m, ha permanecido relativamente constante, y próximo a -1200 cm. Merece la pena señalar la tendencia diferente observada a 5.65 m en la evolución del potencial total determinado con el tensiómetro. Mientras que el bloque muestra como el potencial total permanece constante entre febrero y octubre de 1995, el tensiómetro indica un aumento de potencial. Los valores absolutos medidos con ambos sensores son también diferentes. El bloque de 5.65 mide potenciales totales próximos a -1200 cm, mientras que el tensiómetro a -600 cm.

De acuerdo con lo dicho es razonable suponer que los bloques de yeso situados a 10.65, 9.65, 5.65, 4.65 y 3.65 han funcionado correctamente. Además, los bloques situados a 5.65, 4.65 y 3.65 dentro de su rango óptimo de precisión. Obsérvese por ejemplo como el situado a 5.65 mide potenciales totales de -1200 cm, lo que supone un potencial mátrico aproximado de -600 cm. Esto mismo puede verse para los bloques de 3.65 y 4.65.

Los bloques situados a 10.65 y 9.65 miden correctamente. Así pues, el potencial total a 10.65 es próximo a -1200 cm, lo que implica un potencial mátrico de casi -100, prácticamente fuera del rango de precisión óptima de un bloque de yeso. Para el bloque de 9.65 el potencial mátrico se aproxima a -250 cm, fuera también del rango de medida de un bloque. Se consideran por tanto mas fiables la medidas de los tensiómetros situados a 9.65 y 10.65 m, que las medidas de los bloques de yeso localizados a esas mismas profundidades.

7.6.4.3 PERFILES DE POTENCIAL TOTAL

En la figura 7.73 se presenta la evolución del potencial total en el perfil de la parcela BX8. Se ha elaborado conjuntamente con los datos de tensiómetros y bloques de yeso. Para la parte alta del perfil se han utilizado los resultados proporcionados por los bloques, y para la parte baja los de los tensiómetros.

- Se observa como existe un plano de flujo nulo divergente entre 5.65 y 8.65 m. Su posición exacta no puede determinarse, ya que existe una carencia de datos en ese intervalo. Así pues, el flujo en la parte superior es ascendente y en la parte baja descendente.

- En ninguna sección del perfil se observa que el flujo se encuentre gobernado por la gravedad, (es decir que exista gradiente unidad), y aunque en la parte inferior se observa una cierta tendencia a ello, existe gradiente de potencial mátrico.

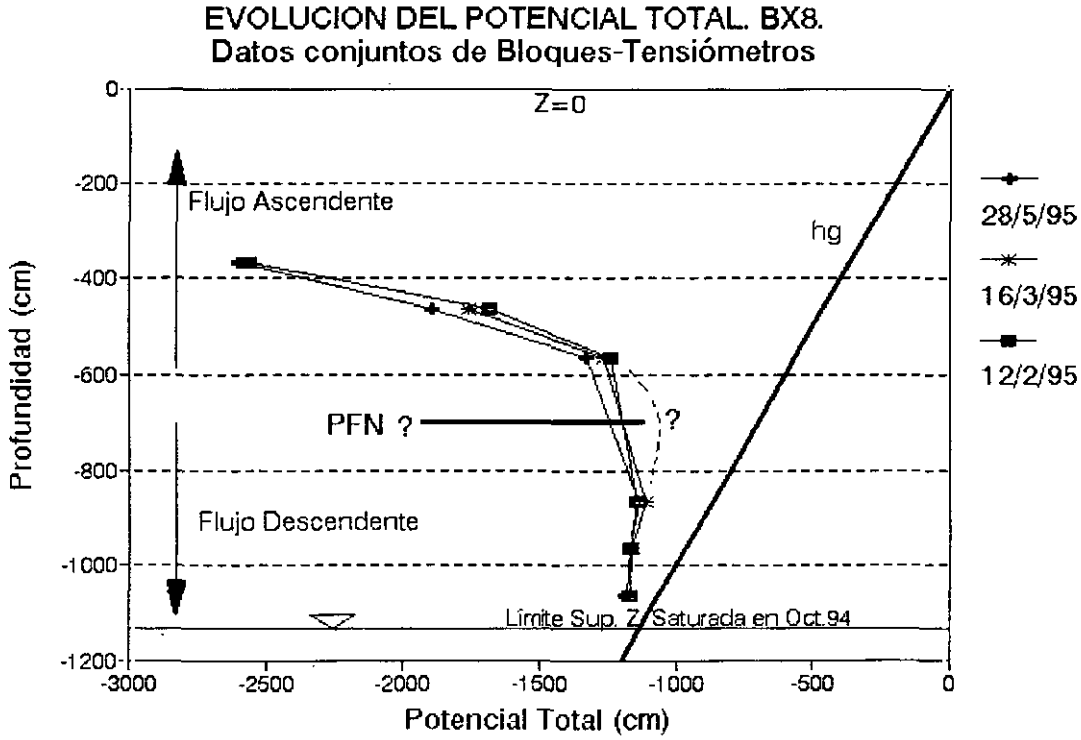


Fig 7.73; Evolución del potencial total en el perfil de 10 m en BX8.Desde febrero de 1995 hasta mayo de 1995, de acuerdo con los bloques de yeso.

7.6.5 CONTENIDO DE HUMEDAD

Para estudiar la variación del contenido de humedad se han realizado un gráfico (fig.7.74) análogo a los que ya se han presentado para las parcelas BX6 y BX2, en el que se muestra la evolución del contenido total de humedad en el perfil de 920 cm. Las medidas de humedad en esta parcela a diferencia de las otras dos, comienzan a finales de septiembre de 1994.

El gráfico no presenta un eje de abcisas con escala de tiempo proporcional, ya que se representan conjuntamente las precipitaciones acumuladas entre dos fechas sucesivas en las que se tomaron medidas y el programa de gráficos utilizado no permite utilizar conjuntamente esta información con escalas de tiempo proporcionales. Los

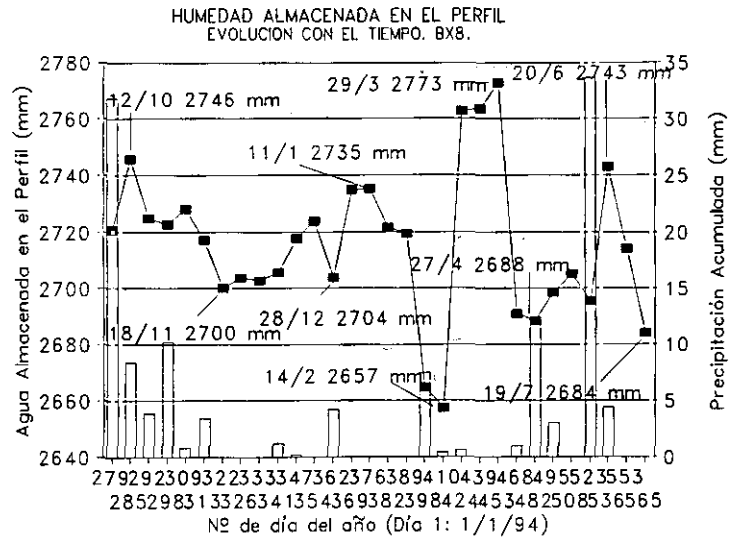


Fig 7.74; Evolución del contenido total de humedad almacenado en el perfil desde 10 hasta 920 cm, y desde octubre de 1994, hasta julio de 1995 en BX8.

contenidos de humedad mínimos se registran el 14 de febrero de 1994 con 2657 mm y el 19 de julio del 95 con 2684 mm. El máximo se registra el 29 de marzo con 2773 lo que supone una diferencia de 116 mm.

Las lluvias del otoño de 1994 parecen ser las responsables del aumento de humedad observado entre el 29/9/1994 y el día 12/10/94, ya que entre estas dos fechas se registran precipitaciones de 32 mm. El contenido de humedad parece disminuir entre el 12/10/94 y el 18/11/95, con algunos altibajos. A partir del 18/11/95 el contenido de humedad aumenta hasta enero de 1995, parece que también debido a las lluvias precipitadas entre las fechas 18/11/94 y diciembre de 1994.

Los días 2 y 14 de febrero se registran dos mínimos. Parecen que podrían deberse a algún error en la sonda de neutrones. Si se observa el gráfico de la figura 7.54 en BX6, las medidas del día 2 de febrero también registran un mínimo, que puede ser detectado a todas las profundidades en las cuales se tomaron medidas. Si esto es tal y como parece un error, el contenido de humedad aumenta hasta el 29 de marzo del 95, fecha a partir de la cual se produce un brusco descenso de humedad de hasta 59 mm en un mes. Las precipitaciones acaecidas a partir del 29 de marzo del 95 parecen ser de nuevo las responsables del aumento de humedad en el perfil.

Para poder determinar que horizontes del perfil son los que contribuyen al aumento de la humedad en el perfil, se ha dibujado una serie de gráficos, (ver fig.7.75, 7.76 y 7.77), en los que se muestra la evolución del contenido medio de humedad entre 10 y 180 cm, 180 y 560 cm, 600 y 770 (tramo supuestamente saturado de acuerdo con los datos tensiométricos), y 770 y 920 cm. Puede observarse que:

- El contenido medio de humedad aumenta con la profundidad desde 0.15 hasta más de 0.4 y Se mantiene relativamente constante a lo largo del tiempo.

- Parece que las lluvias afectan sólo a los primeros m de terreno. El contenido de humedad entre 10 y 180 cm, (ver fig.7.75), se mantiene también relativamente constante, y se observa respuesta frente a las precipitaciones acumuladas de casi 30 mm. Por el contrario las precipitaciones inferiores a 10 mm, apenas afectan al contenido de humedad. Las precipitaciones acumuladas que se han registrado superan lo 20 mm, o se encuentran por debajo de 10 mm. No se han acumulado precipitaciones comprendidas entre 10 y 20 mm.

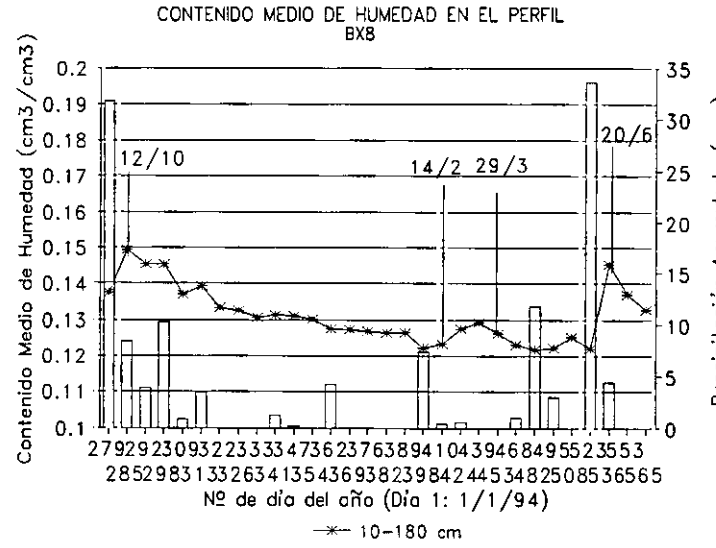


Fig 7.75; Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX8 entre 10 y 180 cm.

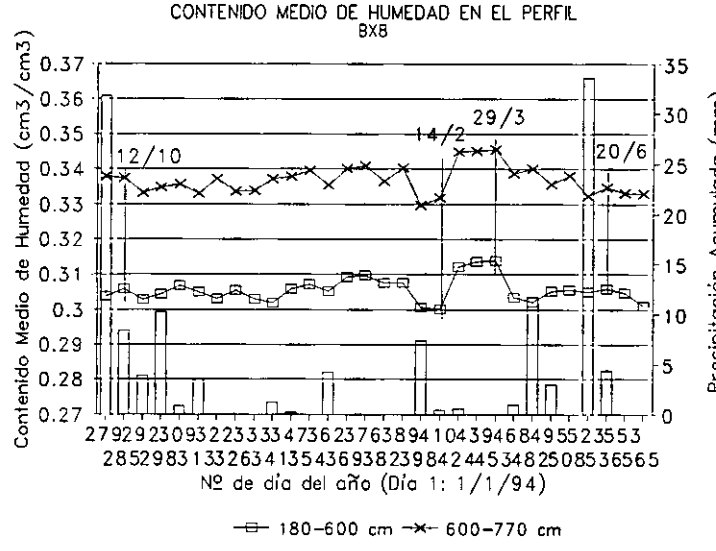


Fig 7.76; Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX8, entre 180 y 600 cm y entre 600 y 770 cm.

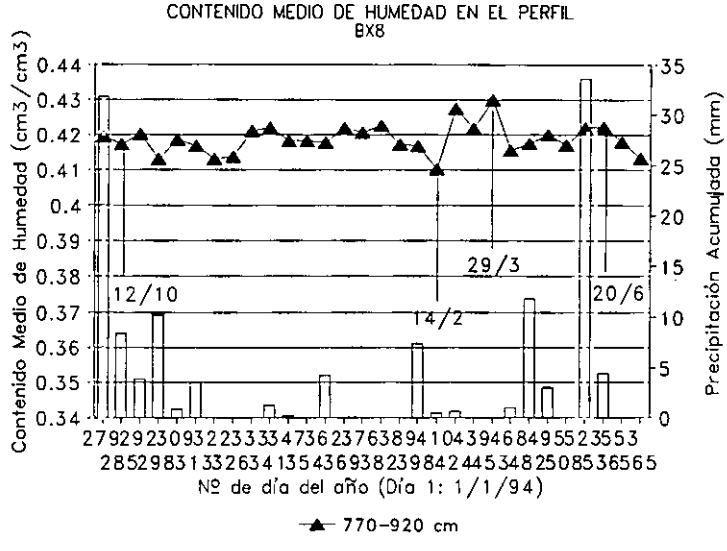


Fig 7.77; Evolución temporal del contenido medio de humedad en BX8, entre 770 y 920 cm.

- Se observa un aumento en el contenido de humedad en el perfil entre el 2 de febrero y el 29 de marzo, a todas las profundidades. Como ya se ha comentado, este efecto podría estar provocado por un mal funcionamiento de la sonda las dos fechas anteriores a este brusco aumento. Obsérvese como los día 2 y 14 de febrero el contenido de humedad disminuye en todo el perfil en más de 70 mm (ver fig.7.74), para inmediatamente volver a aumentar más de 100 mm el día 29 de marzo del 95. Parece razonable considerar como erróneos esos dos puntos. No obstante si se considera el aumento registrado entre los días 25 de enero y 29 de abril, sería de unos 50 mm, tampoco justificable con la pluviometría.

- Se observa una tendencia contrapuesta. Mientras que entre 10 y 180 cm, el contenido de humedad disminuye en 0.03 desde octubre hasta marzo de 1995 (ver fig.7.75), el contenido medio de humedad aumenta unos 0.012 entre 180-600 cm 600-770 cm y 770-920 cm (ver fig.7.76 y 7.77). A partir de marzo disminuye el contenido de humedad de una manera generalizada.

- Esta tendencia contrapuesta que se observa entre 0-180 y 180 y 920 cm, podría deberse a la pérdida por drenaje que pudiera sufrir la parte superior del terreno, no obstante parece que existe un PFN divergente alrededor de 600 cm (ver apartado anterior), lo que no contribuye a soportar esta hipótesis. Otra posibilidad que explicaría este aumento de humedad en la parte media-inferior del perfil no justificable con un flujo vertical, pudieran ser entradas laterales

En la figura 7.78 se presenta la evolución del contenido de humedad en un perfil de 920 cm, para las fechas más significativas.

- Puede apreciarse como efectivamente entre el día 25 de enero (si consideramos los datos correspondientes a las fechas 2 y 14 de febrero poco razonables) y el 29 de marzo del 95 aumenta el contenido de humedad especialmente entre 400 y 800 cm. Se mantiene prácticamente estable en la parte superficial, así como a 920 cm, lo que descarta que se tratara de un ascenso del límite superior de la zona saturada. La precipitación habida entre el día 25 de enero y el 29 de marzo del 95 de menos de 8 mm, tampoco justifica un aumento de humedad de casi 53 mm.

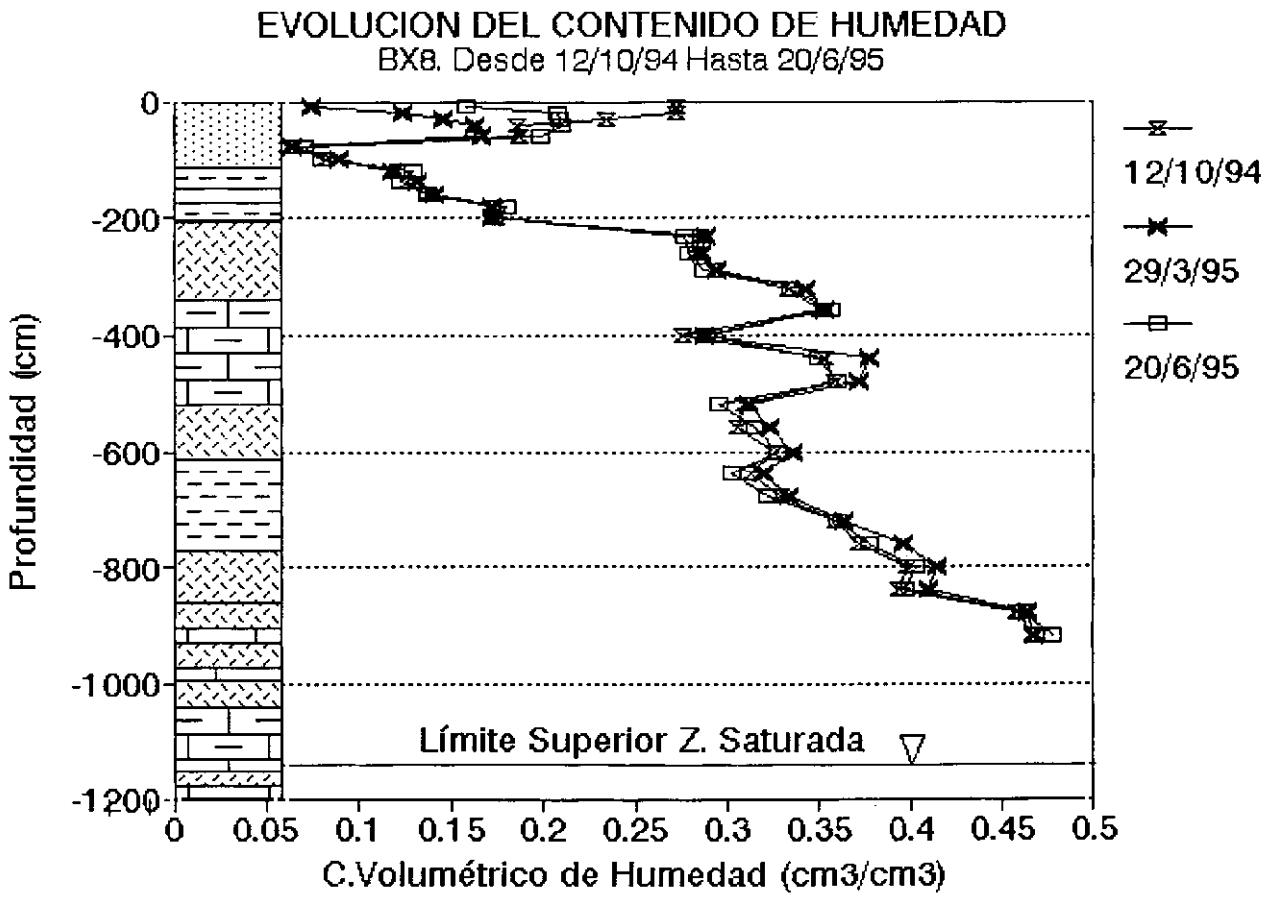


Fig 7.78; Evolución de la humedad en un perfil de 920 cm en BX8, desde 12/10/94 hasta 20/6/95.

- El perfil muestra claramente como el contenido de humedad aumenta en profundidad y como de acuerdo con las curvas de retención obtenidas el terreno se encuentra prácticamente saturado a partir de algo más de 3 m. Efectivamente, puede verse como el contenido de humedad a saturación oscila entre 0.28 y 0.45 para las muestras analizadas, y como el contenido de humedad en el perfil se aproxima a estos límites.

Se presentan por último una serie de gráficos, (ver fig. 7.79 y 7.80), que muestran la evolución del contenido volumétrico de humedad a profundidades semejantes a las que han sido colocados transductores. En la figura 7.79 parece observarse una tendencia semejante a 260, 360, 480, 560 y 660 cm de profundidad. El contenido de humedad aumenta hasta alrededor del mes de marzo, fecha a partir de la cual disminuye con oscilaciones comprendidas entre 0.02 y 0.01. La tendencia a mayores profundidades, 760, 880 y 920 cm, (ver fig.7.80), no es clara y parece que el contenido de humedad se mantiene con oscilaciones en torno a los mismos valores. La excepción la constituye el punto situado a 760 cm, que muestra un tendencia al ascenso entre enero y abril. A partir de abril parece que el contenido de humedad disminuye.

Parece pues que la tendencia observada en los transductores situados en la parte superior del perfil no es coherente con los datos de humedad registrados. Parece confirmarse la hipótesis de que dichos tensiómetros no funcionen adecuadamente. En cuanto al ascenso de potencial observado en los tensiómetros situados a 865 cm y 965 cm a partir de junio de 1995, parece que pueda ser debido a un aumento de humedad imperceptible casi en el perfil. Un cambio de humedad de 0.005 puede provocar aumento de potencial de 200 cm, dentro del rango de potencial mátrico en el que se encuentra el transductor de 865 cm. Análogamente, para el transductor a 965 cm, un aumento de humedad de 0.002 ocasiona un cambio de potencial mátrico de 100 cm en valores absolutos. No obstante esta hipótesis ha de ser desechada, ya que a partir de marzo todo el perfil pierde humedad, lo que realmente hace suponer que los tensiómetros se estén vaciando.

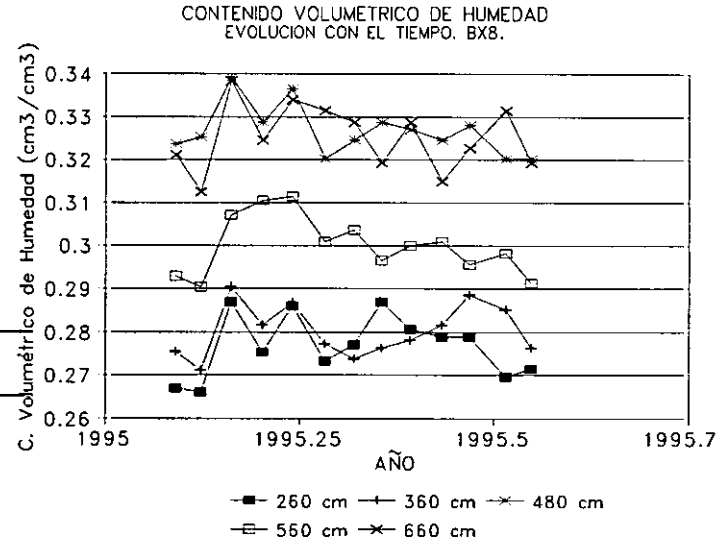


Fig 7.79; Evolución del contenido volumétrico de humedad en BX8 a 260, 360, 480 y 560 cm.

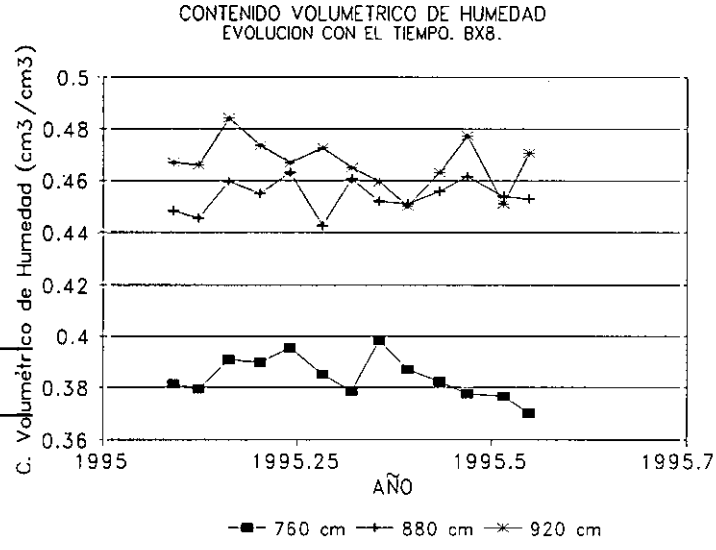


Fig 7.80; Evolución del contenido volumétrico de humedad en BX8 a 760, 880, y 920 cm.

7.6.6 CÁLCULOS DE FLUJO

Dado que no se puede establecer con claridad la posición del PFN, como opción para determinar el flujo que constituye recarga, pueden realizarse cálculos del caudal que atraviesa la parte inferior del perfil. Las estimaciones de caudal se han realizado de forma análoga a los cálculos de las parcelas de Acequión y BX6

Se ha calculado el caudal que atraviesa las secciones situadas a 915 y 1015 cm de profundidad, utilizando para ello los datos de potencial medidos a 865, 965 y 1065 cm. El gradiente se ha calculado considerando que el potencial se distribuye de forma lineal entre 865 y 965 para la sección localizada a 915 cm, y entre 965 y 1065 para la sección de 1015 cm.

La conductividad hidráulica no saturada se ha estimado con las curvas descritas en el apartado 7.6.3, tomando la succión media entre 865 y 965 para la sección localizada a 915 cm, y entre 965 y 1065 para la sección localizada a 1015 cm.

Las curvas asignadas a los distintos tramos diferenciados en la figura 7.66, aparecen señalados también en dicha figura. No obstante se presentan los cálculos utilizando las curvas BX8M25 y BX8M28

obtenidos, aunque los cálculos diario de caudal, gradiente y las conductividades hidráulicas no saturadas pueden consultarse en el anexo 5.

De acuerdo con estos resultados la recarga para el período considerado se encontraría comprendida entre 6 y 2 mm,.

Parece que el caudal que atraviesa la sección de 915 cm es francamente superior al que atraviesa la sección

Tabla 7.15: Caudales calculados a 915 cm y 1015 cm profundidad en la parcela experimental BX8. Período 2/2/95-6/6/95

SECCIÓN	Caudal en mm (Curva de Retención BX8M25)	Caudal en mm (Curva de Retención BX8M28)	Caudal en mm/año (Curva de Retención BX8M25)	Caudal en mm/año (Curva de Retención BX8M28)
915 cm	38.42	16.46	114.94	49.24
1015 cm	5.68	2.81	16.90	8.40

de 1015 cm, lo que implica que la franja de terreno comprendida entre 915 y 1015 cm se está humedeciendo, o bien $K(\theta)$ ha sido sobreextimada a 915 cm o infravalorada 1015 cm. Los datos de humedad no pueden aportar esta información ya que la medida de humedad más profunda alcanza 920 cm solamente.

Si el contenido de humedad a 920 cm se encuentra comprendido entre 0.38 y 0.40, (ver fig.7.80), y considerando que este dato puede extrapolarse para la parte inferior del perfil, podemos estimar que para un caudal próximo a 0.023 mm/día a 1015 cm de profundidad con la curva de la muestra BX8M28, la velocidad real del flujo será igual a unos 0.0058 cm/día. Suponiendo que todo el perfil estuviese en condiciones semejantes a la parte inferior, el tiempo que una gota de agua tardaría en recorrer 11.35 m, (profundidad de la zona saturada medida en octubre de 1995), de perfil no saturado sería como mínimo de unos 527 años. Si tomamos los datos correspondientes a la sección localizada a 915 cm, la velocidad de flujo sería igual a 0.134 mm/día, que correspondería a una velocidad real de 0.0345 cm/día, por lo que una gota de agua tardaría 90 años en recorrer 1135 cm de perfil.

Si en lugar de utilizar BX8M28, se utiliza BX8M25 el tiempo que una gota tarda en recorrer un perfil, (de 11.35 m), supuestamente homogéneo, sería de 38 años para condiciones iguales a la sección de 915 cm de profundidad y de 261 años para condiciones semejantes a las de la sección de 1015 cm.

7.6.7 CONCLUSIONES

- Los tensiómetros transductores han funcionado adecuadamente en la parte inferior del perfil, esto es a 865, 965 y 1065 cm de profundidad, hasta que se han vaciado. Los tensiómetros situados a 265, 365, 465, 565, 665, y 775 no han funcionado correctamente. El tensiómetro localizado a 1165 no ha funcionado tampoco debido a encontrarse en zona saturada y presentar un mal aislamiento en los cables.

- Parece que el tensiómetro de sondeo presenta algunas deficiencias, tales como la dificultad que estriba el conseguir un buen contacto cápsula-suelo a mucha profundidad, y la imposibilidad de rellenar los tensiómetros.

- Los bloques de yeso, han funcionado adecuadamente a 1065, 965, 565, 465 y 365 cm. Los bloques situados 265 y 665 no han funcionado en ningún momento, bien por una mala conexión en los cables (causa más probable), o bien por hallarse fuera de rango. Se ha desechado la segunda hipótesis especialmente para el bloque de 665 cm ya que el potencial total que mide el bloque de 565 cm se aproxima a -1200, y no es razonable suponer que a mayor profundidad no sólo los potenciales van a ser menores, sino incluso que el aparato de medida se encuentre fuera de escala.

- Se suceden aumentos de humedad en el perfil que no pueden ser justificados por la pluviometría. Parece posible que existan entradas laterales.

- Es muy previsible que exista un PFN divergente localizado a unos 6 m, de profundidad, y por tanto franja de evaporación alcance por esta profundidad.

- El flujo que circula a través de la matriz se ha calculado en dos puntos del perfil. Los resultados obtenidos muestran que la recarga puede hallarse comprendida entre 8 y 114 mm/año. El tiempo de tránsito asumiendo un perfil homogéneo, entre 38 y 500 años, para los 11.35 m no saturados de perfil.

- No es posible con esta metodología cuantificar el flujo que pueda circular por otros conductos ajenos a la matriz del suelo, no obstante, puede que sean caudales importantes.

7.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL DE ALGIBARRO

Como ya se ha explicado en el capitulo anterior en la zona de Algibarro no se pudo instalar instrumentación alguna. El único procedimiento utilizado fue la toma inalterada de muestras. Parte de estas se utilizaron para determinar el contenido de humedad en el terreno, y parte para realizar las curvas de retención.

7.7.1 TOMA DE MUESTRAS EN ALGIBARRO

En la zona de Algibarro se efectuaron cuatro sondeos, en las siguientes fechas: 25/10/91, 16/2/92, 3/5/92 y 3/12/92, dentro de un radio de unos 5 metros (ver fig.6.4). En la tabla 6.5 se proporciona un resumen de las muestras que se tomaron en cada sondeo y el destino dado a cada una de ellas.

La finalidad de la toma de muestras fue doble, por un lado determinar las curvas de retención y por otro lado determinar el contenido de humedad natural. Los sondeos han servido también para describir las columnas litológicas.

El muestreo ha servido para determinar perfiles de contenido volumétrico de humedad y potencial mátrico, para estudiar su variación en el tiempo. Dado que el potencial mátrico no se pudo medir directamente, pudo determinarse con las curvas de retención de los suelos.

En este punto el terreno es considerablemente duro, y es muy difícil de perforar, no obstante es uno de los pocos puntos dentro de la zona de trabajo en el que se pueden tomar muestras manuales. Habitualmente fue necesario empezar la perforación cuatro o cinco veces hasta encontrar un punto a de menor dureza. A unos 75 cm comienza una capa de extraordinaria dureza debida a las cementaciones carbonatadas que aparecen, una vez atravesada esta capa la perforación es dura pero no problemática. Se observo que la dureza de esta capa es particularmente acusada en verano. De hecho se intentaron perforar otros tres sondeos mas. Uno en julio y otro en septiembre pero fue absolutamente imposible.

Los sondeos efectuados los días 16/2/92 y 3/5/92 alcanzaron una profundidad de algo mas de 3 m. El día 25/10/91 la profundidad máxima que se pudo alcanzar fue de 1.5 m, así como el día 3/12/92; en este último día la rotura de la barrena tomamuestras impidió perforar y tomar muestras a mayor profundidad. Se han intentado realizar perforaciones en otras tres ocasiones más pero no se ha conseguido.

Se tomaron también 3 muestras alteradas con objeto de determinar las distribuciones granulométricas de este perfil de suelos. Se pretendía obtener como una alternativa las curvas de retención por el método de Clapp y Hornberger (1978). No obstante el tamaño de finos fue superior al 50% y se requerían análisis de sedimentación para poder obtener las distribuciones granulométricas completas, análisis que en ese momento no pudieron realizarse.

7.7.2 COLUMNA LITOLÓGICA EN ALGIBARRO

La columna litológica en este punto es relativamente homogénea. No todos los horizontes en todos los sondeos realizados comienzan y terminan a la misma profundidad. Se ha definido para simplificar una columna tipo, no obstante las descripciones individuales pueden consultarse en el anexo 1.

La columna tipo puede visualizarse posteriormente en las figuras 7.83 y 7.84.

En función de los sondeos realizados, hasta unos 3,5 m, se ha podido saber que los materiales que hasta esa profundidad se encuentran en esta zona son:

AGBI 0-60 cm: Suelo arcilloso, con mucha materia orgánica. Arcilla muy plástica.

AGBII 75-100 cm: Arcilla plástica en la que comienzan a aparecer cementaciones carbonatadas.

AGBIII 100-160 cm: Arcilla muy cementada por carbonatos. Frecuentes fragmentos de cantos carbonatados de tamaños hasta centimétricos.

AGBIV 160-230 cm: Material muy semejante, pero aparece ya menos cementado.

AGBV 230-280 cm: Arcilla muy plástica marrón.

AGBVI 280-340 cm: Comienza a aparecer otra vez arcilla muy cementada y con frecuentes cantos de carbonatos.

7.7.3 MEDIDA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN ALGIBARRO

Las muestras tomadas los días 16/2/92, 3/5/92, y 3/12/92 se utilizaron para determinar el contenido volumétrico de humedad en el perfil en esas fechas.

Las muestras no han sido analizadas y secadas en los mismos lugares debido a las dificultades que se han presentado para conseguir realizar estos análisis siempre en el mismo laboratorio.

Las muestras del 16/2/92 se pesan dos días después de su toma en el campo. Se introducen en un horno a 60ºC, y se pesan tres días consecutivos. Al tercer día la diferencia entre la pesada anterior y esa era de centésimas de gramo. No obstante se dejan en el horno más tiempo, pero la introducción de muestras nuevas en el mismo hace que ganen humedad. Se toma como pesada final la penúltima pesada. Dos de las muestras tomadas (M9 y M18) este día se analizan también en un Richards, para obtener sus curvas de retención.

Las muestras tomadas los días 3/5/92 y 3/12/92 fueron pesadas al día siguiente de ser tomadas y secadas a 105ºC en Laboratorio de Geotecnia de la Escuela de Caminos de Santander.

7.7.4 CURVAS DE RETENCIÓN EN LA PARCELA DE ALGIBARRO

Para realizar las curvas de retención de la parcela

FACULTAD CC. GEOLOGICAS

de Algibarro se utilizaron las muestras tomadas los días 25/10/91, y parte de las muestras tomadas los días 16/2/92 y 3/12/92. Las muestras tomadas el 25/10/91 no pudieron utilizarse para determinar su contenido natural de humedad debido al gran lapso de tiempo transcurrido desde su toma hasta su análisis. Se toman dos de ellas en el cauce seco del río Lezuza, habiéndose encontrado en este lugar una litología similar a la de Algibarro.

Parte de las muestras tomadas el día 3/12/92 y dos de las recogidas el día 16/2/92 pudieron ser destinadas para ambos fines.

Los puntos de succión medidos para estas muestras fueron saturación (pF=0), 100 cm (pF=2), 316.2 cm (pF=2.5), 1000 cm (pF=3) y 15848 cm (pF=4.2). Las muestras fueron ensayadas en una cámara de Richards, y se obtuvieron distintas medidas de contenido volumétrico de humedad para distintas succiones. Como ya se ha hecho en las anteriores parcelas, las curvas de retención, en su lazo de desorción fueron ajustadas mediante el modelo de van Genuchten (1978), ver fig.7.81 a, b y c).

Los parámetros obtenidos con el ajuste se muestran en la tabla 7.16.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar como el contenido de humedad a saturación oscila entre algo mas de 0.34 cm^3/cm^3, y 0.48 cm^3/cm^3. La humedad residual varia entre 0.11 cm^3/cm^3, y 0.22 cm^3/cm^3. Parece que las máximas porosidades, considerando como tal la diferencia entre la humedad a saturación y la residual se dan en la mitad del perfil, entre unos 40 y 120 cm de profundidad.

Merece la pena señalar la poca fiabilidad que ofrece el parámetro α ajustado, ya que este parámetro es un medida del valor de entrada de aire. Si se tiene en cuenta que h_b es la inversa de alfa, puede calcularse que este valor oscila entre 3 cm para la muestra M8, y 86 cm para la muestra M7, resultando M7 una excepción, ya que en todas la muestras el valor de entrada de aire es más próximo a 3 que a 86 cm.

Este valor de á podría esperarse para una arena, pero dada la naturaleza arcillosa de las muestras resulta poco razonable

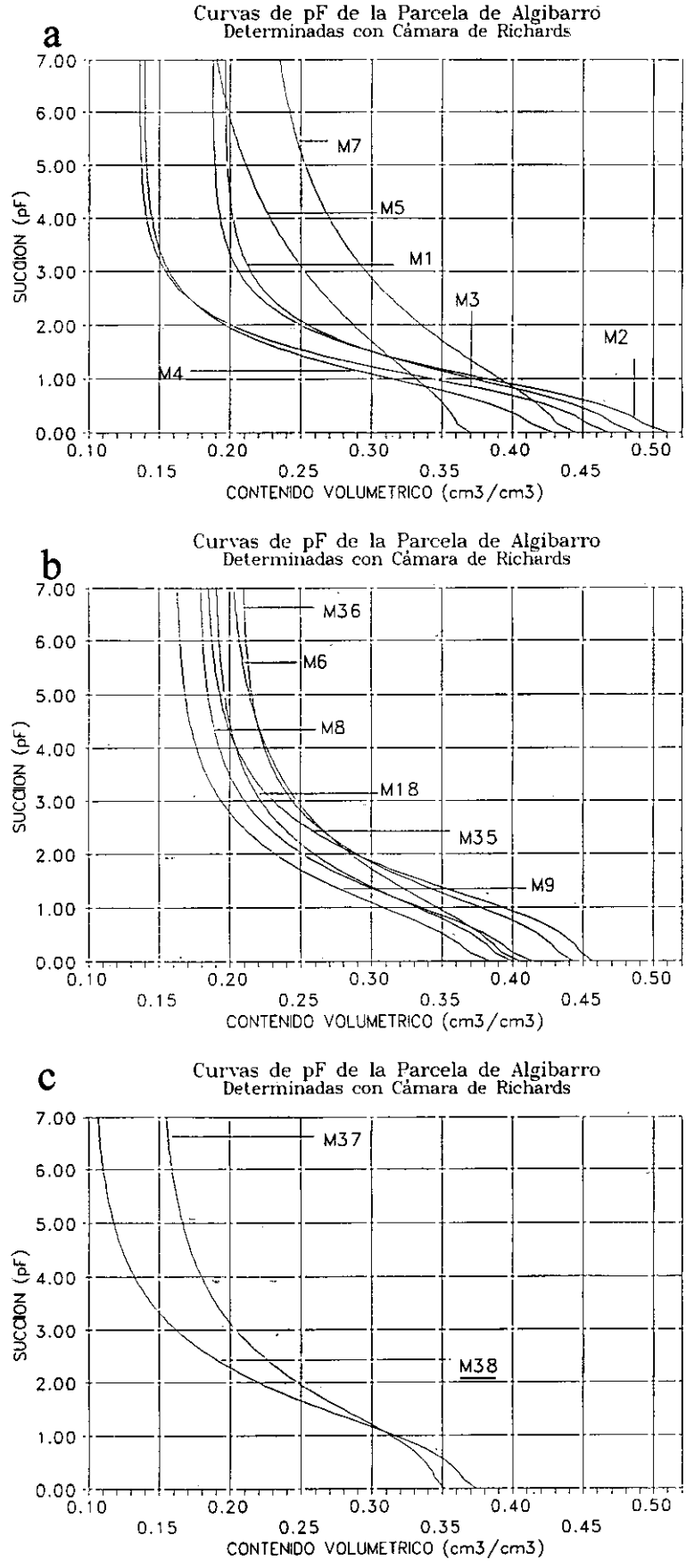


***Fig 7.81;** Curvas de retención de la parcela de Algibarro, estimadas mediante Cámara de Richards. a) M1, M2, M3, M4, M5 y M7; b) M8, M9, M18, M6, M35 y M36; c) M37 y M38.*

Tabla 7.16: Parámetros de van Genuchten (1978), ajustados mediante el SOHYP a los resultados obtenidos en una cámara de Richards. Algibarro.

(A)	(B)	α	N	θ_s	θ_r
-5070	M1	0.26436	1.35479	0.4139	0.17789
-100120	M2	0.21577	1.53025	0.51	0.18661
-4555	M3	0.19427	1.54929	0.4684	0.13584
œ 75-82	M4	0.22274	1.51813	0.4295	0.13892
œ130-140	M5	0.32565	1.158	0.3693	0.17335
œ150-160	M6	0.07372	2.83918	0.4052	0.26746
œ170-180	M7	0.29258	1.3384	0.445	0.16128
œ 10-20	M8	0.37344	1.18454	0.3842	0.22088
œ 15-23	M9	0.2202	1.51715	0.4874	0.19647
œ 16-24	M18	0.26642	1.33305	0.3999	0.18919
œ 58-?	M35	0.15676	1.34397	0.4567	0.18295
œ 75-?	M36	0.19847	1.35297	0.4427	0.20829
œ 77-86	M37	0.01166	2.20807	0.3518	0.11669
œ100-110	M38	0.15761	1.30132	0.374	0.10295

(A): Profundidad de la toma de muestra; (B): N° de muestra;

En la figura 7.82, se presentan las curvas de conductividad hidráulica se han determinado mediante el programa SOHYP.

7.7.5 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LA PARCELA EXPERIMENTAL DE ALGIBARRO

7.7.5.1 COMENTARIOS GENERALES

El punto de muestreo se localiza en un campo de cebada que no se riega. Sin embargo los dos campos colindantes sí se riegan. En el año 1992, una de las parcelas vecinas estuvo sembrada con maíz y la otra con alfalfa. El punto de muestreo se sitúa en una depresión del terreno. El dueño de la parcela informo que este punto se encharca habitualmente cuando llueve. El riego del campo vecino de alfalfa alcanza este punto también.

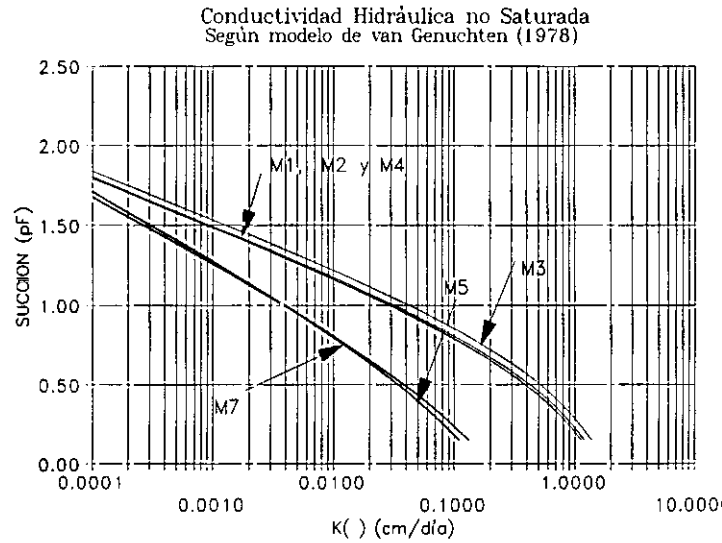


Fig 7.82; Curvas de conductividad hidráulica no saturada para la parcela de Algibarro.

En este punto lo único que se ha medido es contenido de humedad, por tanto es necesario transformar mediante la utilización de las curvas de retención los contenidos de humedad en potencial mátrico.

El primer inconveniente que se presenta es que nos se dispone de una curva de retención en la parte baja del perfil, ya que la máxima profundidad a la que se dispone de una curva de retención es a unos 180 cm. Desde 0 cm hasta 180 se dispone de un gran numero de curvas, muchas de ellas tomadas en los mismos horizontes litológicos. Se ha asignado a cada muestra la curva de retención que por mayor semejanza litológica y por profundidad le corresponde. A partir de 180 cm el criterio que se ha seguido ha sido asignar por litologías semejantes las curvas de las que se dispone.

La asignación realizadas ha sido la siguiente:

FECHA 16/2/92	FECHA: 3/5/92	FECHA:31/12/92
M 15-23	M M19 30-35	M35 M38 58-? cm M1
M10 59-69	M35 M20 65-77	M4 M39 75-? cm M35
M11 65-75	M35 M21 100-110	M38 M40 77-86 cm M36
M12 100-125	M38 M22 135-148	M5 M41 100-110 cm M37
M13 150-157	M6 M23 170-177	M7 M42(BIS) 58-? cm M5
M14 200-207	M9 M24 215-223	M1 MVII 0-10 cm
M15 244-251	M1 M25 250-257	M35 MVIII 60-75 cm
M16 296-306	M9 M26 275-280	M35 MIX 110-120
M17 324-331	M9 M27 300-307	M35
M18 16-24	M18 M28 330-335	M35

Los tramos inferiores del perfil AGB V y AGB VI no se dispone de ninguna curva de retención. Al tramo AGB V, que es un horizonte muy arcilloso, se le ha asignado la curva de retención M1. Esta muestra fue tomada en el cauce del río Lezuza, y aunque no en esta parcela en concreto, si en un tramo muy semejante a este

horizonte.

Al tramo AGB VI se le ha asignado la curva de retención M35, por semejanza litológica.

Como ya se ha visto en el apartado 7.2.6.3 relativo a la parcela de Acequión, el método proporciona resultados regulares en suelos muy heterogéneos. En esta parcela la variabilidad espacial es mucho menor que en Acequión, por lo que los resultados conseguidos son mucho mejores.

7.7.5.2 PERFILES DE POTENCIAL TOTAL

En la figura 7.83 se muestra la evolución del potencial total en el perfil hasta casi 350 de profundidad. Se representa la evolución del potencial los días 16/2, 3/5 y 3/12 de 1992. Se dispone de datos de humedad relativos al 25/10/91, no obstante no se han utilizado ya que el tiempo transcurrido entre la toma de muestras y secado al horno, hace que los datos puedan ser poco fiables.

Se observa que el 16/2/92 el potencial mátrico oscila entre -100 cm y -400, al ser el potencial total inferior a 350 cm de profundidad que a 60, el flujo es descendente entre estas dos profundidades. Parece que existe un PFN divergente entre 60 y 100 cm de profundidad.

La situación es parecida el 3/5/92, a excepción de la parte superior que sufre una pérdida drástica de humedad disminuyendo el potencial mátrico hasta unos -5000 a 30 cm. En la parte inferior el flujo es de nuevo descendente entre unos 60 y 350 cm de profundidad.

El 3/12/92 sólo se pudo muestrear hasta unos 150 cm de profundidad. Parece observarse que el potencial ha aumentado considerablemente en la parte superior del perfil, indicando el avance de un frente de humedad entre unos 50 y 100 cm de profundidad. El PFN divergente parece localizarse a mayor profundidad que las dos fechas anteriores, esto es entre 100 y 150 cm de profundidad.

Debe resaltarse como en este perfil, el potencial gravitacional y el total son prácticamente iguales a partir de unos 60 cm de profundidad. Esto implica un gradiente de potencial muy próximo a la unidad, y flujo controlado por la gravedad. El potencial mátrico oscila prácticamente entre 0 y -50 cm de agua.

7.7.5.3 EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE HUMEDAD

En la figura 7.84 se presenta el mismo perfil, pero se presentan en este caso las variaciones de contenido volumétrico de humedad, que es el parámetro que se ha medido directamente.

- Respecto a los datos tomados el 3/12/92, no se pueden realizar demasiadas observaciones debido a la escasez de los mismos.
- El contenido de humedad en el perfil el 3/5/92 ha aumentado con respecto al 16/2/92, por debajo del plano de flujo nulo, situado a unos 60 cm, en ambas fechas.
- Esto implica que el plano de flujo nulo no ha permanecido inmóvil, y por tanto no puede utilizarse la técnica que lleva el mismo nombre para estimar la cantidad de agua que se ha infiltrado.
- Se ha calculado el contenido medio de humedad almacenado para las fechas 16/2/95 y 3/5/95, entre dos profundidades sucesivas para las que se dispone de muestra. El cálculo se ha realizado planimetrando la superficie del trapecio que delimitan dos medidas de contenido de humedad correlativas. El resultado se muestra en la tabla 7.17.

Tabla 7.17: Contenido de humedad medio de humedad almacenado en el perfil de algibarro para las fechas 16/2/92 y 3/5/92.

Fecha: 16/2/92		Fecha: 3/5/92	
Profundidad	mm	Profundidad	mm
64-70	17.5	105-141.5	122.29
70-112.5	119.39	141.5-173.5	114.13
112.5-153.5	123.45	173.5-219	183.5
153.5-203.5	185.94	219-253.5	141.42
203.5-247.5	170.98	53.5-277.5	86.6
247.5-301	195.53	277.5-303.5	88.96
301-327.5	90.16	303.5-325.2	96.82
TOTAL	902.5		950.3

- Se puede observar que el contenido neto de humedad aumenta en 48 mm.
- La precipitación en la estación meteorológica automática de Las Tiesas, situada a unos pocos km de la zona ha sido de 107 mm desde el día 16/2/92 hasta el día 3/5/92, esto supone que el aumento de reserva en el perfil es un 37% de la precipitación. No obstante, hay que tener en cuenta que riegan la parcela de al lado y parte del exceso puede venir a parar a este punto.

7.7.5.4 CÁLCULO DE CAUDALES

Como ya se ha hecho para otras parcelas experimentales se han efectuado cálculos del caudal que circula por debajo del plano de flujo nulo, a cada una de las profundidades a las cuales se han tomado muestras.

El gradiente se ha estimado, considerando que la distribución de potencial total es prácticamente lineal, por lo que se ha calculado determinando la pendiente de la recta de potencial total que une dos puntos del perfil correlativos.

Para determinar la **conductividad hidráulica** no saturada se ha utilizado el modelo de van Genuchten (1978), ver apartado 4.5.3. Se ha utilizado una conductividad hidráulica saturada igual a 5 cm/día, que es la calculada para la muestra M10BX8, en el laboratorio del CEDEX, dado que esta muestra es muy semejante al

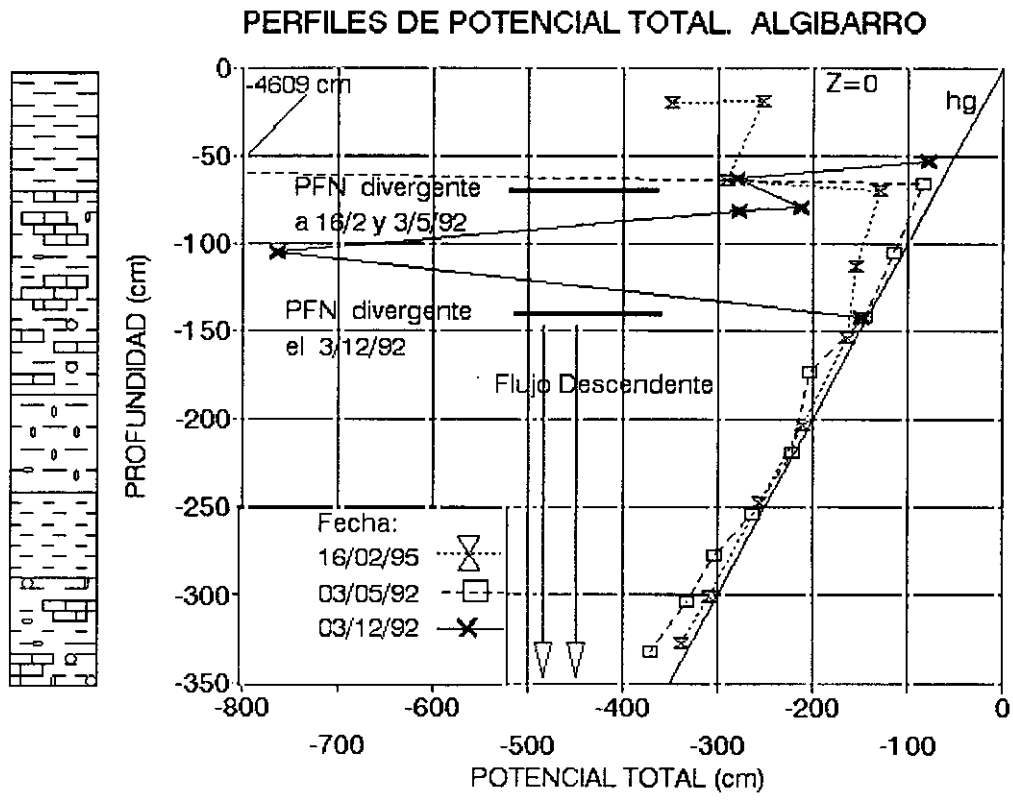


Fig 7.83; Evolución del potencial total en un perfil de 330 cm en la parcela de Algibarro, para las fechas 16/2, 3/5 y 12/3 de 1992.

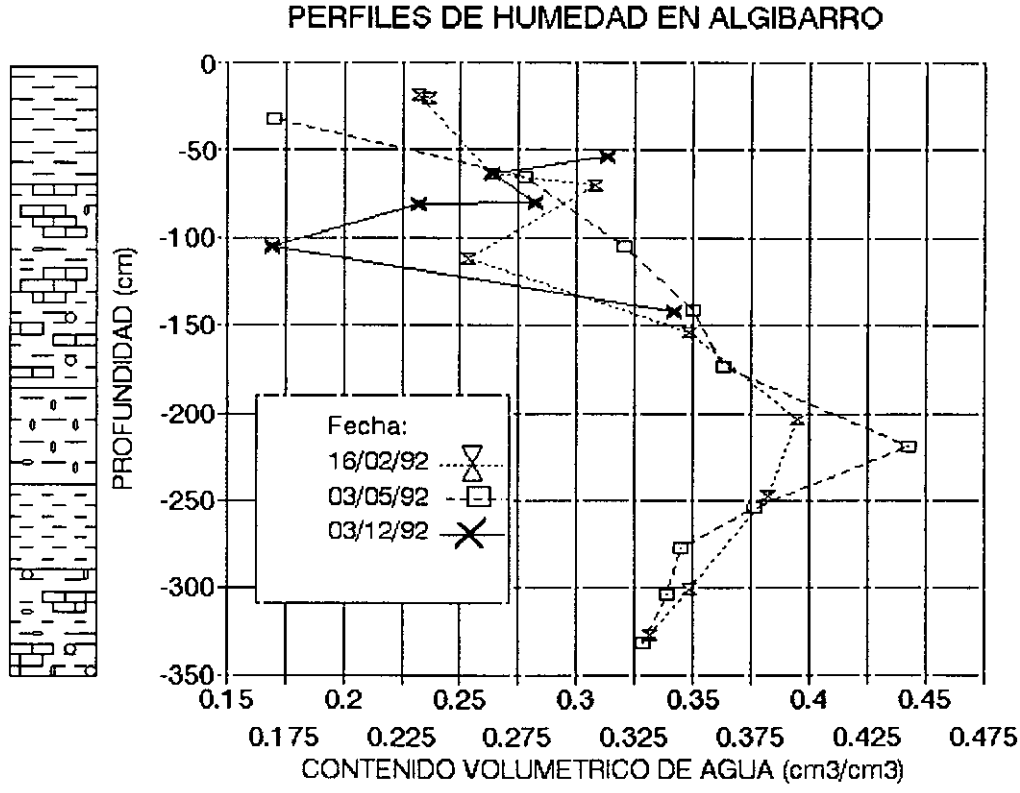


Fig 7.84; Evolución del contenido de humedad en un perfil de 330 cm en la parcela de Algibarro, para las fechas 16/2, 3/5 y 12/3 de 1992.

tipo de materiales que se han extraído en estos perfiles. Los resultados se muestran en la tabla 7.18.

Tabla 7.18: Caudal que atraviesa distintos puntos del perfil en las fechas 16/2/92 y 3/5/92. Algibarro.

PROFUNDIDAD (cm)	I	$\frac{K(\theta)}{K_s}$	K(θ)	Q (mm/d)
FECHA 16/02/92				
91.25	-59108	0.000161	0.000804	-0.00475
133	-0.20224	0.000949	0.004746	-0.0096
178.5	-0.96214	0.002021	0.010105	-0.09723
225.5	-1.0335	0.010313	0.051563	-0.53291
274.25	-0.97179	0.010372	0.05186	-0.50398
314.25	-1.13143	0.00384	0.0192	-0.21724
FECHA 03/05/92				
85.5	-0.79073	0.002603	0.013017	-0.10293
123.25	-0.85271	0.020276	0.101381	-0.86449
157.5	-1.79447	0.000265	0.001326	-0.0238
196.25	-0.43292	0.000255	0.001274	-0.00551
236.25	-1.17884	0.018268	0.091341	-1.07676
265.5	-1.70471	0.001053	0.005264	-0.08973
290.5	-1.12538	0.000792	0.003959	-0.04456
318	-1.26986	0.00049	0.002452	-0.03113

De acuerdo con estos resultados, parece que el perfil no se encuentra en equilibrio, ya que no coinciden los caudales que atraviesan las distintas secciones del perfil. Los caudales que se han estimado a 219 cm, son muy grandes (4 mm/día) en la fecha 16/2/92. De la misma forma se observa como el caudal que circula a 70 cm el día 16/2/92, es igual a 0.003 mm/día.

La principal conclusión que de esto puede extraerse, es que el caudal que atraviesa un perfil en distintos momento, es muy variado, y por tanto la recarga ha de ser también no sólo muy variable espacialmente, sino también temporalmente.

7.7.6 CONCLUSIONES

- Parece por todo lo visto que en la parcela de Algibarro se localiza un PFN divergente en febrero a unos 60 cm. Este plano se mantiene a esa profundidad hasta mayo. Es de suponer que haya tenido sus movimientos de ascenso, ya que se ha observado aumento de humedad entre los días 16/2 y 3/5.

- Resulta muy posible que tras el verano y otoño, de 1992, este plano, también con oscilaciones, se sitúe más o menos estable a 150 cm de profundidad.

- El flujo es descendente, y gobernado por la gravedad, por debajo del PFN, no obstante, no parece que se trate de un perfil en equilibrio.

- Las curvas de retención ajustadas, son aceptables, aunque presenten un valor de entrada de aire parece ser próximo a la decena de cm. Una posible explicación para esto pueda ser que las muestras necesiten largos tiempo de estancia en la Cámara de Richards, mayores que los utilizados, y que en algunos puntos no se haya conseguido alcanzar el equilibrio. Por otro lado puede que 5 puntos resulten insuficientes para realizar las determinaciones.

- El caudal que circula por la parte media del perfil, es superior a la que circula por la parte inferior, tanto el 16/2/92, como el 3/5/92. Puede parecer que no es coherente el aumento de humedad registrado en el perfil con los caudales; el día 16/2/92, entra un caudal de 0.0003 mm/día, que en 77 días transcurridos entre el 16/2/92 y el 3/5/92 suman 0.2 mm. El día 3/5/92 entran 0.05 mm/día por la parte superior del perfil, que en 77 día son 3.54 mm.

Por la parte inferior del perfil salen 0.1 mm/día del perfil, que en 77 días son 10 mm y 0.04 mm/día (ó 1.56 mm en 77 días) respectivamente para las fechas 16/2 y 3/5.

Parece pues que el caudal que entra por la parte superior del perfil es inferior al caudal que sale, lo que implica un decrecimiento en el contenido de humedad del perfil, contrario al fenómeno observado. No obstante, la distancia temporal entre ambas tandas de muestras hace muy difícil que puedan extraerse conclusiones de este tipo.

- El perfil parece o encontrarse estabilizado a 330 cm, ya que el caudal que atraviesa esta sección no es constante, y según los resultados obtenidos oscila entre 0.04 y 0.14 mm/día, lo que supondría entre 15 y 51 mm/año. Si bien existe un amplio margen entre ambos, sí se encuentran dentro del mismo orden de magnitud, que los caudales medidos en otras parcelas.

8. RESUMEN Y CONCLUSIONES

8.1 RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO

La presente tesis doctoral ha tenido como objetivo prioritario la cuantificación de la recarga directa, ya sea procedente de la lluvia o de excedentes de regadío en una zona piloto, situada en el Acuífero de la Mancha Oriental. La zona de trabajo, es un cuadrilátero de 100 km^2, situada entre los pueblos de La Roda, Barrax, La Gineta y la ciudad de Albacete. Este estudio se enmarca dentro de un proyecto de la UE, proyecto EFEDA, de espectro mucho más amplio, encaminado al estudio de la desertificación en La Mancha Oriental. La zona escogida es por tanto una de las zonas piloto del proyecto, que originariamente eran tres, y más tarde se ampliaron a seis.

El estudio hidrogeológico convencional se ha llevado a cabo en varias fases. En una primera fase se acometió el estudio hidrogeológico convencional de detalle de la zona piloto. El estudio realizado consiste en lo siguiente:

En **primer lugar** se ha recopilado la información bibliográfica disponible del acuífero de La Mancha Oriental, consistente en diversos estudios realizados por organismos públicos casi en su totalidad, así como diversas publicaciones relativas a la zona. Esta recopilación incluye también la información extraída del inventario de puntos de agua de la base del ITGE, así como las medidas de piezometría periódicas que dicha institución realiza. Se han recopilado también los datos de precipitación históricos para la serie más larga de años existente (procedente de la estación de Albacete Instituto), así como los datos de aforos del río Lezuza en el pueblo de Tiriez, estación foronómica n.137.

Se revisó en **segundo lugar** la fotografía aérea de la zona realizada en 1987 por el Instituto Geográfico Nacional, con la intención de cartografiar en la medida de lo posible los fenómenos de disolución que afectan a la costra carbonatada que recubre el área.

En tercer lugar se ha realizado un inventario de puntos de agua de la zona lo más completo posible (ver anexo 2). Se han inventariado un total de 84 puntos de agua, entre sondeos y pozos excavados. Se han considerado de particular interés los sondeos y pozos con datos retrospectivos, que permitieran establecer la situación de la zona en régimen no perturbado. Se han visitado prácticamente todos los puntos de agua inventariados que se incluyen en el anexo n.2. El que algunas carezcan de medida piezométrica reciente se debe o bien a la prohibición expresa de los dueños ó bien a que el pozo o sondeo estaba clausurado, desaparecido o mal situado por lo que no se pudo localizar.

En gran parte de los pozos inventariado se dispone de registro geológico. Los datos de dichos registros proceden, aunque no todos, de la base de puntos de agua del ITGE.

Por último se realizó un reconocimiento geológico e hidrogeológico de campo. Se han levantado columnas en los escasos lugares dónde ha sido posible, debido a la escasez de relieve que presenta la zona de estudio.

Con toda esta información se ha elaborado una **interpretación hidrogeológica y geológica** de la disposición de las distintas unidades acuíferas dentro de la zona de estudio, (capítulo n.2). Se ha determinado la posición de los techos y muros de las distintas unidades hidrogeológicas; los resultados obtenidos se muestran en forma de mapas de isolíneas. Se ha deducido la posición del límite superior de la zona saturada, y se han elaborado mapas de isopiezas para las distintas unidades hidrogeológicas.

Se prestó particular atención a la Laguna de Acequión, antigua zona humeda existente dentro de la zona de estudio, y desaparecida en la actualidad.

Como síntesis de todo ello se ha propuesto un **modelo de funcionamiento hidrogeológico** de la zona estudio. Se han elaborado también gráficos comparativos de precipitación y acumulación de dobles masas de precipitación; también precipitación aportaciones del río Lezuza en Tiriez.

Con objeto de verificar el modelo de funcionamiento hidrogeológico, se ha discretizado un perfil, y se ha modelizado de una manera preliminar, utilizando una versión del código PRICKETT Y LONQUIST, modelo de diferencial finitas (capítulo n.3). El código ha sido modificado por Cruces de Abia (1994), para modelización de perfiles, y utilizando malla variable.

Las principales características del modelo utilizado son:

1.- Versión para malla variable.

2.- Limitado prácticamente a condiciones estacionarias.

3.- Hay dos posibilidades para la condición de contorno en la parte superior del perfil:

3a.- Se fija un caudal de recarga, y con el modelo se calcula la posición de la superficie libre.

3b.- Se fija la superficie libre y el modelo estima la recarga.

4.- Admite anisotropía.

5.- Calcula los caudales nudo a nudo.

6.- Calcula los caudales que circulan por secciones verticales del acuífero, columna a columna.

7.- El formato de entrada de datos ha sido modificado, así como las opciones de salida de resultados.

La segunda fase del estudio y quizás la parte más importante del trabajo realizado ha consistido en **el estudio de la recarga natural**. Una vez determinado y verificado el funcionamiento hidrogeológico, se ha desarrollado un estudio experimental, focalizado ya en pequeñas parcelas experimentales representativas de la zona de estudio.

Para su desarrollo, se realizó en **primer lugar** un amplia recopilación bibliográfica, relativa a las teorías del movimiento del agua en la zona no saturada (Capítulo n.4), así como a la instrumentación existente hasta este momento para medir los distintos parámetros que controlan el flujo de agua «in situ» (Capítulo 5).

En segundo lugar, se diseño el estudio experimental que se iba a desarrollar (capítulo 6), aspecto que consistió en:

- Selección de las parcelas experimentales (ver fig.6.1). Se seleccionaron seis parcelas denominadas Acequión (suelo desnudo), Las Tiesas y BX6 (regadío), Algibarro, BX8, y BX2 (secano).

- Selección de la instrumentación, de acuerdo con los objetivos propuestos y los condicionantes económicos existentes.

- Calibración de bloques de yeso.

- Para medir succión se han utilizado bloques de yesos y tensiómetros transductores. Los primeros se instalaron en las parcelas de Acequión y Las Tiesas, mientras que los segundos en las denominadas BX2, BX6 y BX8.

Los bloques de yeso se instalaron a 50, 100, 150, 200, 250, 300, y 420 cm en Acequión y a 40, 70, 95, 115 y 150 cm en la parcela de Las Tiesas. (ver fig.6.2 y 6.3)

Los tensiómetros transductores se conectaron a un sistema automático de adquisición de medidas. En BX2 y BX6 se instalaron sendas baterías de tensiómetros a 20, 40, 60, 100, 150, 200 y 300 cm de profundidad. (ver fig.6.17 y 6.18).

En BX8 se instalaron bloques de yeso y tensiómetros transductores hasta 11.65 m de profundidad, utilizando un tensiómetro de recientemente diseñado por el IH, denominado «tensiómetro de sondeo» (ver fig.6.10 a 6.14). Los tensiómetros se instalaron a 11.65, 10.65, 9.65, 8.65, 7.65, 6.65, 5.65, 4.65, 3.65 y 2.65 m. Los bloques de yeso a 11.65, 10.65, 9.65, 8.65, 5.65, 4.65, 3.65 y 2.65 m

- En las parcelas de Acequión y Las Tiesas el contenido de humedad se ha determinado utilizando las medidas proporcionadas por los bloques de yeso. Los bloques han sido empleados para medir succión; no obstante, mediante las curvas de retención de los bloques (determinadas en laboratorio), se ha podido obtener para cada succión el contenido de humedad. Alternativamente se han tomado muestras inalteradas para medir el contenido de humedad por gravimetría y poder disponer de material para realizar las curvas de retención de los suelos.

- En las parcelas BX2, BX6 y BX8 para medir contenido de humedad se perforaron tres tubos de acceso para sonda de neutrones hasta 560, 920 y 920 cm de profundidad respectivamente.

- En la parcela de Algibarro, se midió el contenido de humedad en muestras inalteradas. La succión se determinó utilizando las curvas de retención.

- Se perforó un sondeo geotécnico de 14 m de profundidad en la parcela BX8 con objeto de tomar al menos en un punto muestras no alteradas hasta el límite superior de la zona saturada. Esto nos ha permitido obtener el contenido volumétrico de humedad, conductividad hidráulica saturada y curvas de retención hasta casi 12 m de profundidad. La perforación fue llevada a cabo con máquinas y personal de la finca agrícola «Las Tiesas», finca que gestiona la Diputación de Albacete, a través del organismo «ITAP» (Instituto Técnico Agrícola Provincial). En este sondeo y con posterioridad se instaló el tensiómetro de sondeo, anteriormente mencionado. (ver fig.6.19).

- Se instaló también un transductor de presión en el piezómetro 765/6/12, junto a las parcelas BX2 y BX6, para estudiar las oscilaciones de nivel piezométrico.

- Se han realizado las curvas de retención de los suelos (utilizadas en los cálculos de caudales), mediante diversos métodos (métodos del papel de filtro, Cámara de Richards, control de la succión mediante una solución salina). Se han calibrado los bloques de yeso con la técnica del papel de filtro. Parte de estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Se realizaron las curvas de retención de muestras representativas de suelos en las parcelas de Acequión, Las Tiesas, Algibarro y BX8. Para las parcelas BX2 y BX6 se utilizaron las curvas obtenidas en BX8, debida a la semejanza litológica de sus perfiles.

- Las determinaciones de la conductividad hidráulica saturada se han llevado a cabo en el laboratorio del CEDEX. La conductividad hidráulica no saturada se ha determinado mediante el modelo semiempírico, de van Genuchten (1978). Por último se ha interpretado los resultados obtenidos de la forma lo más coherente posible (Capítulo 7).

- Las medidas experimentales con bloques de yeso en la parcelas de Las Tiesas y Acequión se inician en febrero de 1993. Las medidas con sonda de neutrones y tensiómetros transductores se inician en octubre de 1994, no obstante un mal funcionamiento de los transductores hace que los primeros datos coherentes se tomen en febrero de 1995.

- La toma de muestras inalteradas se inicia ya durante el desarrollo del estudio hidrogeológico convencional, a finales de 1991.

- Los datos de precipitación utilizados, (ver

fig.6.1), para la parcela de Acequión, provienen de un pluviómetro instalado a unos 1000 m de la misma. Para las demás parcelas y hasta 1994, se han utilizado los datos de la estación meteorológica automática perteneciente a la finca de Las Tiesas. En 1994, el IDR de Albacete instala una estación meteorológica automática de referencia a unos 200 m de la parcela BX8. Como consecuencia la estación de Las Tiesas es desmontada. Con motivo de este estudio, se instala adicionalmente un pluviógrafo en BX6, conectado al sistema automático de adquisición de datos.

8.2 RESUMEN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

8.2.1 PRIMERA FASE: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

8.2.1.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

- Dentro de la zona de estudio se han podido reconocer las siguientes unidades hidrogeológicas (ver fig.2.2 y 2.6):

Calizas del Lías Inferior (0). Su distribución espacial no ha podido ser bien determinada debido a la carencia de datos.

Calizas del Lías Superior y Dogger (2). Se han detectado muy fracturadas prácticamente en toda la zona de estudio. En el cuadrante suroriental, se encuentran a gran profundidad y no se ha localizado ningún sondeo suficientemente profundo que haya alcanzado la unidad.

Arenas y calizas del Cretácico (3 y 4). Esta unidad se encuentra prácticamente circunscrita al cuadrante suroriental de la zona de estudio. Aparecen retazos de la misma en otros lugares, de forma muy localizada. En contacto directo con las calizas del Lías Superior-Dogger, en cualquier lugar donde aparece.

Calizas del Neógeno, Plioceno Inferior, (Formación Calizas del Río Júcar). Su existencia parece limitada a la parte septentrional de la zona de estudio.

Existe una serie de unidades acuíferas superficiales, Plioceno Superior y Cuaternario que aparecen muy localizadas, y cuyas aguas son extraídas por los pozos excavados de escasa profundidad.

- El sistema está constituido por tres grandes unidades acuíferas que se superponen -Unidades jurásicas, del Lías, (0) y (2), unidad cretácica (3) y (4), unidad calcárea del Plioceno Inferior (5)- y algunas unidades acuíferas locales neógenas y cuaternarias. Las relaciones espaciales de las unidades mesozoicas se ha sintetizado en la figura 2.6. Las unidades cretácica y jurásica entran en contacto por medio de fallas que fracturan el basamento. La unidad calcárea del Neógeno (5), no entra en contacto en ningún momento con las unidades mesozoicas y se encuentra separada de las mismas por un paquete arcilloso también neógeno y de potencia variable.

- Las unidades mesozoicas se encuentran fracturadas en bloques (fig.2.6). La existencia de un gran bloque hundido en la parte suroriental de la zona de estudio es el motivo por el cual se ha conservado una sección completa de Cretácico. Por el contrario, en los bloques levantados esta unidad ha sido erosionada, y sólo aparecen pequeños vestigios de la misma.

Debido a la tectónica de las unidades mesozoicas, la cota a las que aparecen techo y muro de las unidades es muy variable, así como sus espesores en cada punto. Los espesores aparentes de las distintas unidades son entre 30 y 50 m, para las calizas del Lías Superior-Dogger (2) y unos 100 m para todo el Cretácico (3 y 4). Las calizas del Neógeno (5), presentan unos espesores de unos 40 m.

- El cuadrante suroccidental de la zona de estudio debido a esta tectónica en bloques, parece funcionar de forma relativamente independiente y se observan niveles piezométricos superiores al resto del área de estudio (ver fig.2.16 y 2.17). Aparecen exclusivamente las unidades acuíferas del Jurásico Inferior (0) y Superior (1) y parece muy claro que las calizas del Lías Superior-Dogger (2), se encuentran desconectadas debido a la existencia de una serie de fallas que sellan lateralmente este bloque. Aunque existe gran escasez de datos, parece que la unidad del Lías Inferior (1), se encuentra también desconectada en este bloque.

- En conjunto se pueden observar dos niveles diferentes, aspecto que parece manifiesto en el perfil hidrogeológico realizado (fig.2.7). Uno que corresponde a pozos con profundidad menor de unos 40 m. Otro inferior, que corresponde a los pozos más profundos, con 100 ó más metros de perforación. De acuerdo con la interpretación dada al perfil de la fig.2.7, esta variación de niveles, unida a los datos geológicos obtenidos de las columnas de los sondeos, parece indicar que: 1) Se trata de una zona de recarga, en la que el flujo general es descendente, ya que los niveles descienden, a medida que se atraviesan unidades más profundas; 2) el sistema está formado por un conjunto de capas de elevada permeabilidad, predominantemente calcáreas (Unidades 0, 2, 4 y 5), separadas por materiales de tipo arcilloso. Junto a este flujo vertical, existe también un flujo horizontal dirigido al norte, hacia el río Júcar. En resumen, los gradientes piezométricos entre puntos situados en una misma formación permeable son pequeños y decrecen hacia el Júcar, zona de descarga regional, pero también hay cierto flujo descendente, desde la unidad acuífera superior, (5), que recibe la recarga del agua de lluvia y de los excedentes de riego, hacia las unidades inferiores.

Es previsible que el nivel superior corresponda al límite superior de la zona saturada, marcado por pozos que apenas penetran un par de metros en el acuífero. Parece que los pozos excavados atraviesan unidades acuíferas muy superficiales y aisladas de las grandes unidades acuíferas por unidades muy arcillosas. La existencia de niveles diferentes en el acuífero parece venir

precisamente justificada por esta alternancia de unidades de distinta permeabilidad. Parece razonable el suponer que las zonas menos permeables presenten gradientes muy fuertes, lo que supone variaciones piezométricas también grandes. Las zonas más permeables, presentaran gradientes pequeños y por tanto piezometría menos variable. No parece necesario recurrir a la existencia de dos acuíferos para explicar la existencia de dos niveles tan marcadamente diferentes.

8.2.1.2 LÍMITE SUPERIOR DE LA ZONA SATURADA Y PIEZOMETRÍA

En estado de escasa alteración:

- El límite superior de la zona saturada, (fig.2.8), se encontraba próximo a la superficie del terreno, (que se encuentra comprendido entre cota 690 y 700 m.s.n.m), en las inmediaciones del Río Lezuza y previsiblemente en parte debido a su completa infiltración. En el NE de la zona de estudio el límite superior se encontraba a mayor profundidad.

Parece posible que la zona encharcable de los alrededores de Albacete, debiera su existencia en parte a las pérdidas de agua que sufría el Lezuza hasta su total infiltración en las inmediaciones de la Casa Capitán. Provocaba una elevación del límite superior de la zona saturada, hasta tal punto que a veces se encontraban por encima de la superficie topográfica, con la consiguiente formación de la Laguna de Acequión.

- En cuanto a la piezometría, parece que los niveles en las unidades acuíferas del Lías Superior-Dogger (2) y del Neógeno, Plioceno Inferior, (5) eran muy semejantes (ver fig.2.15 y 2.16). Los niveles en el Jurásico son llamativamente altos en la parte suroccidental de la zona de estudio. En esta zona la unidad neógena no se encuentra presente.

Sólo se han encontrado dos sondeos que atraviesan secciones muy completas de Cretácico, y las interpretaciones que se pueden hacer son muy limitadas no obstante parece que los niveles en estos sondeos eran ligeramente inferiores a los niveles de las unidades jurásica y neógena.

Dado que existe una cierta semejanza de niveles en las tres unidades parece que la piezometría de las tres unidades puede ser tratada conjuntamente.

Parece que en estado de escasa afección el flujo era mayoritariamente S-N. Se puede observar una dirección de flujo también W-E, debido a que en la parte occidental de la zona de estudio afloran calizas jurásicas que reciben recarga directamente.

Los niveles eran muy superiores en la parte suroccidental, como ya se ha comentado unas líneas más arriba. Se piensa que en esta zona existe una posible desconexión de un bloque fracturado. Los niveles en este bloque eran próximos 680 m, mientras que en el resto de la zona están comprendidos entre 650 y 660 m.s.n.m.

Ya en la década de los años 70 se pueden apreciar depresiones debidas a bombeos.

En el año 1992

El límite superior de la zona saturada ha descendido en casi toda la zona (ver fig.2.11). Los niveles se siguen manteniendo especialmente altos en torno al río Lezuza. La superficie freática ha descendido casi más de 10 m en algunos puntos, y se encuentran a más de 15 m de la superficie del terreno. Los máximos descensos se han observado en torno al río Lezuza, pudiéndose apreciar como paradójicamente los puntos en los que en 1970 la zona no saturada se encontraba más baja apenas han acusado descenso alguno.

El Río Lezuza hace casi 15 años que está seco en la zona de estudio, pese a ello se sigue apreciando un domo en la superficie piezométrica. Los niveles acusadamente elevados en torno a la zona podrían tener su origen en la infiltración de otro río, muy próximo a la zona de estudio que en la actualidad sigue llevando caudal: «el Río Jardín». Se ha podido constatar que ocasionalmente cuando las precipitaciones son muy abundantes el río Lezuza vuelve a llevar agua. En febrero de 1995, llevaba agua.

A partir de 1979 comienzan a disminuir los niveles de forma muy notoria en las unidades Jurásica (2) y Cretácica (3 y 4), ver fig.2.17 a 2.20. Anteriormente a esta fecha se observan descensos discretos de apenas un par de metros.

A partir de 1979 se aprecian grandes oscilaciones estacionales con mínimos en los meses de verano (junio a octubre), correspondientes a los períodos en los que más se notan los efectos de los riegos. Los máximos corresponden a los meses de marzo y abril. Los descensos acumulados observados en el período 1974-1992 se encuentran comprendidos entre 15 y 20 m.

En algunos registros piezométricos se observa una estabilización de los niveles a partir de 1988; hay que tener en cuenta que la pluviometría en los años 1986-1989 fue algo superior a la media.

En la unidad acuífera del Plioceno Superior (5) (fig.2.21 y 2.22), se observa como los descensos parecen ser discretos hasta finales de 1981. A partir de entonces se produce una evolución muy semejante a la ya comentada en los piezómetros de las unidades Jurásica y Cretácica. En 1992 parece que se produce una recuperación de los niveles, probablemente debida a una pluviometría superior a la habitual que se registra en 1992 (superior a 500 mm)

8.2.1.3 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

- El modelo supuesto presupone que existe una cierta conexión entre las distintas formaciones acuíferas, a través de los acuitardos que separan unidades.

En régimen natural

- Antes del comienzo de los bombeos todo el conjunto se encontró saturado hasta casi la superficie del terreno (ver fig.2.23). En algunos puntos, como la Laguna del Acequión, la superficie freática se encontraría por encima de la superficie topográfica, con la consiguiente formación de zonas pantanosas. La diferencia de niveles entre sondeos y pozos con distinta profundidad y enrejillados en tramos diferentes, se explica por el sistema de flujo propuesto, que es tridimensional y con componentes generales hacia abajo y hacia la zona de descarga que es el río júcar.

- La zona concreta de estudio, se recargaba por infiltración del agua de lluvia, y por la infiltración de los ríos Lezuza y Jardín. También recibía cierta recarga lateral desde el sur y desde los acuíferos colindantes. La descarga local se efectuaba en las zonas encharcables próximas a la ciudad de Albacete. Además existía y existe un flujo dentro de la zona de estudio S-N, es decir hacia el Júcar.

- Las unidades acuíferas profundas se recargan desde las unidades acuíferas superficiales, a través del agua que circula con una fuerte componente vertical a través de los materiales semipermeables o acuitardos que individualizan las distintas unidades acuíferas. La recarga proviene también de precipitación directa de la lluvia en las calizas Jurásicas que afloran al W de la zona de estudio. Cabe la posibilidad de que la recarga de estas calizas venga de áreas muy alejadas, e incluso desde algún acuífero vecino.

- Así pues, en resumen, dentro de la zona de estudio, el agua subterránea, fluye esencialmente a través de las formaciones más permeables (unidades acuíferas, 0,2,3,4 y 5), con una velocidad de componente principalmente horizontal. La recarga a otras unidades acuíferas, procede fundamentalmente de dos orígenes; 1) la infiltración del agua de lluvia, los excedentes de riego y de los ríos Lezuza y Jardín, que llega desde la superficie a través de los materiales acuitardos; 2) por flujo lateral de las mismas formas acuíferas, en sus bordes oeste y sur. La descarga del acuífero se realizaba por evapotranspiración en las zonas encharcadas, y en parte por el flujo en los bordes N y E, hacia el Júcar.

En la actualidad

- La unidad acuífera superior (5), se recarga principalmente por la infiltración del agua de lluvia, ya que el río Lezuza desaparece antes de llegar a la zona de estudio. No obstante, el río Jardín sigue infiltrándose en zonas muy próximas. Presumiblemente debido a los bombeos ha descendido el límite superior de la zona saturada por lo que las zonas antes encharcables, incluida la laguna del Acequión han desaparecido.

- Las unidades acuíferas profundas continúan recargándose a través de las capas semipermeables, que las separan de las unidades acuíferas superficiales. Posiblemente debido a los bombeos este flujo semi-vertical se habrá incrementado considerablemente. La recarga continúa produciéndose en el acuífero del Lías Superior-Dogger (2), por la infiltración de la lluvia en los puntos donde aflora. Los niveles han descendido considerablemente, unos 20 m y las direcciones de flujo se hallan condicionadas por los bombeos que distorsionan la forma de las isopiezas.

La desaparición de las zonas húmedas y el descenso de niveles observado se debería a los factores ya mencionados: la desaparición del río Lezuza y los bombeos de aguas subterráneas que se vienen efectuando desde finales de la década de los años 70.

- Se han realizado unas estimaciones del agua extraída dentro de la zona de estudio de 100 km^2, desde 1974 hasta 1992. De una manera aproximada se ha obtenido que los consumos rondaron los 200 hm^3.

Si se considera que la recarga media ronda 50 mm año, (unos 5 hm^3/año para una superficie de 10000 ha), la recarga total en el período 1972-1992 ha sido de unos 100 hm^3. Esto significa que han sido extraídos del acuífero dos veces la recarga habida para un período de 18 años. Merece la pena señalar que en la actualidad se extrae en esta zona 4 veces la recarga anual media.

Prácticamente un 70% del volumen de agua extraído hasta la actualidad se ha realizado en los últimos cinco años. Estas cifras deben ser tomadas como valores orientativos

8.2.1.4 MODELIZACIÓN DE UN PERFIL

Con objeto de verificar la coherencia del modelo conceptual propuesto, (ver fig.2.23), se ha realizado un modelo numérico de flujo, cuyas características generales pueden verse en el capítulo 3.

Se trata de un perfil vertical, (fig.2.7), que se considera representativo del flujo en la zona. El modelo es en régimen permanente, y el código utilizado es el Prickett-Lonquist, modificado por Cruces de Abia, 1994.

Este modelo debe considerarse como una primera aproximación, con un valor semi-cuantitativo, ya que la distribución espacial de las permeabilidades, las permeabilidades y los flujos de entrada y salida laterales tienen un elevado nivel de incertidumbre. Como elemento principal para calibrar el modelo se ha utilizado la posición de la superficie freática, y los niveles piezométricos medidos en los pozos.

Los resultados del modelo, expuestos en el capítulo tercero, muestran la coherencia del modelo conceptual propuesto.

- Parece muy posible que los niveles tan altos que se observan en la parte meridional de la zona de estudio, se encuentran en gran parte justificados por la infiltración del agua de lluvia en materiales de baja permeabilidad. Un paquete de alta permeabilidad en la zona norte (la unidad acuífera del Neógeno-Plioceno Inferior, 5), constituye el drenaje natural del acuífero. Este paquete se encuentra en conexión con el río Júcar (ver fig.1.10), por lo que los niveles en la unidad neógena, se verán condicionados por los niveles del río.

- Parece que el río Lezuza contribuye a elevar los niveles en sus inmediaciones, pero parece que más bien de una forma local.

- Parece que los bombeos de la década de los años setenta producían un escaso efecto tanto en niveles como en caudales, lo que hace pensar que considerar que el acuífero se encontraba en régimen inalterado.

- Como cabía suponer el flujo es predominantemente vertical en las unidades semipermeables. En las unidades acuíferas el flujo es predominantemente horizontal. La dirección de flujo mayoritaria es sur-norte.

- La diferencia de permeabilidad entre las unidades acuíferas y el semipermeable justifica la existencia de fuertes gradientes verticales. No tiene nada de particular el que sondeos vecinos y pozos excavados marquen unos niveles completamente diferentes, dependiendo de si atraviesan unidades acuíferas o materiales semipermeables.

8.2.2 SEGUNDA FASE: ESTUDIO DE RECARGA

8.2.2.1 PRECIPITACIONES Y RIEGOS

- En la figura 1.3, se puede observar el gráfico de desviaciones acumuladas para una serie de 125 años, para la estación de Albacete Instituto. La pendiente negativa que puede apreciarse a partir de 1993 muestra que el período a lo largo del cual se ha llevado a cabo el estudio, es un período seco en el que la precipitación es inferior a la media.

- La precipitación en los pluviómetros y pluviógrafos estudiados, se distribuye irregularmente en una serie de chaparrones, que se producen a lo largo de cualquier época del año, excepto julio y agosto, que son los meses más secos del año. Las precipitación totales que se registran son entre un 10% y un 18% inferiores en las estaciones de Las Tiesas que las registradas en la estación de Acequión. Así pues las precipitaciones totales registradas para los años 1993 y 1994, en la estación de Acequión fueron respectivamente 379 y 241 mm, mientras que para la de las Tiesas (e IDR), fueron de 346 y 198 mm. Mientras que el año 1993, se podría considerar como un año medio, (media de las precipitaciones 350 mm/año), el año 1994 es un año claramente seco.

- Se instaló un pluviógrafo en la parcela BX6 para medir los riegos y precipitaciones conjuntamente. La discrepancia en los resultados obtenidos entre el pluviógrafo y la estación meteorológica, nos hace pensar en un mal funcionamiento de dicho pluviógrafo. Se instaló entre las plantas de girasol, por lo que parece que estas puedan haber interceptado parte de la lluvia y riegos.

- En cuanto a los riegos: de todas las parcelas experimentales estudiadas, sólo dos están situada en regadío, BX6, y Las Tiesas, mediante un pivot. Las parcelas BX2, BX8, y Algibarro se localizan en terrenos destinados a cultivos de secano. La parcela de Acequión, situada en suelo desnudo, no obstante, fue sembrada con girasol y regada el año 1994. El riego, (mediante aspersores), en la parcela de Acequión, fue un riego de nascencia, consistente en unos 50 mm de agua dosificado en tres días diferentes.

- La parcela BX6 estuvo sembrada con maíz dulce desde julio de 1994, hasta finales de septiembre de 1994, y desde mayo de 1995, hasta finales de agosto de 1995. El riego se efectúa con un pivot, y la dosis empleada según el encargado de riegos fue de 4930 m^3/ha (493 mm) en 1994 y 5821 m^3/ha (582 mm) en 1995.

8.2.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS ANÁLISIS EN LABORATORIO

- La calibración de los bloques de yeso, (ver fig.6.21 y 6.22), efectuada con el método del papel de filtro, parece haber mostrado resultados satisfactorios. Como ya se ha comentado, es deseable una calibración individual de cada bloque, procedimiento que por limitaciones instrumentales no pudo ser llevado a cabo.

La calibración realizada mediante el control de la solución salina mostró resultados aceptables, no obstante un inadecuado control de la temperatura, (debido a la carencia de medios instrumentales adecuados), hace que los valores obtenidos con esta técnica se hayan considerados como orientativos.

- Las curvas de retención han sido obtenidas con tres procedimientos diferentes, método del papel de filtro, Cámara de Richards y Método de Clapp y Hornberger. Se concluye que las más adecuadas han resultado las obtenidas con el método del papel de filtro. Las curvas de retención obtenidas en cámara de Richards muestran casi todas unos valores de α muy bajos, que implican unos valores de entrada de aire próximos a la decena de cm. Teniendo en cuenta que el casi 100% de las muestras tomadas son arcillosas parece que este procedimiento no proporciona buenos resultados. La explicación más plausible, es que sean necesarios tiempos de estancia en la Cámara muy superiores a los utilizados. En cuanto al método de Clapp y Hornberger, cabe decir que es algo inexacto, y que proporciona una cierta idea de la curva de retención. El tramo que peor resuelve es el primero, y hay que tener en cuanta que en las succiones más bajas es en las que se produce el movimiento del agua.

- Las curvas de retención determinadas por el CEDEX para la parcela experimental BX8, controlando

la succión mediante una solución de NaCl, han sido satisfactorias, mostrando valores de entrada de aire razonables, quizás excesivamente altos, comprendidos entre 500 y 5000 cm.

8.2.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA DE ACEQUIÓN

En la parcela de Acequión, el límite superior de la zona saturada se encuentra situado a unos 5 m de la superficie del terreno. Las lluvias registradas desde febrero de 1993, fecha en la que se comienzan las mediciones, apenas logran penetrar más de 2 m, ver fig.7.29 a 7.31. El flujo se mantienen ascendente desde los 200 cm de profundidad prácticamente todo el período a lo largo del cual se han tomado medidas. Se ha detectado la presencia de un PFN divergente en profundidad, y cuya posición varía dependiendo de la época del año. El frente de evaporación en verano puede llegar a alcanzar más de 3 metros de profundidad, pudiéndose llega a evaporar agua directamente desde la superficie libre.

Los potenciales totales registrados se mantienen todo el año comprendidos entre -2000 cm y -20000 cm, con algunas excepciones, ver fig.7.14.

Sólo se registran dos episodios de recarga, el primero debido a los riegos que se aplicaron en julio de 1994, y el segundo debido a una tormenta registrada en agosto de 1995, de 54 mm.

Se calculó el caudal, (ver apartado 7.2.6.5.), que circuló por la parte inferior del perfil a 275cm de profundidad, los años 1993, 1994, y hasta septiembre de 1995. Los resultados obtenidos muestran que la recarga fue igual a 2 mm en 1993, 40 mm en 1994 y de 10 mm hasta septiembre de 1995. La recarga en 1993 supone un 0.6% de la precipitación, un 16% (incluyendo los riegos) para 1994, y un 11% de la registrada hasta septiembre de 1995.

8.2.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA DE LAS TIESAS

En esta parcela el límite superior de la zona saturada se encuentra a unos 11 m de la superficie del terreno, no pudiéndose precisar su situación con total exactitud. El flujo ha sido ascendente en todo el perfil instrumentado, de 150 cm de profundidad y durante el período de medidas desde febrero de 1993, hasta septiembre de 1995. No se ha podido determinar la posición del PFN divergente, por encontrarse a mayor profundidad, que la del último sensor instalado. Sólo en dos momentos se ha podido observar el PFN divergente, (fig.7.38), correspondiendo a los períodos de riegos. Las lluvias apenas logran penetrar más de 115 cm de profundidad (ver fig.7.39 a 7.41).

El potencial total es inferior a los -5000 cm en casi todas las secciones del perfil, y con excepción de los puntuales momentos de riego.

La recarga parece haber sido prácticamente nula; no obstante, la carencia de sensores instalados por debajo del plano de flujo nulo divergente imposibilita comprobar este extremo. Se han realizado cálculos de flujo por debajo del PFN divergente en los únicos momentos en los que se ha observado dicho plano. El caudal registrado oscila entre 0.003 y 0.007 mm/día. Un caudal de estas características supondría una recarga de 1 ó 2 mm/año. No obstante, no puede considerarse que este caudal constituya recarga, ya que tras el período de riegos, el PFN divergente se coloca a gran profundidad pudiendo ascender de nuevo este caudal cuya dirección de flujo era descendente.

8.2.2.5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA BX6

En esta parcela los potenciales totales registrados se encuentran por encima de los -800 cm (ver fig.742 a y b). Se distinguen dos períodos muy marcados. El primero con flujo ascendente por encima de los 200 cm de profundidad. El segundo, debido a los riegos, con flujo mayoritariamente descendente en todo el perfil.

Se observan ciertas discrepancias durante la temporada en que no riegan, entre las medidas efectuadas con sonda de neutrones y las medidas tensiométricas, ver figura 7.44 y tabla 7.11. Así pues mientras que los tensiómetros muestran desecación progresiva, el contenido de humedad aumenta. Cuando la entrada de agua es abundante, parece que existe una mayor coherencia en los resultados.

Los cálculos de flujo realizados, ver apartado 7.4.3.3, muestran que la recarga total desde el 2 de febrero de 1994 hasta el 6 de septiembre se encuentra comprendida entre 14 y 28 mm. Si las precipitaciones y los riegos fueron igual a 686 mm, parece que la recarga para esas fechas se encuentra comprendida entre el 2 y el 4% de las entradas de agua.

8.2.2.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA BX2

En la parcela BX2 los potenciales totales medidos se encuentran casi fuera del rango del funcionamiento de un tensiómetro. Obsérvese en la figura 7.59 como casi todos los sensores se aproximan a -800 cm, especialmente los más superficiales. Los dos más profundos pueden haber funcionado correctamente, en algunos momentos, no obstante el comportamiento que muestran incluso estos últimos es incoherente. En el perfil de la figura 7.61 se puede observar que existe un PFN divergente a 200 cm de profundidad y por tanto como la sección localizada a 200 cm pierde humedad, sin embargo el potencial aumenta de forma contínua.

Se han observado entradas de agua en el perfil; no obstante, dichas entradas parecen haber afectado a los 150 primeros cm del perfil (ver fig.7.65). El contenido de humedad se mantiene bajo y casi a contenido de humedad residual.

Debido a la carencia de unos datos tensiométricos fiables no se han podido realizar estimaciones del flujo en esta parcela experimental.

8.2.2.7 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA BX8

En la parcela BX8 los datos de potencial se han medido conjuntamente con bloques de yeso y tensiómetros hasta 11.65 m de profundidad (ver fig.7.69, 7.70 y 7.72). Los tensiómetros superficiales no han funcionado adecuadamente en ningún momento. Los más profundos situados a 10.65, 9.65 y 8.65 m han funcionadobien hasta junio de 1995. Los bloques han funcionado adecuadamente, aunque tampoco todos, como los situados a 2.65 y a 6.65 m. El bloque y tensiómetro situados a 11.65 m, no funcionaron en ningún momento. El potencial total en profundidad se mantiene relativamente constante con pocas variaciones. Se pueden observar algunas bruscas oscilaciones, que pueden estar en relación con cambios súbitos de presión atmosférica (ver fig.7.71).

Se ha realizado un perfil conjunto, utilizando los datos de bloques y tensiómetros, que muestra la evolución del potencial total a lo largo de casi 12 m, ver fig.7.73. Puede verse como de acuerdo con el mismo, existe un PFN divergente localizado a unos 6 m de profundidad, indicando que pudiera estar produciéndose ascenso de agua desde esa profundidad.

Se han observado aumentos del contenido de humedad no justificables con la pluviometría, ver apartado 7.6.5.

Se ha medido el flujo que atraviesa dos secciones en la parte inferior del perfil, a 915 y 1015 cm. De acuerdo con los resultados obtenidos la recarga se encontraría comprendida entre 2 y 38 mm para el período 2/2 al 6/6 de 1995. La pluviometría registrada para ese período fue igual a 23.2 mm. Puede verse como no existe una relación directa entre la lluvia y el caudal de recarga.

Los tiempos de tránsito calculados para este perfil, suponiendo que fuera homogéneo se han estimado como comprendidos entre 38 y 500 años. Estos datos resultan coherentes con los obtenidos por otros autores en un modelo de flujo no saturado, que se ha realizado para este mismo perfil de suelo.

8.2.2.8 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARCELA DE ALGIBARRO

Los resultados obtenidos en esta parcela son más limitados que los obtenidos en las demás, ya que provienen exclusivamente de la toma de muestras inalteradas esporádicamente durante 1991 y 1992 principalmente. Se tomaron con posterioridad algunas muestras, pero debido a los problemas que surgieron durante el proceso de extracción de las muestras los resultados obtenidos son poco concluyentes.

En esta parcela se localiza un PFN divergente en febrero de 1992 a unos 60 cm, ver fig.7.83. Este plano se mantiene a esa profundidad hasta mayo. Resulta muy posible que tras el verano y otoño, de 1992, este plano, también con oscilaciones, se sitúe más o menos estable a 150 cm de profundidad.

Se han medido los caudales que circulan en distintas secciones del perfil en dos fechas concretas, 16 de febrero de 1992 y 25 de abril del mismo año. El caudal que circula por la parte media del perfil, es superior a la que circula por la parte inferior, tanto el 16/2/92, como el 3/5/92. El caudal que entre por la parte superior del perfil oscila entre 0.0003 mm/día y 0.05 mm/día por la parte superior del perfil Considerando que el caudal máximo es extensible a los 77 días que transcurren entre ambas fechas, habrían entrado 3.54 mm por la parte baja del perfil. Por la parte inferior del perfil salen entre 0.1 mm/día y 0.04 mm/día.

Parece pues que el caudal que entra por la parte superior del perfil es inferior al caudal que sale, lo que implica un decrecimiento en el contenido de humedad del perfil, contrario al fenómeno observado, (ver fig.7.84). No obstante, la distancia temporal entre ambas tandas de muestras hace muy difícil que puedan extraerse conclusiones de este tipo.

8.3 CONCLUSIONES

1. En la zona de estudio aparecen cuatro grandes unidades acuíferas; Calizas del Lías Inferior (0), Calizas de Lías Superior-Dogger, Calizas y Areniscas del Cretácico (3 y 4), y Calizas del Plioceno Superior (5), separadas unas de otras por acuitardos. El funcionamiento hidrogeológico es complejo, debido a la existencia de fallas que fracturan las unidades acuíferas del mesozoico, originando que exista un bloque más o menos desconectado en la parte suroccidental de la zona de estudio (ver fig.2.6).

2. La zona de trabajo es una zona de recarga del sistema acuífero n.18. Al ser zona de recarga, el flujo tiene una fuerte componente vertical descendente especialmente en las unidades semipermeables y debido a ello existen fuertes gradientes verticales. En las unidades permeables, la principal componente es la horizontal. No es necesario suponer la existencia de dos acuíferos para explicar el funcionamiento hidrogeológico.

3. Los bombeos de aguas subterráneas en la zona de estudio podrían haber sido de unos 200 hm^3 en los últimos 20 años. Como resultado el límite superior de la zona saturada ha descendido casi 10 m en algunos puntos. Los niveles piezométricos han descendido entre 15 y 20 m. El resultado es que la Laguna de Acequión ha desaparecido. Parte de los descensos pueden ser debidos a la sequía registrada en los últimos años.

4. En las figuras 2.7, 2.9, y 2.20 se puede observar que el límite superior de la zona saturada está más próximo a la superficie, en la zona meridional del cuadrante estudiado. Esto se debe principalmente a la menor permeabilidad de los materiales geológicos subyacentes en dicha zona, y también a la «llamada» del río Júcar, situado al norte del cuadrado de estudio, en el que descarga la unidad del Neógeno-Plioceno Superior (5).

5. INSTRUMENTACIÓN

Las principales conclusiones en cuanto técnicas e instrumentación utilizadas, son las siguientes:

5.1 Los bloques de yeso han resultado ser más adecuados para medir succión que los tensiómetros en zonas semiáridas como la de estudio. Los rangos de succión medidos se encuentran dentro del rango de un bloque más que de un tensiómetro. Por el contrario, en las zonas regadas el mejor resultado lo han proporcionado los tensiómetros.

5.2 Las medidas efectuadas con sonda de neutrones han resultado bastante satisfactorias, ya que los resultados obtenidos resultan verosímiles.

5.3 Las curvas de retención obtenidas con el método del papel de filtro, y controlando el potencial total con una solución salina, resultan verosímiles. Se ha visto que mejoraría la calidad de las mismas, especialmente para muestras arcillosas, el cálculo de volumen de la muestra para cada uno de los puntos en los que se mida la succión. Por el contrario, las obtenidas con Cámara de Richards, no han resultado del todo adecuadas. Presentan unos valores de entrada de aire rondando la decena de centímetros, algo inadecuados para muestras arcillosas. Esto puede ser debido a varios factores, tales como una estancia en el interior de la cámara, (una semana,) insuficiente para que se alcance el equilibrio y la escasez de puntos de medida.

5.4 Los tensiómetros transductores han funcionado muy satisfactoriamente en la parcela regada. Muestran una serie de oscilaciones cíclicas cuya amplitud depende de las diferencias entre las temperaturas nocturna y diurna. Cuando se rellenan los tensiómetros la amplitud de las oscilaciones es muy marcada. Se han observado algunos picos de una amplitud mayor que la diaria (ver fig.7.71), cuya existencia pueda ser debida a algún cambio de presión atmosférico brusco.

5.5 La medida de humedad del suelo estimada a través de la medida de succión de los bloques de yeso, (utilizando la curva de retención del propio bloque y del suelo), proporcionan valores de humedad casi un 50% inferiores a los valores reales, medidos con gravimetría.

5.6 El tensiómetro de sondeo utilizado para medir succión a profundidades de hasta 12 m, no ha producido resultados del todo satisfactorios, ya que los tensiómetros han funcionado unos pocos meses y sólo los de la parte inferior del perfil (ver apartado 7.6.4.1). Su funcionamiento pude ser cuestionado desde tres puntos de vista; el primero la imposibilidad material que existe de rellenar las cápsulas; el segundo es que no se consigue un buen contacto con el suelo, por lo que terminan vaciándose; por último, las juntas de los cables y los sensores no se encuentran suficientemente aislados, de tal forma que cuando el suelo está saturado los sensores no funcionan.

5.7 El método del PFN no ha resultado adecuado para determinar la recarga en la zona de estudio. En zonas áridas se tiene prácticamente siempre un perfil de evaporación y el plano de flujo nulo aparece en momentos muy puntaules, después de chaparrones.

5.8 Los tensiómetros con manómetro de espiral, han funcionado ocasionalmente en periodos dispersos, lo que dificulta su seguimiento contínuo e imposibilita la realización de cálculos sistemáticos. Esto es debido a que los tensiómetros instalados eran superficiales y las medidas de potencial medidas por el manómetro superaban casi siempre los -800 cm de columna de agua, límite de funcionamiento de un tensiómetro.

6. PARÁMETROS HIDRÁULICOS.

Se ha conseguido una caracterización aceptable de los parámetros hidráulicos de los diferentes tipos de terreno de la zona. Para los parámetros (alfa y N) de van Genuchten (1978), se han tomado exclusivamente los resultados obtenidos con la técnica del papel de filtro.

Los materiales de las parcelas BX8, BX2, BX6, Las Tiesas y Algibarro son muy semejantes y sus propiedades hidráulicas son las siguientes. Son materiales de naturaleza margosa en su mayor parte. La conductividad hidráulica saturada parece que podría oscilar entre 5 cm/día, en los materiales superficiales y 0.1 cm/día en profundidad (ver tabla 7.14); la densidad seca se encuentra comprendida entre 1.43 gr/cm^3 en profundidad y 1.69 gr/cm^3 en superficie; el contenido de humedad a saturación de las muestras, oscila entre 0.48 y 0.28, y el contenido residual de humedad entre 0 y 0.26 en contenido volumétrico. El parámetro de van Genuchten (1978) alfa oscila entre 0.00018 y 0.03, y el parámetro N entre 1.33 y 1.08.

Los materiales de la parcela de Acequión son muy diferentes a los de las demás, ya que se trata de un fondo de laguna. Según la clasificación de la ISSS, los materiales se clasifican como arcillas y limos en su mayor parte. Los limos superficiales presentan unos contenidos de humedad a saturación que oscila entre 0.67 y 0.35; la humedad residual se encuentra comprendida entre 0.03 y 0 en contenido volumétrico. El parámetro alfa se aproxima a 0.11 y N a 1.2. Las arcilla más profundas presentan valores de humedad a saturación y residual alrededor de 0.53 para la primera y 0.35 para la segunda. El parámetro de van Genucthen (1978), alfa, se encuentra comprendido entre 0.0007 y 0.11, N se encuentra dentro del rango 1.37 y 1.10. La conductividad hidráulica saturada para la parte superficial se ha estimado como próxima a 4 cm/día.

7. ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE LA RECARGA.

Con base en las medidas experimentales y aplicando el método de cálculo descrito en el apartado 7.2.6.5, hemos obtenido los siguientes valores de recarga anual en los años que se indican en cada caso.

7.1) Parcela de Acequión. Suelo desnudo en 1993 y 1995. Plantado con girasol en 1994.

AÑO 1993: 2 mm
AÑO 1994: 40 mm
AÑO 1994: 9 mm

7.2) Parcela de Las Tiesas. Parcela regada. Flujo completamente ascendente entre 0 y 150 cm de profundidad, en todo el periodo estudiado.

7.3) Parcela BX6. Cultivo en regadío de maíz.

Para el periodo 2/2/95-12/6/95 (en el que todavía no se ha establecido un perfil de drenaje), la recarga se encuentra comprendida entre 4-8 mm. Para el periodo 12/6/95-6/9/95, (en el que ya se ha establecido un perfil completo de drenaje), la recarga se encuentra comprendida entre 10-20 mm. Si se considera que la recarga estimada para el primer periodo (durante el cual prácticamente no riegan nada), es extensible para el resto del año, la recarga se encontraría comprendida entre 20 y 37 mm/año, de los cuales entre 10 y 17 mm corresponderían a la recarga mientras no riegan y entre 10 y 20 mm, correspondería al periodo de riegos.

7.4) Parcela de secano BX8. Para el periodo 2/2/95-6/6/95, los flujos calculados a 10 m de profundidad han sido igual a 2 mm, que correspondería a una recarga de 8 mm/año.

7.5) Parcela de secano BX2. Cultivo de cebada. No se pudieron realizar cálculos. Los potenciales totales medidos son inferiores al rango inferior de medida de un tensiómetro, instrumento utilizado para medir potencial.

Los valores obtenidos parecen coherentes con los obtenidos por otros autores. De estas cifras parece deducirse que en los casos reales la recarga es muy pequeña y casi sólamente se produce recarga por los retornos de riegos o en años especialmente lluviosos.

8. CAMINOS PREFERENCIALES EN LA RECARGA.

De acuerdo con lo que se indica en las secciones 7.4.3.1 y 7.6.5, hay variaciones de humedad en profundidad, que parecen indicar la existencia de caminos preferenciales de la recarga, (grietas raíces.. etc.), pues de otro modo es difícil explicar algunos aumentos de humedad siguiendo un flujo uniforme a través del suelo. No obstante no se ha podido dar una idea cuantitativa del valor relativo de dichos flujos a través de caminos preferenciales. Por otro lado, algunos perfiles reciben aportes horizontales de agua, indicando que no todo el flujo es exclusivamente vertical.

9. PROFUNDIDAD LÍMITE DE LA ACCIÓN EVAPORANTE DE LA ATMÓSFERA.

De acuerdo con lo explicado en los apartados 7.2 y 7.6.7 parece que en ciertas zonas y en el periodo estudiado, los datos expuestos indican que el agua tiene un flujo ascendente que se inicia a profundidad mayor que la de las raíces de las plantas. Puede alcanzar más de tres metros de profundidad, y quizás hasta 6 m. En algunos puntos incluso puede llegar a ascender el agua directamente desde el límite superior de la zona saturada. Estos datos están de acuerdo con los resultados teóricos obtenidos con el modelo REM (ver apartado 6.1).

10. TIEMPO DE TRÁNSITO DE LA RECARGA.

De acuerdo con lo indicado en la sección 7.6.6 las velocidades del flujo de recarga pueden ser muy variables, pero en cualquier caso parecen ser bastante lentas, y probablemente comprendidas entre 2 y 40 mm/año. Es probable que el tiempo medio que transcurre desde que una gota de lluvia se infiltra y llega a la superficie saturada, superior a una profundidad de 10 m puede estar comprendido entre 40 y 500 años. En las zonas de regadío, como es lógico, estas cifras son más pequeñas y se deben fundamentalmente a los excedentes de riego.

11. Cuando el tiempo de tránsito es largo, en perfiles con límite superior de la zona saturada muy profundo, no puede relacionarse la recarga directamente con la cantidad de agua que haya conseguido atravesar la franja sometida a evapotranspiración. No obstante y aunque la gota de agua físicamente tarde muchos años en llegar, las condiciones superficiales son capaces de modificar la distribución del potencial total en el perfil, aumentando el gradiente y por tanto la recarga o viceversa. La recarga que se registra un año en concreto depende en parte de las condiciones climatológicas que se hayan tenido unos pocos años antes.

12. CONCLUSIÓN FINAL.

La cuantificación realizada no permite todavía, dar unos valores absolutos de la recarga natural (procedente de la lluvia), en el acuífero manchego. Ello es debido a varios factores:

- El periodo de especial sequedad en el que se han tomado las medidas experimentales.
- Los problemas tenidos con algunos de los instrumentos empleados.
- Falta de adecuación de los procedimientos experimentales y métodos, a climas áridos o semiáridos.

No obstante la experiencia realizada ha permitido:

- Hacer patente la gran variabilidad de la recarga.
- Obtener unos datos cuantitativos que están de acuerdo con las estimaciones más o menos teóricas de los modelo utilizados.
- Preparar un programa de investigación que

proponga establecer unas parcelas experimentales que se sitúen en varios lugares de La Mancha y permitan centrar este estudio y así llegar al cabo de varios años a definir con mayor precisión la recarga antural en la Cuenca Alta del Guadiana y en el Sistema Acuífero n.18. En este sentido, se prepara a continuación un esbozo de programa de trabajo, ya aplicado a la cuenca hidrográfica del Río Guadiana.

8.3 PERSPECTIVAS DE FUTURO

El estudio que se presenta debe ser considerado como algo inicial para un estudio de mayor amplitud, tanto en lo referido a su desarrollo temporal como a su amplitud.

Debido a la enorme problemática que existe en este momento debido a la excesiva explotación de las aguas subterráneas, parece que sería importante dedicar un gran esfuerzo al estudio de la recarga para mejorar la gestión actual.

Parece que sería decisivo desarrollar los siguientes aspectos:

- Instrumentación con transductores de presión los piezómetros más representativos para poder realizar análisis de registros piezométricos continuos y comparación con los registros pluviográficos continuos.
- Desarrollar un buen estudio de recarga extendido a todo el acuífero para lo que sería importante desarrollar el siguiente trabajo:

1. Identificación de todas la formas de recarga posibles en el acuífero (recarga directa e indirecta), recarga natural, recarga indirecta provinente de la infiltración de ríos y cauces ocasionales, conexión con los acuíferos limítrofes, excesos del regadío.
2. Clasificación de los distintos tipos de suelos existentes y su representatividad (suelo desnudo, cultivado, tipo de cultivo, afloramiento de las unidades acuíferas, etc), y selección de parcelas experimentales representativas, extensibles a todo el acuífero para tratar de cuantificar la recarga natural y la provinente de los retornos de riegos.
3. Instrumentación de las parcelas experimentales con medidores continuos de humedad del suelo y potencial mátrico no sólo en perfiles, sino también en transectos. Sería necesario disponer de medidas tanto en períodos secos como períodos húmedos, por lo que se requerirían muchos años para disponer de una buena estimación de la recarga
4. Muestreo sistemático del agua de lluvia, y determinación de su calidad química, para poder utilizar técnicas químicas en el estudio de la recarga.
5. Estudio de la recarga indirecta debida a los ríos que se infiltran y posibles cauces efímeros.

FACULTAD CC. GEOLOGICAS
BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFÍA

ABELLÁN M., BRASA A., DEL CERRO A., LEGORBURO A., LÓPEZ F.R., MARTÍN DE Stª OLALLA F., MONTERO F.J., y RUBIO M., (1994) «Vegetación» en «Desertificación en Castilla-La Mancha». p.144-168. Martín de Stª Olalla F., (1995) (Editor). 254 p. Col.Estudios. Ediciones de la Universidad Castilla-La Mancha. Cuenca.

AITCHISON G.D. y RICHARDS B.G., (1965) «A broad scale study of moisture conditions in pavement subgrades throughout Australia. P.2- Techniques adopted for the measurement of moisture variables». Aust.J. appl. Sci. Vol.16, n.2, p. 191-204. Australia.

ALBAREDA J.M., JIMÉNEZ SALAS J.A., y GONZÁLEZ-PEÑA J.M, (1953) «Estudio del método de resistencia eléctrica para la determinación de la humedad de los suelos». Anales de Edafología y Fisiología Vegetal. CSIC. T.XII, n.7-8. Madrid.

AL-KHAFAF S. y HANKS R.J., (1974) «Evaluation of the filter paper method for estimating soil water potential». Soil Science. Vol.117, p. 194-199.

ALLISON G.B., GEE G.W. y TYLER S.W., (1994) «Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions». Soil Science Society American Journal. Vol.58, n.1, p. 6-14. Madison.

ALONSO M. y FINN J., (1987) «Física. Campos y ondas». Addison-Wesley Iberoamericana. Vol.2, 1032 p. México, D.F.

ANDERSON M., y WOESSNER W.W., (1992) «Applied groundwater modelling. Simulation of flow and advective transport». Academic Press. 381 p. San Diego. California.

ARACIL E., y VILAS L., (1987) «Estructuración del basamento mesozoico en los Llanos de Albacete». Geogaceta. n.3, p.19-22. Madrid.

ARACIL E., (1988) «Caracterización de los litosomas del Cretácico mediante diagrafías y otras técnicas de subsuelo». Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral. Inédita. 144 p. Madrid.

ARAGONÉS J.M., L.CAMACHO B., y S.GONZÁLEZ A. (1989) «Explotación de aguas subterráneas en la Mancha Oriental. Evolución del almacenamiento y de la influencia en los caudales del Júcar». I Congreso sobre la Sobreexplotación de los Acuíferos. Tomo de memorias. p.527-545. Almería.

ARIAS C., ELIZAGA E. y VILAS L.,(1979) «Distribución de las facies de Cretácico inferior en el SE de la Provincia de Albacete». Cuadernos de Geología Ibérica. n.5. p.453-469. Madrid.

AUSTRALIAN WATER RESOURCES COUNCIL. (AWRC) (1975) «Soil moisture measurement & assessment». Dep. of National Development. Hydrological Series. N.9, 39 p. Camberra.

BAKER J.M y ALLMARAS R.R, (1990) «System for automating and multiplexing soil moisture measurement by time-domain reflectometry». Soil Science Society American Journal. Vol.54, n.1, p. 1-6. Madison.

BAKER J.M y LASCANO R.J (1989) «The spatial sensivity of time domain reflectometry». Soil Science. Vol.149, p.378-384.

BALEK J., (1988) «Groundwater recharge concepts» en «Estimation of natural groundwater recharge». p.3-10. Simmers I., (1988) (Editor). 510 p. NATO ASI series. Series C: Mathematical and Physical Sciences. Vol.22. Reidel Publishing Company. Dordrecht.

BARTH H.K. y RUNGE J. (1992) «Land use and vegetation of the pilots areas of the EFEDA-Project, La Mancha (Spain). Barrax area map. Commission of the European Comunities. Mapa escala 1:25.000.

BEAR J., (1972) «Dynamics of fluids in porous media». American Elsevier Enviromental Sciences Series. 764 p..

BELL J.P, (1987) «Neutron probe practice». Institute of hydrology. (IH). Report n.19. 51 p. Wallingford.

BELL J.P., DEAN T.J. y HODNETT M.G., (1987) «Soil moisture measurements by an improved capacitance technique. Part 2. Field techniques». Journal of Hydrology. Vol.93, p.79-90. Amsterdam.

BÖLLE H.J., y LANGER I., (1991) Echival field experiment plan in a desertificated-threatened area. (EFEDA). EFEDA Field Experiment Plan. Informe inédito. 147 p. Berlín.

BOULIER J.F y VAUCLIN (1986) «Modélisation stochastique des écoulements d'eau dans la zone non satureé». Hydrogeologie. n.2, 153-162.

BROOKS R.H. y COREY A.T., (1964) «Hydraulic properties of porous media». Hydrol.Papers. Vol.3. p.1-27. Colorado.

BURDINE N.T., (1953) «Relative permeability calculations from pore-size distribution data». Petr. Trans. American Institution Mining Metallic Engineering. Vol. 198, p. 71-77.

CAMPBELL G.S., ZOLLINGER W.D y TAYLOR S.A., (1966) «Sample changer for thermocouple psychrometers. Construction & some aplications». Agronomy Journal. Vol.9, p.315-318.

CAMPBELL G.S., (1974) «A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data». Soil Science. Vol.117, n.6.

CASADO M., (1991) «Contribución al análisis de la humedad del suelo en el Terciario Detrítico de Madrid». Tesis de Licenciatura. 174 p. Universidad Complutense de Madrid.

CHANDLER R.J y GUTIERREZ C.I, (1986) «The filter paper method of suction measurement». Geotechnique. *Vol.36, p. 265-268.*

CHILDS E.C. y COLLIS-GEORGE N., (1950) «The permeability of porous materials». Proc.R.Soc.London. Serie A, 201. p.392-405.

CLAPP R.B, y HORNBERGER G.M, (1978) «Empirical equations for some hydraulic properties». Water Resources Research. Vol.14, n.4, p.601-604. American Geophysical Union.

COOK P.G, WALKER J.R., y JOLLY I.D., (1989) «Spatial variability of groundwater recharge in a semiarid region». Journal of Hydrology. V.11, p.195-212.

COOPER J.D, GARDNER C.M.K. y MACKENZIE N., (1990) «Soil controls on recharge to aquifers». Journal of Soil Science. Vol.41, p. 613-630.

CORCHON F. y DELGADO C., (1976) «Estudios isotópicos en la zona oriental de La Mancha». I Symposio Nacional de Hidrogeología. Hidrogeología y recursos hidraulicos. TII, p.721-739. Valencia.

CORONADO R., DEL PORTILLO F., y SÁENZ ROYUELA R. (1973) «Guía de las anátides de España». Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid.

CRONEY D, COLEMAN J.D., y CURRER W.H. (1951) «The electrical resistance method of measuring soil moisture». British Journal of Applied Physics. Vol.2, abril, p.85-91.

CRUCES DE ABIA J., (1989) «Informe de recopilación y síntesis de las teorías y modelos de flujo en la zona no saturada». Informe del Convenio de investigación entre el Canal de Isabel II y la Cátedra de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid. 251 p. Madrid.

CRUCES DE ABIA J., (1994) «Apuntes del curso Modelo Digitales en Hidrogeología». Fundación General de la Universidad Complutense. Madrid.

CRUCES DE ABIA J., LLAMAS M.R, CASADO M., HERA A., MARTINEZ L., (1995)
«Final report. Project (EV5V-CT93-0282): Hydrological response to land use change and over-exploitation of water resources in a semi-arid area of Spain». U.E. En Prensa.

CUSTODIO E., (1983) «Teoría elemental del flujo de agua en medios porosos». en Custodio E. y Llamas M.R ed. (1983). p.443-609. Hidrología Subterránea. Ed.Omega. Tomo n.I. 1157 p. Barcelona.

DALTON F.N., HERKELRATH W.N., RAWLINGS D.S y RHOADES J.D (1984) «Time-domain reflectometry: simultaneous measurement of soil water content and electrical conductivity with a single probe». Science. *Vol.224, p.989-990. Washington.*

DEAN T.J., BELL J.P. y BATY A.J.B., (1987) «Soil moisture measurements by an improved capacitance technique. Part 1. Sensor, design y performance». Journal of Hydrology. Vol.93, p.67-78. Amsterdam.

DELTA-T (1993) «Tensiometer type SWT3. User manual». Delta-T Devices. UM-A. 19 p. Cambridge.

DELTA-T (1993 b) «Delta-T logger user manual. Versión 2.01». Delta-T Devices. DL2-UM-03-02. Cambridge.

DIRKSEN C. y DASBERG S., (1993) «Improved calibration of time-domain reflectometry soil water content measurements». Soil Science Society American Journal. Vol.57, n.3, p.660-667. Madison.

DIRKSEN C. y HUBER M.J., (1978) «Soil water flow model with two-dimensional automatic gamma ray attenuation scanner» Water Resources Reserch. Vol.14, n.4, p.611-614. American Geophysical Union.

DURNER W., (1994) «Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure». Water Resources Research. Vol.30, n.2, p.211-223. American Geophysical Union.

EIJKELKAMP (1990) «Catalogue 1990». Ed. Eijelkamp Agriserch Equipment. 248 p. Paises Bajos.

EL JAMMAL (1986) «Estudio experimental del flujo y características del agua en zona no saturada». Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.

EVERETT L.G., WILSON L.G, Mc.MILLION L.G, (1982) «Vadose zone monitoring concepts for hazardous waste sites». Ground Water. Vol.30, n.3, p.312-324.

FEDDES R.A, KABAT P., VAN BAKEL P.J.T., BRONSWIJK J.J.B., y HALBERTSMA J., (1988) «Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone. State of the art.» Journal of Hydrology. Vol.102, p. 74-111.

FERNANDEZ J.A., C. LUCENA y F. TAPIA (1983) «Descripción y resultados del modelo matemático del acuífero de Albacete». III Symposio de Hidrogeología. Hidrogeología y Recursos Hidraúlicos. TIX. p.123-135. Madrid.

FETTER C.W., (1994) «Applied hydrogeology». Mc Millan College Publishing Company. 3ªEd. 691 p. Nueva York.

FLURY M., FLÜHLER H., JURY W.A., y LEUENBERGER J., (1994) «Susceptibility os soils to preferential flow of water: a field study». Water Resources Research. Vol.30, n.7, p.1945-1954.

FREEZE R.A. y CHERRY J.A.,(1979). «»Groundwater». «Prentice Hall. International». 604 p. Londres.

FUSTER J., (1981b) «Estudio hidrogeológico en Caña Chupa, El Pescuño, y Cuarto Bolos en Barrax» INAGESA. Informe Técnico. Valencia.

FUSTER J., (1981b) «Estudio hidrogeológico en Huerto Los Canos de Barrax» INAGESA. Informe Técnico. Valencia.

FUSTER J., (1987a) «Estudio geofísico en la finca del Retallo del término de La roda (Albacete)». INAGESA. Informe Técnico. Valencia.

FUSTER J., (1987b) «Estudio geofísico en la finca Cerros Verdes yHeredamiento Casa Arnedo, en Barrax y Albacete». INAGESA. Informe Técnico. Valencia.

GARDNER R., (1937) «A method of measuring the capillary tension of soil moisture over a wide moisture range». Soil Science. Vol.43, 277-283 p.

GARDNER W.H., (1965) «Water content» en «Methods of soil analysis. Parte 1». p.82-125. Black C.A., (1965) (Editores). American Society of Agriculture. Agricultural Series, n.9.

GIESKE A., (1992) «Dynamics of groundwater recharge. A case of study in semiarid eastern Bostswana» Tesis doctoral. Vrije Universiteit te. Enschede. 290 p. Amsterdam.

GOWELEEUW B.T., (1994) «Movement of infiltrated water in the Llanura Manchega aquifer in central Spain, as indicated by tritium profiles». En Prensa.

HEIMOVAARA T.J y BOUTEN W. (1990) «A computer-controlled 36-channels time-domain reflectometry system for monitoring soil water contents». Water Resources Research. Vol.26, n.10, p.2311-2316. American Geophysical Union.

HILLEL D., (1971) «Soil and water physical principles and processes». Academic Press. 287 p. Nueva York.

HILLEL D., (1982) «Introduction to soil physics». Academic Press, Inc. 364 p. Londres.

HILLEL D. y GARDNER W.R., (1970) «Measurements of unsaturated conductivuty and duffusivity by infiltration through an impeding layer». Soil Science. Vol.109. n.3, p.149-153.

HODNETT M.G. y BELL J.P., (1991) «Neutron probe standarts: shields or a large drum of water?». Soil Science. Vol.151, n.2, p.113-120.

HODNETT M.G., (1985) «The neutron probe for soil moisture measurement» en «Advance agricultural instrumentation». p.148-191. Gensler W.G. (Editor). Nato-ASI-Series. Serie E: Applied Sciences. n.111. Dordrecht.

IGME (1979) «Investigación hidrogeológica de la cuenca alta de los ríos Júcar y Segura». Estudio Hidrogeológico Cazorla-Hellín-Yecla (Informe Técnico n.2, Unidad Norte). Memoria (2 Tomos). Tomo de Planos. Anejos I y II. Informe n.32706. Inédito. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

IGME (1980) «El sistema hidrogeológico de Albacete (Mancha Oriental)». Col Informes. Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España. 87 p. Madrid.

IGME (1982) «Informe sobre la evolución de niveles piezométricos durante 1982». Estudios para la planificación, gestión y conservación de acuíferos en la Cuenca Alta del Júcar y Segura. Informe n.32772. Madrid

IGME (1985) «Informe sobre la evolución de niveles piezométricos. Marzo 1984 - Marzo 1985» Estudios para la planificación, gestión y conservación de acuíferos en la Cuenca Alta del Júcar y Segura. Informe n.32774. Madrid.

IGME (1988) «Plano y Memoria acompañante. Hoja geológica de La Gineta». n.765. Mapa Geológico de España. E:1:50000. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid

IGME (1988b) «Mapa de riesgos de contaminación de las aguas subterráneas por el vertido sobre el terreno. Provincia de Albacete». Informe n.32801. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

IGME (1988c) «Estudio de la evolución de los compuestos de nitrógeno en el suelo y subsuelo. 1ª Fase 1987-1988. Aspectos teóricos y metodológicos». T.1, 110 p. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

ITGE (1989) «Las aguas subterráneas de España». Estudio de síntesis. Instituto Tecnológico y GeoMinero de España. T.Memoria y planos. 155 p. Madrid.

ITGE (1990) «Informe de la red piezométrica en la cuenca Alta del Júcar» (1988-1990). Actualización de la Infraestructure Hidrológica, Vigilancia y Catálogo de Acuíferos (1988-1990). Informe n.32809. Instituto Tecnológico y GeoMinero de España. Madrid.

KABAT P. y HACK-TEN BROECKE J.D., (1989) «Input data for agrohydrological simulation models: Some parameter estimation techniques». Short Course on Modelling Unsaturated Flow. Delft.

KOOREVAAR P, MENELIK G y DIRKSEN C. (1983) «Elements of soil physics». Development in Soil Science 13. ELSEVIER. 230 p. Amsterdam.

KOOREVAAR P, MENELIK G y DIRKSEN C. (1994) «Elements of soil physics». Development in Soil Science 13. ELSEVIER. 230 p. Amsterdam.

KHOSLA B.K., (1980) «Comparison of calcualted and in situ measured unsaturated hydraulic conductivity». Journal of Hydrology. Vol.47, p. 325. Amsterdam.

LERNER D., (1990) «Techniques. En A guide to to understanding and estimating natural recharge» en Lerner N.D., Issar A.S., Simmers I., (1990) (Editores). p.99-244 «Groundwater Recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge». International Contributions to Hydrogeology. IAH series, Vol. 8, 345 p. Heisse. Hannover.

LLAMAS M.R, y GALOFRÉ A. (1983) «Conceptos básicos y definiciones». en Custodio E. y Llamas M.R ed. (1983). p.249-260. Hidrología Subterránea. Ed.Omega. Tomo n.I. 1157 p. Barcelona.

LOPEZ BERMUDEZ F., (1978) «El sector pantanoso del oeste de Albacete, y su desecación». Al-Basit. Vol.5, p.68-90. Albacete.

LUEBS R.E., BROWN M.J. y LAAG A.E., (1968) «Determining water content of different soils by the neutron method». Soil Science. Vol.106, n.3, p.207-218. USA.

MAC QUEEN I.S. y MILLER R.F., (1968) «Calibration and evaluation a wide-range gravimetric method for measuring moisture stress». Soil Science. Vol.106, n.3, p.225-231. USA.

MARCOS NAVEIRA L., (1989) «Informe de recopilación y síntesis de las técnicas de medida y de muestreo para el estudio de la zona no saturada». Convenio de investigación entre el C. de Isabel II y la cátedra de Geodinámica de la Universidad Complutense de Madrid. 81 p. Madrid.

MARSHALL T.J. y HOLMESJ.W., (1988) «Soil physics». Cambridge University press. 374 p. Cambridge.

MARTHALER H.P., VOGELSANGER W., RICHARD F. y WIERENGA P.J. (1983) «A pressure transducer for field tensiometer». Soil Science Society American Journal. Vol.47, p. 624-627. Madison. USA.

MARTIN SERRANO A. y GARCIA ABAD F.J. (1979) «Análisis morfoestructural de los llanos de Abacete, y sus marcos montañosos». Estudios Geológicos. n.35, p.49-57. Madrid.

MISHRA S. y PARKER C.J., (1990) «On the relation between saturated conductivity and capillary retention characteristics». Groundwater. Vol. 28, n.5. pp, 775-777. Assoc. of Ground Water Scientist and Engineers. Dublín. Ohio.

MUALEM Y.,(1976) «A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media» Water Resources Research. Vol. 12, n.3. p. 513-522. American Geophysical Union

NAVARRO T., RODRIGUEZ T., ROMERO M.A., y LOPEZ F., (1988) «Zonas húmedas y la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos. Los casos del Acequión y los ojos de S.Jorge». 1º Sym. on Hydrogeology of Wetlands in Semiarid and Arid Regions. p.132-135. Sevilla.

NICHOLS W.P., (1987) «Geohydroloy of the unsaturated zone at the burial site for low level radioactive waste near Beatty, Nye County (Nevada)». Gelogical Survey Water-Supply. paper 2312.

PARDO (1948) «Los lagos de España». Biología de las Aguas Continentales VI. De Rebus Hidrologiscis XXXII. Catálogo de los Lagos de España. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 522 p. Madrid.

PEREZ GONZALEZ A., (1982) «Neógeno y Cuaternario en la Llanura Manchega y sus relaciones con la Cenca del Tajo». Ed. Universidad Complutense de Madrid. Col. Tesis Doctorales. 787 p. Madrid.

PUY HUARTE J., (1981) «Procedimientos de sondeos» Servicio de publicaciones de la Junta de Energía Nuclear. 553 p.

RAGAB R, y COOPER J.D., (1990) «Simulating radionuclide transport from the geopshere to biosphere». Instituto de Hidrología (IH). Document n.IH/TR/9003/ 2.2. Wallingford.

RICHARDS B.G, (1969) «Psychrometric techniques for measuring soil water potential». CSIRO. Division of Soil Mechanics. Technical Report n.9. Melbourne.

RICHARDS L.A, (1941) «A Pressure membrane extraction apparatus for soil solution». Soil Science. n.51, p.377-386.

RICHARDS L.A y FIREMAN M., (1943) «Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils». Soil Science. Vol.56, p.395-404.

ROA y EROSTARBE J., (1891) «Crónica de la provincia de Albacete». Imprenta Vda.de Collado. 2T. T.1 527 + 71 p, T.2 429 p. Albacete.

ROBBINS G.A. y GEMMEL M.M., (1985) «Factors requiring resolution in installing vadose zone monitoring systems». Groundwater Monitoring Review. Vol.5, n.3, p.75-80. Dublin. Ohio.

RODRIGUEZ T., BERMUDEZ F., ROMERO M.A., y NAVARRO T., (1988) «Factores físicos e hidrogeológicos condicionantes del endorreismo del sector central de la provincia de Albacete». 1° Sym. on Hydrogeology of Wetlands in Semiarid and Arid Regions. p.147-150. Sevilla.

RUPRETCH V.K. y SCHOFIELD N.J., (1989) «Unsaturated soil water dynamics on Jarrah forest hillslope, Western Australia». Water Authority of Western Australia. Surface Water Branch. Report n.WS39, 79 p.

SANCHEZ SANCHEZ J., (1978) «Memoria del conjunto provincial de Albacete». Instituto Geográfico Nacional. 45p. Albacete.

SANTA OLALLA F. y BRASA A., (1993) «Vegetation and Land Use» en The Echival Experimental Field in a Deserification-Threatened Area (EFEDA). Final Report. Ed. Bölle H.J, y Streckenbach B. 461 p. Berlín.

SANTOS GARCIA J.A., (1984) «Síntesis litoestratigráfica de la cuenca del Júcar, a partir del análisis tectosedimentario» Bol.Inst. Geol. y Min. T.XCV. p.429-435.

SCHOFIELD N.J., (1987) «Sampling for accurate soil physical measurements in lateritic soils». Water Authority of Western Australia. Hydrology Branch. Report n.WH35. 55 p.

SCHOFIELD N.J., BATES B.C. y BARTLE J.R. (1985) «First report on the Del Park Hillslope Study». Water Authority of Western Australia. Hydrology Branch. Report n.WH6. 179 p.

SCHUMMUGGE T.J., JACKSON T.J. y McKIM M.L., (1980) «Survey of methods for soil moisture determination». Water Resources Research. Vol.16, n.6, p.961-970. American Geophysical Union.

SGOP (1986) «Informe sobre el descenso de los niveles piezométricos a lo largo de la traza del Acueducto Tajo-Segura». Servicio Geológico de Obras Públicas. Informe 07/86. n.2401. Madrid. Inédito.

SGOP (1988) «Estudio de la explotación de las aguas subterráneas en el acuífero de La Mancha Oriental y su influencia sobre los caudales del Júcar». Servicio Geológico de Obras Públicas. Informe 12/88 n.2523. Inédito. Tomo Resumen. Madrid.

SIBLEY J.W y WILLIAMS D.J., (1990) «A new filter material for measuring soil suction». Geotechnical Testing Journal. Vol.13, n.4. p.381-384.

SIMMERS I., (1990) «Aridity, groundwater recharge and groundwater management». En «Groundwater Recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge». p.1-20. Lerner N.D., Issar A.S., Simmers I., (1990) (Editores). International Contributions to Hydrogeology. IAH series, Vol. 8, 345 p. Heisse. Hannover.

SOIL MOISTURE 1980. Catálogo. Soil Moisture. Santa Bárbara. California. 6 p.

SORENSON S.K., MILLER R.F., WELCH M.R., GROENEVELD y BRANSON F.A., (1989) «Estimating soil matric potential in the Owens Valley, California». Gelogical Survey Water-Supply, Paper 2370-C, 22 p. USA.

STANNARD D.I., (1986) «Theory, construction and operation of simple tensiometers». Groundwater Monitoring Review. Vol.1, n.3, p.71-78. Dublin. Ohio.

TOPP G.C, DAVIS J.L y ANNAN (1980) «Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmision lines». Water Resources Research. Vol.16, p.574-582.

TRIME-SYSTEM (1993) «A simultaneous non-destructive and indirect measurement technique of material water content. Material moisture measurement with principle of time-domain reflectometry». Catálogo IMKO. 18 p. Ettlingen.

TROOIEN T.P. y BENDER A.R Y BISCHOFF J.H., (1986) «The transiometer: An alternative method of soil moisture measurements in slowly permeable soils». Groundwater Monitoring Review. Vol.6, n.2, p.99-106.

VACHAUD G., ROYER J.M, y COOPER J.D., (1977) «Comparison of methods of calibration of a neutron probe by gravimetry or neutron-capture model» Journal of Hydrology. Vol.34, p. 343-356.

van GENUCHTEN M.T., (1978) «SOHYP. Calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed-form analytical model».International Groundwater Modeling Center (IGMC). 63 p. Indianapolis.

van GENUCHTEN M.T., (1978) «UNSAT1: Numerical solution of one dimensional saturated-unsaturated flow equation».International Groundwater Modeling Center (IGMC). 91 p. Princeton.

van GENUCHTEN M.T., (1980) «A close form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils». Soil Sci. Soc. Am. Jour. Vol.44. pp 892-898.

VEERECKEN H., MAES J., FEYEN J. y DARIUS P. (1989) «Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density, and carbon content». Soil Science. Vol.148, n.6, 389-403.

WELLINGS S.R. y BELL J.P., (1982) «Physical controls of water movement in the unsaturated zone». Q.J. eng. Geol. London. Vol.15, p.235-241. Irlanda del Norte.

WHISLER F.D., (1976) «Calculating the unsaturated hydraulic conductivity and diffusivity». Soil Science Society American Journal. Vol.40, p. 150-151. Madison.

WILLIAMS R.D, AHUJA L.R. y NANEY J.W. (1992) «Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density and limited data». Soil Science. Vol.153, n.3, 172-184.

SIMBOLOGÍA.

a: Unidad de área
C: Capacitancia de un medio
C: Capacidad
C_i: Concentración en el intervalo «i».
C_p: Concentración de cl^- en la precipitación en mg/l.
C_r: Concentración de cl^- en el agua de recarga en mg/l.
C_t: Velocidad en el vacío de una onda electromagnética.
D: Drenaje.
D: Difusividad.
D: Deposición neta de ion cl^- en el suelo en mg/m^2.
E: evaporación.
E_p: Energía de interfase.
F: Frecuencia
F_a: Contenido relativo de aire.
f: Interfase sólido-gas
G: Constante que expresa la geometría de los poros de un suelo.
g: Aceleración de la gravedad
h: Potencial mátrico o de presión, expresado por unidad de peso.
hm: Potencial mátrico medido por el manómetro, a la altura del suelo.
h_b: Valor de entrada de aire, o presión de burbujeo
H: Potencial Total, expresado por unidad de peso.
i: Interfase líquido-sólido.
i: Gradiente hidráulico.
i: Tasa de infiltración.
I: Infiltración acumulada.
L: Longitud de cada uno de los intervalos de muestreo en un perfil de tritio.
m: masa.
m: Parámetro de la ecuación de van Genuchten (1980).
m: N° de Intervalos de muestreo en un perfil de tritio.
M: Grado de Humedad.
M: Masa molar del aire.
n: Parámetro de la ecuación de van Genuchten (1980).
n: n° de moles.
p: Precipitación.
P: Presión.
P_0: Presión de vapor de una superficie libre de agua a presión atmosférica.
q: caudal por unidad de área.
Q: caudal.
r: Radio de un tubo capilar.
r_j: Recarga del año j.
R: Radio de curvatura del líquido en el interior de un tubo capilar.
R: Recarga media de una serie de años.
R: Constante universal de los gases perfectos.
R: Contaje de una sonda de neutrones.
R_s: Contaje de una sonda de neutrones en un material estándar.
K': Conductividad hidráulica intrínseca
$K(\theta)$: Conductividad hidráulica no saturada.
K: Conductividad hidráulica saturada expresada por unidad de peso.
K_b: Constante dieléctrica de un medio.
k: Conductividad hidráulica saturada expresada por unidad de masa.
s: Dirección de movimiento.
S: Grado de saturación en volumen.
S_e: Saturación efectiva.
t: Temperatura en grados centígrados.
T: Temperatura en grados Kelvin.
W: trabajo
W_p: Gramos de agua por gramos de papel, contenidos en un papel de filtro.
Z: Potencial gravitacional, expresado por unidad de Peso
z: Dimensión vertical del espacio.
α : Ángulo de contacto. Parámetro de la ecuación de van Genuchten (1980).
γ : Peso específico del agua.
δ : Densidad
δ_a : Densidad del agua.
δ_s : Densidad de una solución salina.
θ : Contenido volumétrico de agua.
θ_s : Contenido volumétrico de agua a saturación..
θ_r : Contenido volumétrico de agua residual.
φ_g : Potencial gravitacional por unidad de volumen.
φ_p : Potencial de presión por unidad de volumen.
φ_T : Potencial total por unidad de volumen.
ϕ : Porosidad total.
ϕ_e : Porosidad eficaz
ψ_g : Potencial gravitacional por unidad de masa.
ψ_o : Potencial osmótico por unidad de masa.
ψ_T : Potencial total por unidad de masa.
ψ_p : Potencial de presión por unidad de masa.
η : Viscosidad dinámica.
π : Presión debida a la existencia de diferente concentración salina en una solución.
μ : Tensión superficial
σ : Tensión superficial.
τ :Tortuosidad.

GLOSARIO

AGUA DE ADSORCIÓN: Agua adherida a la estructura de un mineral, pero sin formar parte de la misma .

AGUA ESTRUCTURAL: Agua derivada de los componentes de la estructura mineral en si misma.

AGUA ÚTIL PARA LAS PLANTAS: Es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. (Cfr. Cruces de Abia, 1989).

ARENA: Tamaño de sedimento clástico comprendido entre 0.02 y 0.2 mm, para algunos autores, y 0.05 y 0.2 mm, para otros.

ARCILLA, MINERAL: Hidrosilicato de aluminio ó magnesio, con hábito fibroso ó laminar, en capas, que tiene la propiedad de hidratarse o deshidratarse con facilidad.

ARCILLA, PARTÍCULA: Sedimento clástico cuyo tamaño es inferior a 1/256 mm (0.002 mm). En general los minerales de arcilla son lo que presentan este tamaño de partícula.

ARCILLA, SUELO (según la ISSS): Suelo que contiene más de un 40% de partículas tamaño arcilla, entre 0 y 55% de partículas tamaño arena, y entre 0 y 40% de partículas tamaño limo.

CAPACIDAD DE CAMPO: Se define capacidad de campo de un terreno como el contenido de agua en el mismo, una vez que ha drenado toda el agua gravífica. Se corresponde con un pF comprendido entre 2 y 2.4.

CAUDAL ESPECÍFICO: Es el caudal que atraviesa un medio poroso por unidad de área. es igual Q_e= Kxi.

CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA: Se define como el cociente entre el volumen total de agua presente en una muestra y el volumen total de la muestra considerada.

CONTENIDO RELATIVO DE AIRE: Es la relación existente entre el volumen de aire existente en el terreno y el volumen total de la muestra considerada

CONTENIDO DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DE LA MASA: Es la relación entre la masa del agua en la muestra y la masa total de la muestra de suelo.

CURVA DE PF: Es la representación gráfica de la relación existente entre en contenido volumétrico de agua, È, y el potencial mátrico en cm de agua, expresado por el logaritmo decimal en valores absolutos.

CURVA DE RETENCIÓN DE UN SUELO: Se entiende por tal, a la relación que se puede establecer entre el contenido volumétrico de agua del terreno y el potencial mátrico en el mismo.

DENSIDAD APARENTE DE UN SUELO: Masa de suelo (líquido, sólido y gas), dividido por el volumen que ocupan las tres fases sólida, líquida y gaseosa conjuntamente.

DRENAJE: Flujo vertical descendente en un perfil del suelo.

FANGO: Se denomina fango, a ciertas mezclas de arena arcilla y limo, en las que por lo general, ningún componente constituye más del 50% ó más del total agregado. (cfr. Pettijohn, 1976, p.25).
Según la ISSS, se denomina como tal a un suelo que comprende prácticamente una cantidad igual de partículas tamaño arena y limo, pero con menos de un 26% de tamaño arcilla.

FRANJA CAPILAR: Constituye una zona de transición entre la zona saturada y la zona no saturada; alcanza la máxima altura capilar.

GRADO DE HUMEDAD: Se define este concepto como el porcentaje del peso del agua contenida en una muestra, antes de desecarla con respecto al peso de la muestra desecada a 105 C.

GRADO DE SATURACIÓN DEL TERRENO: Se define grado de saturación como la fracción del volumen total de huecos dentro de un medio poroso, ocupado por un líquido determinado.

HISTÉRESIS: Fenómeno que consiste en que la curva característica de un suelo, varía dependiendo de si se ha realizado con datos correspondientes a un proceso de humedecimiento o desecación del mismo.

HUMEDAD RESIDUAL: Contenido de humedad en un terreno a partir del cual la succión tiende a ser infinita.

INFILTRACIÓN ACUMULADA: El volumen de agua que se ha infiltrado por la superficie del terreno dividido por unidad de área. (m)

LÍMITE DE SUPERFICIE LIBRE O PIEZOMÉTRICA: Es una superficie límite variable, tal que a lo largo de la misma la presión es uniforme. Físicamente corresponde al nivel del agua en un acuífero freático y está toda ella a presión atmosférica. (cfr. Custodio y LLamas, 1983).

LIMO: Uno de los más finos sedimentos clásticos, cuyo tamaño de partícula se encuentra comprendido entre 0.02 y 0.002 mm, para algunos autores, y entre 0.02 y 0.005 mm, para otros

POROSIDAD TOTAL: Se ha considerado porosidad total al conjunto de poros a través de los cuáles puede circular un fluido. coincide con lo que muchos autores han llamado porosidad cinemática o eficaz. Se expresa de la siguiente forma: Vt/Vm (Vt:volumen total de poros en un volumen de suelo considerado; Vm:volumen de total suelo)

PLANO DE FLUJO NULO: Lugar geométrico de los puntos del plano de una columna de suelo en los que el gradiente hidráulico es igual a cero. Corresponde a un plano en el que la densidad de flujo es igual a cero. Por encima el flujo es ascendente y por debajo descendente.

POTENCIAL: Se define el potencial como la capacidad de un cuerpo para desarrollar un trabajo expresada por unidad de peso, volumen o masa.

PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE: Es el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la de la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla. (Cfr. Cruces de Abia, 1989)

RECARGA: Flujo vertical de agua subterránea que alcanza la superficie libre. (cfr. Simmers, 1990, pp.3).

SUCCIÓN: Es el potencial mátrico expresado en valores absolutos.

TASA DE INFILTRACIÓN: Es la variación de la infiltración acumulada con el tiempo

TENSIÓN INTERFACIAL: de una interfase sólido-líquido, es la energía de la interfase expresada por unidad de superficie de interfase. ($N.m^{-1}$ o $J.m^{-2}$)

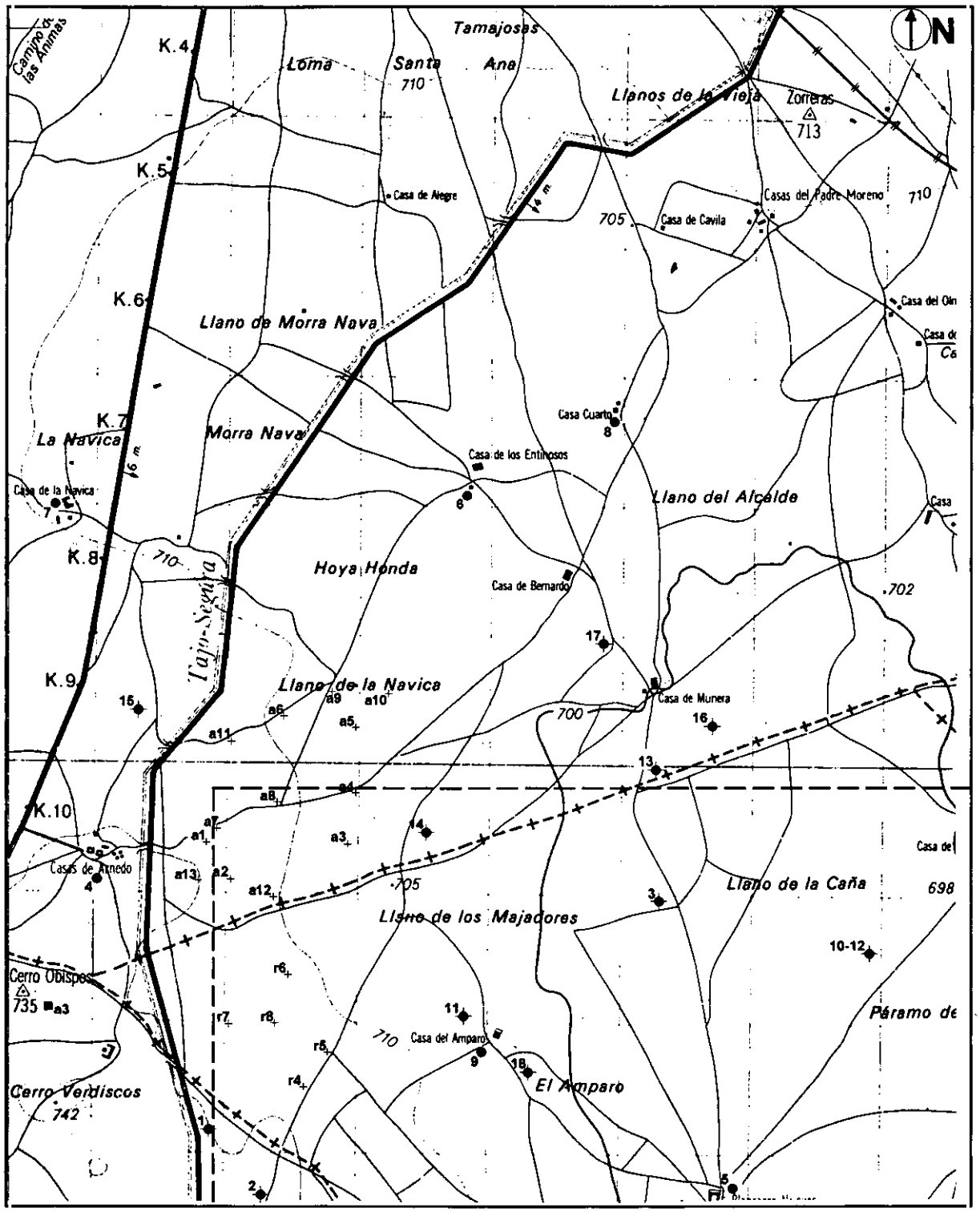
TENSIÓN SUPERFICIAL de una interfase sólido-gas, es la energía de la interfase expresada por unidad de superficie.($N.m^{-1}$ o $J.m^{-2}$)

VALOR DE ENTRADA DE AIRE: Se define como tal a la diferencia de presión existente entre la cara inferior y superior de un menisco formado en el interior de un tubo capilar.

ZONA NO SATURADA (DE UN ACUÍFERO): Se considera a la porción de terreno comprendida entre la superficie freática ó libre y la superficie del terreno y se caracteriza por que no todos los poros de la misma están rellenos de agua.

PLANO 1
Hoja 765 "La Gineta"
1:50.000 del IGN

Inventario de puntos de agua y localización de las columnas descritas en el anexo 1



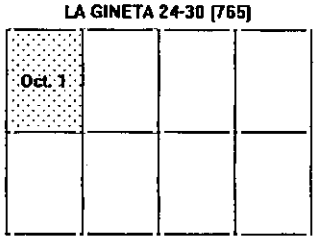
ESCALA GRÁFICA

1km 2km 3km 4km

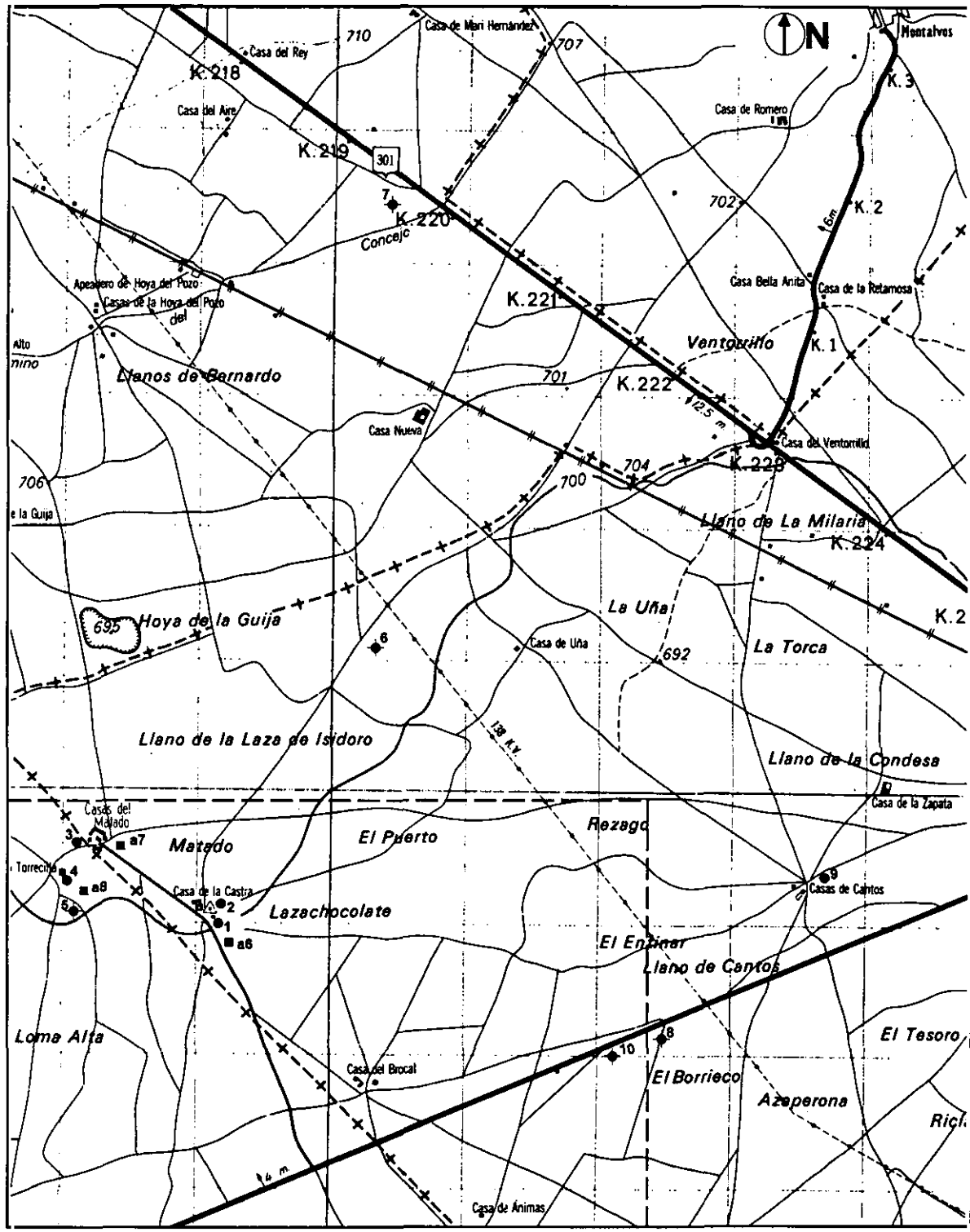
LEYENDA

25	Pozo perforado
25	Pozo excavado
a1, r1, l1, c1	S.E.V.
————	Parcela experimental
■	Columna Litológica

LA GINETA 24-30 (765)



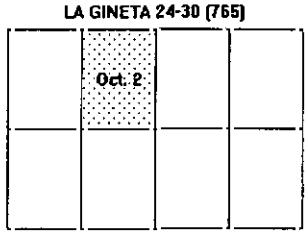
OCTANTE 1



ESCALA GRÁFICA

1km 2km **3km** 4km

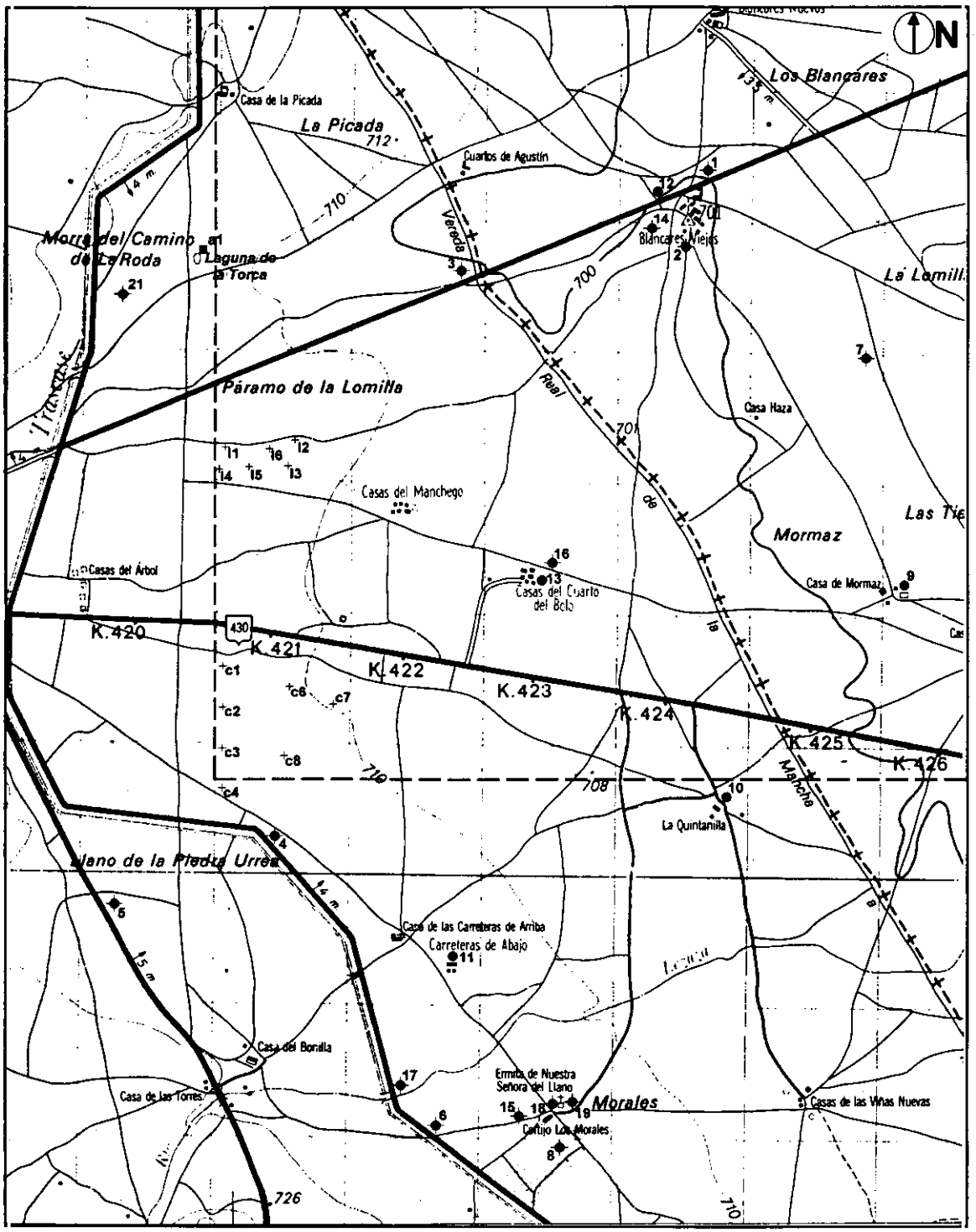
LA GINETA 24-30 (765)



LEYENDA

- 25 — Pozo perforado
- 25 — Pozo excavado
- a1, r1, l1, c1 — S.E.V.
- Parcela experimental
- Columna Litológica

OCTANTE 2



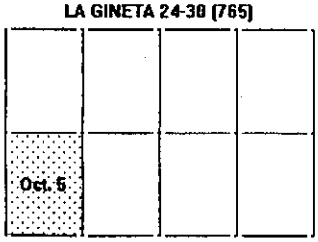
ESCALA GRÁFICA

1km 2km 3km 4km

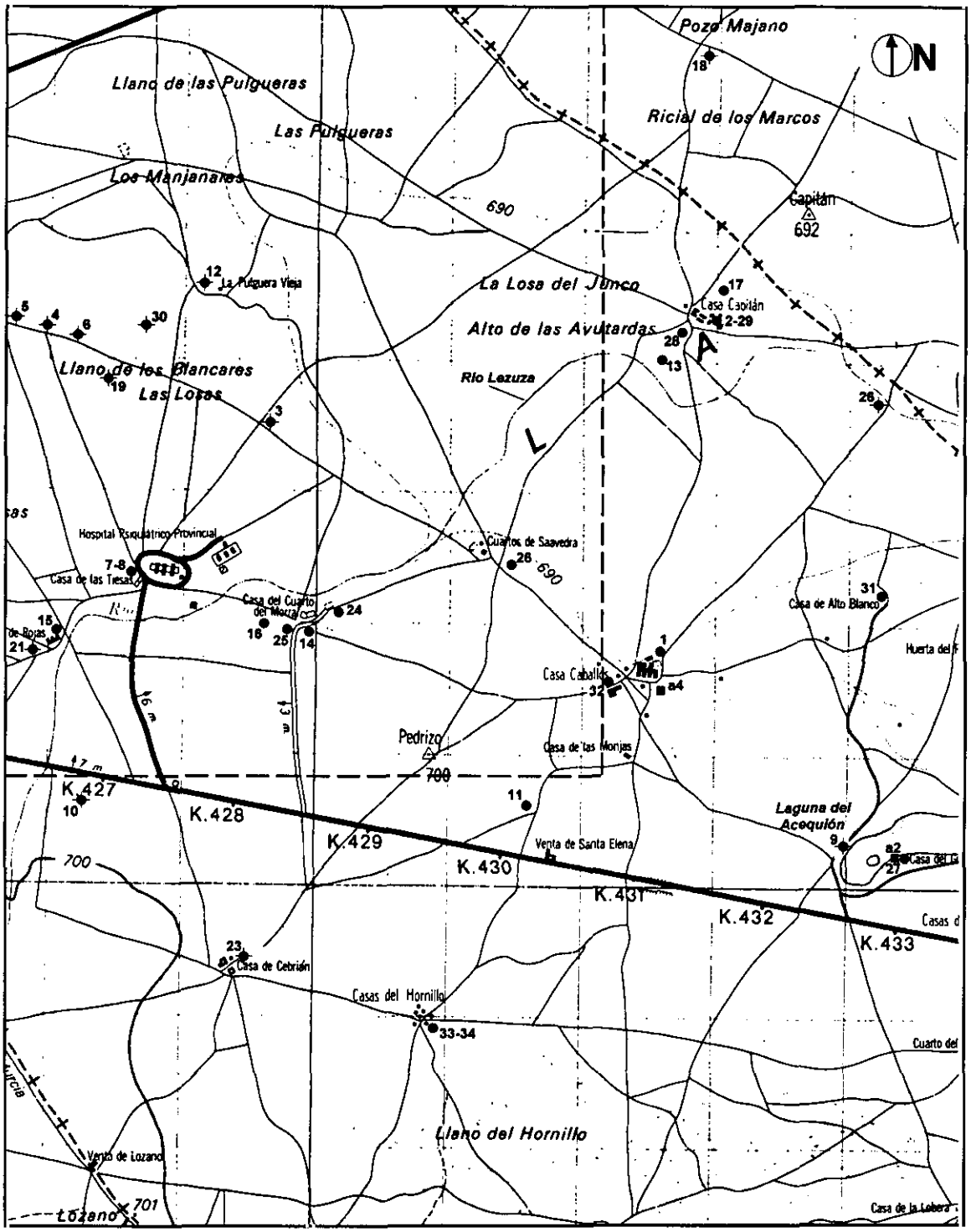
LEYENDA

25 ◆	Pozo perforado
25 ●	Pozo excavado
a1, r1, l1, c1	S.E.V.
— — — —	Parcela experimental
■	Columna Litológica

LA GINETA 24-38 (765)



OCTANTE 5



ESCALA GRÁFICA

1km 2km 3km 4km

LEYENDA	
25	Pozo perforado
25	Pozo excavado
a1, r1, l1, c1	S.E.V.
— — — —	Parcela experimental
■	Columna Litológica

LA GINETA 24-30 (765)

Oct. 6

OCTANTE 6

ANEXO 1

Columnas litológicas descritas en la zona de estudio. Columnas litológicas de los sondeos perforados manualmente en las parcelas experimentales de Acequión y Algibarro. Difractogramas.

ANEXO 1: COLUMNAS LITOLÓGICAS DE LA ZONA DE BARRAX

A) DESCRIPCIÓN DE COLUMNAS

1. LAGUNA DE LA TORCA

0-0.6m Suelo.

0.6-1.2m Limo margoso rojo con cantos nodulosos. Las margas se encuentran cementadas a techo, formando una costra que se encuentra en nódulos aislados.

1.2-?m Marga con nódulos calcáreos muy duros de micrita y con abundante materia orgánica.

2. COLUMNA FUENTE DE LA LAGUNA DEL ACEQUIÓN

0-1.2m Costra nodulosa, micrítica con abundante materia orgánica.

1.20-2.40m Caliza compacta.

3. CORTE DEL CERRO DEL OBISPO

0-0.5m Caliza muy recristalizada, en cuerpos pseudolenticulares. Presenta contacto alabeado con la unidad inferior.

0.5-1.5m Arenisca margo-arcillosa algo cementada por carbonatos. A techo se compacta. En cuerpos pseudolenticulares. Se encuentra conjuntamente carstificada con la caliza inferior.

1.5-?m Caliza de color gris esparítica muy recristalizada. Se encuentra carstificada. El relleno cárstico está constituido por arena margosa con cantos de cuarzo,o de caliza muy fracturados. Espesor variable.

4. COLUMNA CASA CABALLOS

0-0.5m Costra caliza compacta con paquetes de espesores variables.

0.5-? En tránsito gradual una caliza micrítica rica en materia orgánica. Ambas muy bioturbadas.

5. COLUMNA FOTO 3877P1

0-70cm Arcilla marrón rojiza de espesor variable y con cambios laterales bruscos.

70-70.1cm Costra nodulosa, blanquecina, y poco contínua. Rica en materia orgánica. La costra presenta notables variaciones de espesor, así como cambios laterales.

70.1cm-? Margas.

6. MATERIALES CASAS DE LA CASTRA. FOTO 3877P2

En superficie aparece una costra dura de carbonato. Está formada por cantos de caliza cementados por carbonatos. Color rosado posiblemente debido a oxidación. Partida, es gris blanquecina.

7. MATERIALES CASAS DEL MATAO. FOTO 3877P3

En superficie aparece una costra dura de carbonato. Está formada por cantos de caliza cementados por carbonatos. Color rosado posiblemente debido a oxidación. Partida, es gris blanquecina.

8. MATERIALES CASAS TORRECILLA. FOTO 3877

Idem a los dos anteriores

B) DESCRIPCIÓN DE LOS SONDEOS PERFORADOS MANUALMENTE

b1) DESCRIPCIÓN DE LOS SONDEOS EFECTUADOS EN ALGIBARRO

SONDEO ALGIBARRO 25/10/91

Se realiza este sondeo en un campo de labor el día 25/10/91. El dueño de la tierra comenta que en verano se encharca este punto debido a que en el campo vecino hay instalado riego por aspersión, y parte del agua sobrante escurre.

0 - 58cm Suelo arcilloso, rojo con cantos de carbonatos de tamaño centimétrico. Se toma M-1 (25/10/91). La arcilla se torna más seca cuanto más se profundiza y aumentan los cantos calcáreos.

58cm - 1m Aparecen arcillas cementadas por carbonatos. Se toma M-4 (75-82cm, 25/10/91). La arcilla se vuelve más plástica con la profundidad.

1 - 1.5m A partir de 1m aparecen nódulos arcillosos cementados por carbonatos. La toma de una muestra entre los 90 cm y los 1.3 m se hace imposible debido a la dureza del material. Se toma m-5 (1.30 - 1.4m, 25/19/91).

1.55 - 1.8m Aparece arcilla arenosa con menos carbonatos. Se toma M-6 entre 1.5 - 1.6 m, 25/10/91). Se toma M-7 entre 1.7 - 1.8m, 25/10/91, sin que cambie la litología

Se toma a parte la muestra M-8 entre 10 y 20 (25/10/91) cm de profundidad en suelo vegetal, cultivado y removido por el arado. Arcilla plástica marrón.

SONDEO ALGIBARRO 16/2/92

Se realiza un sondeo de hasta algo más de tres metros en el mismo lugar que el anterior, a unos 20 cm del mismo. Se escoge este mismo punto debido a los frustrados intentos de alejarnos de este lugar, por la aparición de arcilla fuertemente cementada por carbonatos a una profundidad de 60-70 cm.

0 - 60cm. Arcilla marrón. Tierra de labor. A los 60 cm aparece cementada por carbonato, que hace muy difícil la perforación. Aparecen nódulos carbonatados. Se toman las siguientes muestras en este tipo de terreno en sondeos que no se han podido proseguir:

M-1:15-23 cm

M-9: 59-66 cm (esta muestra sale un poco irregular, y se rellena con los restos de terreno que han quedado introducidos en la barrena de perforación).

Se continúa el sondeo a unos 20 cm del sondeo 5a.

60cm - 1.6m. Los materiales son los mismos que los vistos en los primeros 60 cm de los otros sondeos. Se toma M-10 entre 65 -75 cm. Se toma M-11 entre 1 - 1.25 m. (La muestra presenta cantos carbonatados en la superficie, lo que produce irregu-laridades). A partir de 1.2 m no aparecen ya tantos cantos de carbonato.

1.6 - 2.3m A partir de 1.6 m disminuye hasta desaparecer la cementación carbonatada. Aparecen gránulos milimétricos de caliza hasta los 2.3 m. Se toma M-13 entre 2 - 2.07 m.

2.3 - 2.96m? Arcilla muy plástica. Se toma M-14 entre 2.44 -2.51 m.

SONDEO ALGIBARRO 3/5/92

0-50 cm: Tierra vegetal muy arcillosa.

50-180 cm: Arcilla con cementaciones carbonatadas y cantos centimétricos carbonatados. El contenido en cantos aumenta a partir de 110 cm.

160-275 cm: Arcilla muy plástica marrón.

275-331 cm?: Arcilla muy cementadas con cantos de carbonato de tamaños milimétricos y centimétricos.

SONDEO ALGIBARRO 3/12/92

0-55 cm: Tierra vegetal muy arcillosa de color marrón.

55-139? cm: Arcilla muy cementada con carbonato aparecen también cantos de carbonato centimétricos. A 139 cm se parte el tomamuestras y se detiene la perforación. Se toman M37 y M38 con el tomamuestras mellado.

b2) DESCRIPCIÓN DE LOS SONDEOS EFECTUADOS EN ACEQUIÓN:

En la Laguna de Acequión se efectúan varios sondeos. El primero de ellos en el fondo de la laguna, a unos 50 hacia el este del castro ibérico que se encuentra en el centro del lago.
Los demás sondeos se realizaron en la parcela experimental que fue instrumentada.

SONDEO ACEQUIÓN 3/12/92. FONDO DE LA LAGUNA

0-80 cm: Suelo pulvurulento, muy oscuro y limoso. Presenta contenidos altos de materia orgánica y bandas amarillentas que puedan ser hierro reducido.

80-150? cm: Material muy semejante al anterior, pero de color más claro. El contenido en M-O. disminuye notablemente.

a 150 cm, aparece un limo muy plástico de color gris muy claro, con intercalaciones milimétricas de marga blanca. Muy rico en carbonato cálcico. A partir de 170 cm, casi saturado. A 270 cm parece un nivel de agua que se mantiene. A esta profundidad se pierde el vaso tomamuestras. Fin de sondeo.

SONDEO ACEQUIÓN 19/5/93. PARCELA EXPERIMENTAL

Se realiza un sondeo para tomar muestras. Este sondeo se inicia el 22/2/93 y se finaliza el 18/5/93. Entre ambas fechas el sondeo queda perfectamente protegido con plásticos, para evitar la entrada de agua en el mismo.

0-110 cm: Limo de color gris, y rico en M.O. Entre 0-60 cm, el color es más oscuro y es totalmente pulvurulento. A partir de 60 cm, disminuye el contenido en M.O.

110-184: Arena silícea y de matriz arcillosa. Color blancoamarillento, con elevado contenido en carbonato cálcico y con cantos de este mismo material.

184-247 cm: Arcilla o marga de color blanco o gris. Aparece alternando con niveles de arena muy fina blanco amarillenta, y homométrica. Ocasionalmente aparecen cantos carbonatados.

247-255 cm: Marga muy plástica, que alterna con limos carbonatados muy blancos.

255-344?: Arena silícea de tamaño grueso, de color amarillento, y matriz arcillosa. Aparece en niveles centimétricos, alternando con margas.

SONDEO ACEQUIÓN 8/11/93. PARCELA EXPERIMENTAL

0-46 cm: Limo gris oscuro, pulvurulento y contenido en M.O muy elevado.

46-100 cm: Limo gris, idéntico al anterior, pero con menor contenido en M.O.

100-175 cm: Arcilla con cantos silíceos y carbonatados de color gris verdoso. El contenido en cantos disminuye a partir de 135 cm.

175-220 cm: Arcilla o marga muy blanca o amarillenta, con niveles de arena silícea muy fina.

220-320? cm: Arcilla gris verdosa muy plástica, con pasadas de margas blancas.

El día 5/12/93, se toman muestras , pero no se describió la columna.

SONDEO ACEQUIÓN 4/6/93. PARCELA EXPERIMENTAL

0-60 cm: Limo gris oscuro, pulvurulento y contenido en M.O muy elevado.

60-85 cm: Limo gris, idéntico al anterior, pero con menor contenido en M.O.

85-127 cm: Arcilla blanquecina y verdosa con algo de arena

127-175 cm: Arena silícea de matriz arcillosa con cantos silíceos y de carbonato. El contenido en arcilla aumenta hacia la base.

175-240 cm: Arcilla plástica de color blanco amarillento.

240-310 cm: Arcilla ó marga gris muy plástica, con pasadas niveles de arena blanca homométrica, muy fina y sin cantos.

310- : Arena silícea, con matriz arcillosa y algunos cantos de carbonato, de color blanco amarillento

SONDEO ACEQUIÓN 9/9/94. PARCELA EXPERIMENTAL

0-60 cm: Limo gris oscuro, pulvurulento y contenido en M.O muy elevado.

60-117 cm: Limo gris, idéntico al anterior, pero con menor contenido en M.O.

117-187 cm: Arena silícea de matriz arcillosa con cantos silíceos y de carbonato. Color amarillo verdoso.

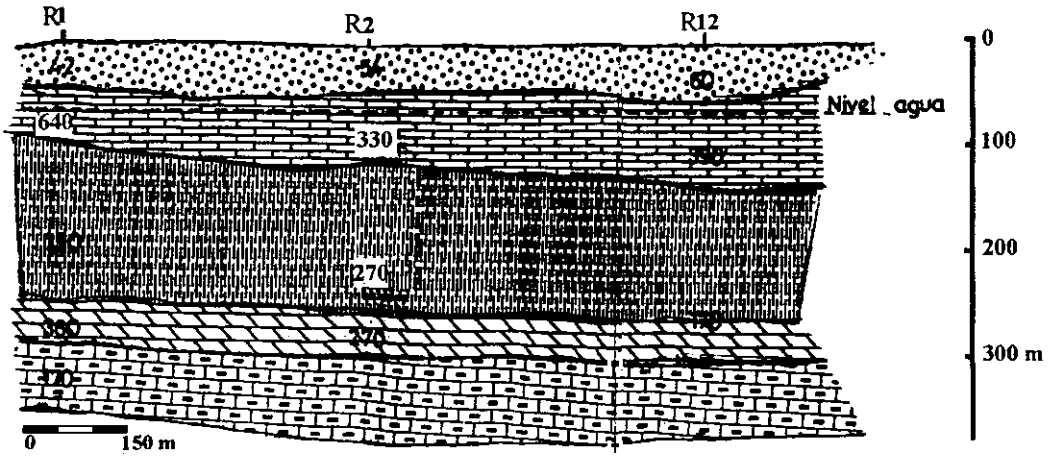
187-208 cm: Arcilla plástica de color blanco amarillento.
208-245 cm: Arena silícea.
245- ?: Arcilla o marga de color verde, con pasadas de arena muy fina de color blanco.
Se interrumpe la descripción, no obstante a 300 cm aparece marga blanca.

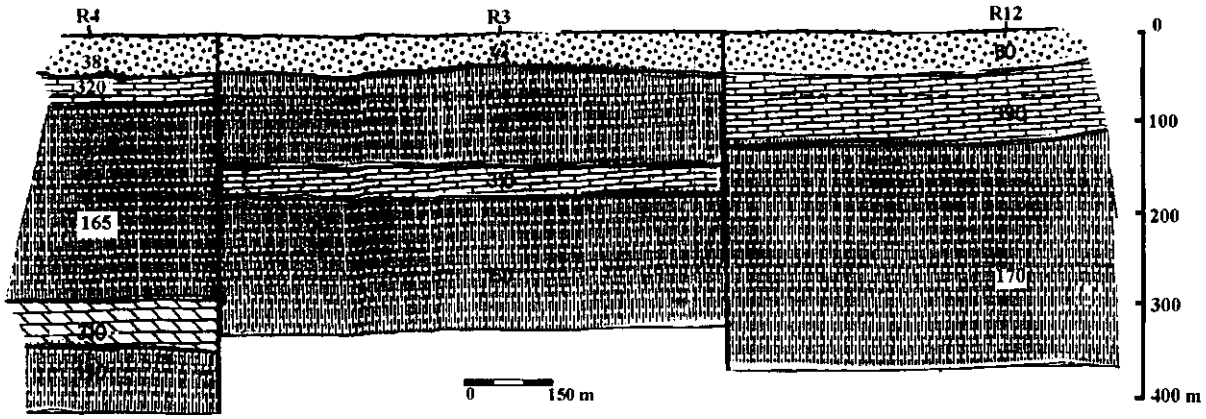
ANEXO 2

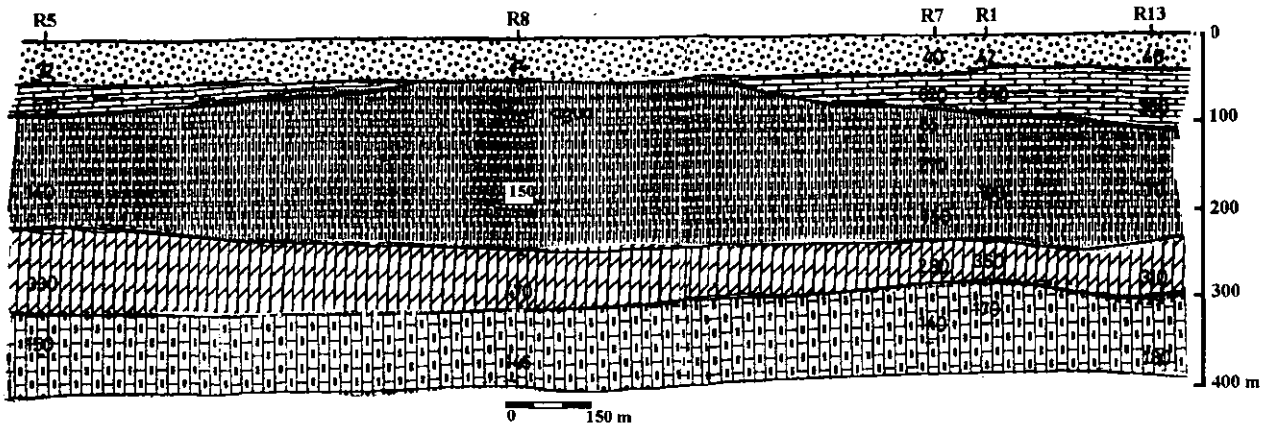
Interpretación de S.E.V. [1] y Fichas del Inventario de puntos de agua

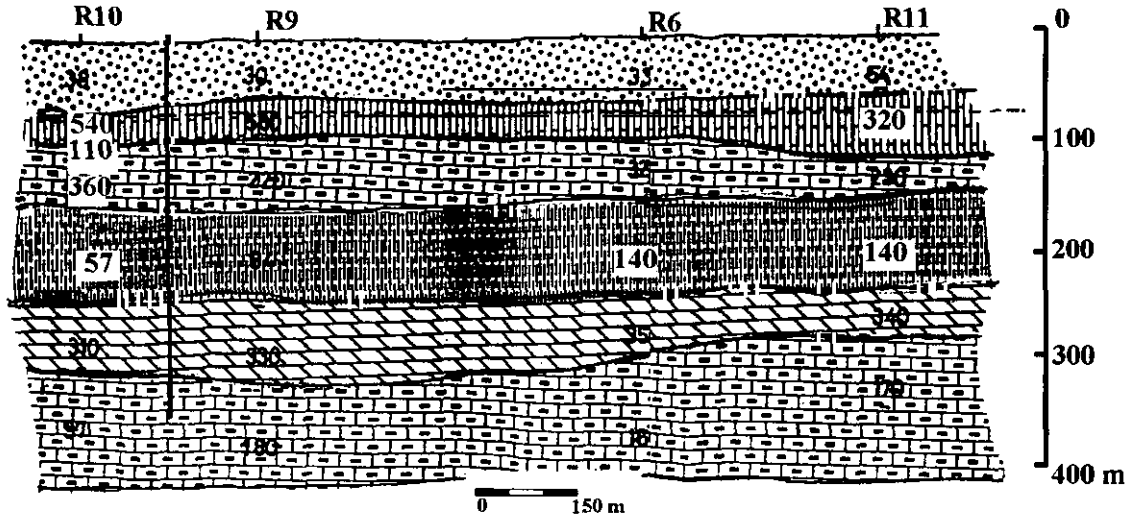
(1) Los sondeos eléctricos verticales han sido realizados e interpretados por Fuster (1981a, 1981b, 1987a 1987b). La posición de los mismos puede consultarse en el plano 1.

INTERPRETACIÓN DE LOS S.E.V. DE LA FINCA DEL RETALLO, DE ACUERDO CON FUSTER (1987a).

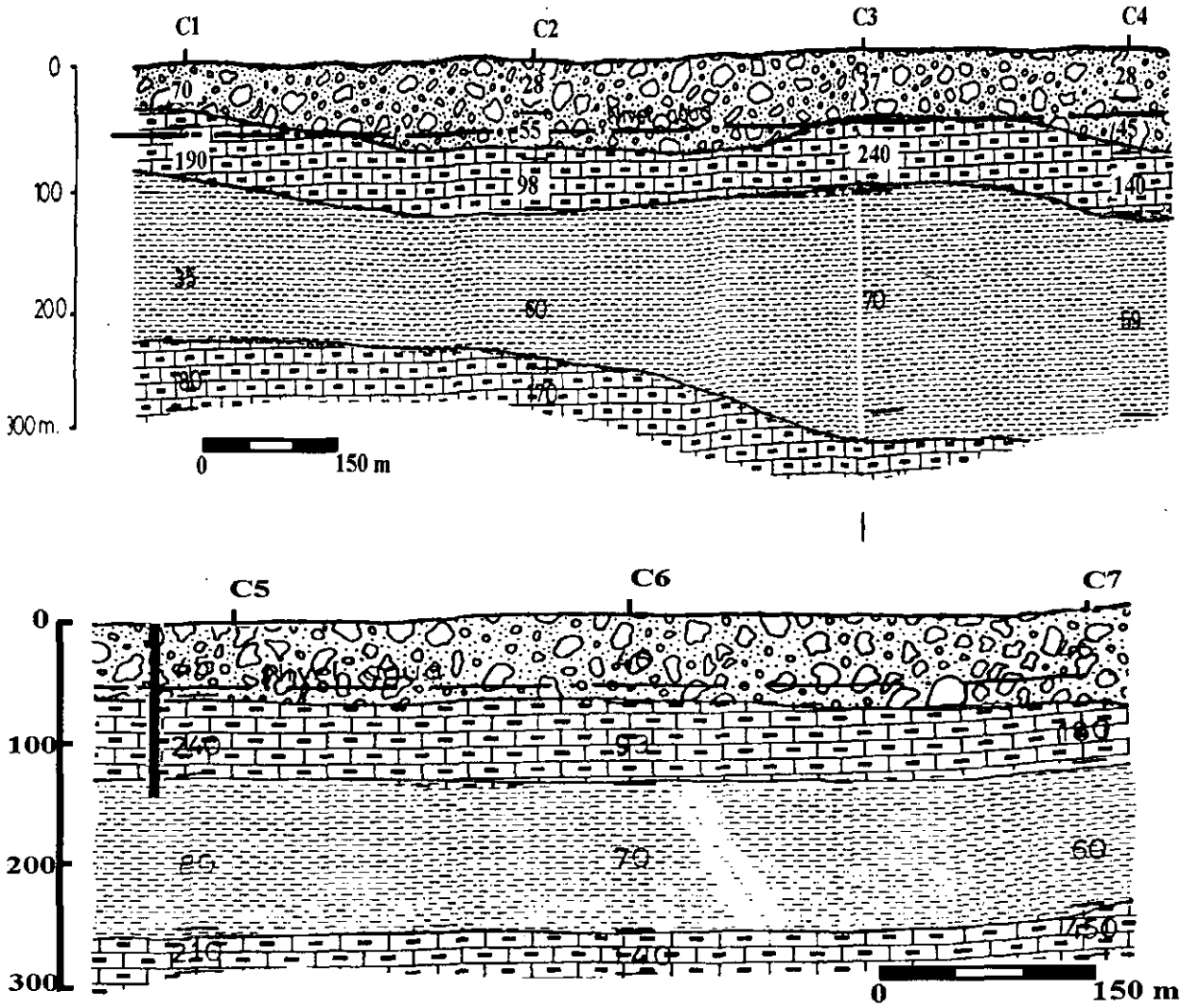




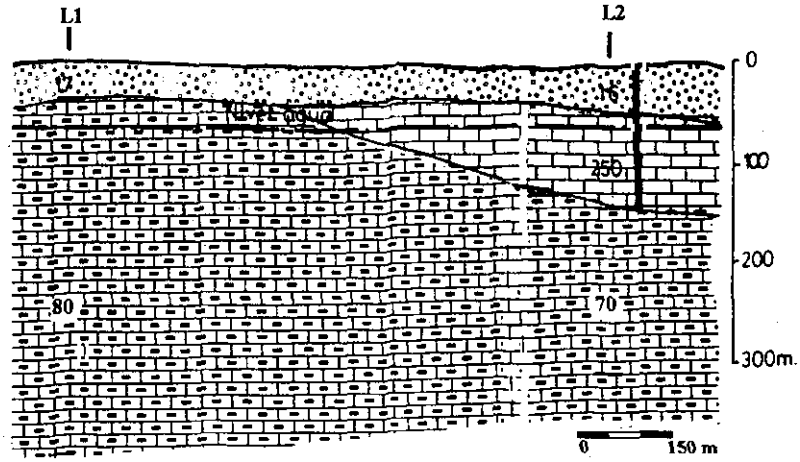


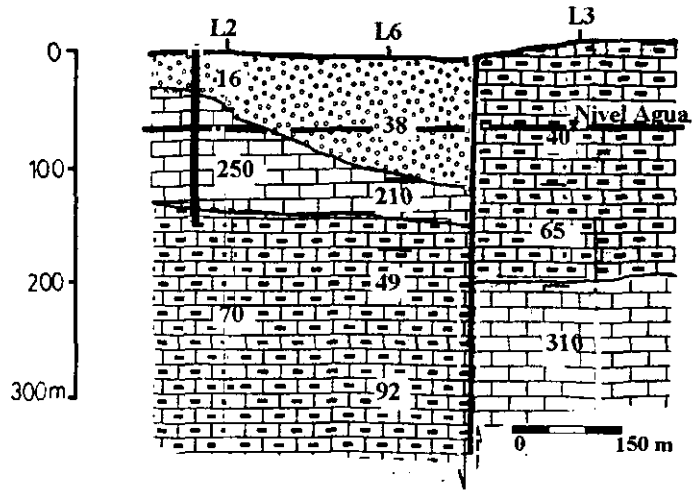


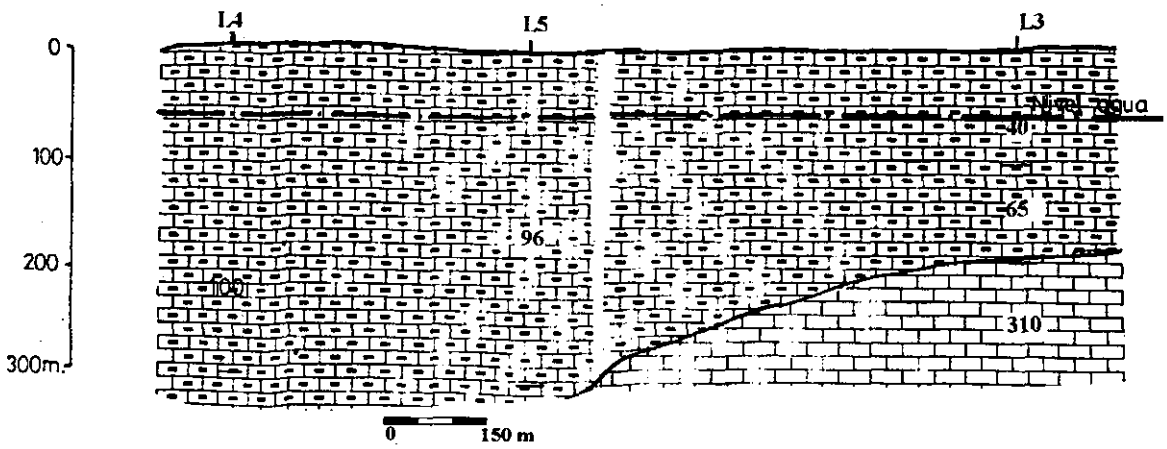
INTERPRETACIÓN DE LOS S.E.V. DE LA FINCA HUERTO CANOS, DE ACUERDO CON FUSTER (1981a).



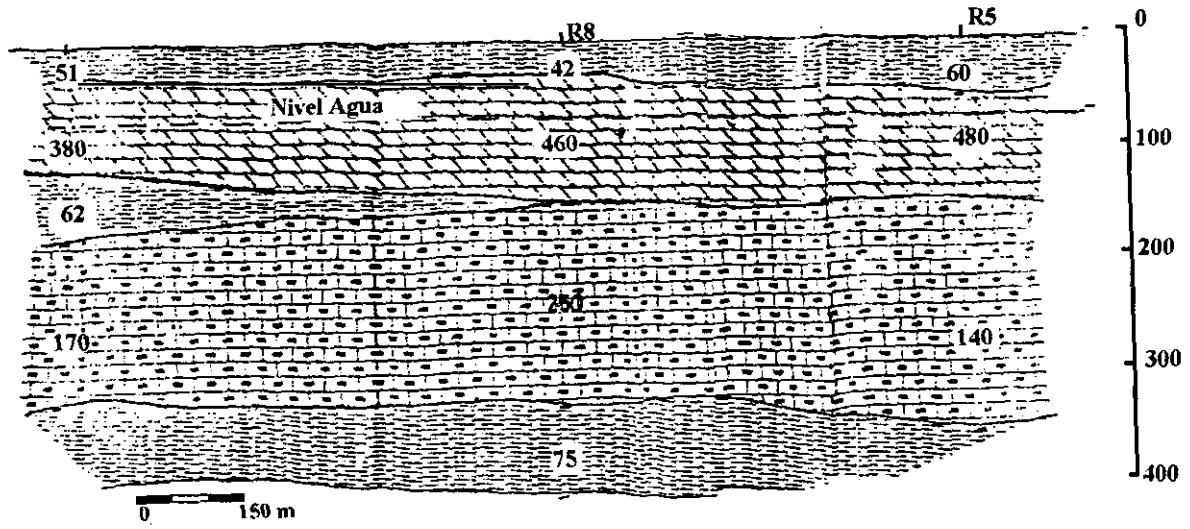
INTERPRETACIÓN DE LOS S.E.V. DEL PÁRAMO DE LA LOMILLA, DE ACUERDO CON FUSTER (1981b).







INTERPRETACIÓN DE LOS S.E.V. DE CASA ARNEDO, DE ACUERDO CON FUSTER (1987b).



LEYENDA Finca Retallo

- Limos y Conglomerados
- Calizas. Acuífero
- Margas
- Calizas o Dolomías
- Margas

LEYENDA La Lomilla

- Limos y Margas
- Calizas. Acuífero
- Margas

LEYENDA HuertoCanos

- Limos y Conglomerados
- Margas
- Calizas y Margas. Acuífero

LEYENDA Casa Arnedo

- Margas y Arcillas
- Calizas o Dolomías
- Margas y Calizas

ANEXO 2:

Resumen del inventario de puntos de agua

Prof: Profundidad del sondeo o pozo
Cota: Cota topográfica de la boca del sondeo
Nivel: Profundidad del nivel piezómetrico y fecha de la medida
Cota: Cota piezométrica y fecha de la medida
Rejillas: Posición de las rejillas
U.A.: Unidades acuíferas que atraviesa, y en las que se encuentra enrejillado.

- **(0)** Lías Inferior
- **(2)** Lías Superior
- **(3)** Cretácico Inferior
- **(4)** Cretácico Superior
- **(5)** Plioceno Inferior

N.INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL(m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/1/1 P. SGOP 765/63	114	713.58	53.09 12/3/74	660.49 12/3/74	71.82 23/10/91	641.76 23/10/91	?	2	Piezometría del ITGE. 1979-1989	P
765/1/2 C. La Picada	201	705	56.67 28/3/85	648.33 28/3/85	66.27 28/10/91	638.73 28/10/91	?	2	Sin equipar. Al lado 2 sondeos.	P
765/1/3 B.Nuevos 1	83	701	43 21/10/76	658 21/10/76	?	?	?	5		P
765/1/4 C.Arnedo	65	712.824	53.7 5/6/72	659.124 5/6/72	?	?		5		E
765/1/5 B.Nuevos 2	38	696	36.4 6/6/72	659.6 6/6/72	?	?		5	En 1972 a veces se secaba.	E
765/1/6 C. Entinosos	37	706.324	33.9 5/6/72	672.424 5/6/72	?	?		S		E
765/1/7 La Navica	57	709.156	48.87 5/6/72	660.86 5/6/72	?	?		S		E
765/1/8 C. del Cuarto	41.3	707.41	36.65 6/6/72	670.76 6/6/72	?	?		S	En 1972 sin s. de extracción.	E
765/1/9 C.del Amparo 1	50	704.98	45.71 15/12/76	659.27 15/12/76	?	?		5	En 1972 s.de ex-tracción: Noria.	E
765/1/10 B. Nuevos 3	84	697.722	41.2 21/4/74	656.522 21/4/74	?	?		5	Piezómetro ITGE 1974-1978.	P
765/1/11 C.Amparo	106	706	45.5 21/3/77	660.5 21/3/77	59.09 15/2/92	646.91 15/2/92		S	Sin revestir. En 1992 abandonado.	P
765/1/12 B. Nuevos 4	91	698	50.5 21/6/74	647.5 21/6/74	?	?	50-70	5	Sin s. de ex-tracción en 1974	P
765/1/13 C. Munera 1	61	702	41.47 22/3/77	660.53 22/3/77	?	?	48-61?	5	Filtros de la bomba a 60 m.	P

N. INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL(m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/1/14 C. Bernarda	101	709	50.14 26/7/76	658.86 26/7/76	62.75 26/7/6	646.25 26/7/76	50-101?	2	Abandonado en 1992.	P
765/1/15 C.Arnedo	201	717	62 22/5/85	655 22/5/85	?	?	156-201	2,5		P
765/1/16 C. Munera 2	247	698	51.35 18/11/85	646.65 18/11/85	?	?	?	2	Nivel colgado a 40 m. Cota=658 m	P
765/1/17 C. Munera 3	108	705	35 22/11/75	670 22/11/75	?	?		S	Sin revestir.Ta-pado en 1977.	P
765/1/18 C. Amparo 3	171	707	?	?	55.27 8/6/92	647.73 8/6/92	?	2		P

N.INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL(m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/5/1 B. Viejos 1	86	697.9	39.5 15/5/76	648.4 15/5/76	54.54 15/12/92	643.46 15/12/92	?	2		P
765/5/2 B. Viejos 2	138	697.36	40 1980	657.36 1980	55.08 15/2/92	642.28 15/2/92	43-140	2	La medida de 1980 es de NE.	P
765/5/3 Sondeo Barrax	118	704.22	44.61 14/6/72	659.61 14/6/72	61.18 9/6/92	643.04 9/6/92	?	2	Piezómetro ITGE (1974-1990).	P
765/5/4 P(SGOP) 765/57	150	712.97	51.6 27/2/75	661.37 27/2/75	69.48 2/5/92	643.49 2/5/92	?	2	Piezómetro ITGE (1975-1990).	P
765/5/5 Ll. P. Urréa	156	715	59.5 18/10/79	656 18/10/79	68.7 1/90	646.3 1/90	?	0,2	Filtros Bomba a 90 m.	P
765/5/6 P(SGOP) 765/59	?	712.16	47.19 18/11/76	664.19 18/11/76	64.44 2/5/92	647.72 2/5/92	?	2	Sin equipar.Pie-zómetro 76-86.	P
765/5/7 B. Viejos 3	124	697.16	42.08 5/82	655.08 5/82	71.82 15/2/92	625.34 15/2/92	85-100	2	El 15/2/92 se mide N.Dinámico.	P
765/5/8 Cort.Morales 1	110	715	32.83 1/2/74	682.17 1/2/74			?	2	En 1992 no se pudo medir.	P
765/5/9 C. Mormaz	17.3	697.61	12.48 8/6/72	685.13 8/6/72	15.25 1/5/92	681.91 1/5/92	?	S		E
765/5/10 La Quintanilla	30	702	17.1 5/6/72	684.9 5/6/72	SECO 1992	SECO 1992		S		E
765/5/11 Ctras.Abajo	25	707.412	23.25 5/6/72	684.162 5/6/72	?	?		S		E
765/5/12 B. Viejos	?	698	40.8 6/6/72	657.2 6/6/72	?	?		S		E
765/5/13 Cuarto Bolo	40	704.582	38.8 8/6/72	665.882 8/6/72	37.6 2/5/92	666.962 2/5/92		S	Abandonado en 1992.	E

N. INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/5/14 Mormaz 2	103	702.09	42.51 14/6/72	659.58 14/6/72	?	?	?	2,5	En 1992 no se pudo medir.	P
765/5/15 Cort.Morales 2	85	716	40.45 1/2/74	675.55 1/2/75	?	?	?	S	En 1992 no se pudo medir.	P
765/5/16 Cuarto Bolo	125	704.652	46.14 13/4/76	658.512 13/4/76	59.97 2/5/92	644.682 2/5/92	?	0,2	En 1992 averiada la bomba.	P
765/5/17 P.SGOP 765/58	236	711	27.96 15/6/78	683.04 15/6/78	31.59 8/6/92	679.41 8/6/92	82-148	2	Piezometría año 1978. Datos ITGE	P
765/5/18 Cort.Morales 3	110	712	12.14 * 5/6/72	699.96 * 5/6/92	65.02 * 2/5/92	646.98 * 2/5/92	90-110	2	*Perforado enuno excavado de 30m.	P
765/5/19 Cort.Morales 4	110	712	?	?	64.79 2/5/92	647.21 2/5/92	90-110	2		P
765/5/20 Cort.Morales 5	120	712	23.4 1/2/74	685.5 1/2/74	62.17 2/5/92	649.83 2/5/92	100-120	2	Se escucha agua el en interior.	P
765/5/21 C. a la Roda	161	708.9	62 17/5/82	653 17/5/92	65.54 8/6/92	647.41 8/6/92	?	2		P

N.INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL(m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/6/1 Casa Caballos	11.9	696.403	7.55 8/7/72	688.853 8/7/72	11.42 1/5/92	684.983 1/5/92		S	Abandonado en 1991.	E
765/6/2 Casa Capitán	25.9	689	?	?	25.05 1/5/92	663.95 1/5/92		S	Si llueve suben los niveles.	E
765/6/3 Las Tiesas	220	695.45	?	?	55.39 15/2/91	640.06 15/2/91	20-220	2	Perforación muy reciente.	P
765/6/4 Las Tiesas 3	233	698	?	?	52.93 15/2/92	645.07 15/2/92	154-233	2		P
765/6/5 Las Tiesas 2	145	695	43.81 16/11/82	651.19 16/11/82	52.59 2/5/92	642.41 2/5/92	112-145?	2,5		P
765/6/6 Las Tiesas 3	115	698	33.8 19/12/74	664.2 19/12/74	53.92 2/5/92	644.08 2/5/92	?			P
765/6/7 C. Tiesas 1	19	700	?	?	14.2 21/7/91	685.8 21/7/91		S	En 1992 fue ta-pado.	E
765/6/8 C. Tiesas 2	9.5	700	?	?	SECO 21/7/91	SECO 21/7/91		S	En 1992 fue ta-pado.	E
765/6/9 S.del Acequión	220	691	3.3 19/12/72	687.7 19/12/72	20.29 23/10/91	670.71 23/10/91	?	S	Abandonado 1991. Tapado en 1992.	P
765/6/10 Casa Cebrián	200	699	?	?	18.72 25/10/92	680.28 25/10/92	?	3	Recien perfora-do y sin equipar	P
765/6/11 Las Monjas	347	696.78	47.19 4/1974	649.59 4/1974	56.4 1/1990	640.38 1/1990	264-282 307-346	3,4	Piezómetro ITGE 1974-1990.	P
765/6/12 SGOP n.2 LT2 T.Piezmétr.n.1	40	695.63	33.74 26/3/79	661.89 26/3/79	37.5 15/2/92	658.13 15/2/92	?	5	Piezómetro ITGE 1979-1990.	P
765/6/12 SGOP n.2 LT2 T.Piezmétr.n.2	156	695.63	43.72 26/3/79	651.91 26/3/79	41.93 15/2/92	653.7 15/2/92	?	5	Piezómetro ITGE 1979-1990.	P

N. INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/6/13 C. Capitán n 2	18	689	10.92 8/6/72	678.08 8/6/72	?	?		S		E
765/6/14 C. Moral n 1	17	698	11.76 8/6/72	686.24 8/6/72	16.45 1/5/92	681.55 1/5/92		S	Según ITGE su prof. es de 14 m	E
765/6/15 C.Rojas Viejas	14	696.423	10.42 8/6/72	686.003 8/6/72	?	?		S		E
765/6/16 C. Moral n 2	19	697	11.25 8/6/72	685.75 8/6/72	?	?		S		E
765/6/17 C.Capitán n 3	15	689	6.37 15/12/72	682.63 15/12/72	?	?		S		E
765/6/18 C. Majano	220	692	44.47 23/3/81	647.53 23/3/81	52.54 24/1/90	639.46 24/1/90	165-220?	2	Piezómetro ITGE 1981-1990.	P
765/6/19 Las Tiesas	200	696.5	34 15/11/79	662.5 15/11/79	34.43 15/12/91	662.07 15/2/91	167-200?	2	Abandonado. Poca productividad.	P
765/6/20 Algibarro	100	698.156	39.05 15/5/74	659.106 15/5/74	50.32 1/5/92	647.836 1/5/92	?	5	Piezómetro ITGE 1979-1990.	P
765/6/21 Casas Rojas	110	699	12 14/2/78	687 14/2/78	?	?	?	5	Caudal escaso o nulo en 1978.	P
765/6/22 Algibarro	100	692	39.75 25/5/79	652.25 25/5/75	50.06 1/5/92	641.94 1/5/92	60-100?	5		P
765/6/23 Casa Cebrián	120	699	14.5 19/5/80	684.5 19/5/80	26.64 10/6/92	672.36 10/6/92	?	5		P
765/6/24 C. del Moral	13	697.8	?	?	11.7 1/5/92	686.1 1/5/92		S	Abandonado	E

N.INVENTARIO TOPONIMIA	PROF (m)	COTA (m)	NIVEL(m) FECHA	COTA (m) FECHA	NIVEL (m) FECHA	COTA (m) FECHA	REJILLAS	U.A	OBSERVACIONES	N
765/6/25 C. del Moral	14.3	698.166	?	?	SECO 1/5/92	SECO 1/5/92		S	Abandonado.	E
765/6/26 C. de Saavedra	16.9	693	?	?	12.4 1/5/92	680.6 1/5/92		S	Motor Gasolina. Bomba Horizontal	E
765/6/27 El Acequión	6.85	694	?	?	SECO 1/5/92	SECO 1/5/92		S	Abandonado	E
765/6/28 C. Capitán n 4	22.1	689	?	?	19.38 1/5/92	669.62 1/5/92		S	Se sigue ut.ili- zando.	E
765/6/29 C. Capitán n 5	17.4	689.411	?	?	SECO 1/5/92	SECO 1/5/92		S	Abandonado.	E
765/6/30 Las Tiesas	233	698	?	?	?	?	154-233	2	Se colapso y lo taparon.	P
765/6/31 A. Blanco	13.5	697	9.6 15/6/72	687.4 15/6/72	SECO 11/6/92	SECO 11/6/92		S	Ababdonado.	E
765/6/32 C.C.Arriba	?	693	?	?	13.55 11/6/92	679.45 11/6/92		S		E

ANEXO 2

FICHAS DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 7469 Pasada D		INDICE	765	1 1
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	731 050
TOPONIMIA	La Picada			V	499 800
PARAJE	Piezómetro SGOP 765/63 P.11		COTA DEL SUELO	E:	
SISTEMA ACUIFERO	LLanos-Albacete			N	713.58

PROPIETARIO	SGOP		
DIRECCION	Avenida de Portugal Madrid	TEL	464 0800
CONSTRUCTOR	SGOP		
DIRECCION	Avenida de Portugal Madrid	TEL	464 0800

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	114m.	FECHA CONSTRUCCION	1974		
DIAMETRO	400mm	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

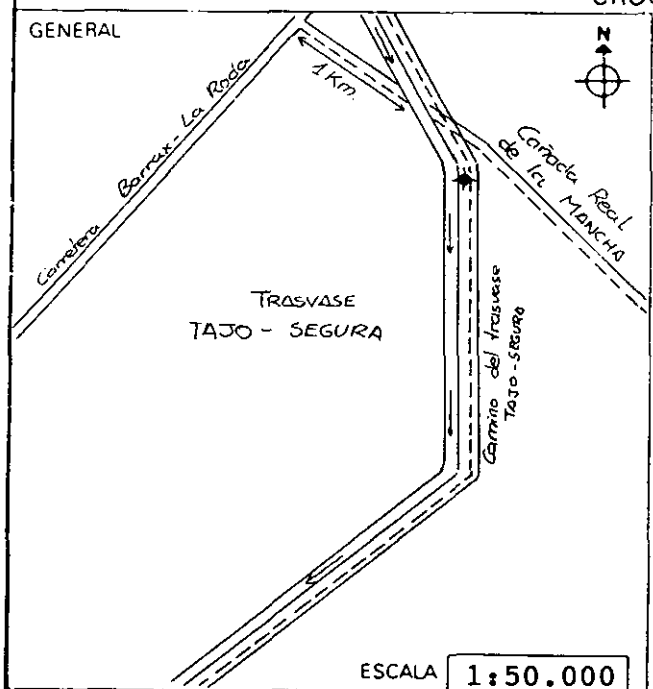
REF. ALTIMETRICA	Boca del Sondeo	ALTURA	±40cm	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	12.3.74	18.11.76	23.10.91
	(m)	53.09	55.74	71.82
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES	NO
HORARIO	Cualquiera			

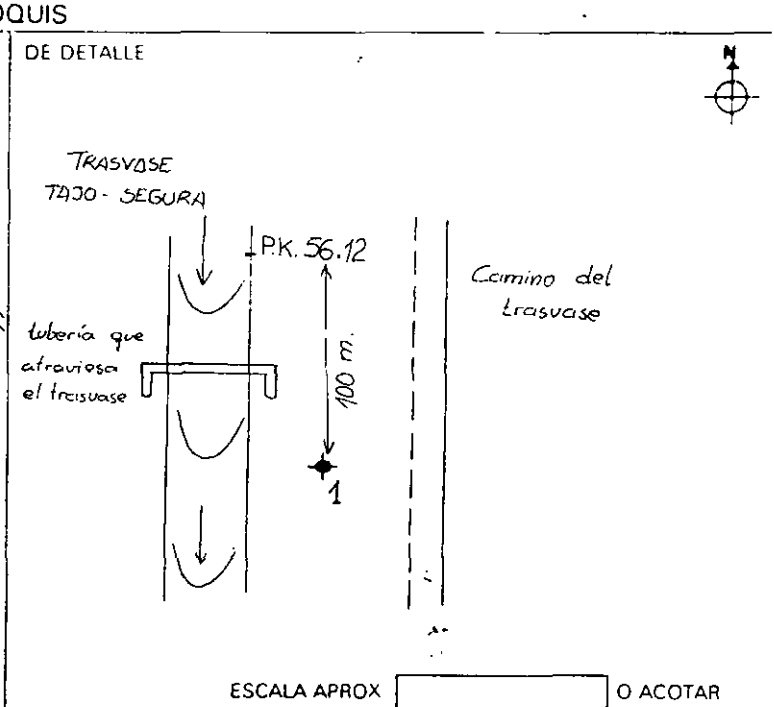
	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Es un piezómetro de control, no se encuentra equipado. Se nivela la boca del Sondeo. Se corresponde con el punto 765/1/29 del ITGE.

Dispone de registro piezométrico desde el año 1979-1989.

CROQUIS



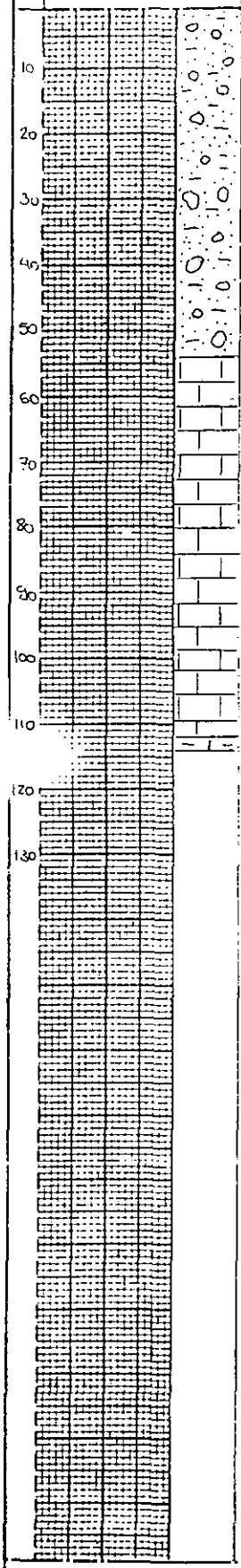


DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 23/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: P. SGOP | S ACUIFERO: Jurásico (3) | INDICE: 765 | 1 | 1



MATERIAL

0-54m. Cantos, arcillas y arenas.

54-112m. Calizas (colleras)

112-114m. Margas (Madroño)

ACUIFERO: B | R | P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
?		400	Percusión

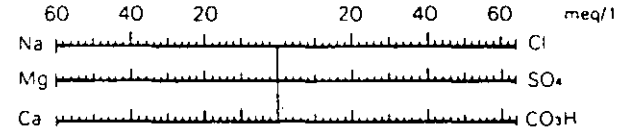
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE: 765/1/29

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7469 pasada C		INDICE	765	1	2
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del pozo 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	731	650
TOPONIMIA	Casas de la Picada			V	499	500
PARAJE	"Casas de la Picada"		COTA DEL SUELO	E	705m.	
SISTEMA ACUIFERO	Albacete - Los LLanos			N		

PROPIETARIO			
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	Antonio Ruiz Alcaraz		
DIRECCION	C/Paraíso 7, (Alicante)	TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	201m.	FECHA CONSTRUCCION	1984		
DIAMETRO	450mm	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC.		hab	
	INDUSTRIA DE			

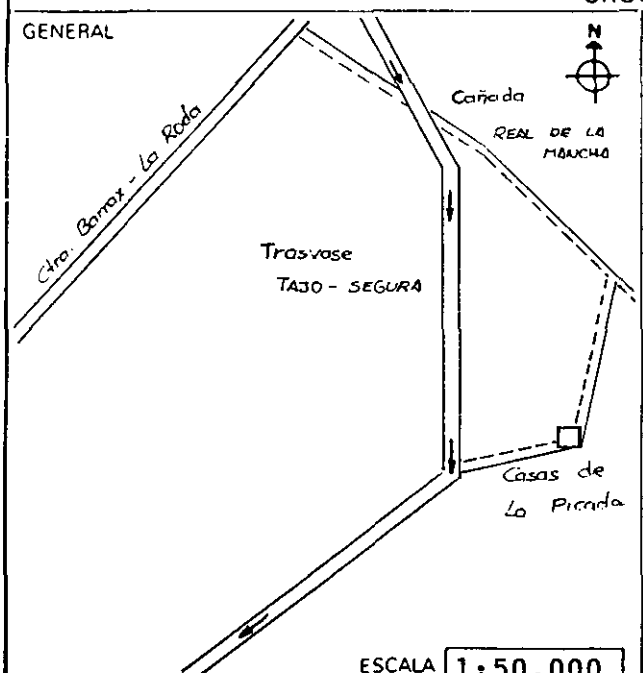
FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

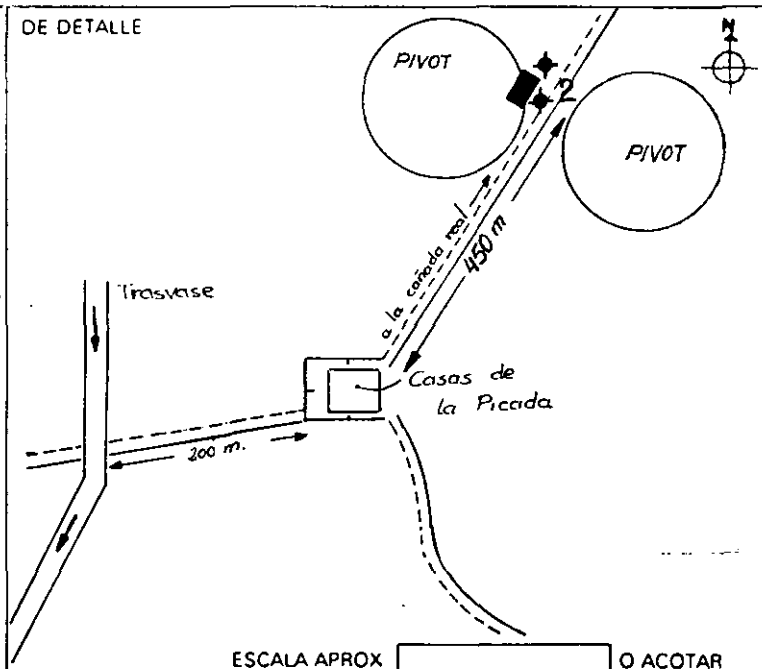
REF. ALTIMETRICA	Boca del Sondeo			ALTURA	0m								
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	28.3.85	23.1091										
	(m)	56.67	66,27										
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL	X							
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO								
HORARIO													

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES No está equipado. Se nivela la boca del sondeo, que está al ras del suelo. Hay dos sondeos al lado que se usan. No se permitió medirlos. La medida de 1985 es del ITGE. (No da la referencia del punto de medida.

CROQUIS





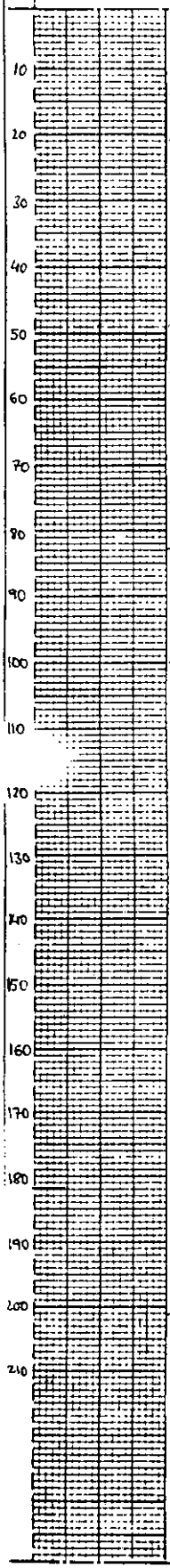
DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 23/10/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	CASAS DE LA PICADA	S ACUIFERO	JURASICO	INDICE	765	1	2



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Calizas			
MARGAS VERDES			

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

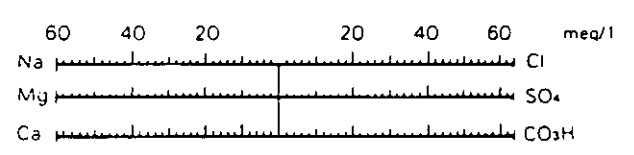
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
		450	5	ACERO

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES 765 /1/51 del ITGE

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3885 Pasada C.		INDICE	765	1	3
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo	1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	734	600
TOPONIMIA	Blancares Nuevos nº 1			V	501	900
PARAJE	Llano De Los Majadares		COTA DEL SUELO	E	701	
SISTEMA ACUIFERO	Llanos Albacete . Pontiense			N:		

PROPIETARIO	José Ramón Ciller		
DIRECCION	C/ Zapateros nº 8 Albacete	TEL	(967)507442
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	83m	FECHA CONSTRUCCION	1976		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL 1/sg.	115
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	24
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	15

FECHA 1976

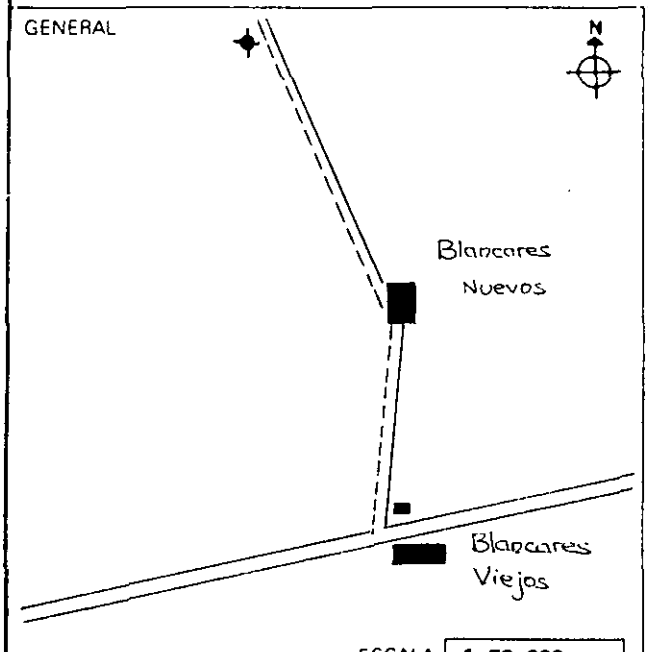
REF. ALTIMETRICA	Boca T. Piezómetro		ALTURA			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA		21.10.76			
	(m)		43			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL	X
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	
HORARIO						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Perforado a percución . La medida del año 1976 es nivel estático. No se permitió medirlo en 1991 . DATOS EXTRAIDOS DE LA BASE DEL ITGE.

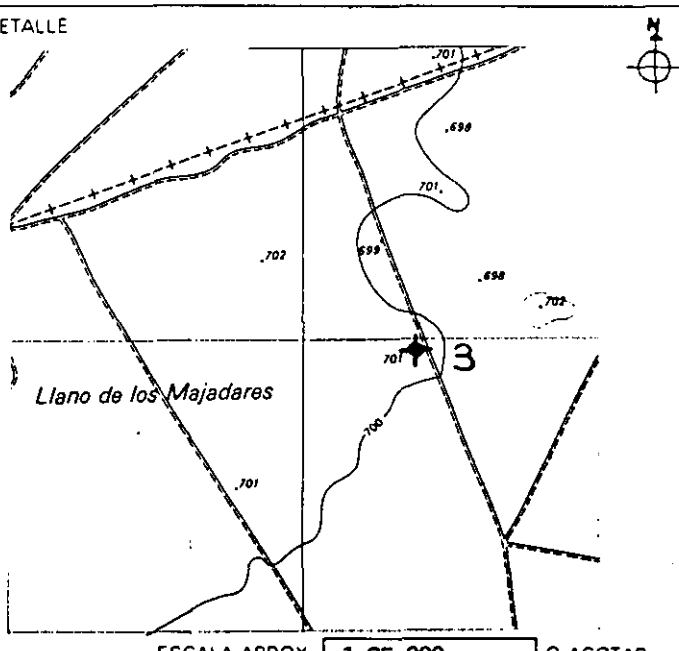
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 21/10/76 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Blancares Nuevos 1 | S ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 | 1 | 3

DETALLE

Pt | Ø en mm | Terreno | Pt | MATERIAL | ACUIFERO B | R | P

10
20
30
40
50
60
70
80

?

58

Calizas

77

Arcillas rojizas

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	58		

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	58	500	?	Acero
58	83	Sin revestir		

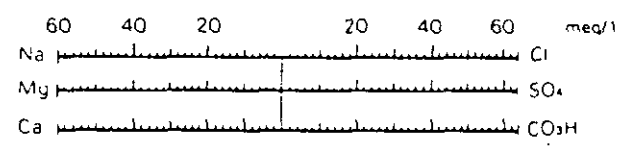
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraidos ITGE pozo 2430/1/23

Piezometro ITGE 79 - 84

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	1	4
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Hoya del pozo 1:25.00		
Tno MUNICIPAL	La Roda	COORDENADAS	H	730	425
TOPONIMIA	Casas Arnedo		V	502	250
PARAJE	Casas Arnedo	COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO			N	712.824	

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	65m	FECHA CONSTRUCCION	
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	Filtro 60m TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR *(1)

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO		
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE X Hortalizas	ha	
	ABASTEC.	hab	
	INDUSTRIA DE		

FECHA			
CAUDAL			
TIEMPO BOMBEO (h)			
DESCENSO (m)			

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.1
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	5.6.72	25.10.73	
	(m)	53.3	52.83	

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	?	A VECES		NO	
HORARIO	?					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☒
PERFIL GEOLOGICO	☐	☒
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☒
ANALISIS QUIMICO	☐	☒
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☒
OTROS ENSAYOS	☐	☒

OBSERVACIONES (1) Sistema de extracción molinetas. (5/6/72) Datos extraídos de la base del ITGE.

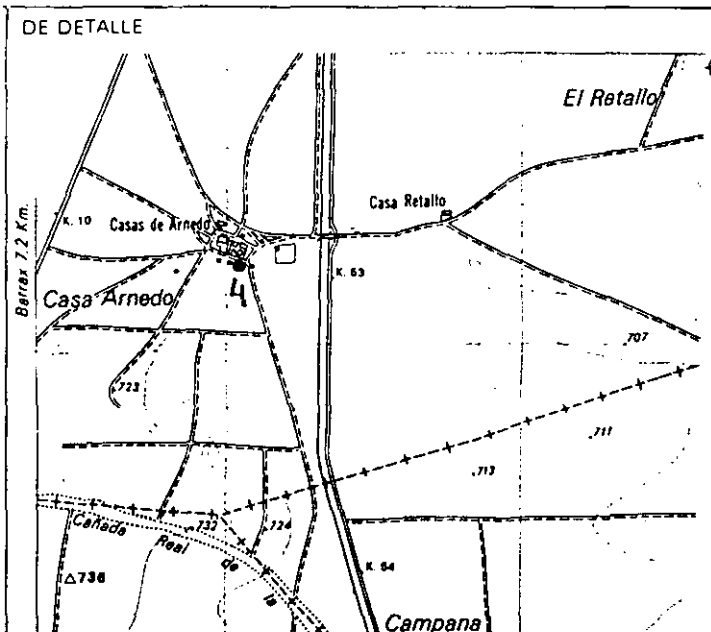
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 13/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO :

TOPONIMIA	Casas Arnedo	S. ACUIFERO	Neogeno Profundo	INDICE	765	1	4

DETALLE (Pf | Ø en mm | Terreno | Pf) | MATERIAL | ACUIFERO (B | R | P)

?

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
		850 X 660	

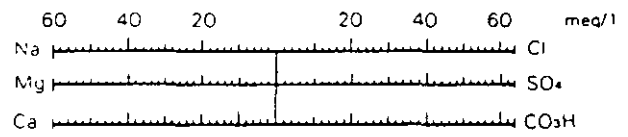
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
				Piedra y Mampostería
				Hasta 3m.

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES Segun inv. ITGE 765/1/6

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Roto 3885 Pasada C		INDICE	765	1 5
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta 1:50.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	735 050
TOPONIMIA	Blancares Nuevos nº 2			V	499 700
PARAJE	Blancares Nuevos		COTA DEL SUELO	E	696
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	D. J. Antonio Ciller.		
DIRECCION	C/ Zapateros nº 8, Albacete	TEL	(967) 507442
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	38m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR *(1)		
TIPO	NO	
POT		CV
		KW
BOMBA		
TIPO	NO	
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
X	ABASTEC.	Animales	hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Brocal Pozo		ALTURA	0.7m
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	6.6.72	15.12.72	
	(m)	36,4	36,2	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO X	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO
HORARIO	?			

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Algunos años se seco , con cierto sabor a sal. *(1) sistema extracción ; noria. No se diò permiso para medir los pozos de ésta finca en 1991.

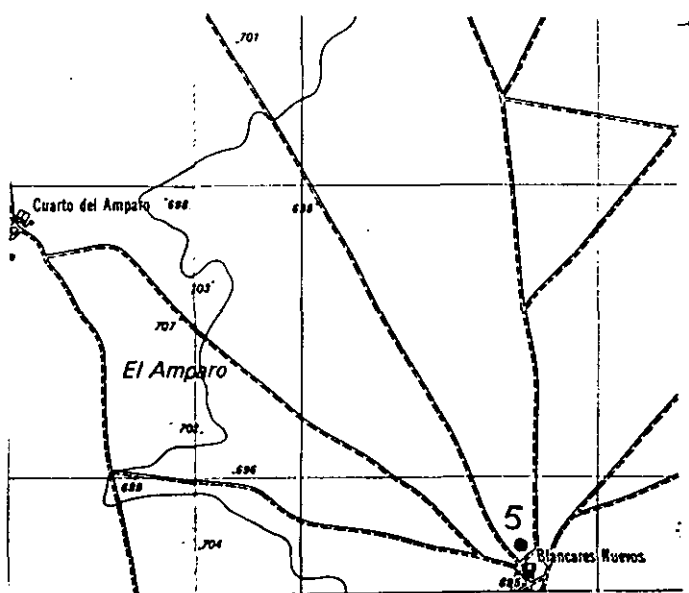
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 6/6/1972 INSTRUCTOR: J.L.Q. Inventario ITGE

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO :

TOPONIMIA	Blancares Nuevos 2	S ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	1	5

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

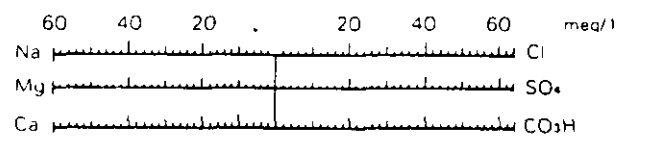
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
		120 X 70 mm²	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4^=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos del ITGE.

Según inventario del ITGE 2430/1/5.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	1	6
PROVINCIA	Albacete	MAPA	La Gineta 1:50.000		
Tno MUNICIPAL	La Roda	COORDENADAS	H	733	050
TOPONIMIA	Casa De Los Entinosos		V	505	100
PARAJE	Casa Bernardo	COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO			N	706.324	

PROPIETARIO					
DIRECCION		TEL			
CONSTRUCTOR					
DIRECCION		TEL			
NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	37.5	FECHA CONSTRUCCION	?
DIAMETRO	900X600 REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO			
POT			CV
			KW

BOMBA

TIPO			
MARCA			
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

				FECHA			
	RIEGO DE		ha	CAUDAL			
X	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)			
X	INDUSTRIA DE	Ganaderia		DESCENSO (m)			

REF. ALTIMETRICA	Brocal	ALTURA	0.5			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	5.6.72				
	(m)	33.9				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	
HORARIO						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES

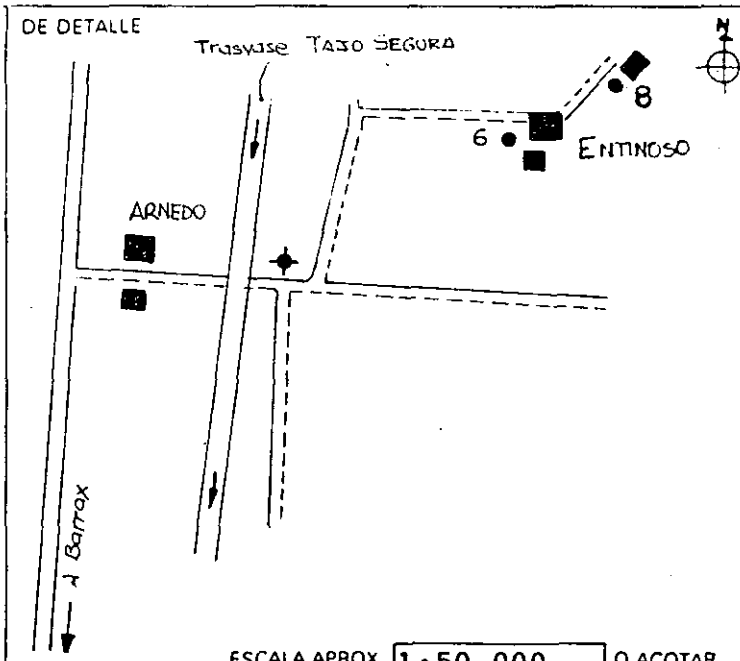
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:50.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 5/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: C.De los Entinosos | S ACUIFERO: Neogeno Superf. | INDICE: 765 | 1 | 6

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	37,5	900 X 600mm^2	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

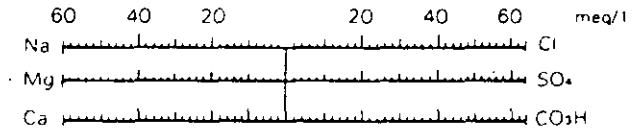
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Segun inventario ITGE 2430/1/8 . Datos extraídos del ITGE.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	1	7
PROVINCIA	Albacete	MAPA	La Gineta 1:50.000		
Tno MUNICIPAL	La Roda	COORDENADAS	H	729	925
TOPONIMIA	Casa De La Navica		V	504	800
PARAJE	La Navica	COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO			N	709.156	

PROPIETARIO			
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	57m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	850X600	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT			CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC		hab	
INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.5
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	5.6.72	15.12.72	
	(m)	48.87	48.82	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	A VECES	NO	
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES

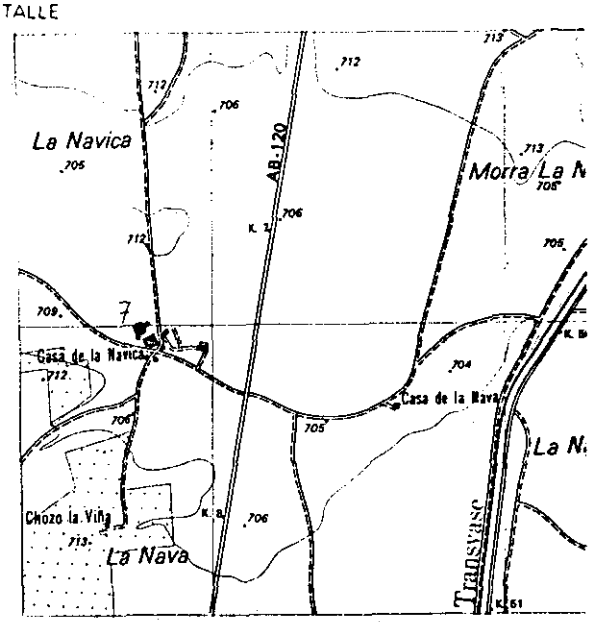
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



N

ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 5/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: C.De La Navica | S ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 1 7

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	57	0.85 x 0.6 m^2	

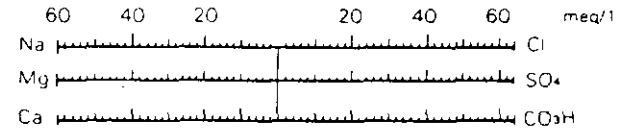
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Segun ITGE 2430/1/7.
Datos extraidos del ITGE

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: 5/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	1	8
PROVINCIA	Albacete	MAPA	La Gineta 1:50.000		
Tno MUNICIPAL	La Roda	COORDENADAS	H	734	250
TOPONIMIA	Casas Del Cuarto		V	505	600
PARAJE	Casa Cuarto	COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO			N	707.410	

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	41,3	FECHA CONSTRUCCION	
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO			
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA

REF. ALTIMETRICA	Brocal	ALTURA	0.6		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	6.6.72	15.12.72		
	(m)	36.65	36.80		

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES No tiene ningún sistema de extracción.

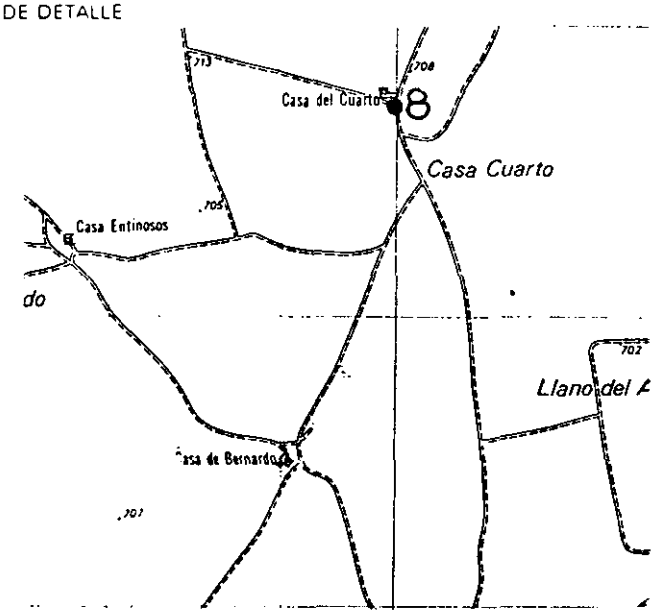
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX — O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 6/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Casa Del Cuarto | S ACUIFERO: Neogeno Superfic. | INDICE: 765 | 1 | 8

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	41.3	800	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

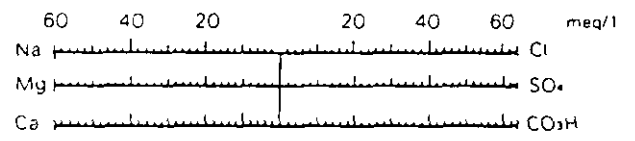
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Segun ITGE 2430/1/9.

Datos extraídos del ITGE

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3893 Pasada C		INDICE	765 1 9	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta 1:50.000	
Tno MUNICIPAL	La Roda		COORDENADAS	H	733 250
TOPONIMIA	Cuarto De Amparo nº 1			V	500 750
PARAJE	Casa Cuarto		COTA DEL SUELO	E	
SISTEMA ACUIFERO				N	704.980

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO: Excavado — PROFUNDIDAD: 50 — FECHA CONSTRUCCION

DIAMETRO — REVESTIMIENTO — ZONA REJILLA — TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR * (1)

TIPO

POT — CV / KW

BOMBA

TIPO

MARCA

CAP NOM — l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE ____ ha

ABASTEC ____ hab

INDUSTRIA DE

FECHA

CAUDAL

TIEMPO BOMBEO (h)

DESCENSO (m)

REF. ALTIMETRICA: Brocal — ALTURA

PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	5/6/72	15.12.72		
	(m)	46	45.71		

ACCESIBILIDAD: DIRECTA — CON PERMISO — DIFICIL

FACILIDAD DE MEDICION: SI — A VECES — NO

HORARIO

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

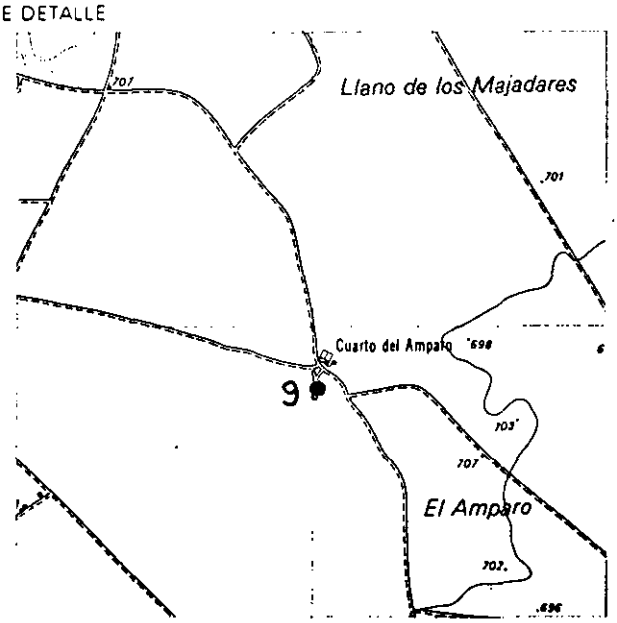
OBSERVACIONES *(1) Funciona con noria.

CROQUIS

GENERAL — N

ESCALA

DE DETALLE — N



ESCALA APROX 1;25.000 — O ACOTAR

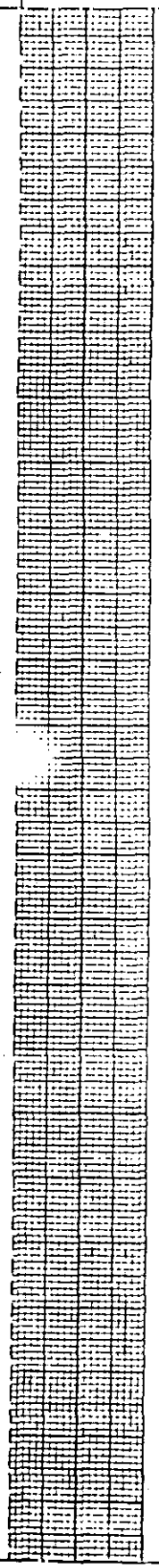
DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 5/6/72 — INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA: Casas Del Cuarto nº1 | S. ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 | 1 | 9

DETALLE Pl	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P



CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
		900 X 450mm^2	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

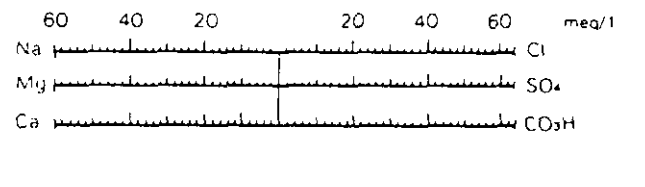
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | | micromho/cm | a | | °C

DUREZA | | mg/l CO_3Ca | pH | |

OTROS | |



LABORATORIO | | FECHA | |

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
Cl^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Segun inventario ITGE

2430/1/12. Datos extraidos del ITGE

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO			
ZONA/SUBZONA	Foto 3885 Pasada C	INDICE	765 1 10
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Hoyo Del Pozo 1:25.00
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS	H 735 850
TOPONIMIA	Blancares Nuevos nº3		V 501 450
PARAJE	Paramo De La Loma Alta	COTA DEL SUELO	E
SISTEMA ACUIFERO			N 697.722

PROPIETARIO	D.J.Antonio Ciller en 1974		
DIRECCION	C/Zapateros nº 8, Albacete.	TEL	(967) 507442
CONSTRUCTOR	Luis Lerma		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	84m	FECHA CONSTRUCCION	5/74
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	de 50a70m
TIPO					

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR		
TIPO		
POT		CV
		KW
BOMBA		
TIPO		
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

EXTRACCION (m^3/año)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC.		hab
INDUSTRIA DE		

FECHA		4/6/74
CAUDAL	l/s	116/56
TIEMPO BOMBEO (h)		24
DESCENSO (m)		23

REF. ALTIMETRICA			ALTURA	010
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	21.4.74	18.11.76	15.5.76
	(m)	41.20	42.48	41.88
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Datos de nivelación : corresponde al punto de referencia.
Es un piezómetro ITGE . Sin sistema de extracción en 1974. Se hace bombeo oficial. No s
permitió medir este sondeo en 1991.

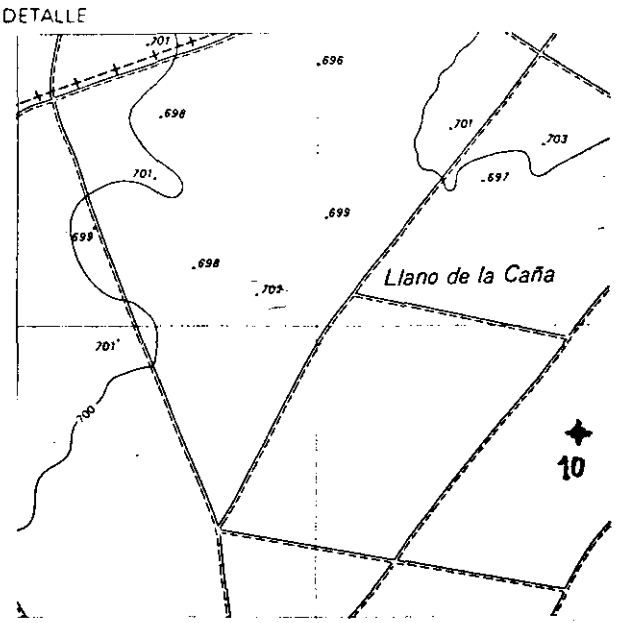
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



N

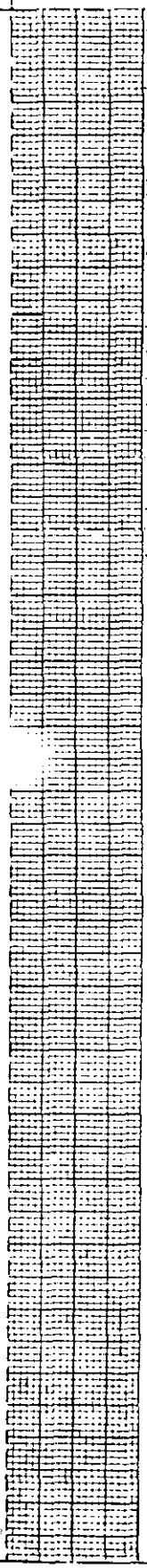
ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 1974 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Blancares Nuevos nº 3 | S ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 | 1 | 10



Pt	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
			Caliza			
		13				
			Caliza y arcilla blanca			
		38				
		49	Arcilla negra			
			Caliza			
		80				
		84	Arcilla roja			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
			A percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	60	500		
0	75	450		

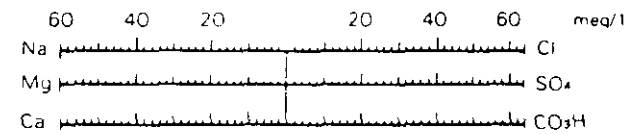
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario ITGE : 765/1/25

Datos extraídos del ITGE.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3893 Pasada C.		INDICE	765	1 11
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.00	
Tno MUNICIPAL	La Roda		COORDENADAS	H	732 750
TOPONIMIA	Cuarto De Amparo nº 2			V	500 900
PARAJE	LLanos De Los Majadares		COTA DEL SUELO	E	706
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR: Lerma en 1977

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	106m	FECHA CONSTRUCCION	6/77		
DIAMETRO	550-480	REVESTIMIENTO	Sin revestir	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO			
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	CAUDAL		
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		

FECHA

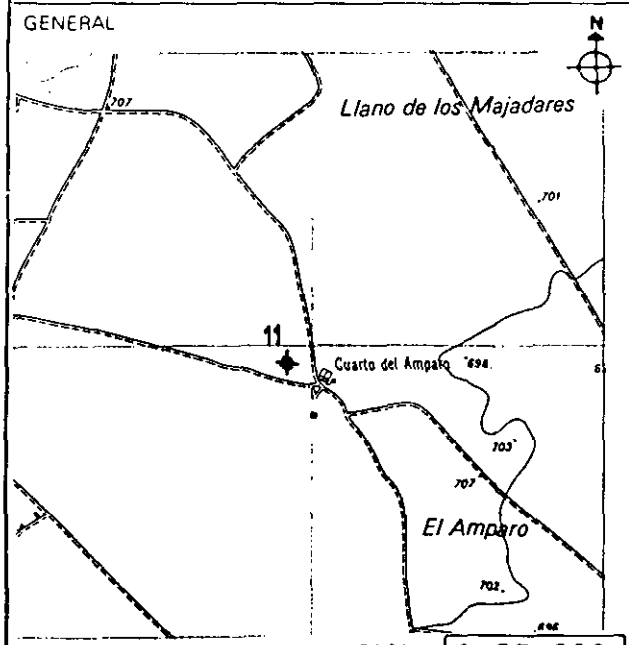
REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	70cm	
PROF NIVEL DEL AGUA — FECHA	21.3.77	?	15.2.92		
(m)	45.5	45.5	59.09		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

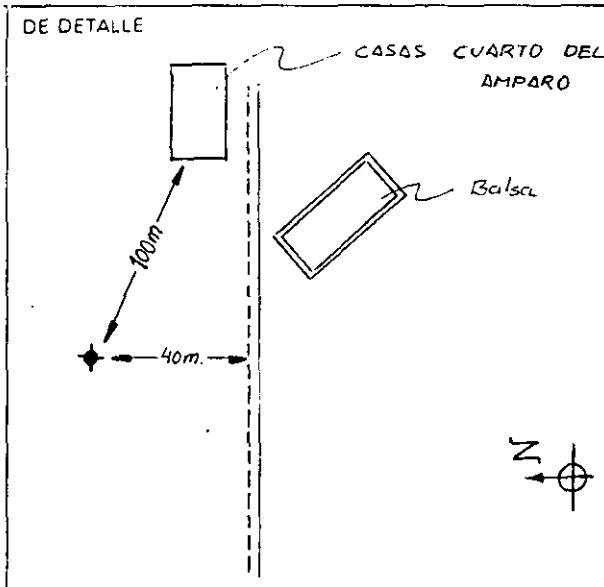
OBSERVACIONES: Caudal inferior a 5l/seg. En 1977 se encuentra sin equipa
Sin equipar en 1992. Abandonado.

CROQUIS

GENERAL



DE DETALLE



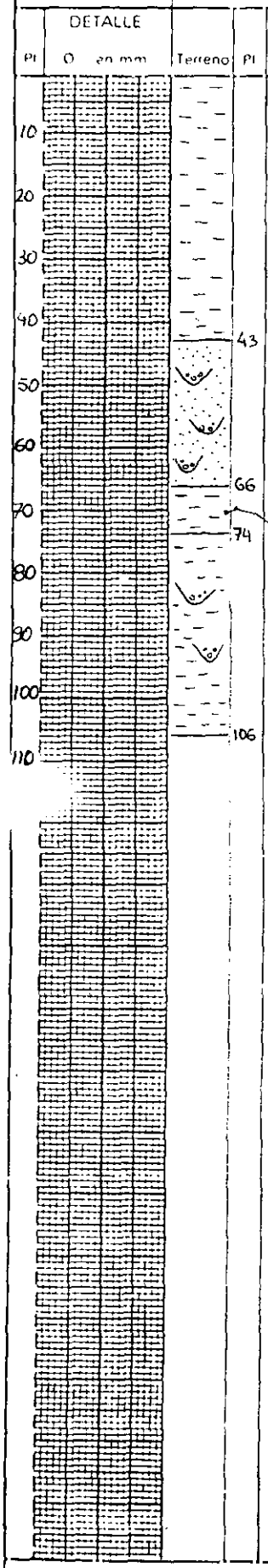
DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 21/3/77 — INSTRUCTOR: J.L.Quintana

15/2/92 — REVISADO: María Casado

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: C. del Amparo nº 2 | S ACUIFERO: Neogeno | INDICE: 765 1 11



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla blanca amarillenta y verde			
Arena fina y grava			
Arcilla rojo amarillento			
Arenusca y arcilla amarilla			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	74	550	Percución
74	106	480	Percución

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
Sin revestir				

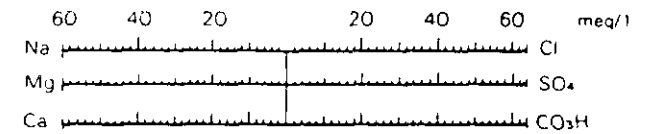
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho·cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Sondeo ITGE 2430/1/37

765 1252 .

Datos extraidos de la base del ITGE.

FECHA: 21/3/77 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3885 Pasada C.		INDICE	765	1	12
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	735	850
TOPONIMIA	Blancares Nuevos nº 4			V	501	450
PARAJE	Paramo de la Loma alta		COTA DEL SUELO	E	698	
SISTEMA ACUIFERO				N		

PROPIETARIO	Juan Antonio Ciller		
DIRECCION	C/Zapateros nº 8, Albacete	TEL	967(507442)
CONSTRUCTOR	Luis Lerma		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	91m	FECHA CONSTRUCCION	11/74		
DIAMETRO	?	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	50 - 70m	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/s
	ABASTEC		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA					22.4.74
CAUDAL	l/s				121
TIEMPO BOMBEO (h)					24
DESCENSO (m)					3.3

REF. ALTIMETRICA	Ras Tubo			ALTURA	0,5m				
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	21.6.74							
	(m)	50.5							
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL	X			
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO				
HORARIO									

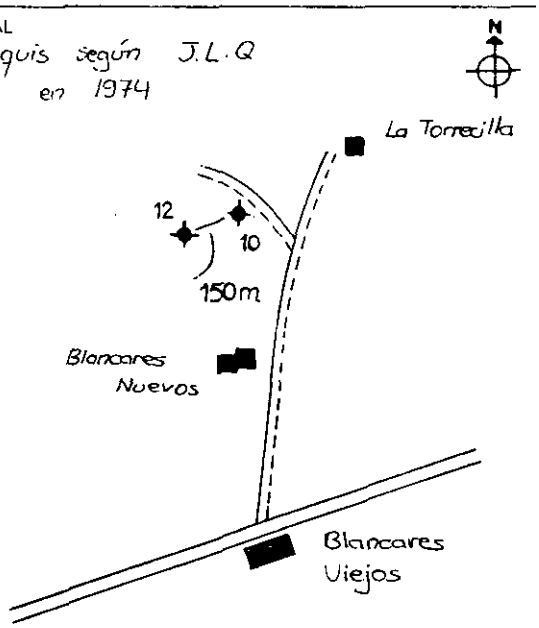
	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Sin equipo extracción en 1974. Al perforar aprece el nivel a 50 mts. No se permitió medir en 1992.

CROQUIS

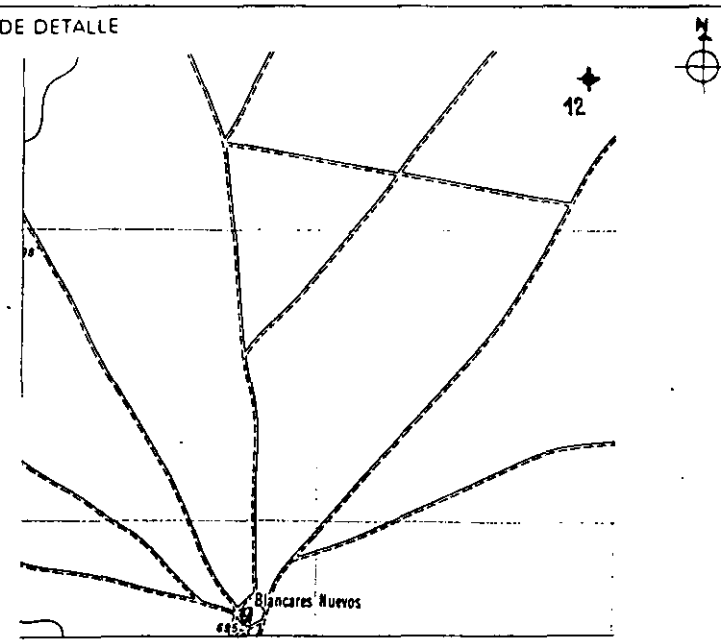
GENERAL

Croquis según J.L.Q en 1974



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

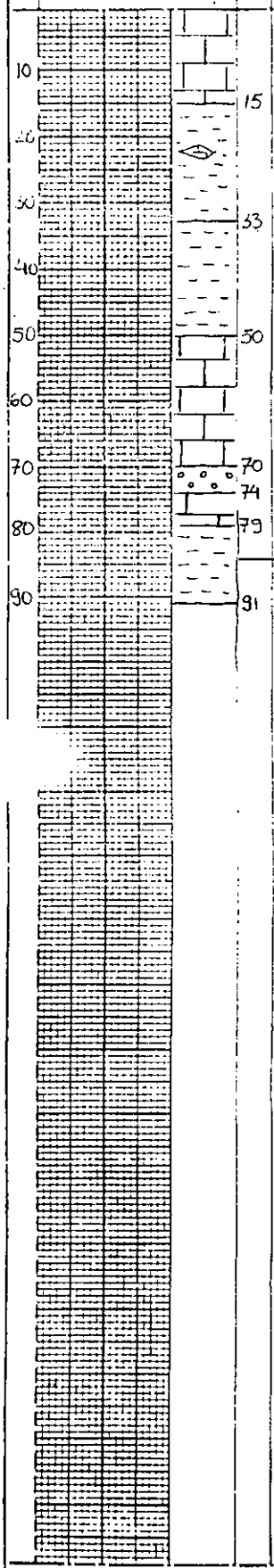
FECHA: 21/6/1974 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO	:

TOPONIMIA	Blancares Nuevos 4	S. ACUIFERO	Neogeno Profundo	INDICE	765	1	12

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Caliza dura			
Piedra toba			
Arcilla blanca con piedra suelta			
Arcilla gris y negra			
Caliza			
Conglomerado			
Caliza			
Arcilla roja			
0-79 Pontiense			

B =BUENO R =REGULAR . P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

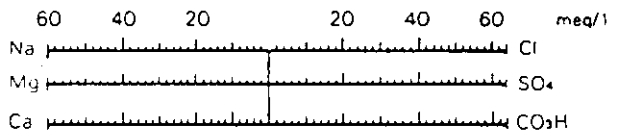
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
			a percución

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	60	500		
60	75	450		

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4^=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE 2430/1/26 765/187.

FECHA INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 3885 Pasada C.		INDICE	765	1	13	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000			
Tno MUNICIPAL	La Roda		COORDENADAS	H	734	500	
TOPONIMIA	Casa Munera nº1			V	502	950	
PARAJE	Casa Munera		COTA DEL SUELO	E	702m.		
SISTEMA ACUIFERO				N			

PROPIETARIO	Angel Iniesta García		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	Luis Lerma		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	61m	FECHA CONSTRUCCION	1977		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Electrico Ver		
POT	?		CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA	Ideal		
CAP NOM	?		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA						
X	RIEGO DE	Girasol 25	ha	CAUDAL	l/s	97.22
	ABASTEC		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		24
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		4.53

FECHA: 14.9.78

REF ALTIMETRICA	Ras Tubo		ALTURA	0.3m			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	22.3.77					
	(m)	41.47					
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO		
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Filtros de la bomba a 60mts.

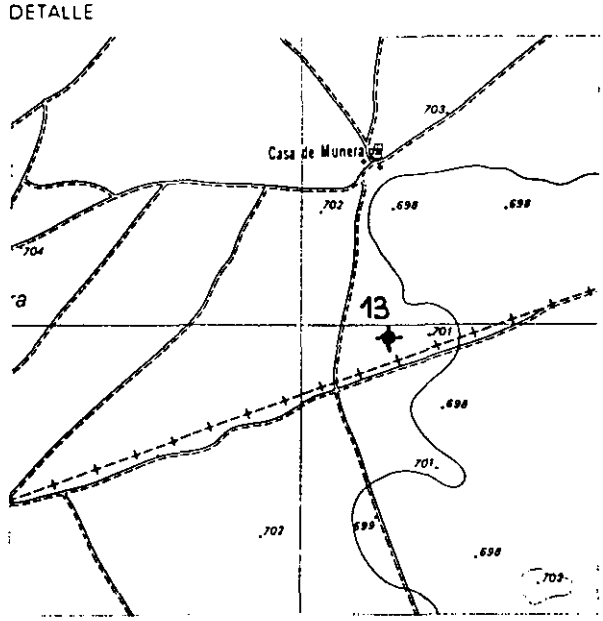
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA:

DE DETALLE



ESCALA APROX: 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 22/3/1977 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA				CODIGO	
TOPONIMIA	Casa Munera Nº1	S ACUIFERO	Neogeno Profundo	INDICE	765 | 1 | 13

Pt	DETALLE O en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
10				Arcilla blanca y caliza descompuesta			
20			23				
30				Arcilla gris			
40							
50			47	Caliza dura			
60			58	Arcilla roja			
70							

CARACTERISTICAS TECNICAS

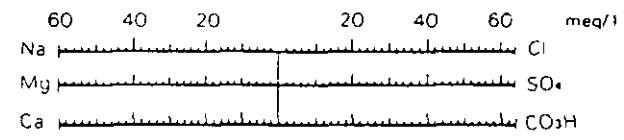
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	48	550	a percución

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	48	500		

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			SO_4 =		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE 2430/1/33

765/246.

Datos extrídos del ITGE.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3889 Pasada C.		INDICE	765 1 14	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	La Roda		COORDENADAS	H 732	450
TOPONIMIA	San bernardo			V 502	150
PARAJE	Casa Munera		COTA DEL SUELO	E 709m	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	D. Emilio Mirasol Ruiz en 1976		
DIRECCION	?	TEL	?
CONSTRUCTOR	Sanchez y Navarro		
DIRECCION	?	TEL	?

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	101m	FECHA CONSTRUCCION	1976		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	50 - 101m	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA

REF. ALTIMETRICA	Ras Tubo	ALTURA	0.15m		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	26.7.76	15.2.91		
	(m)	50.14	62.75		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES	NO	
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Sin equipar en 1992 y abandonado. A 500mts. al sur se localiza el 765/7 según el ITGE .

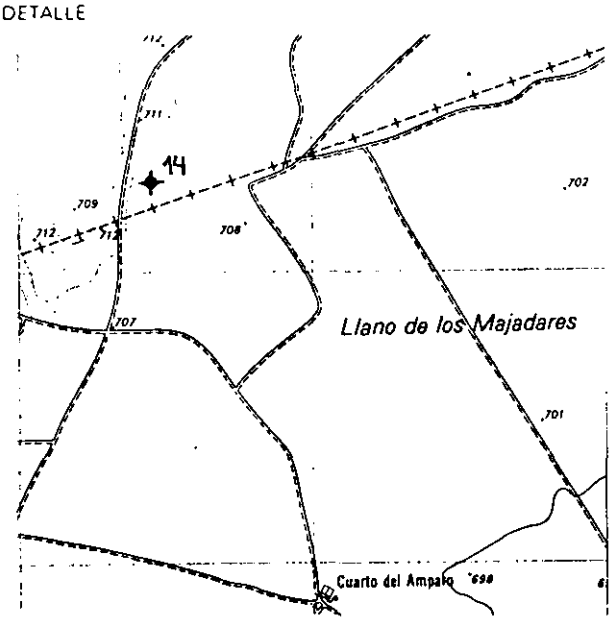
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

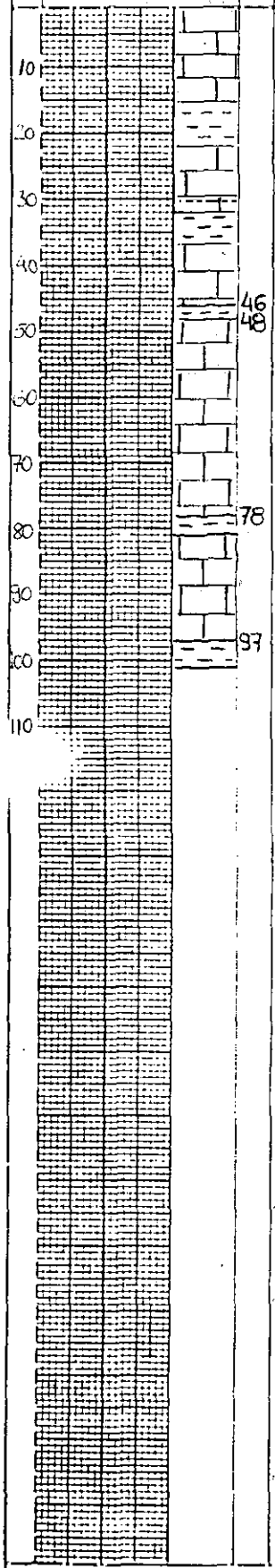
DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 26/7/76
15/2/91

INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO: María Casado

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: C. Bernardo | S ACUIFERO: JURÁSICO | INDICE: 765 | 1 | 14



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Caliza blanca y algún paso arcilloso			
Arcilla blanca			
Caliza			
Arcilla roja			
Caliza roja			
Arcilla verdosa			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	72	500	Percución
72	101	450	Percución

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	72	450		
72	100	400		

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS

60 40 20 20 40 60 meq/l

Na — Cl

Mg — SO_4

Ca — CO_3H

LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE 2430/1/30

Dato extraído de la base del ITGE.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765 / 1 / 15
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000
Tno MUNICIPAL	La roda	COORDENADAS H	730 500
TOPONIMIA	Casa Arnedo	COORDENADAS V	503 300
PARAJE	Haza De La Condesa	COTA DEL SUELO E	717
SISTEMA ACUIFERO		COTA DEL SUELO N	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	Jose L. López Pérez		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	201m	FECHA CONSTRUCCION	1985		
DIAMETRO	600-506	REVESTIMIENTO	Tub. Acero	ZONA REJILLA	156-201 ?	TIPO	Sin reves.?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

REF. ALTIMETRICA		ALTURA
PROF NIVEL DEL AGUA — FECHA	22.7.85	
PROF NIVEL DEL AGUA — (m)	62m	

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO		
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

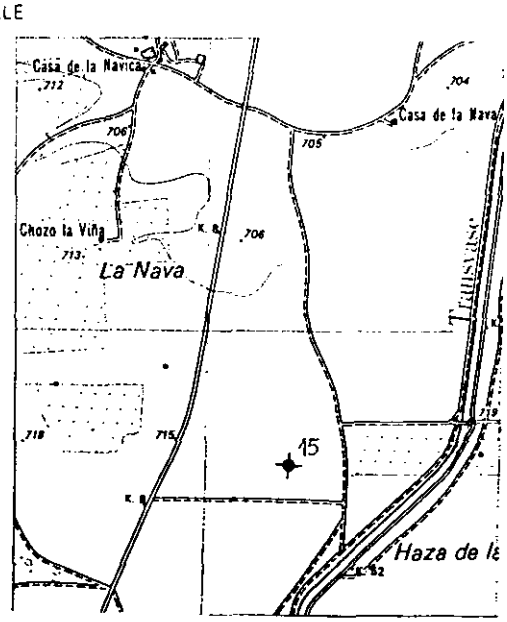
OBSERVACIONES Q de aforos < 1001/s.

CROQUIS

GENERAL

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

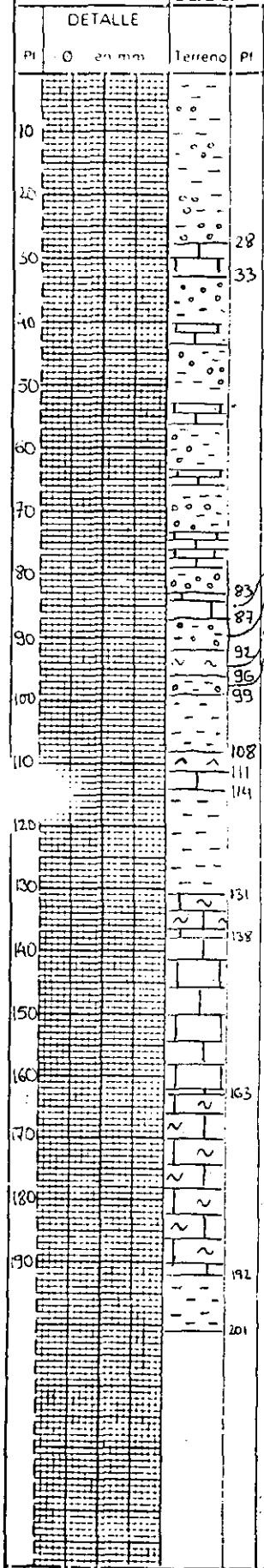
DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 22/7/1985 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Casa de Arnedo | S. ACUIFERO: Jurasico + NEOGENO | INDICE: 765 | 1 | 15



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla y grava			
Caliza			
Caliza alternando con cantos de caliza y grava			
Caliza			
Grava y arcilla			
Marga azul			
Grava y arcilla			
arcilla azul verdosa			
Yeso			
Caliza			
Arcilla azulada			
Margo -caliza			
Caliza			
Margo - caliza y marga			
Arcilla vaerdosa			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	52	600	
52	105	585	
105	153	530	
153	201	485	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	51,6	600	6	Acero
50	105	550	6	Acero
103	156	506	6	Acero

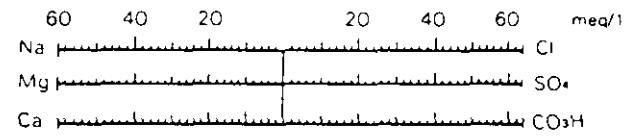
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl⁻		
Mg ++			NO_3^-		

C: | micromho/cm | a: | °C

DUREZA: | mg/l CO_3Ca | pH:

OTROS:



LABORATORIO: | FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Datos extraidos del ITGE nº de sondeo 2430 /1/57.

FECHA: 1985 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3889 Pasada C		INDICE	765	1 16
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25,00	
Tno MUNICIPAL	La Roda		COORDENADAS	H	734 775
TOPONIMIA	Casa Munera nº 2			V	503 525
PARAJE	Casa Munera		COTA DEL SUELO	E	698
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO: ?

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR: Anastasio Pinilla

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	247m	FECHA CONSTRUCCION	1984				
DIAMETRO	?	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?		

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO			
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC		hab	
INDUSTRIA DE			

FECHA		8/85	
CAUDAL	m^3/h	27	
TIEMPO BOMBEO (h)		24	
DESCENSO (m)		3m	

REF. ALTIMETRICA: ALTURA:

PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	18.11.85			
	(m)	51,35			

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO		
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Dice que hay un nivel colgado a 40 mts.

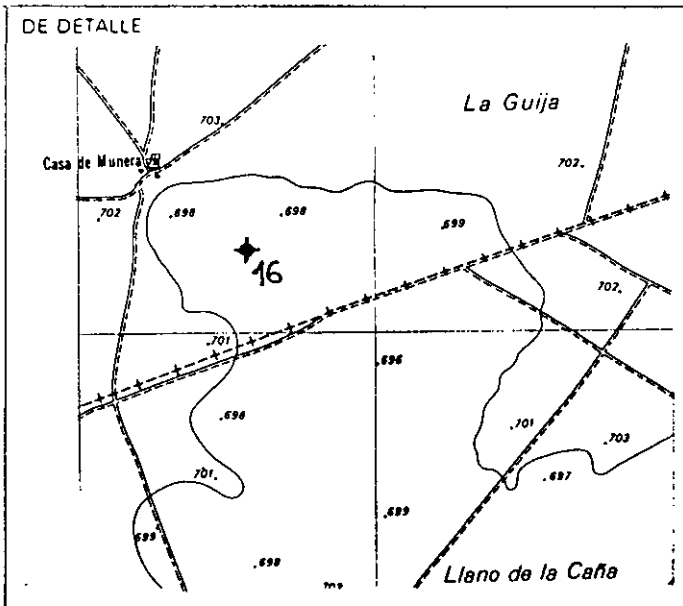
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA:

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

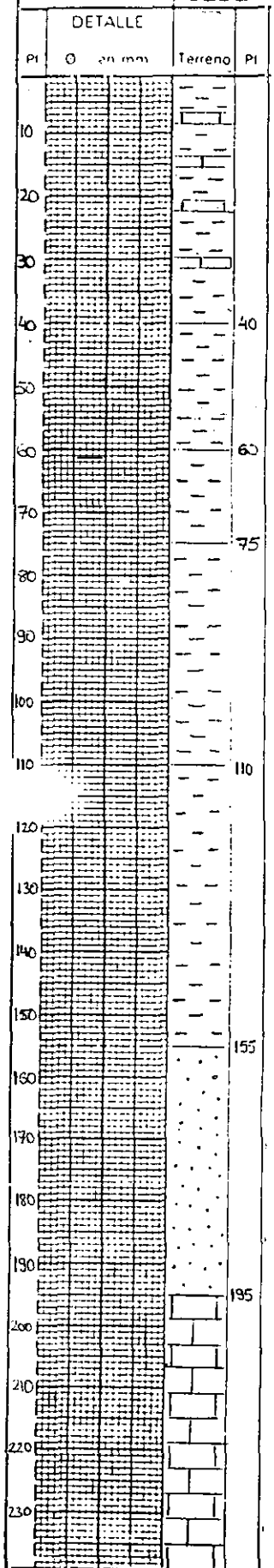
DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 18/11/1985 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Casa Munera | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 | 1 | 16



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla con gravas de caliza			
Arcilla gris			
Arcilla roja			
Arcilla ocre			
Arcilla roja			
Arena			
Caliza			
246 - 247 arena amarillenta			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	95	600	
95	147	550	
147	247	440	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	182	450	5	Acero
180	247	400	5	Acero

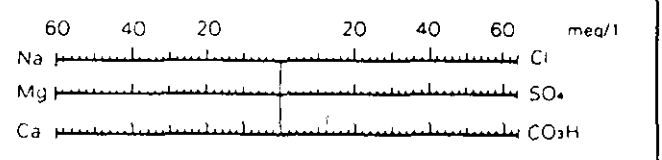
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Segun datos extraidos ITGE. Nº inventario ITGE: 765/1/60 765/ ?

FECHA: 18/11/1985 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	1	17
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Hoya del Pozo 1:25.0		
Tno MUNICIPAL	La Roda	COORDENADAS	H	734	32
TOPONIMIA	Casa Munera		V	503	55
PARAJE	Casa Munera	COTA DEL SUELO	E	705m	
SISTEMA ACUIFERO			N		

PROPIETARIO: D. Angel Iniesta García

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR: Luis Lerma

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	108m	FECHA CONSTRUCCION	11/7		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	Todo	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO			
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

EXTRACCION (m^3/año)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
DIAS/MES											
HORAS/DIA											
Q medio											
EXTRACCION											

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	FECHA
	ABASTEC.		hab	CAUDAL
	INDUSTRIA DE			TIEMPO BOMBEO (h)
				DESCENSO (m)

REF ALTIMETRICA	?		ALTURA	?		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	26.11.76				
	(m)	35m				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	
HORARIO						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Enlodado. Lo tapan definitivamente en 1977.

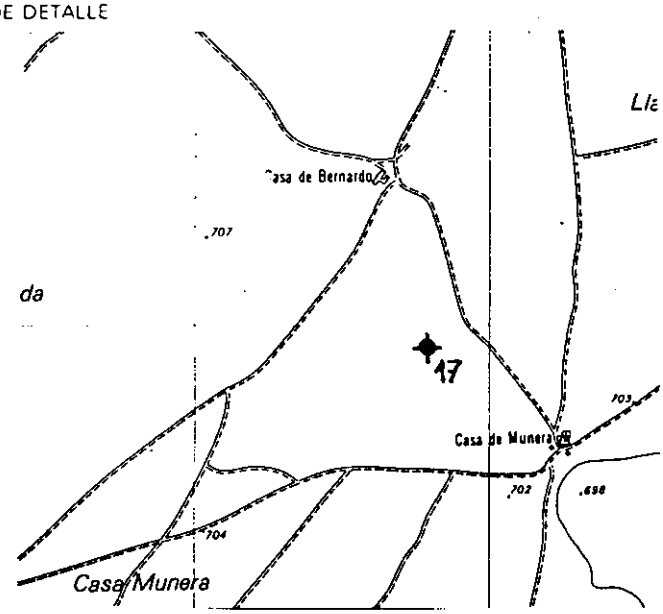
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



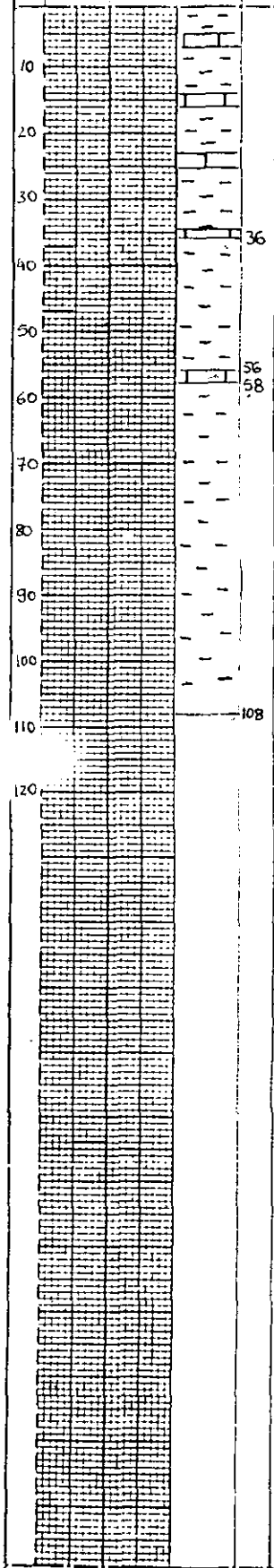
ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 26/11/1976 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Casa Munera nº 3 | S ACUIFERO: Neogeno | INDICE: 765 | 1 | 17



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla blanca y caliza descompuesta			
Arcilla negra			
Caliza blanca			
Arcilla roja			
0-58 Pontiense			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	56	550	a percución
56	108	490	a percución

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
Sin revestir				

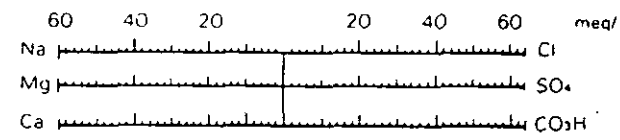
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Segun ITGE 2430/1/31.

Datos extraidos de la base de datos del ITGE.

FECHA INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3893 Pasada C.		INDICE	765 | 1	18
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	733 | 800
TOPONIMIA	Cuarto del Amparo nº 3			V	500 | 550
PARAJE	Cuarto del Amparo		COTA DEL SUELO	E 707m	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	PORCELANOSA S.A.		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	Juan Galindo		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	171	FECHA CONSTRUCCION	1984		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	150 - 1	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	Eléctrico		
POT	80	X	CV
			KW

BOMBA

TIPO	Sumergible		
MARCA	INDAR		
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA	150 dm^3 / 40 días											
O medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

				FECHA		1/85
X	RIEGO DE		ha	CAUDAL	m^3/h	122.4
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		24
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		42

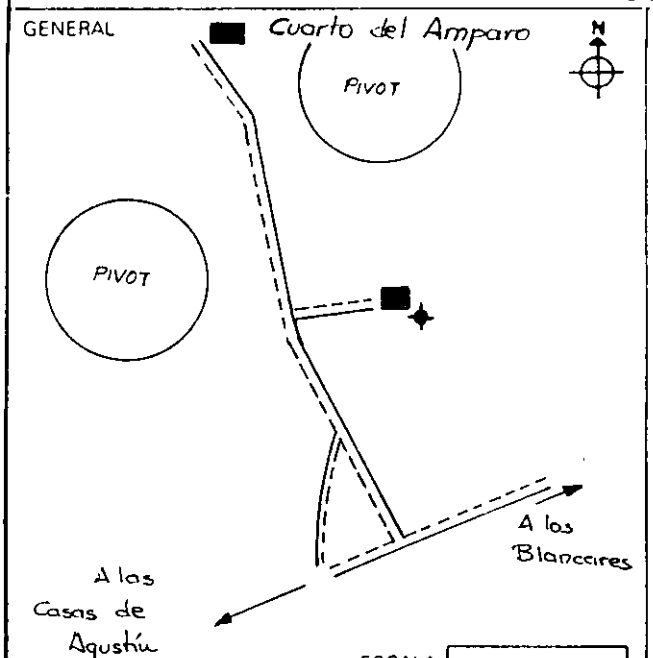
REF. ALTIMETRICA	T. Piezómetro		ALTURA	10cm			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.5.85	8.6.92				
	(m)	51.52	55.27				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Tubería de impulsión de 200mm. En 1985 ref.: suelo.

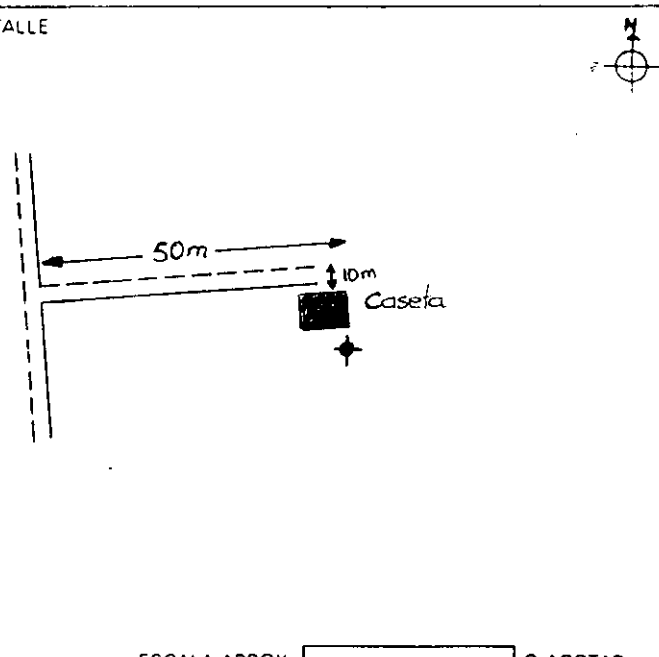
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

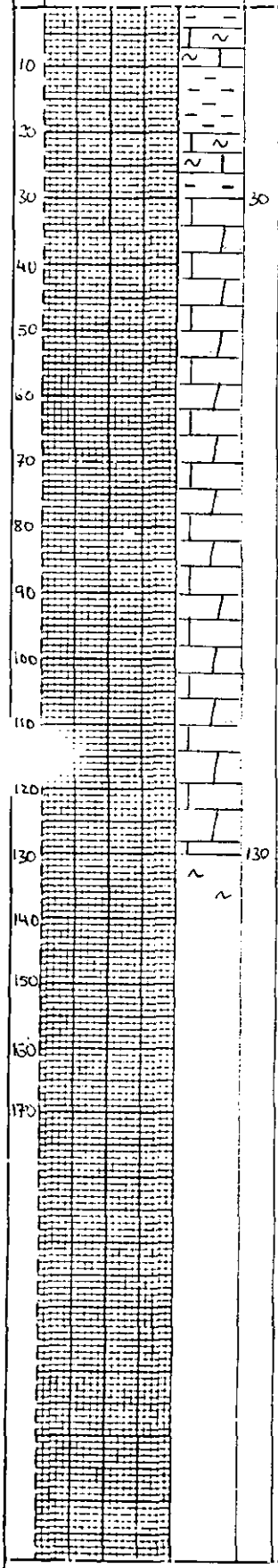
FECHA: 8/6/1992 INSTRUCTOR: MARÍA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO	

TOPONIMIA	Cuarto del Amparo	S ACUIFERO	Jurasico	INDICE	765	1	18

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla blanca y marga caliza			
Caliza y dolomía			
Arcilla verdosa			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

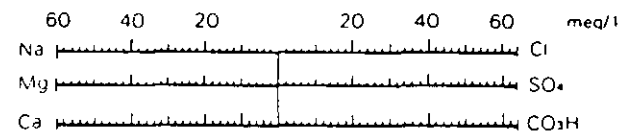
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	150	600	
150	171	530	
A percución			

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	150	550	6	Acero
150	171	Cementado		?

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			SO_4 =		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE 765/1/53
765/431
Datos extraidos del ITGE

FECHA: 8/6/1992 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Roto 3877 Pasada C.		INDICE	765	2	1
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS	H	738	350
TOPONIMIA	Las Castras nº 1			V	502	000
PARAJE	Casas De Las Castras		COTA DEL SUELO	E	704m	
SISTEMA ACUIFERO				N		

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	26,75	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	?	REVESTIMIENTO	Sin revestir	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	NO		
POT		CV	
		KW	

BOMBA			
TIPO	NO		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC.		hab
INDUSTRIA DE		

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA			
CAUDAL			
TIEMPO BOMBEO (h)			
DESCENSO (m)			

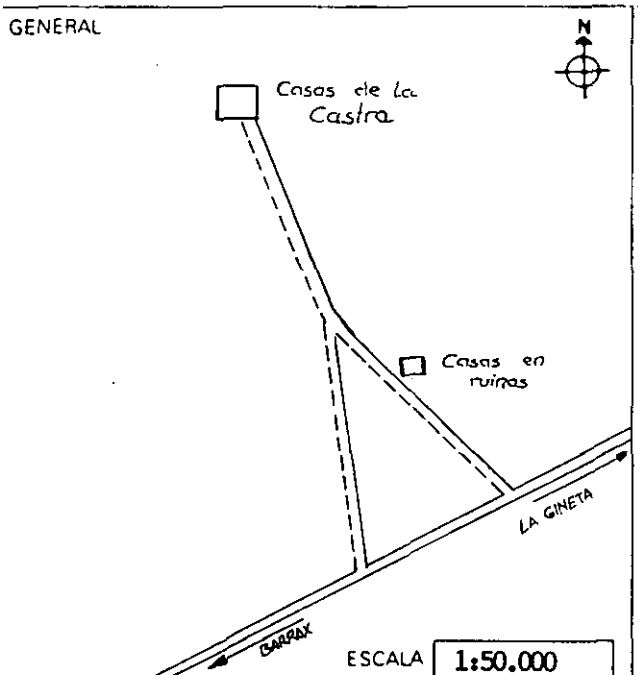
REF. ALTIMETRICA	Brocal del Pozo		ALTURA	704,50		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	21.10.91				
	(m)	Seco				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO	
HORARIO	Cualquiera					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Fuera de uso. Se nivela el Brocal.. Altura Brocal 44cm.

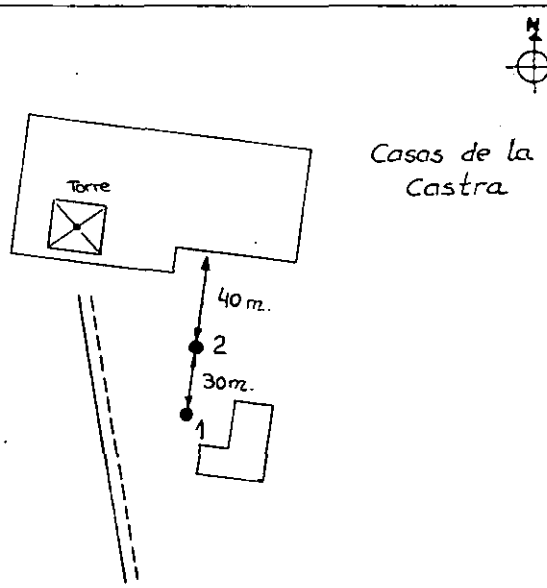
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX ____ O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 22/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Las Castras nº 1	S. ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	2	1

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

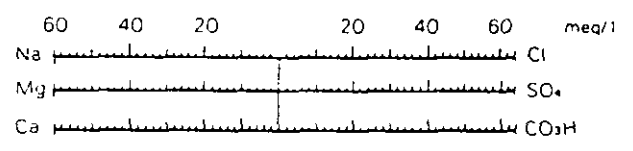
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4^=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Roto 3877 Pasada C.		INDICE	765	2	2	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta			
Tno MUNICIPAL	La gineta		COORDENADAS	H	738	350	
TOPONIMIA	Las Castras nº 2			V	502	000	
PARAJE	Casa De Las Castras		COTA DEL SUELO	E	699		
SISTEMA ACUIFERO	Llanos - Albacete			N	699-35		

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	40m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	80 cm	REVESTIMIENTO	No tiene	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	NO		
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	NO		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)

FECHA

REF. ALTIMETRICA	Brocal Pozo	ALTURA	90 cm		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	22.10.91	6.6.72	15.13.72	2.12.91
	(m)	36.3	36.4	36.45	35.8

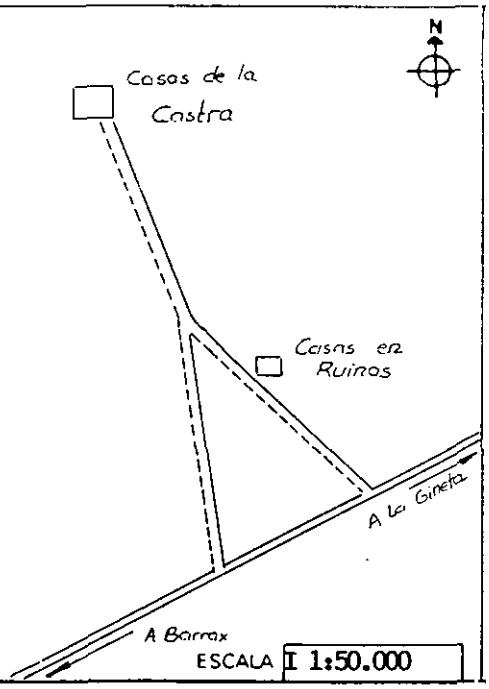
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	X
PERFIL GEOLOGICO	☐	X
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	X
ANALISIS QUIMICO	☐	X
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	X
OTROS ENSAYOS	☐	X

OBSERVACIONES Se encuentra fuera de uso. Se nivela el Brocal del Pozo.
Nivelación del ITGE año 1992.

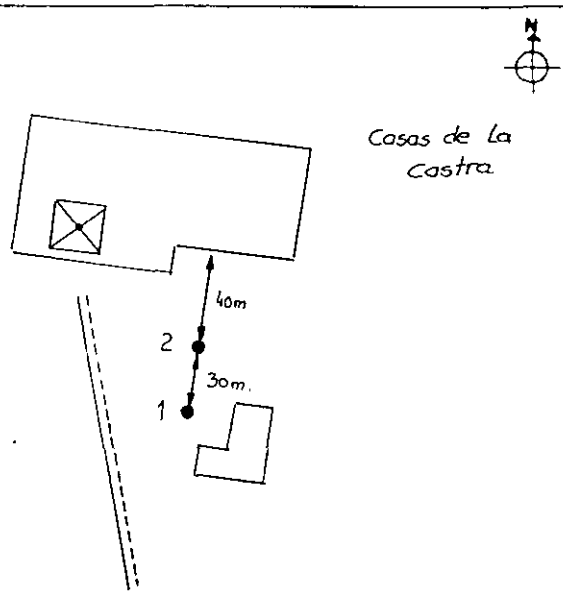
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:2.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 22/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Las Castras nº 2 | S. ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 2 | 2

DETALLE PI	DETALLE Ø en mm	Terreno	PI	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

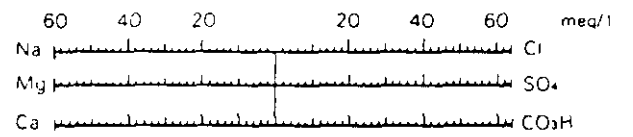
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	40	1.000	Excavado

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Nº inventario del ITGE :2430/2/13

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 3877 Pasada C.		INDICE	765 2 3	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta	
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS	H 737 500	
TOPONIMIA	Matao			V 502 575	
PARAJE	Casa Del Matao		COTA DEL SUELO	E 704.37	
SISTEMA ACUIFERO	Llanos De Albacete			N	

PROPIETARIO: ?

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR: ?

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	37.90	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	90 cm	REVESTIMIENTO	Sin revestir	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrico		
POT	?		CV
			KW
BOMBA			
TIPO	sumergible		
MARCA			
CAP NOM	?		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/m
X	ABASTEC.	Ganadería	hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA: 23.10.91

CAUDAL: 2 ò 3

TIEMPO BOMBEO (h): ?

DESCENSO (m): ?

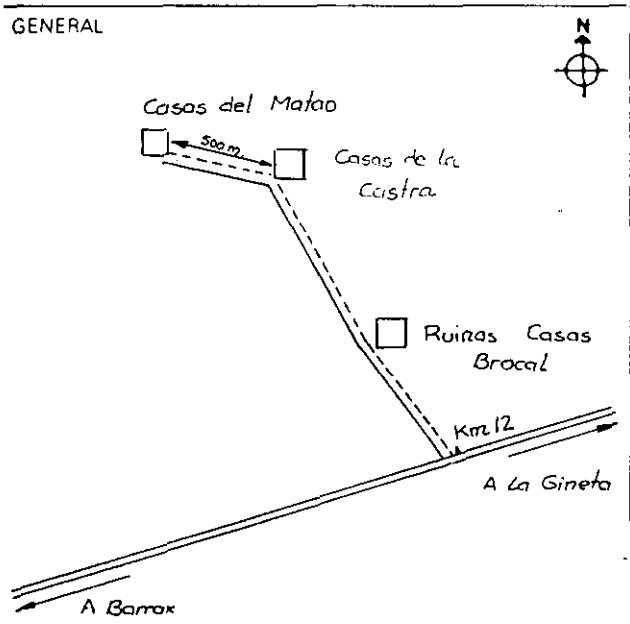
REF. ALTIMETRICA	Brocal del Pozo		ALTURA	67cm
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	23.10.91	6.6.72	
	(m)	37.20	37.15	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI X	A VECES	NO	
HORARIO	Cualquiera			

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Este pozo se agota en época de riegos. Bomba colocada a unos 37.3m según el encargado. Se utiliza para abastecimiento de ganado. La medida del nivel del agua es del ITGE.

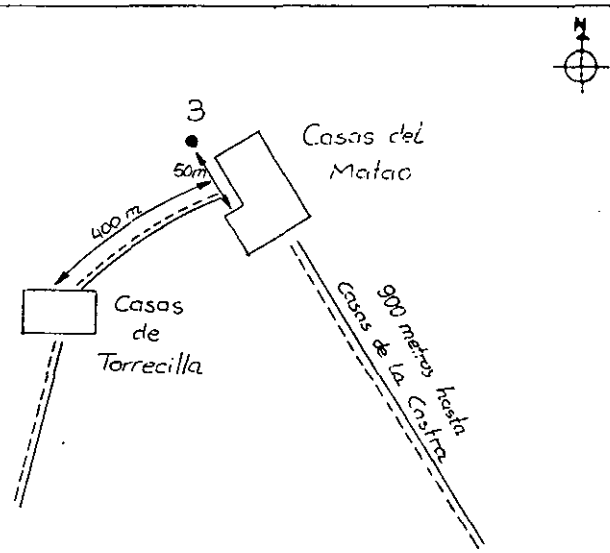
CROQUIS

GENERAL



ESCALA: 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX: O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 23/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA	El Matao	S ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	2	3

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	37.90	900x700	Excavado

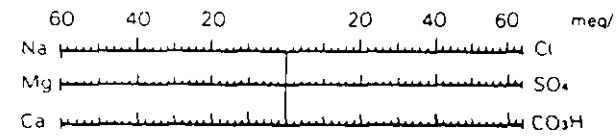
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Nº inventario ITGE :2430/2/12.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3877 Pasada C		INDICE	765 2 4	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta 1:50.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	502
TOPONIMIA	Matao			V	737
PARAJE	Casas Torrecilla		COTA DEL SUELO	E	700 mapa
SISTEMA ACUIFERO	Llanos - Albacete			N	700,32

PROPIETARIO	En 1972 Juanito López (herederos)		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	40.7	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	?	REVESTIMIENTO	Sin revestir	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
DIAS/MES											
HORAS/DIA											
Q medio											
EXTRACCION											

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC.		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

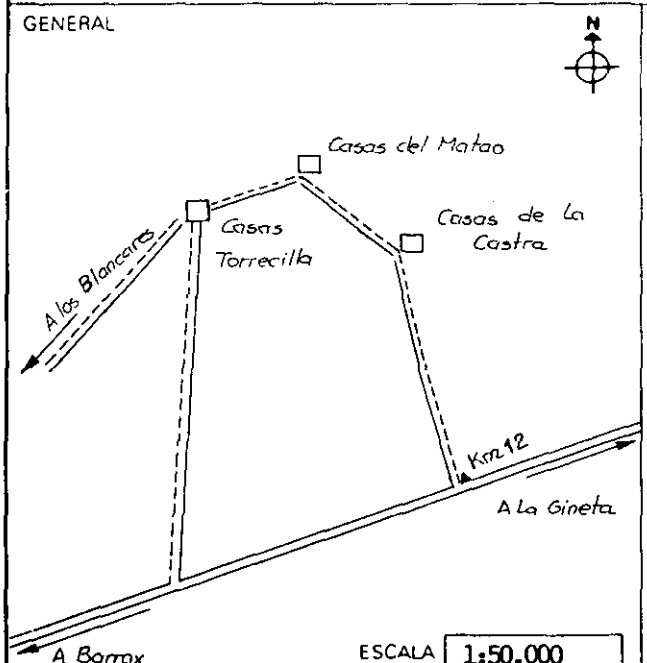
REF. ALTIMETRICA	Brocal del Pozo		ALTURA	91 cm	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	6.6.72	15.12.72	23.10.91	
	(m)	36.65	36.5	37.2	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO	Cualquiera				

	SI
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐
ANALISIS QUIMICO	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐
OTROS ENSAYOS	☐

OBSERVACIONES Fuera de uso. Se nivela el Brocal. Las medidas de nivel del año 1972 proceden del IT

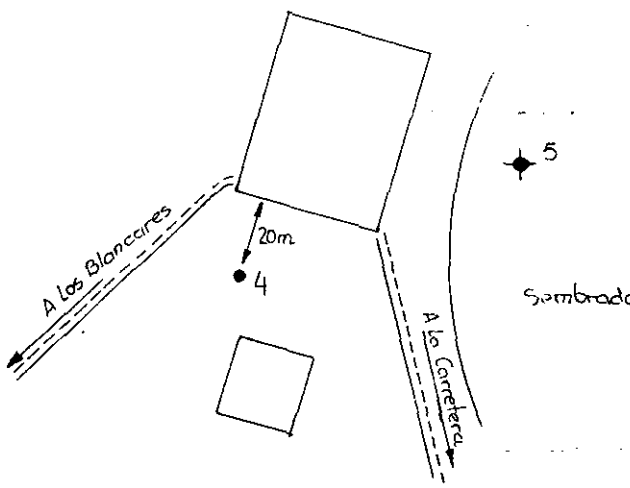
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTA

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 23/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Torrecilla nº 1 | S ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 2 | 4

DETALLE Pl	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

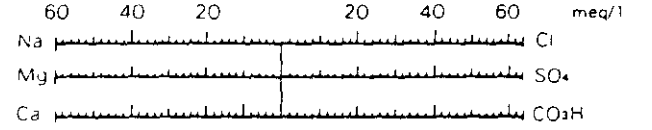
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3877 Pasada C		INDICE	765	2	5
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	737	350
TOPONIMIA	Matao			V	502	300
PARAJE	Casa Torrecilla nº 2		COTA DEL SUELO	E	698.6	
SISTEMA ACUIFERO	Llanos - Albacete			N		

PROPIETARIO ?

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR ?

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	± 220m	FECHA CONSTRUCCION	1990		
DIAMETRO	40 cm	REVESTIMIENTO	Tub. acero	ZONA REJILLA	?	TIPO	Tub. rajada ?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO	
MARCA	
CAP NOM	l/s
	m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC.		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

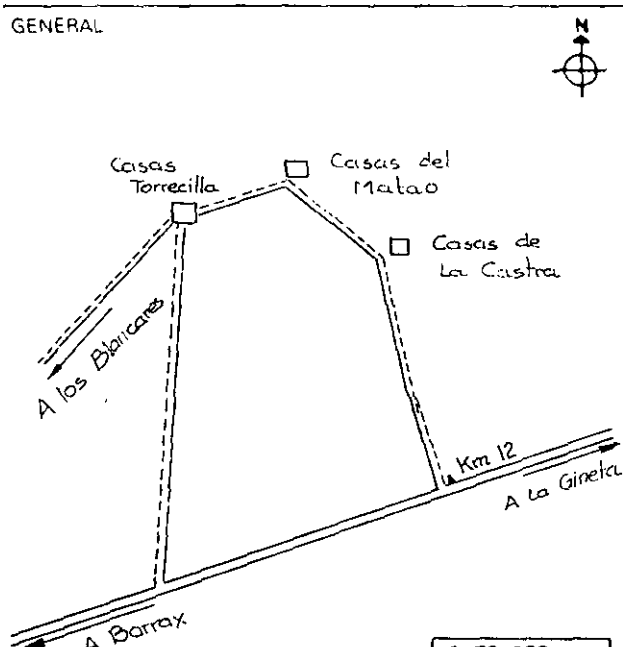
REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo		ALTURA	30 cm	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	23.10.91			
	(m)	60.28			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Perforado a percucion . La profundidad no es exacta, es el dato dado por el dueño. Sospecho que el filtro es tubería rajada (lo habitual en la zona). Se encuentra sin equipar.

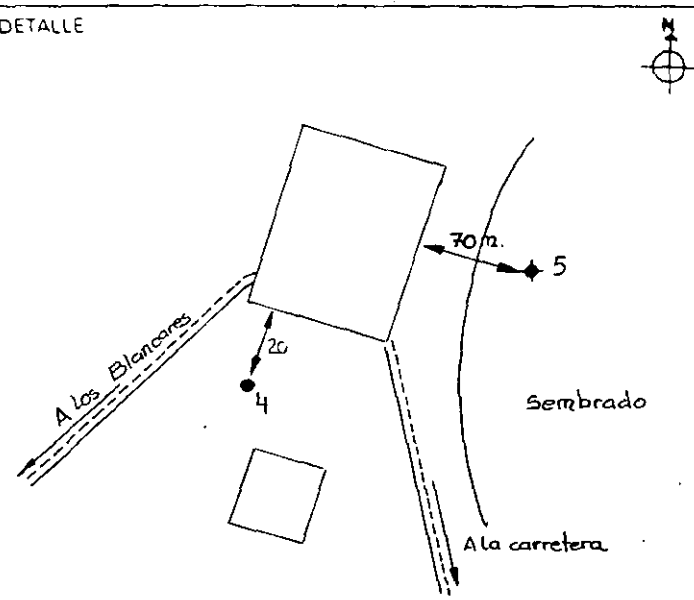
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX — O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 23/10/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA	C. Torrecilla nº 2	S. ACUIFERO	Jurasico ?	INDICE	765	2	5

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

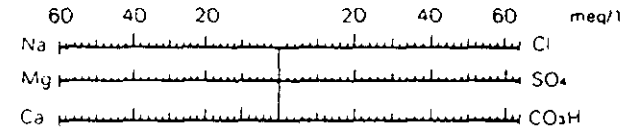
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		ºC
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		ºC
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Roto		INDICE	765	2	6
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS	H	743	300
TOPONIMIA	El Puerto De Uña			V	508	900
PARAJE			COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO	Llanos - Albacete			N	707.034	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	104 m	FECHA CONSTRUCCION	1971		
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	65 - 102 m	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrico		
POT	3.5	X	CV / KW
BOMBA			
TIPO	Sumergible		
MARCA	?		
CAP NOM	?		l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/sg.	1971
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		3
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		?

REF. ALTIMETRICA	Boca del Pozo		ALTURA	10 cm	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	15.9.71	26.10.73		
	(m)	56.2	56.1		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

3

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☒	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Nivelación año 1971 a ras del tubo. Al perforar el agua apareció a 25 mts. y 80 mts.
T = 15,8 m^2/h en recuperación.
T = 23.7 m^2/h en descensos.

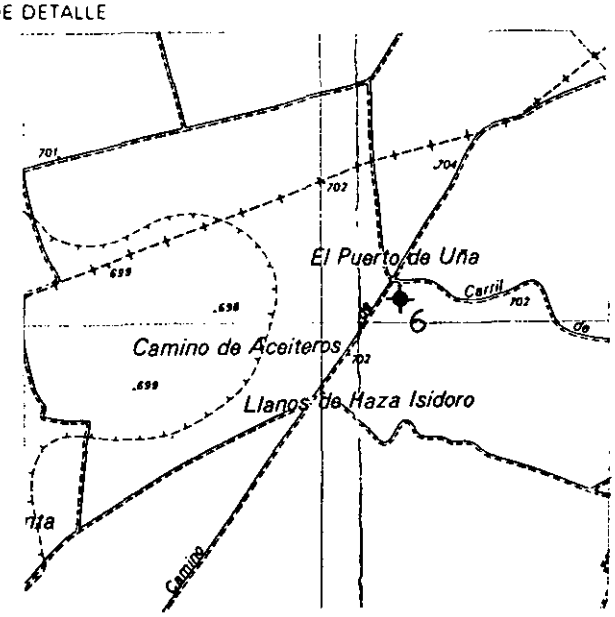
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

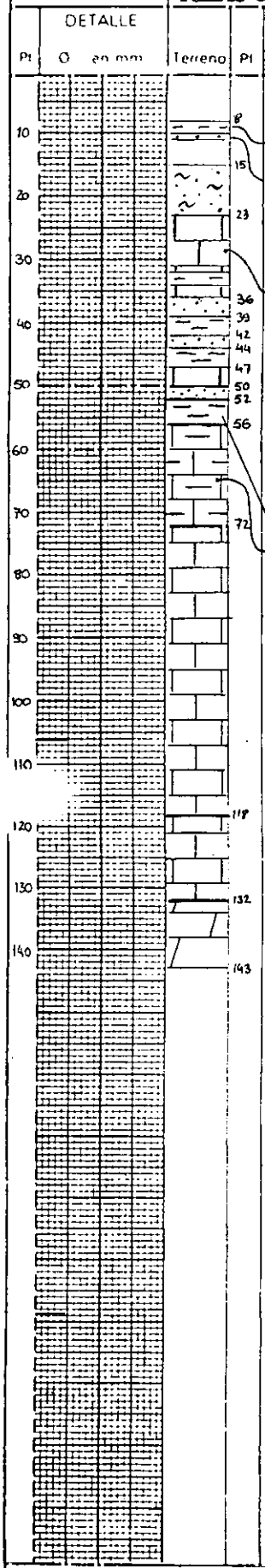
DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Puerto de Uña | S ACUIFERO: Jurasico + NEÓGENO | INDICE: 765 | 2 | 6



MATERIAL

ACUIFERO: B | R | P

SEGUN SOP

0 - 7 arenas y gravas finas

7 - 16 arcillas con gravas

16 - 36 arcilla

36 - 55 arcilla + intercalaciones de caliza y arenisca

55 - 104 calizas

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	104	600	a percusión

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm.	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	36	500	?	
65	102	?	?	Filtros
0	104	330		

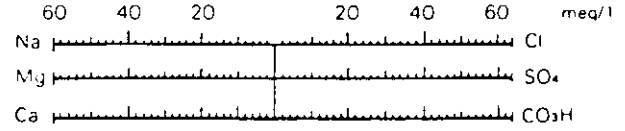
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraidos del ITGE.

2430 /2/4 . Piezometro ITGE (79 - 89).

FECHA INSTRUCTOR

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	2	7
PROVINCIA	Albacete	MAPA	La Gineta 1:50.000		
Tno MUNICIPAL	La Gineta	COORDENADAS	H	739	925
TOPONIMIA	Sondeo de la Gineta		V	507	400
PARAJE	HAZA ROMERO	COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO			N	704.765	

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	347 m	FECHA CONSTRUCCION	1974				
DIAMETRO	?	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?		

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO		
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

	RIEGO DE	ha
	ABASTEC.	hab
	INDUSTRIA DE	

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA		ALTURA					
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA						
	(m)						

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES

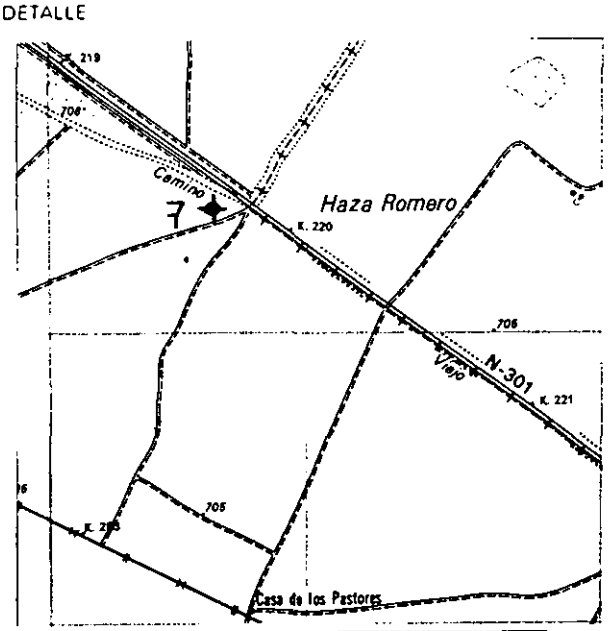
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



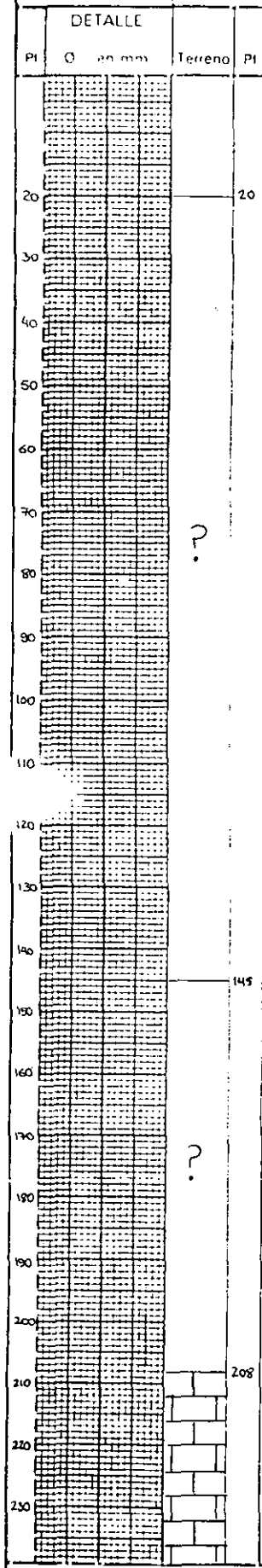
ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO :

TOPONIMIA: Sondeo de la Gineta | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 | 2 | 7



MATERIAL

Pontiense Mioceno

Utrillas Benejama

208 - 334 Chorro (DOGGER)

334 - 347 Madroño (Lias)

ACUIFERO: B | R | P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
			Perf. a percusión

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

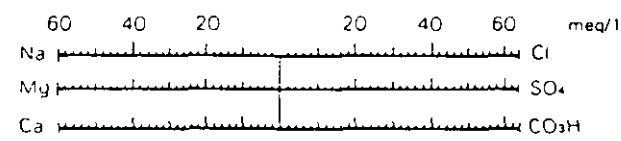
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extridos IGME : 2430/2/16.

Piezòmetro IGME : (75 - 90)

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3869 Pasada C	INDICE	765 2 8
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	La Gineta	COORDENADAS H	741 525
TOPONIMIA	Alto Del Borrieco nº 1	COORDENADAS V	501 050
PARAJE	Alto Del Borrieco	COTA DEL SUELO E	700
SISTEMA ACUIFERO		COTA DEL SUELO N	

PROPIETARIO ?

DIRECCION TEL

CONSTRUCTOR ?

DIRECCION TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	103 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	?		
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO	?		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL l/s	110
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	?
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	0.6

FECHA 197 ?

REF. ALTIMETRICA		ALTURA	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	14.9.71	14.6.72
	(m)	57.85 (1)	59.69 (2)

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	X
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	X
HORARIO						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Tiempo transcurrido desde el ultimo bombeo 1 : 6 meses 2 : 15 meses
En 1992 no se pudo medir por estar todo cerrado.

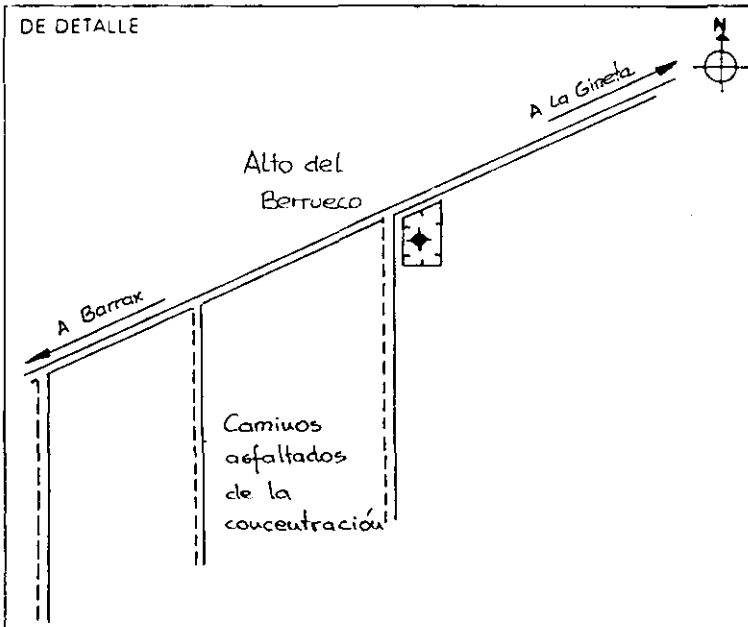
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:20.000 O ACOTAR

DIRECCION TEL ENCARGADO

FECHA: 9/6/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.

REVISADO ; MARIA CASADO

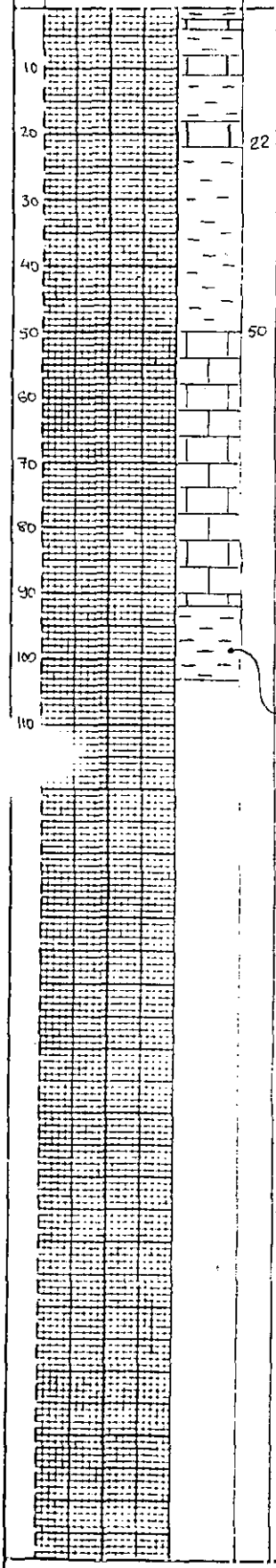
FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Alto de Borrieco	S ACUIFERO	NEOGENO	INDICE	765	2	8

DETALLE

Pt | Ø en mm | Terreno | Pt



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
0 - 22 Tosquizo y arcilla			
29 - 50 Arcillas negras, grises y rojizas			
50 - 92 Caliza			
92 - 98 Caliza y arcilla			
98 - 103 Arcilla rojiza			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	103	500	a percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

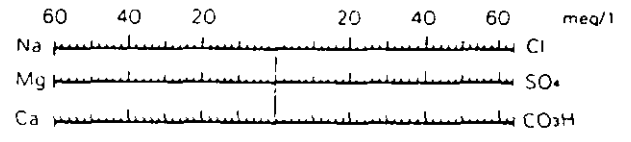
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraidos ITGE :

2430/2/3

765/17

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Roto 3869 Pasada C		INDICE	765	2	9
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta 1:50.000		
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS	H	739	950
TOPONIMIA	Casa de los Cantos			V	505	250
PARAJE	Casa Cantos		COTA DEL SUELO	E	702	
SISTEMA ACUIFERO				N		

PROPIETARIO			
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	40.8	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA			FECHA			
	RIEGO DE	ha	CAUDAL			
	ABASTEC.	hab.	TIEMPO BOMBEO (h)			
	INDUSTRIA DE		DESCENSO (m)			

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.4	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	28/6/72	16/12/72		
	(m)	28.57	28.38		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☒
PERFIL GEOLOGICO	☐	☒
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☒
ANALISIS QUIMICO	☐	☒
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☒
OTROS ENSAYOS	☐	☒

OBSERVACIONES

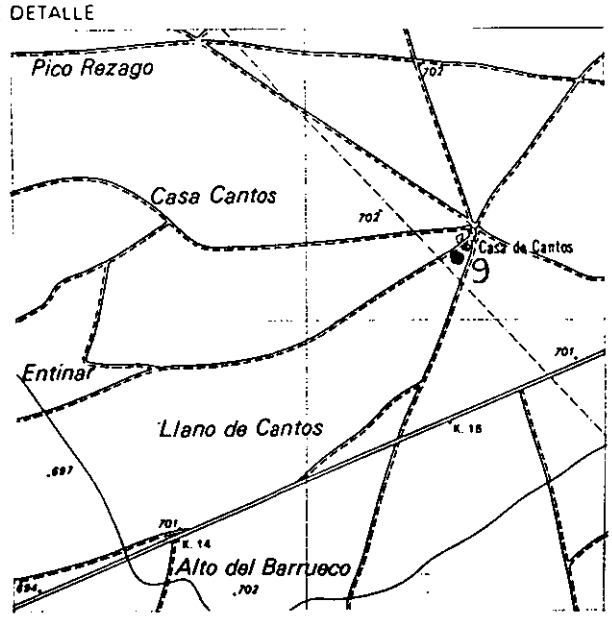
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX

O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 7/7/72

INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Casa Cantos | S ACUIFERO | INDICE: 765 | 2 | 9

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	40.8	1000	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

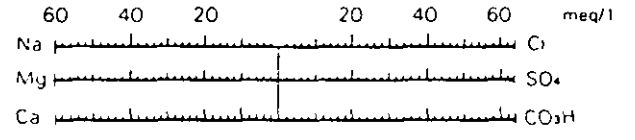
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES 2430/2/7 Según ITGE.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 3869 Pasada C		INDICE	765	2 10
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya Del Pozo 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS	H	741 525
TOPONIMIA	Alto Del Borrieco nº 2			V	501 050
PARAJE	Alto Del Borrieco nº 2		COTA DEL SUELO	E	702m.
SISTEMA ACUIFERO				N.	

PROPIETARIO: Quitera Martinez

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR: IRIDA

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	407m	FECHA CONSTRUCCION	1982		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	75-111 247-318	TIPO	Tub. rajada

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO:

POT: CV / KW

BOMBA

TIPO:

MARCA:

CAP NOM: l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE ____ ha

ABASTEC. ____ hab

INDUSTRIA DE ____

FECHA					4.1.82		
CAUDAL	m^3/h				522		
TIEMPO BOMBEO (h)					17		
DESCENSO (m)					3,74		

REF. ALTIMETRICA: Tapa del sondeo — ALTURA: 20 cm

PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	23.6.82	9.6.92		
	(m)	51.20 *	59.99		

ACCESIBILIDAD: DIRECTA [X] CON PERMISO [ ] DIFICIL [ ]

FACILIDAD DE MEDICION: SI [X] A VECES [ ] NO [ ]

HORARIO: Cualquiera

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

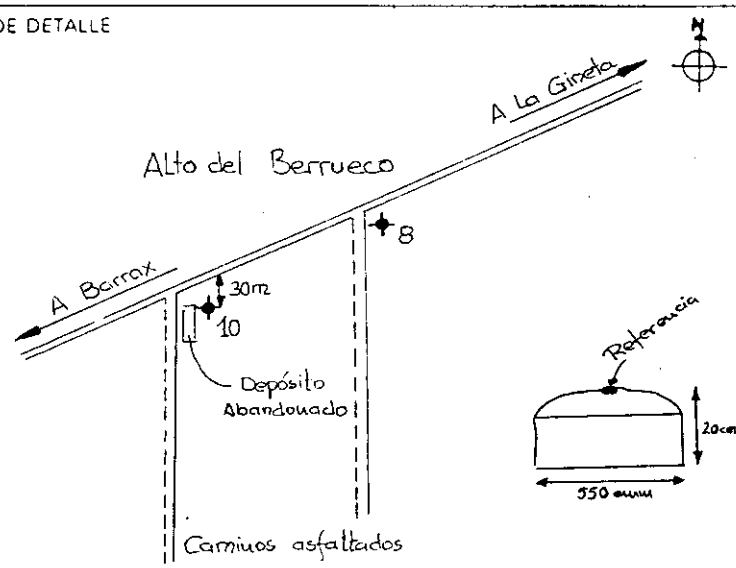
OBSERVACIONES: Sin equipar y abandonado en 1992. *Medida 1982 : referencia el suelo. En 1982 no se utilizaba tampoco.

CROQUIS

GENERAL

ESCALA:

DE DETALLE



ESCALA APROX: 1:20.000 O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA:

INSTRUCTOR:

REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Alto del Borrieco | S. ACUIFERO: Jurásico + CRET + NEOG | INDICE: 765 | 2 | 10

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P
				0 - 251 Mioceno			
				251 - 256 Cretacico superior			
				256 - 264 Cretacico superior			
				264 - 402 DOGGER			
				402 - 407 Lías			
				0 - 251 Margas calizas			
				264 - 402 Dolomías			

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	65	665	331 - 407 315
65	157	565	
157	180	485	
180	231	385	
231	331	330	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	181	500	10	Acero
176	247	339	8	Acero
247	407	253	8	Acero

Tubería rajada : 75-11m 247-318m

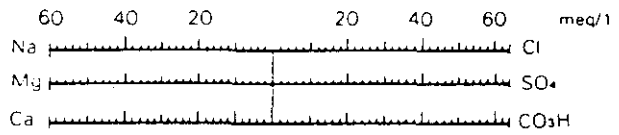
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		μ mho·cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE : 2430/2/20

765/354

Datos extraídos del ITGE.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7461 Pasada D		INDICE	765 5 1	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	499 500
TOPONIMIA	Los Blancares Viejos nº 1			V	734 900
PARAJE	Los Blancares		COTA DEL SUELO	E	698
SISTEMA ACUIFERO				N	697.962

PROPIETARIO	CILLER		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	Un particular de Lerma		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	86m.	FECHA CONSTRUCCION	1974		
DIAMETRO	550-500	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrco		
POT	116	X	CV
			KW
BOMBA			
TIPO	Sumergible		
MARCA	INDAS		
CAP NOM	40	X	l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

EXTRACCION (m^3/año)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/s
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA	16.7.74		
CAUDAL l/s	20.37		
TIEMPO BOMBEO (h)	24		
DESCENSO (m)	49		

REF. ALTIMETRICA	Tubo Piezómetro	ALTURA	90 cm

PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	20.7.91	22.10.91	15.2.92	15.5.76
	(m)	56.12	54.54	55.08	39.50

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Nivelación al Ras del tubo piezométrico. No coincide la altura del tubo piezométrico vista por mí en el campo con la que mencionan en la base del ITGE(a 49m del suelo). En 18/11/76 40.13 NP.

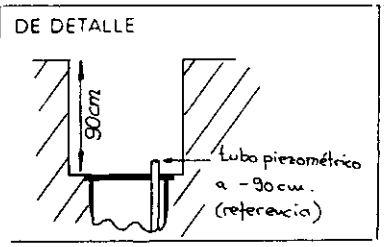
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX O ACOTAR

DIRECCION	Minaya (Albacete)	TEL	450206	ENCARGADO	Paco Moraga

FECHA: 20/7/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Blancares Viejos nº 1 | S ACUIFERO: Neogeno Prfundo | INDICE: 765 | 5 | 1

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P
				0 - 86 Piedra Algo más dura a los 50 metros.			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	48	550	a percusión
48	80	500	a percusión

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

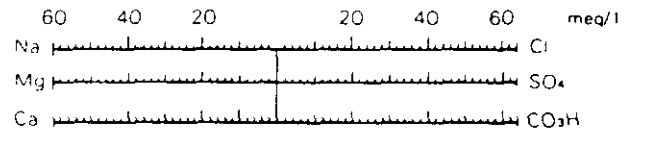
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Segun inventario del ITGE :
765/5/18
765/188

Datos extraidos del ITGE.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7461 Pasada D		INDICE	765 5 2	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	734 650
TOPONIMIA	Blancares Viejos nº 2			V	497 950
PARAJE	Los Blancares		COTA DEL SUELO	E	
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete			N: 697.36	

PROPIETARIO	Enriqueta Chinchilla		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo 2	PROFUNDIDAD	138m.	FECHA CONSTRUCCION	1977		
DIAMETRO	30 cm	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	43 - 140 m	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	Eléctrico		
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO	Sumergible		
MARCA	?		
CAP. NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

EXTRACCION (m^3/año)

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

	X	RIEGO DE: G. y maiz 100	ha	CAUDAL 1/s	115
		ABASTEC.	hab	TIEMPO BOMBEO (h)	27
		INDUSTRIA DE		DESCENSO (m)	10.02

FECHA: 1977

REF. ALTIMETRICA	Boca Piezómetro	ALTURA			
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	± 1980	7/1991	23.10.91	15.2.92
	(m)	40 m	54 m	58.78	55.08

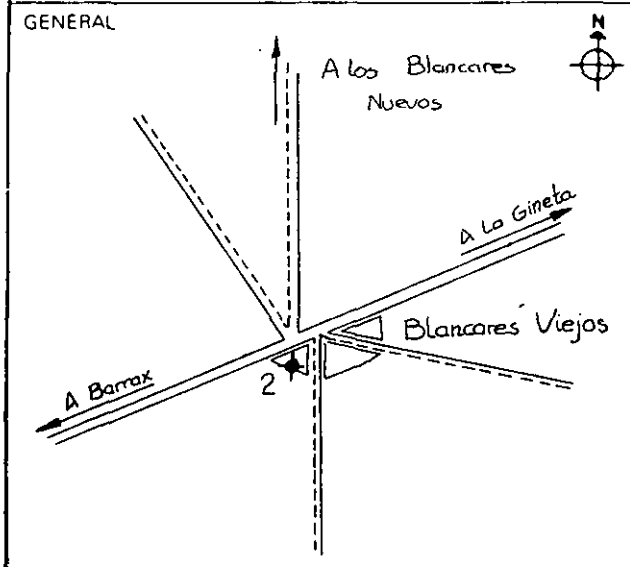
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL	X	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Tiene tubo piezométrico. El dueño no recuerda exactamente cuando se construyó. En 1980 ne: 40 m. Se mide a motor parado. Hay dos sondeos juntos, y el dueño dice que en junio de 1991 con el motor parado nivel a 54 m, en marcha a 60 m. y con la bomba del otro sondeo tambien en marcha a 69m. Nivelación tomada del plano1:25.000. PERCUSION.

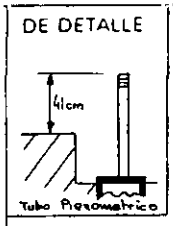
CROQUIS

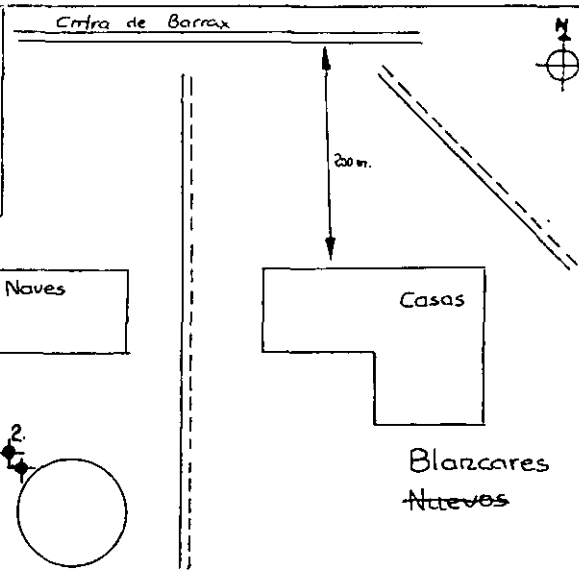
GENERAL



ESCALA

DE DETALLE





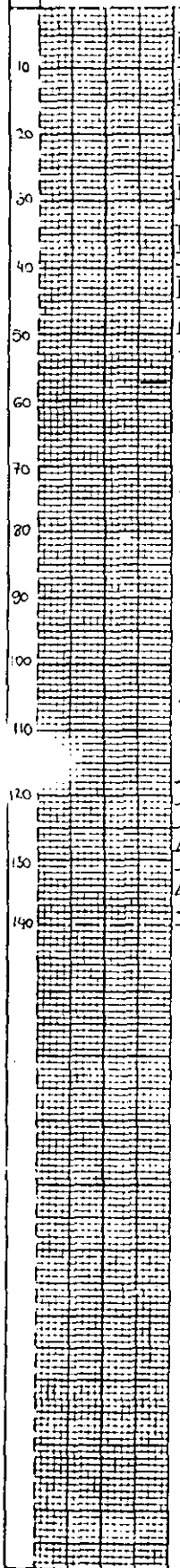
ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION	Minaya (Albacete)	TEL	450206	ENCARGADO	Paco Moraga

FECHA: 23/10/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Blancares Viejos nº 2 | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 5 2



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Caliza arcillosa blanca			
Arcilla gris, negra y blanca			
Dolomía amarillo-rojiza			
Marga amarilla			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
			A percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

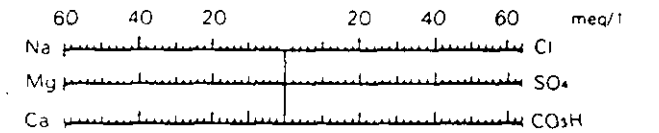
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Éste pozo se corresponde con el nº de inventario del ITGE 765/5/36 .

Datos del ITGE y campo.

T: 170 m^2/h.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7469 Pasada D		INDICE	765	5 3
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	733 100
TOPONIMIA	Sondeo Barrax			V	497 700
PARAJE	Cuartos de Agustin		COTA DEL SUELO	E	
SISTEMA ACUIFERO				N	704.19

PROPIETARIO	Diputación de Albacete		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	118m.	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	CAUDAL	
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA

REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo		ALTURA	20cm				
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	1/9/72	9.6.92					
	(m)	44.13	61.18					
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL			
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO			
HORARIO	Cualquiera							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES VER DATOS COMPLETOS ANEXO Nº 1

VER PIEZOMETRIA ANEXO Nº 2

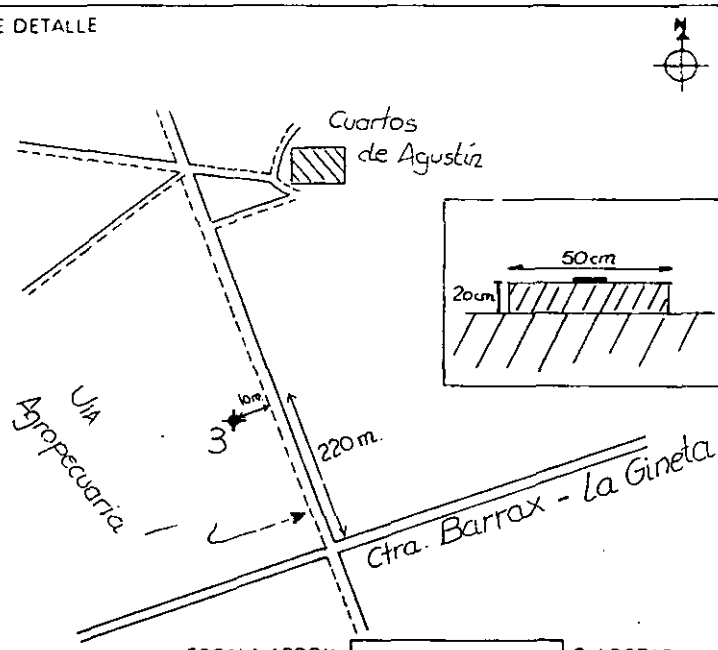
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX

O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 9/6/1992

REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA | S ACUIFERO: JURÁSICO | INDICE

Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

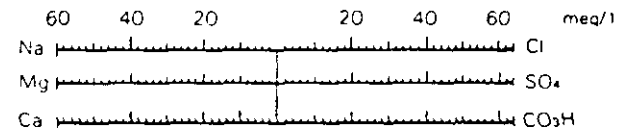
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

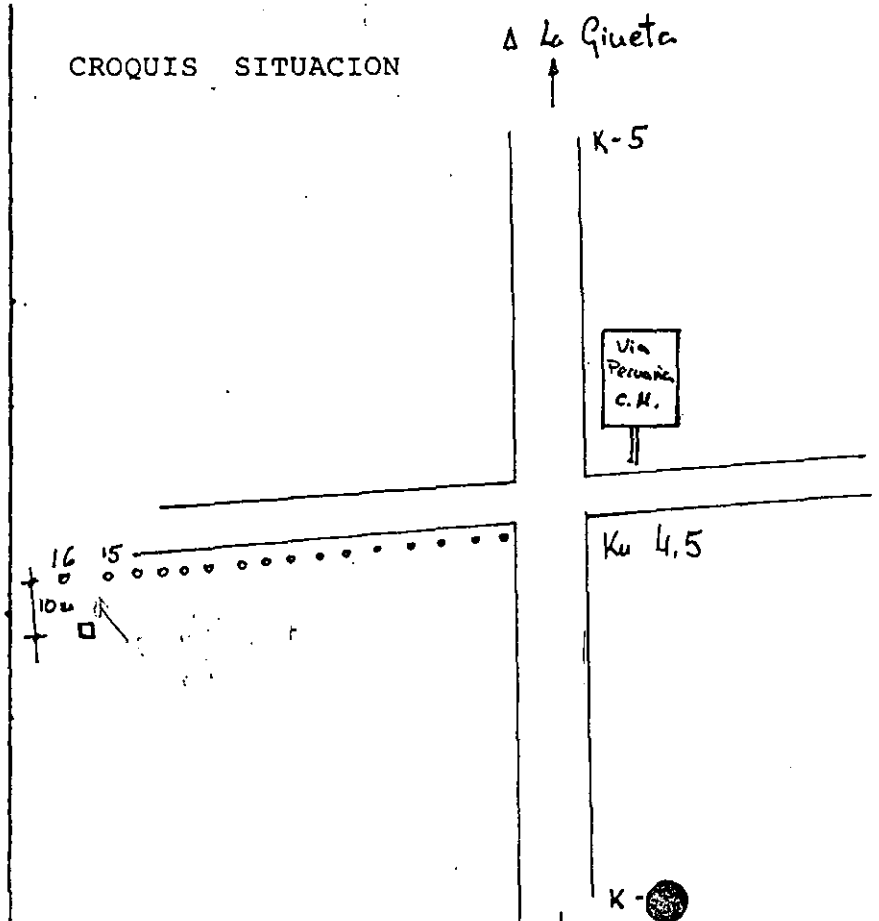
B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR

Pozo 765/5/33 del inventario del ITGE

ZONA	NOMBRE IRH	ACUIF.	COTA M.S.N.M.
IX) SANTA MARTA	BARRAX 765/31	COLGERAS	705.22

CROQUIS SITUACION



MEDICIONES

FECHA	N. P.	FECHA	N. P.	FECHA	N. P.
12/1/88	56.96 648.26				
8/3/89	56.37 649.85				
19/10/89	61.14 644.08				
20/2/90	56.89 648.33				
21/3/90	57,25 647.97				
24/8/90	57.1				
4-3-91	57.02				
9/10/91	62.90				

SONDEO Nº 765/31 "BARRAX" (46)

EDAD	FORMAC.	DESCRIPCION LITOLOGICA	PROF (m.)
PONTIENSE		0-19 Caliza color blanco con alguna pasada margosa. Algas	
LIAS MEDIO	LAS COLLERAS SUPERIOR	19-100 Calizas micríticas color beige crema. Se observa domilitización en algunos tramos	50
	MADROÑO	100-118 Margas verdes	100
			118

TUBERIA

Ø. 492-508 m.m.

N.P. 44.13

Ø 441-457 m.m.

112 m.

ESCALA 1:500

OBSERVACIONES

OBJETIVOS

Investigación del nivel piezométrico F. Colleras y estudio de sus caracteríticas hidráulicas y posibilidades de su explotación

RESULTADOS

Sería conveniente acidificar el sondeo y hacer un bombeo de ensayo

PERFORACION

De 0-118 m. con trepano de 550 m.m.Ø

ENTUBACION

De 0-50 m. tubería ciega de 492/508 m.m.Ø

De 50-74 m. tubería ranurada de 492/508 m.m.Ø.

De 74-103 m. tubería ranurada de 441/457 m.m.Ø.

VALVULEO

A los 54 m. se hace un valvuleo, agotándose con 9 válvulas.

A los 94 m. se realiza otra prueba consistente en la extracción de 3 tandas de 20 válvulas.

1º Tanda 9000 litros en 120 sg. Δ = 4.75 m.

2º Tanda 9.000 litros en 180 sg. Δ = 0.75 m.

3º Tanda 9.000 litros en 180 seg. Δ = estabilizado

NIVEL PIEZOMETRICO

Profundidad: 44.13 m.

Cota absoluta: 661,09 m.

DATOS

Coordenadas:

X = 733.100; X.- 1° 32' 22"

Y = 497700; Y.- 39° 04' 13"

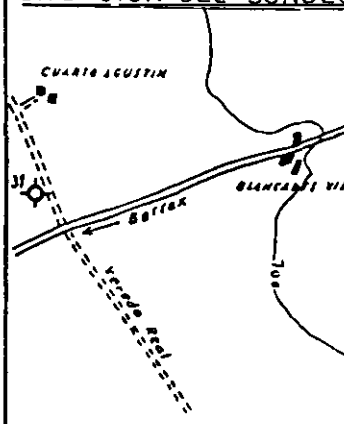
Z = 705,22 m.

Hoja.- 765

Término.- BARRAX

Paraje.- BLANCARES VIEJOS

SITUACION DEL SONDEO



FOTOGRAMA: 29919-29920-R.2

PRUEBA DE BOMBEO

Bomba.-

Tipo.-

Profundidad.-

SONDEO

Caudal			
Tiempo			
Descenso			
Recuperación			

PIEZOMETROS

Distancia	Descenso

ANALISIS QUIMICO

Dureza

Conductividad

Cloruros

Alcalinidad

PERFORACION

Método.- PERCUSION

Sonda.- WALKER NEER-S-33

Empezó.- 15-7-72

Terminó.- 1-11-72

Ejecución.- IRYDA

Nº de jornadas.- 55

Profundidad.- 118 m.

Propietario finca.- J.M. FERNANDEZ CUENCA

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765	5	4	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000			
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	734	600	
TOPONIMIA	Piezómetro SGOP(765/57)			V	501	900	
PARAJE	LLano de la Piedra Urrea		COTA DEL SUELO	E.			
SISTEMA ACUIFERO				N 712.97			

PROPIETARIO	Piezometro SGOP (765/57)		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	RODES		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	150m.	FECHA CONSTRUCCION	1973		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC.		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA			
CAUDAL			
TIEMPO BOMBEO (h)			
DESCENSO (m)			

REF. ALTIMETRICA	Ras del suelo	ALTURA	0m.	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	27.2.75	24.1.90	2.5.72
	(m)	51.6	65.76	69.48

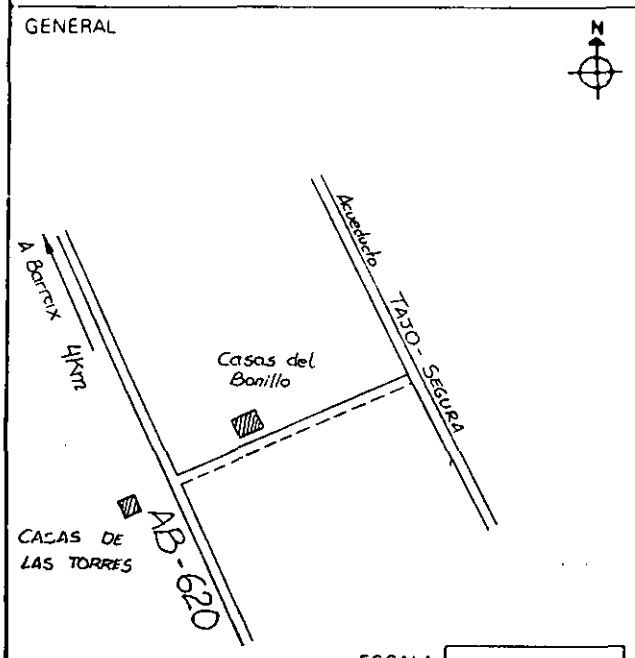
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	*1	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Se nivela a ras del suelo. Está sin equipar. Según numeracion SGOP es e
765 157 según el estudio("Hidrogeologia A.T.S.")
(*1) Si se dispone de una llave adecuada.

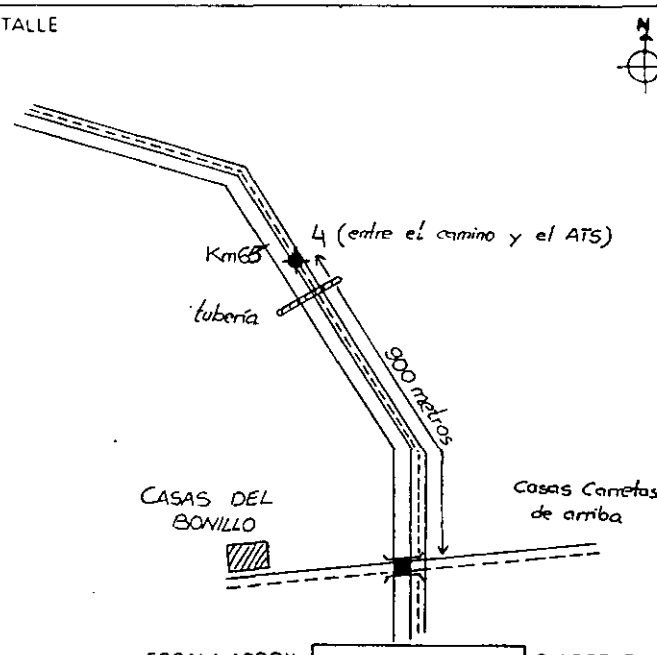
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 27/2/75
2/5/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

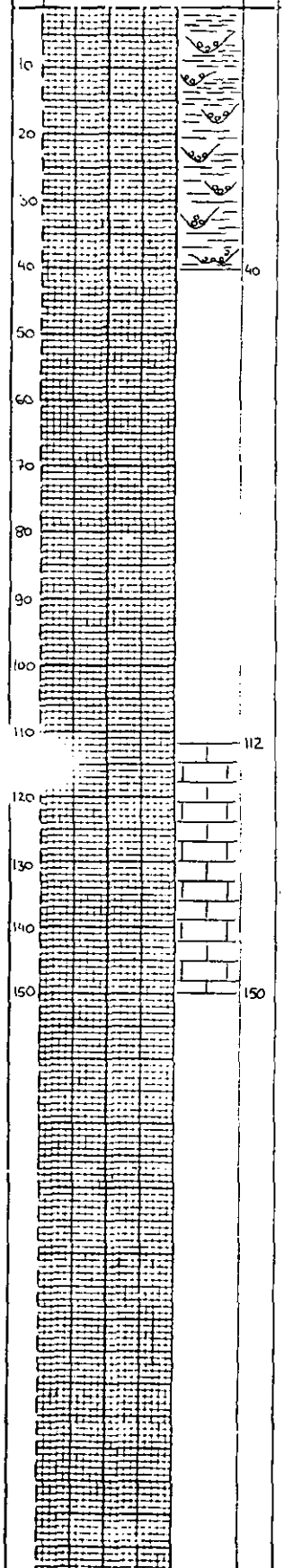
CODIGO:

TOPONIMIA: P. SGOP 765/57 | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 5 4

DETALLE — Pl | Ø en mm | Terreno | Pl

MATERIAL

ACUIFERO: B | R | P



Conglomeradas con arcillas en capas de 2mts.

Mr y pm (?)

Colleras

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

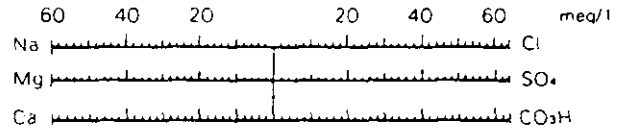
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Se toman 2 muestras de agua a 59 y 100m. el día 28/10/73. Columna según SGOP.

Datos extrídos del ITGE :

(765/5/23)

(765/47)

Piezómetro ITGE (75 - 90)

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasda E		INDICE	765	5	5
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	730	550
TOPONIMIA	LLano de la Piedra Urrea			V	492	700
PARAJE	LLano de la Piedra Urrea		COTA DEL SUELO	E	715	
SISTEMA ACUIFERO				N		

PROPIETARIO	José Martinez Sanchez		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	José perez		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	156.5m	FECHA CONSTRUCCION	1979		
DIAMETRO	480-400	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	Eléctrico		
POT	84	X	CV
			KW

BOMBA

TIPO	Sumergible		
MARCA	IDEAL		
CAP NOM	?		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA

REF. ALTIMETRICA		ALTURA			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	1/1990	18.10.79		
	(m)	68.7	59.5		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO	
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Filtros de la bomba a 90 mts. Se equipa en 1982.

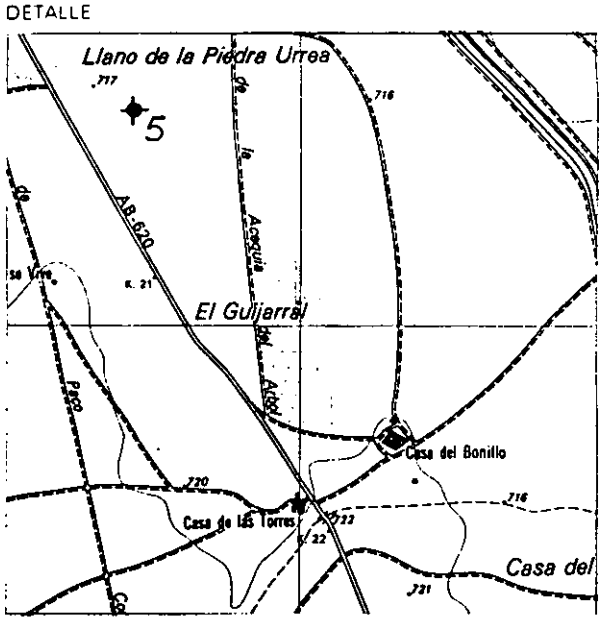
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



N

ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

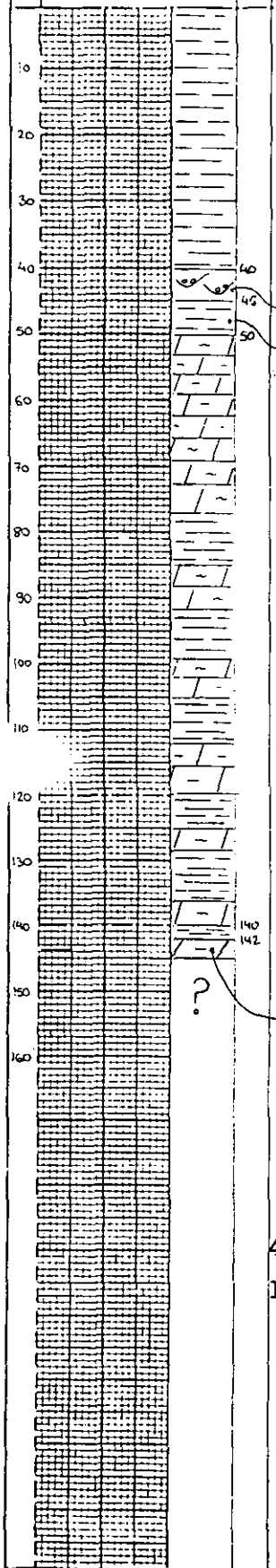
DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: ?

INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: LL.de la Piedra Urrea | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 | 5 | 5



MATERIAL

Arcilla roja

Conglomerado

Arcilla roja

Dolomías arcillosas y arcillas verdes

Arcilla verde y rosa

Dolomía arcillosa verde

INTERPRETACION :

0 - 45 0-M

45 - 145 J2

145 - 156 J1

ACUIFERO: B | R | P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	107	480	a percusión
107	156.5	400	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	107	450		
107	148	400		

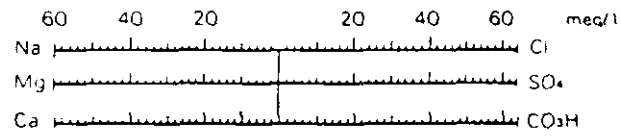
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4^=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C micromho/cm a °C

DUREZA 60 °F CO_3Ca pH

OTROS 5/1982



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C	1751	µ mho/cm	T	25	°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos del ITGE.

Según ITGE es el 7430/5/40.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765 5 6	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	
TOPONIMIA	Piezómetro 765/59 SGOP			V	
PARAJE	Los Morales		COTA DEL SUELO	E	
SISTEMA ACUIFERO	Jurasico			N 712.16	

PROPIETARIO	SGOP . Piezometro 765/59		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	RODES		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	134	FECHA CONSTRUCCION	1973		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC.		hab	
INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Orif. Piezométrico	ALTURA	±10cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	18.11.76	2.5.92		
	(m)	47.19	64.44		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	*1	A VECES	NO	
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

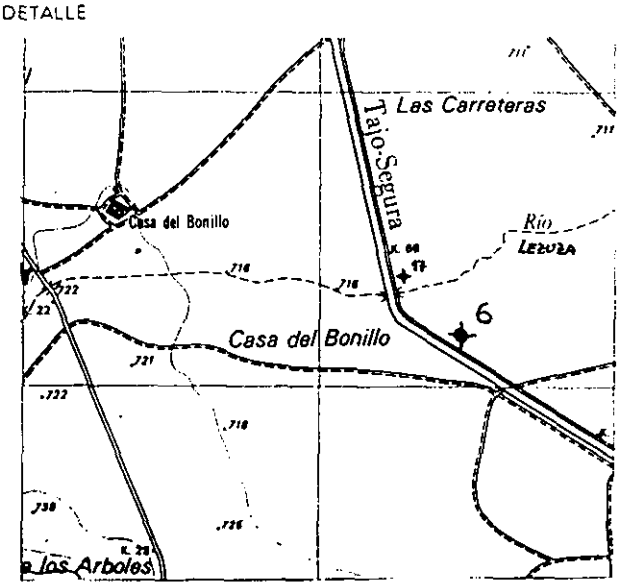
OBSERVACIONES No se saba donde se nivela. (*1) Se nescesita una llave grifa, para abrirlo. Piezómetro del estudio del SGOP. Hidrogeologia ATS.

CROQUIS

GENERAL

N

DE DETALLE



ESCALA

ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION | TEL | ENCARGADO

FECHA: 2/5/92 REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: P. SGOP 765/59 | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 | 5 | 6

DETALLE Pt | Ø en mm | Terreno | Pt | MATERIAL | ACUIFERO B | R | P

10 20 30 40 50 60 63 70 80 90 100 110 120 122 130 134 140 150

Según SGOP

Cantos, arena arcilla

Caliza (colleras)

Arcillas y Margas (Madroño)

Según ITGE

0 - 28 Arcilla alternando con conglomerado

28 - 30 Arcilla amarillenta

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
			A percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS

60 40 20 20 40 60 meq/l

Na — Cl

Mg — SO_4

Ca — CO_3H

LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Se toman muestras de agua a 45 y 115 m. el 28/10/73.

Datos procedentes del ITGE: 2430/5/27, 765/148.

Piezómetro ITGE (1976/86).

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7461 Pasada D		INDICE	765	5 7
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta 1:50.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H 736	300
TOPONIMIA	Blancares Viejos nº 3			V 496	800
PARAJE	Los Blancares		COTA DEL SUELO	E:	
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete			N 697.16	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	124 m	FECHA CONSTRUCCION	5/197		
DIAMETRO	550-450	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	85 - 100 m	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrico		
POT	?	CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	Sumergible		
MARCA			
CAP. NOM	?	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL 1/s	100
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	24
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	12.23

FECHA 9.5.74

REF. ALTIMETRICA		ALTURA		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	5/82	9/91	15/2/92
	(m)	42.08	65m	71.82

ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Al perforar NE 74 y 120 m (5/84) Se mide nivel dinámico en 15/2/92.
Piezometro ITGE: 1974 hasta marzo 1982.

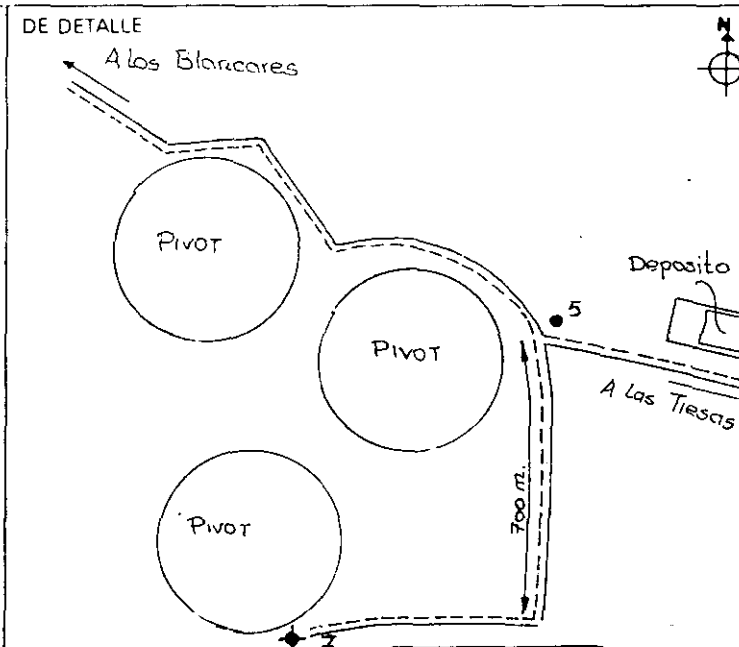
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



DIRECCION	Minaya (Albacete)	TEL.	450206	ENCARGADO	Paco Moraga

FECHA: 15/2/92

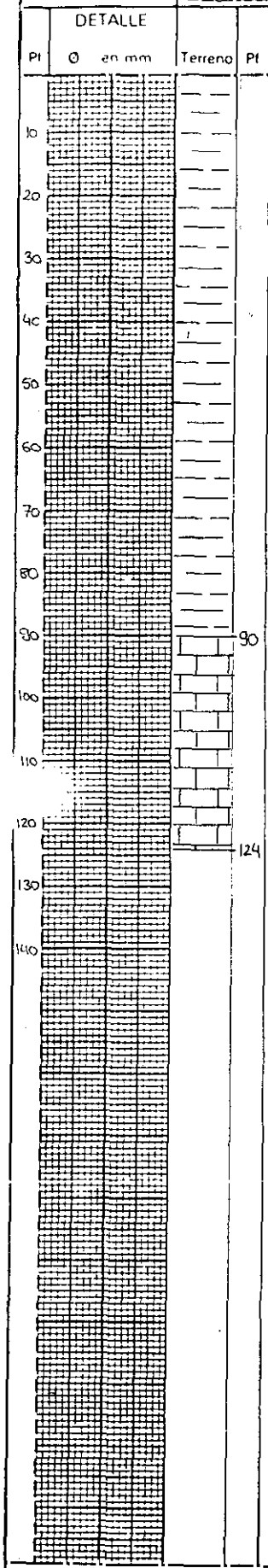
INSTRUCTOR: ITGE

REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Blancares Viejos nº 3 | S. ACUIFERO: Jurasico? | INDICE: 765 | 5 | 7



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla roja			
Calizas blancas y rojas al final			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	66	550	A percusión
66	124	450	A percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	69	500	?	Ciega
69	85	450	?	Ciega
85	100	450	?	Filtros
100	102	450	?	Ciega
102	124	?	?	Ciega

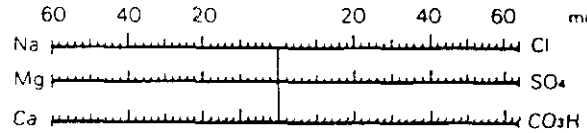
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C: micromho/cm a °C

DUREZA: mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO: FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Pozo del ITGE: 2430/5/17.
Datos extraidos del ITGE: a los 121 mts. aparece una cueva de 2.5m.
Revisado por MC en 1992.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto		INDICE	765	5	8
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	733	750
TOPONIMIA	Los Morales nº 1			V	490	900
PARAJE	Los Morales		COTA DEL SUELO	E: 715		
SISTEMA ACUIFERO				N ?		

PROPIETARIO	El mismo dueño de la finca " El Aceguion " en 1992.		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	MATIAS		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	110 m	FECHA CONSTRUCCION	1973		
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	?	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT	?	CV	
		KW	
BOMBA	a 90 m		
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	?	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA			FECHA	28.4.73		
RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/s	87	
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		?	
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		25	

REF. ALTIMETRICA	Boca del Pozo	ALTURA	20 cm		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.2.74			
	(m)	32.83			

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera si está el dueño						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Se nivela a 0,2 m. del suelo. En 1974 se encontraba sin equipar.
En 1992 no se pudo medir.

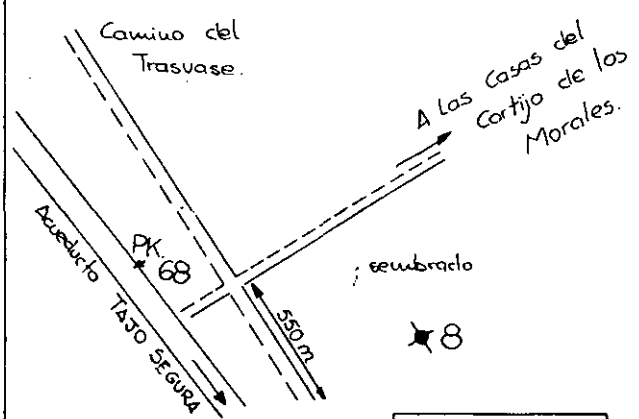
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX

O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

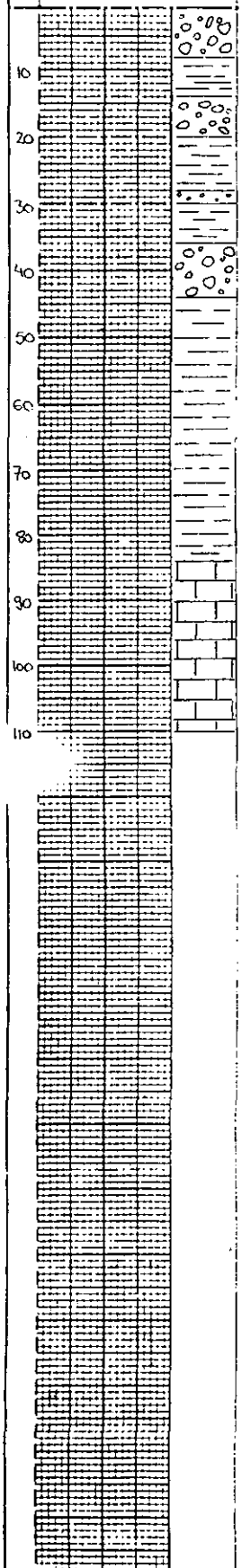
FECHA: 1/2/94
2/5/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Los Morales nº 1 | S ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 | 5 | 8



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Conglomerado			
Arcilla			
Conglomerado			
Arcilla			
Grava			
Arcilla			
Conglomerado			
Arcilla			
Calizas			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	?	500	A percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

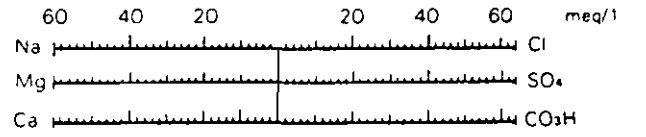
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraidos del ITGE:
2430/5/28, 765/164.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7906 Pasada E		INDICE	765	5 9
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H 736	350
TOPONIMIA	Casa Mormaz			V 495	050
PARAJE	Mormaz		COTA DEL SUELO	E	
SISTEMA ACUIFERO				N 697.61	

PROPIETARIO	D. Juan Veymendez (en 1972)		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	17-33	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	60 cm	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR (*1)			
TIPO			
POT	NO		CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	NO		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC.		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Brocal (*2)		ALTURA	0.45	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72	15.12.72	1.5.92	20.5.93
	(m)	12.48	12.01	15.25	14.42
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*1) Sistema de extracción : torno. No se seca.

(*2) En 1992 esta abandonado. Se nivela 1/5/92 y da cota de 692.935. Se mide la profundidad y tampoco coincide con la dada por el ITGE: prof: 18.70 m. Brocal de 60 cm de diámetro.

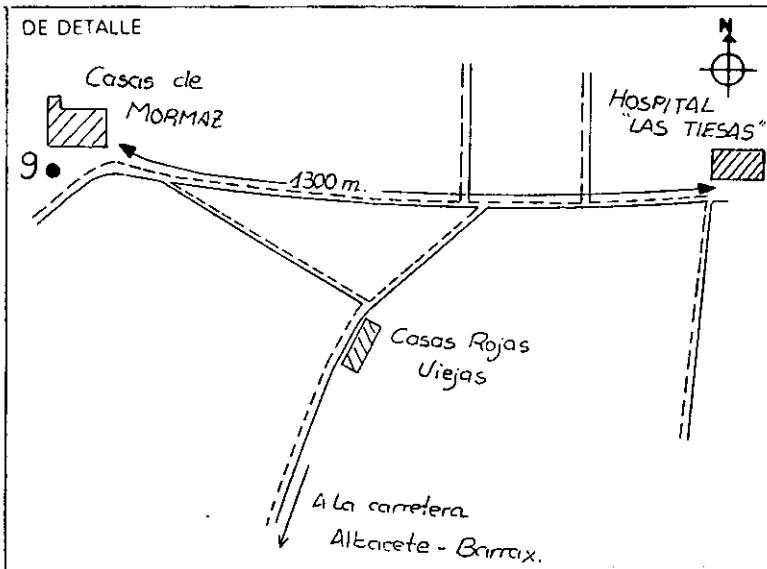
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 8/6/72

1/5/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.

REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Mormaz | S. ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 5 | 9

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

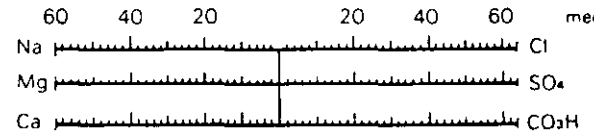
PERFORACION DE	PERFORACION A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	17.33	1050	Excavado

REVESTIMIENTO DE	REVESTIMIENTO A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Segun inventario ITGE : 765/5/4.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7902 Pasada E		INDICE	765	5 10
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	735 200
TOPONIMIA	La Quintanilla			V	493 450
PARAJE	La Quintanilla		COTA DEL SUELO	E: 702	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	Elias Gimenez en 1972		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	30 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC.		hab.	
INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.45
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	5.6.72	15.12.72	
	(m)	17.1	16.725	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES En 1992 no se ha podido localizar este pozo según el croquis de l
ficha del ITGE. O ha desaparecido ó está mal ubicado. El único pozo excavado de esta f
ca esta seco, tiene profundidad de 23.7 m. Brocal altura 40 cm.

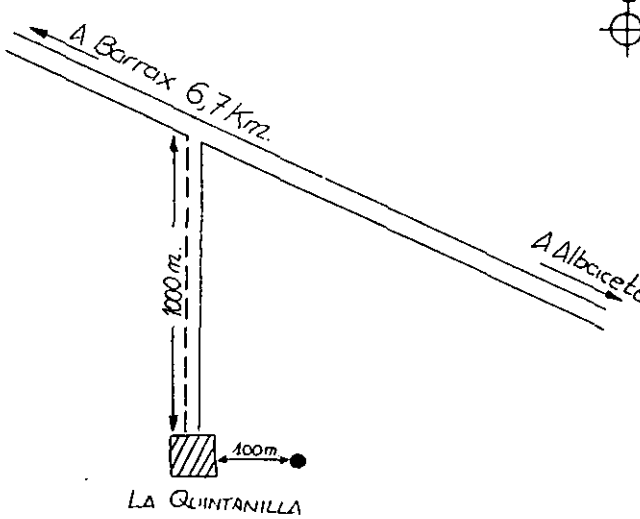
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 13/6/72
1/5/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.

REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	La Quintanilla	S. ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	5	10

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	30	1250	Excavado

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

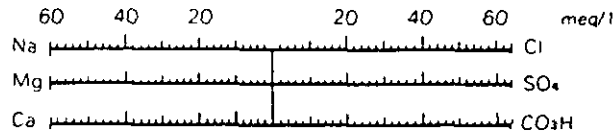
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C micromho/cm a °C

DUREZA mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario ITGE :
765/5/4.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7894 Pasada E		INDICE	765	5	11
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	733	150
TOPONIMIA	Carreteras de Abajo			V	492	250
PARAJE	Haza de los Piojares		COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO				N:	707.412	

PROPIETARIO	Jerónimo Rodriguez y Andrés Gonzales en 1972		
DIRECCION		TEL.	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	25 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO (*1)

MOTOR			
TIPO			
POT	NO		CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	NO		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.6	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	5.6.72	15.12.72		
	(m)	23.25	23.17		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO	?				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*1) Sistema extracción : noria.

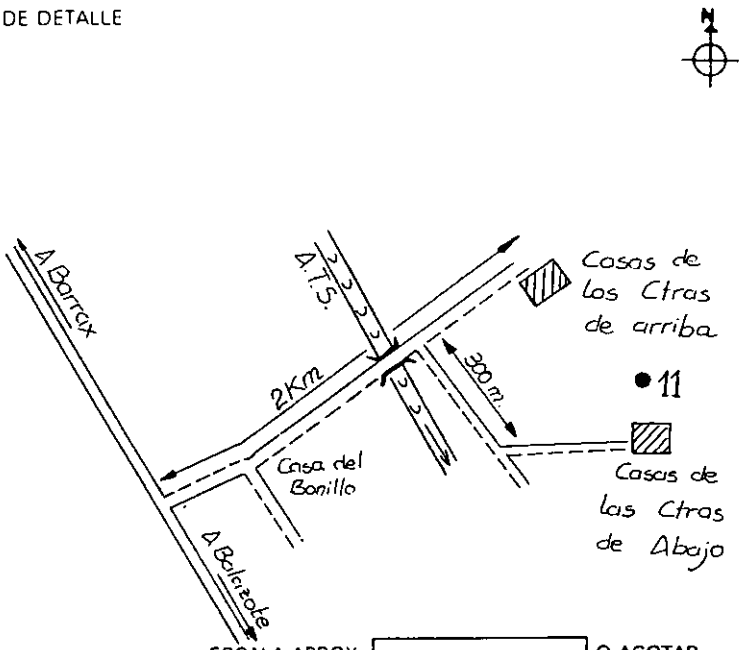
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 5/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Ctras. de Abajo | S. ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 5 | 11

PI	DETALLE Ø en mm	Terreno	PI	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	25	800	Excavado

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

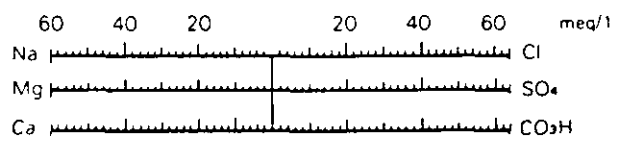
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario ITGE :
765/5/10
ó 765/36.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7461Pasada D		INDICE	765	5 12
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	734 850
TOPONIMIA	Blancares Viejos Nº 4			V	498 000
PARAJE	Los Blancares		COTA DEL SUELO	E: 698 m.	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	D. Antonio Piqueras		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	?	FECHA CONSTRUCCION	?
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT	NO	CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	NO	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC.		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.6
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	6.6.72		
	(m)	40.8		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

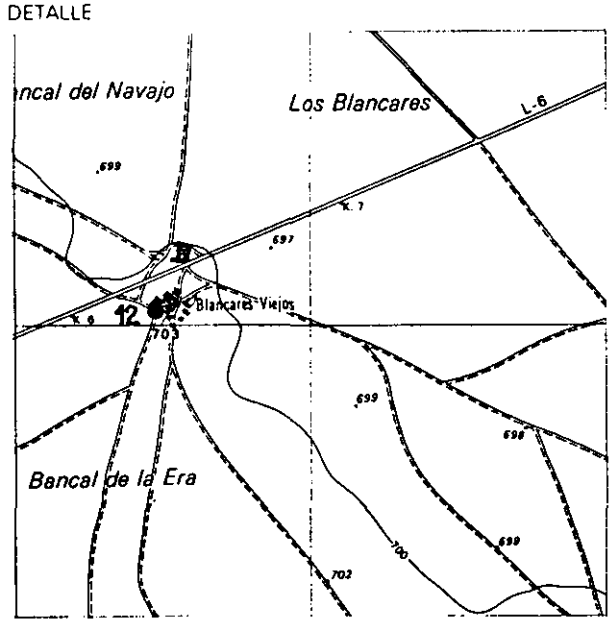
OBSERVACIONES No se utiliza desde hace más de 15 años. Sin sistema de extracción. En 1992 seco.

CROQUIS

GENERAL

N

DE DETALLE



N

ESCALA

ESCALA APROX. 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 6/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA	Blancares Viejos nº 4	S. ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	5	12

DETALLE Pl	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

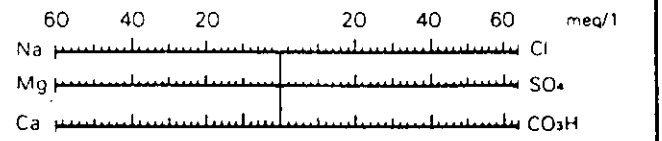
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	?	1.1X0.6	Excavado

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario ITGE :
765/5/12
765/56.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7902 Pasada E		INDICE	765	5 13
PROVINCIA	Albacete		MAPA	La Gineta 1:50.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	733 625
TOPONIMIA	Cuarto del Bolo			V	495 075
PARAJE	Cuarto del Bolo		COTA DEL SUELO	E:	
SISTEMA ACUIFERO				N. 704.582	

PROPIETARIO	Miguel Martínez		
DIRECCION		TEL.	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	40 m.	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT	NO		CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	NO		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC.		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.6
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72	15.12.72	2.5.92
	(m)	38.8	38.59	37.62

ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

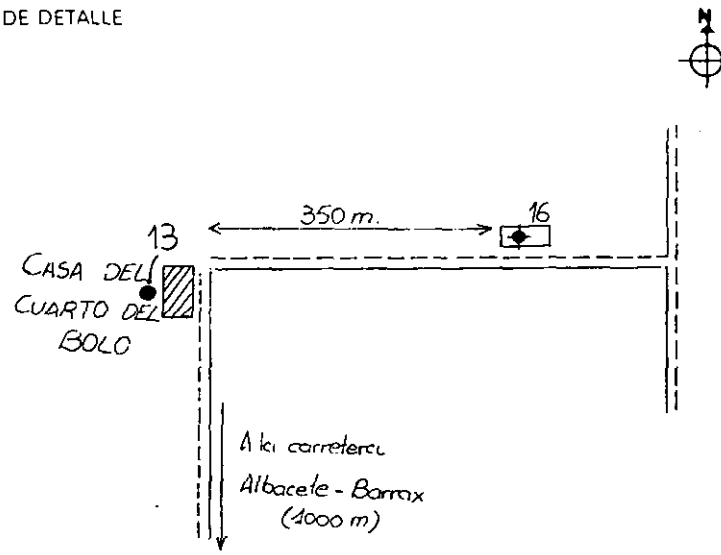
OBSERVACIONES Sin sistema de extracción. Abandonado en 1992.

CROQUIS

GENERAL



DE DETALLE



ESCALA

ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 8/6/72
2/5/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.

REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Cuarto del Bolo | S. ACUIFERO | INDICE: 765 | 5 | 13

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	40	11 50	

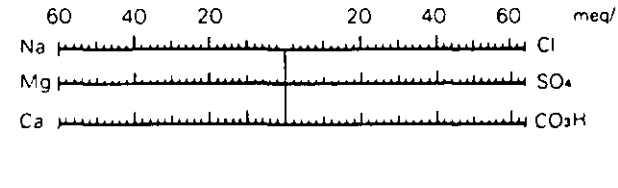
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario ITGE :
765/5/13
ó 765/71.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 7461 Pasada D		INDICE	765 5 14	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H 734	600
TOPONIMIA	Mormaz nº 2			V 496	500
PARAJE	Mormaz		COTA DEL SUELO	E.	
SISTEMA ACUIFERO				N 702.09	

PROPIETARIO:

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR:

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	103 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	Eléctrico		
POT	?	CV	
		KW	

BOMBA

TIPO	Centr. Vertical		
MARCA	IDEAL		
CAP NOM	?	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES						30	31	31	30	31	30	31
HORAS/DIA												
Q medio l/seg.						35	35	35	35			
EXTRACCION m^3/dia						2880	2880	2880	2880			

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE	20 remolacha	ha	FECHA		1974
ABASTEC.		hab	CAUDAL	l/s	35
INDUSTRIA DE			TIEMPO BOMBEO (h)		?
			DESCENSO (m)		7.6

REF. ALTIMETRICA: ALTURA:

PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	13.11.71	14.6.72	26.10.73	3.9.75
	(m)	43(1)	42.51(2)	42.65(3)	43.14(4)

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Tiempo transcurrido desde el último bombeo: (1): 3meses, (2): 1 año,(3): ± 2 años, (4): 4 meses.

En 1975 cortan el tubo hasta la cota 701.596.

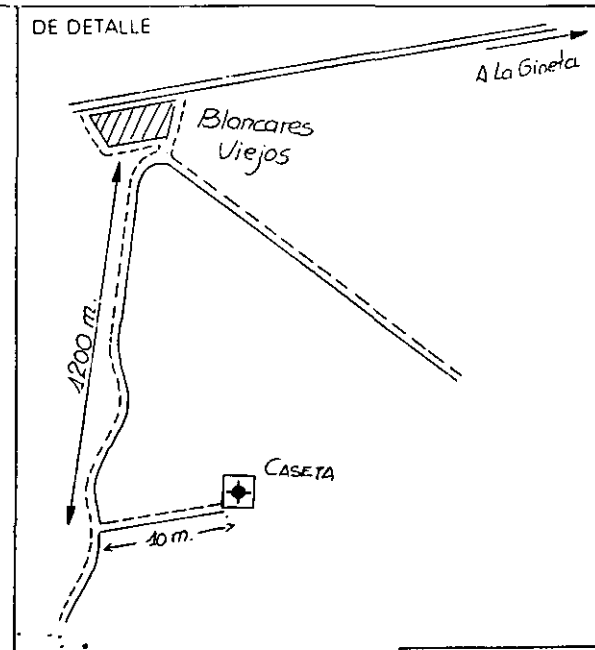
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA:

DE DETALLE



ESCALA APROX. 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 1974 INSTRUCTOR: J.L.Q.

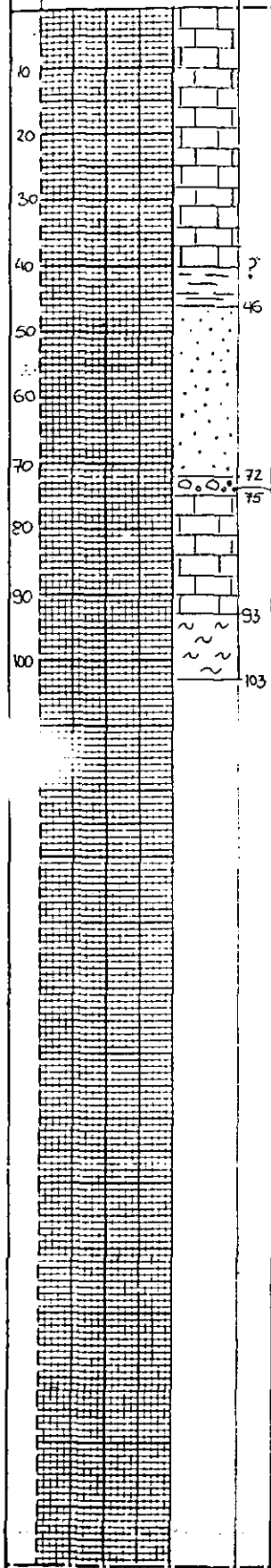
10/2/92 REVISADO : MARÍA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO	:

TOPONIMIA	Mormaz nº 2	S. ACUIFERO	Jurasico + NEOGE.	INDICE	765	5	14

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Caliza y pontiense y debajo arcilla ?			
Arena roja			
Conglomerado			
Caliza roja			
Margas verdes			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

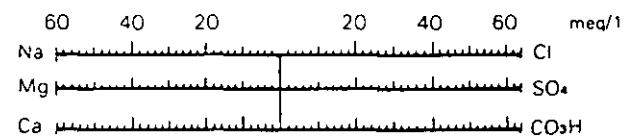
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			SO_4 =		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Inventario del ITGE :
2430/5/1.

FECHA: 1974 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	5	15
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS	H	735	850
TOPONIMIA	Los Morales nº 2		V	501	450
PARAJE	Los Morales	COTA DEL SUELO	E	716	
SISTEMA ACUIFERO			N		

PROPIETARIO	Gabriel Lodares		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	MATIAS		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	85 m	FECHA CONSTRUCCION	1973		
DIAMETRO	550	REVESTIMIENTO	77 - 85 ?	ZONA REJILLA	77.52-85 ?	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/s
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA	4.8.73
CAUDAL l/s	20 ?
TIEMPO BOMBEO (h)	?
DESCENSO (m)	1.8 ?

REF. ALTIMETRICA	Ras tubo	ALTURA	0.4 m		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.2.74			
	(m)	40.45			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

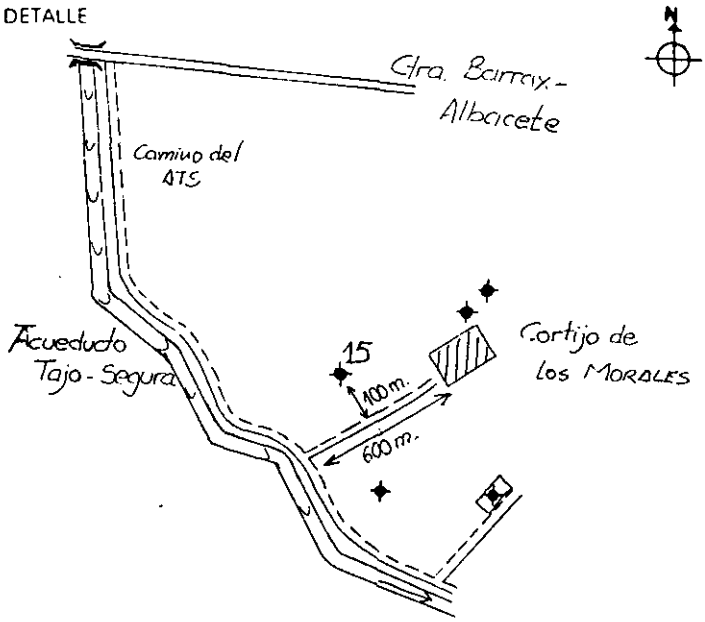
OBSERVACIONES Sin sistema de abastecimiento en 1974 (1/2/74).
Sin entubar entre 77 - 85 m.?

CROQUIS

GENERAL

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

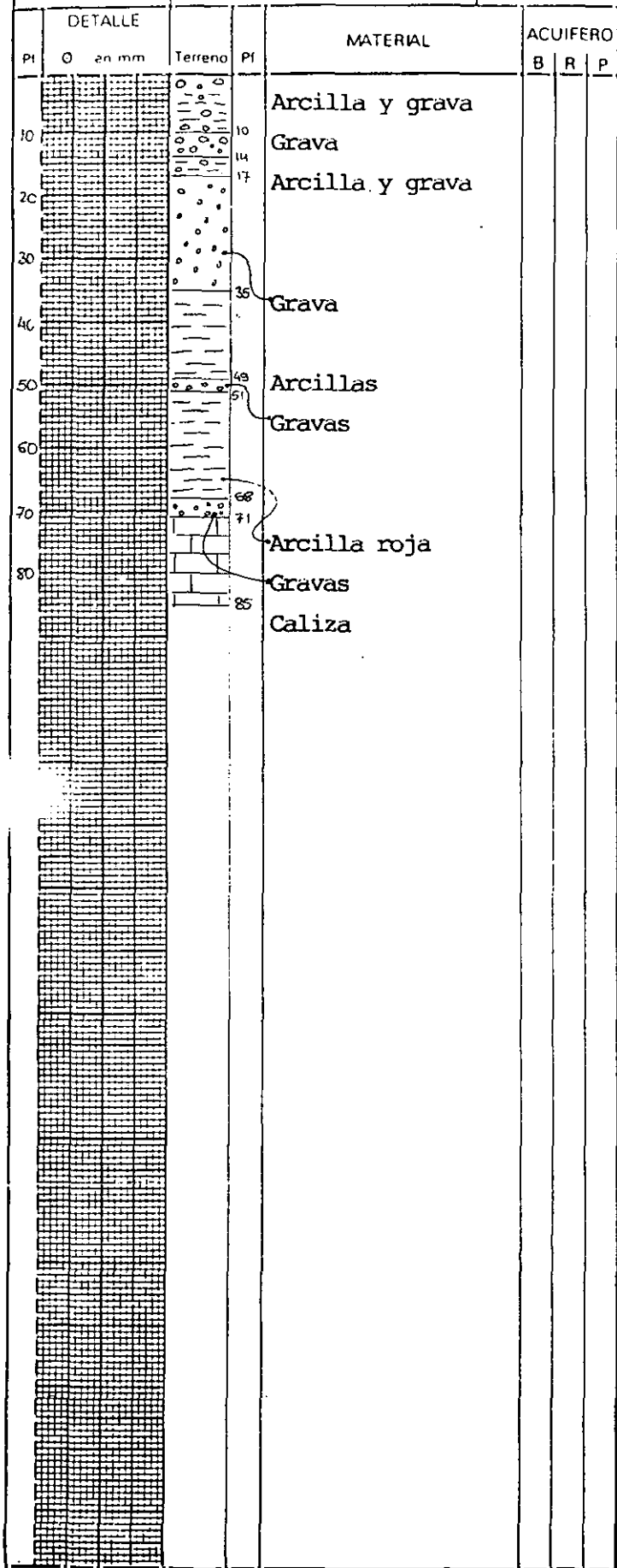
DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 1/2/74 INSTRUCTOR: J.L.Q. (Datos ITGE)

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Los Morales nº 2 | S. ACUIFERO: Jurasico | INDICE: 765 | 5 | 15



B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	85	550	A percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	77.52	450		

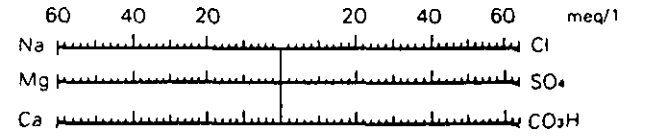
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos del ITGE :

Nº Inventario del ITGE:

765/5/26

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7902 Pasada E	INDICE	765	5	16
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS	H	734	050
TOPONIMIA	Casas del Cuarto del Bolo		V	495	150
PARAJE	Cuarto del Bolo	COTA DEL SUELO	E		
SISTEMA ACUIFERO			N	704.652	

PROPIETARIO	Ramón Saenz Vazquez en 1976
DIRECCION	TEL
CONSTRUCTOR	Luis Lerma
DIRECCION	TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	125 m	FECHA CONSTRUCCION	1972		
DIAMETRO	?	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	GASOIL		
POT	?	CV	
		KW	

BOMBA			
TIPO	Eje Vertical		
MARCA			
CAP. NOM	?	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA	No se utiliza en 1992											
O medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE	ha	CAUDAL	l/s	35
	ABASTEC.	hab	TIEMPO BOMBEO (h)		
	INDUSTRIA DE		DESCENSO (m)		

FECHA: 1977

REF. ALTIMETRICA	Boca del Sondeo	ALTURA	0m		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	13.4.76	15.5.76	18.11.76	2.5.92
	(m)	46.14	46.23	46.81	59.97

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		X	NO	
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES En 1976 sin equipar. En 1992 bomba rota, por lo que no se utiliza. E 1992 : el dueño dice que el NE apareció a los 33 m. , y que el caudal en 1977 era de 35 l/s. Se escucha caer agua en cascada en el interior del sondeo.

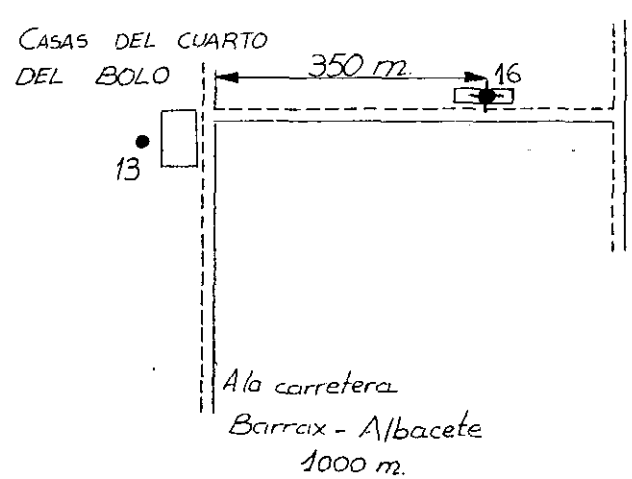
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 1976
2/5/92

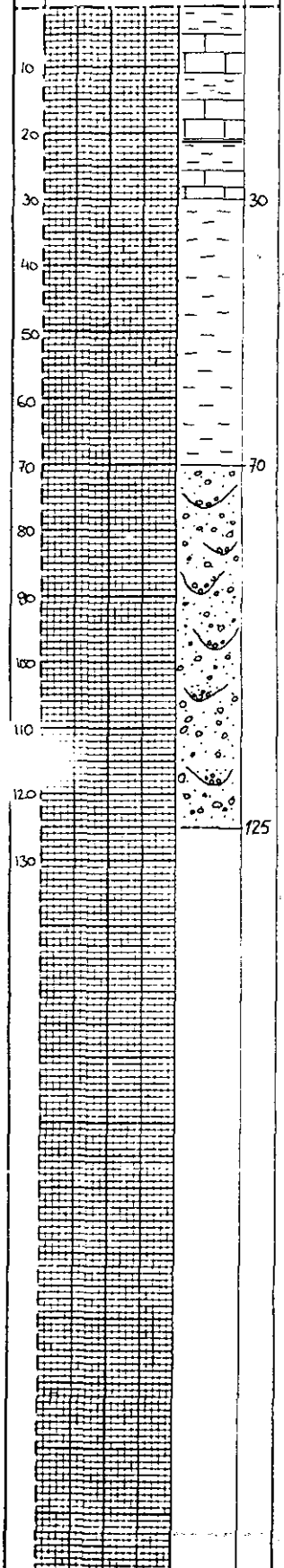
INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Cuarto del Bolo | S. ACUIFERO: Neogeno | INDICE: 765 | 5 | 16

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Alternancia de arcilla blanca y caliza descompuesta			
Arcilla color arena			
Conglomerado			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

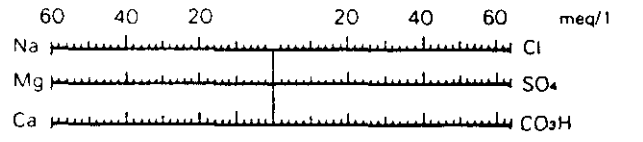
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C	micromho/cm	a	°C
DUREZA	mg/l CO_3Ca	pH	
OTROS			



LABORATORIO: | FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos del ITGE.

Nº de inventario del ITGE: 765/5/21

Piezómetro : 765/5/21.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765	5 17
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	732 700
TOPONIMIA	Piezómetro 765/58 SGOP			V	491 250
PARAJE	Los Morales. ATS.		COTA DEL SUELO	E	711
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	Piezómetro SGOP 765/58		
DIRECCION	Avda. Portugal. Madrid.	TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	236.35	FECHA CONSTRUCCION	1972		
DIAMETRO	100-88mm	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	82-148	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC.		hab	
INDUSTRIA DE			

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

REF. ALTIMETRICA	Brocal sondeo	ALTURA		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	1972	15.6.78	9.6.92
	(m)	37 m	27.96	31.59

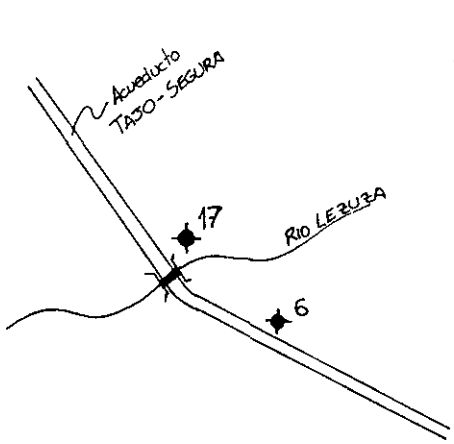
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera (con llave del SGOP)						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Sin equipar en 1992. Es un piezómetro de control. Dispone de tubo piezométrico de 88" de diámetro ranurado entre 82-148 m . Al realizarlo cortaron varios niveles piezométricos, ver anexo 1. El ITGE dispone de los datos de piezometría del año 1978.

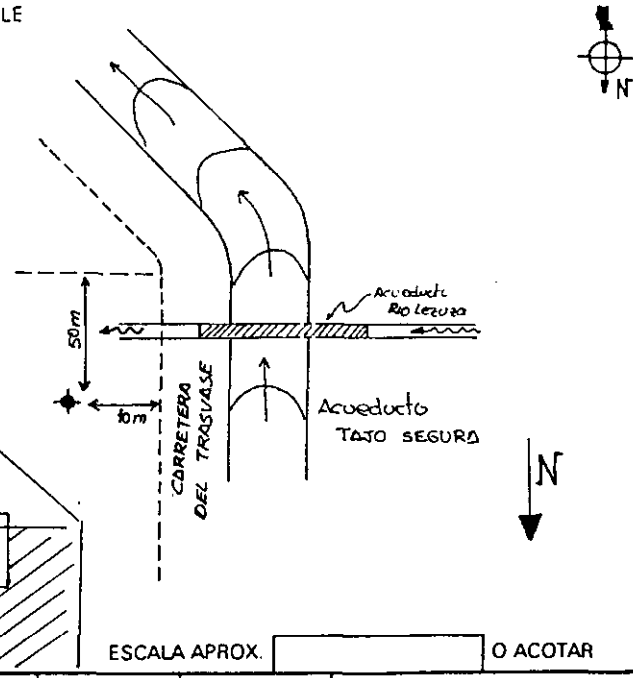
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA: Piezómetro 765/58 | S. ACUIFERO: JURASICO | INDICE: 765 | 5 | 17

DETALLE

Pl	Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
				Cantos, arenas arcillosas y arcillas y conglomerados			
			69				
				Caliza brechoide, caliza margosa con intercalaciones débiles de arcillas y margas J_3			
			133				
				Arcillas y margas con delgadas intercalaciones de calizas dolomíticas J_2			
			218	J_1 Caliza dolomítica totalmente Carstificada			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	19	180	
19	57.6	130	
57.6	80	110	
80	154.5	92	
154.5	236.3	75	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	80	100	6?	
80	150	88	6?	
Resto sin entubar.				

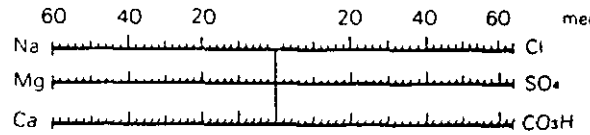
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+	Dispone de aná		CO_3H^-		
K^+	lisis a ≠ prof		$SO_4^=$		
Ca^{++}	VER ANEXO 1		Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Datos extráidos del SGOP. Informe 1398 año 1972 "Est. hidrogeologico de la Mancha oriental" Sondeo 765/58 AT. realizan pruebas de permeabilidad y obtienen los siguientes resultados según ITGE 765/6/25 K= 9.9 - 23.5 m/día.

FECHA: INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7894 Pasada E		INDICE	765	5 18
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	733 800
TOPONIMIA	Cortijo de los Morales Nº 3			V	491 100
PARAJE	Los Morales		COTA DEL SUELO	E	712 m.
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	El mismo dueño de la finca "El Acequion"		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	110 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	90 - 110 m.	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrico 1992		
POT	En 1972 molineta	CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	Sumergible		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

X	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC.		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	2.5.92	5.6.72	
	(m)	65.02	12.14*	

ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera, si está el dueño						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

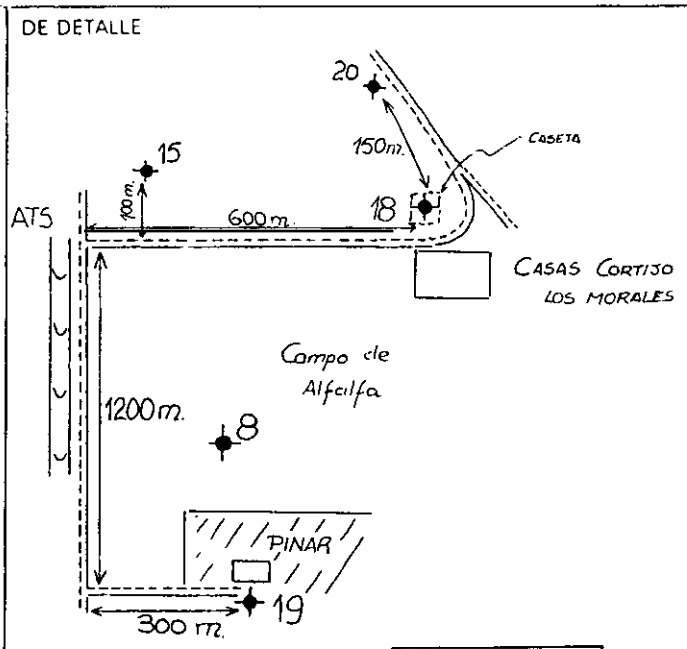
OBSERVACIONES Pozo perforado sobre uno excavado de 30 m. En 1992 no se utiliza, pendiente de que lo aforen. Hay cinco sondeos más en la finca. Bomba colocada a 90 m, tiene una bomba muy pequeña según el dueño. Hecho en 197 Reprofundizado en ± 1990. Profundidad inicial ± 30m. Prof. agua 12.14.

CROQUIS

GENERAL

N

DE DETALLE



ESCALA

ESCALA APROX.

O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 2/5/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA: Los Morales nº 3 | S. ACUIFERO: ? | INDICE: 765 5 18

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

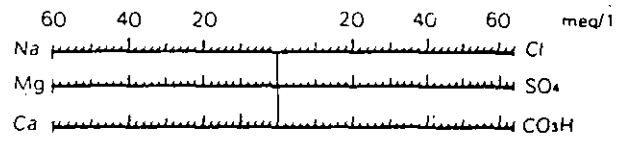
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE es un pozo excavado 765/5/8.

FECHA: 2/5/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7894 Pasada E	INDICE	765 / 5 / 19
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS	H
TOPONIMIA	Cortijo de Los Morales		V
PARAJE	Los Morales	COTA DEL SUELO	E 712
SISTEMA ACUIFERO			N

PROPIETARIO	El mismo dueño de la finca "El Acequion"		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	120 m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	450	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	100 - 120	TIPO	Sin entubar

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrico		
POT	?	CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA	Sumergible		
CAP. NOM	?	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

X	RIEGO DE		ha
	ABASTEC.		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA		1992	
CAUDAL	l/s	50	
TIEMPO BOMBEO (h)			
DESCENSO (m)			

REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA	0.5m		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	2.5.92			
	(m)	64.79			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES El encargado dice que de 100 a 120m. El sondeo está sin entubar.
Los pozos 765/5/8 y 15 están bombeando.

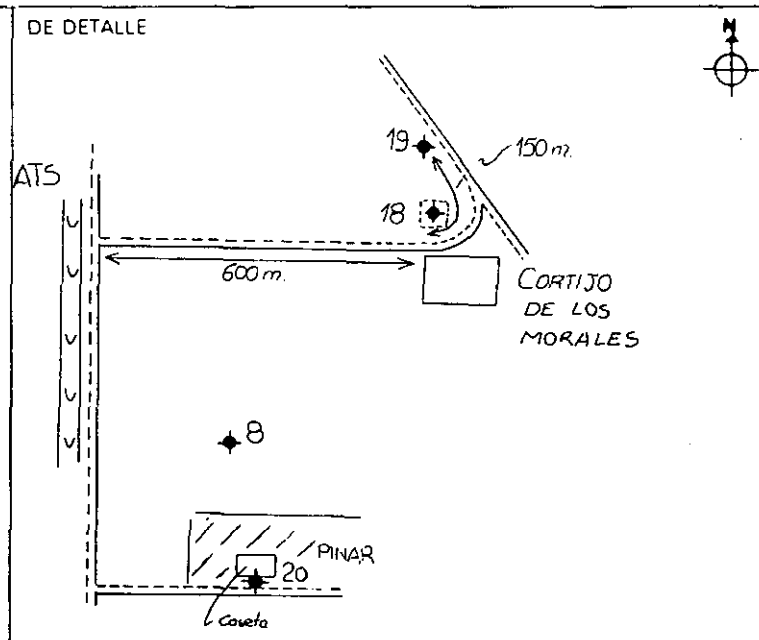
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 2/5/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Los Morales nº 4 | S. ACUIFERO: ? | INDICE: 765 | 5 | 19

DETALLE Pl	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

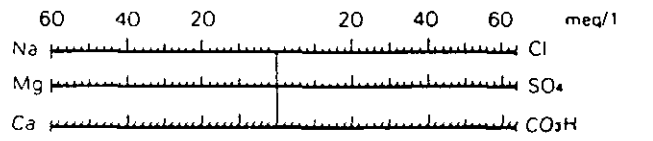
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: No hay datos en el ITGE de éste sondeo.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765 / 5 / 20
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS	H 734 150
TOPONIMIA	Cortijo de Los Morales nº 5		V 490 900
PARAJE	Los Morales	COTA DEL SUELO	E 712 m
SISTEMA ACUIFERO			N 708.945

PROPIETARIO	Dueño de la finca "El Acequion"		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	Matias		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	10-89	FECHA CONSTRUCCION	1974		
DIAMETRO	450	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	100,110 ó120	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC.		hab
INDUSTRIA DE		

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA		2/5/92	28/5/73	25/11/75
CAUDAL	l/s	30	146	130
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)			12 m	21.6 m

REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA	-0.6m	
PROF. NIVEL DEL AGUA — FECHA	2.5.92	1.2.74	1.9.75	
(m)	62.17	23.40	37.25	

ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES El 2/5/92 se encuentra sin equipar por avería. Se escucha goteo de agua en su interior, puede estar cortocircuitando otros acuíferos. Los pozos 765/5/8 y 15 están bombeando.

CROQUIS

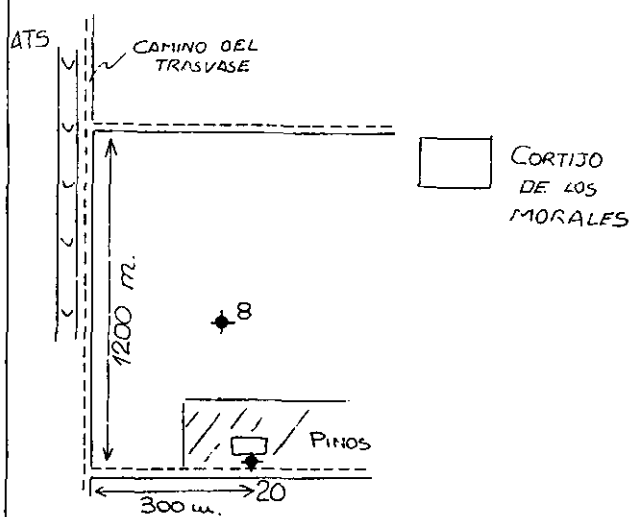
GENERAL



ESCALA

DE DETALLE





ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

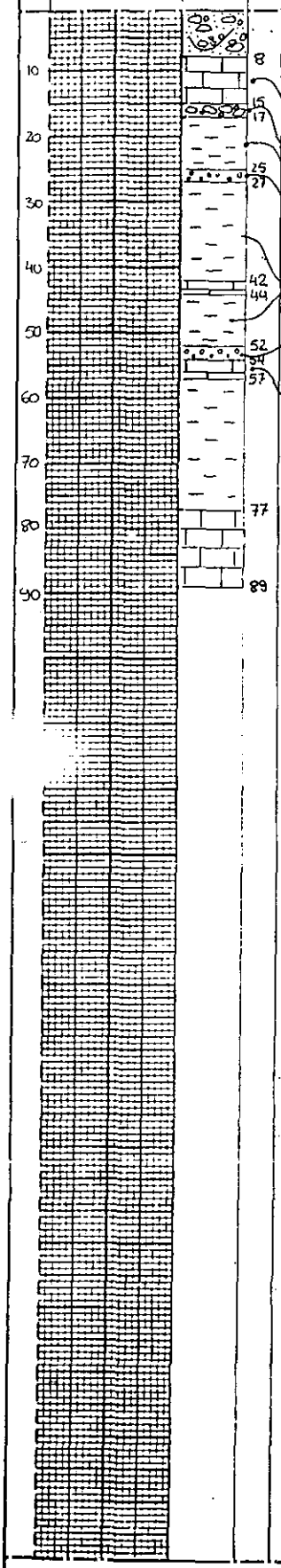
FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO :

TOPONIMIA: Los Morales nº 5 | S ACUIFERO: Jurásico ? | INDICE: 765 | 5 | 20

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
0 - 8 Conglomerados			
Calizas			
Conglomerado			
Arcillas			
Conglomerado			
Arcillas			
Gravas			
Calizas			
Arcillas			
Calizas			
Jurásico			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	89	450	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

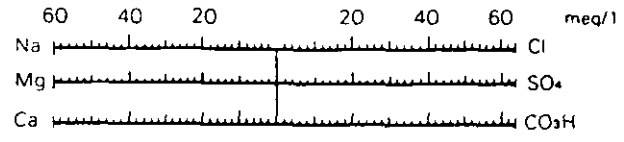
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE 765/5/29 ó 30.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7473 Pasada D		INDICE	765	5	21
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Hoya del Pozo 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	730	550
TOPONIMIA	Morra del Camino De La Roda			V	497	200
PARAJE	Morra del Camino De La Roda		COTA DEL SUELO	E: 715		
SISTEMA ACUIFERO				N		

PROPIETARIO					
DIRECCION			TEL		
CONSTRUCTOR	Juan Calingo				
DIRECCION			TEL		
NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	161 m	FECHA CONSTRUCCION	1984
DIAMETRO	450	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Eléctrico		
POT	75	X	CV
			KW
BOMBA			
TIPO	Sumergida		
MARCA	IDEAL SKO 75/12		
CAP. NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA	40 Dm^3 <= 30 días											
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL l/s	15(aprox.)
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	?
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	25

FECHA ?

REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA	-1.44m	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	17.5.85	8.6.92	
	(m)	62*	65.59	

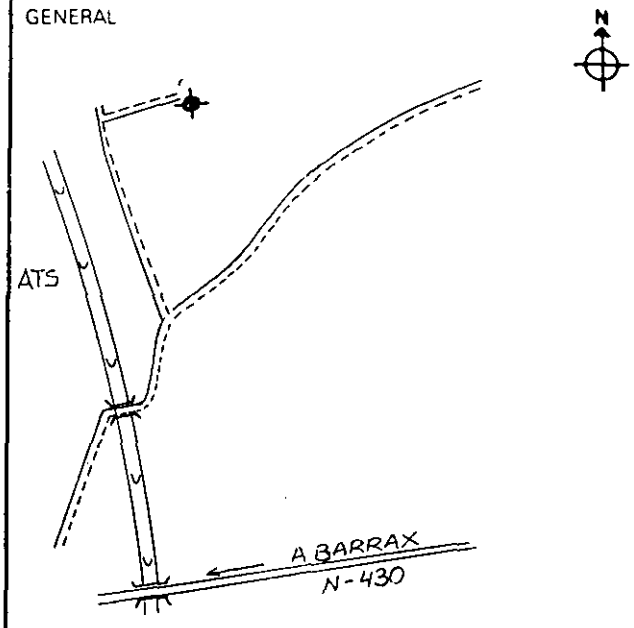
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Tubería de impulsión 350 diámetro.
* Para ésta medida, utilizan como referencia el suelo.

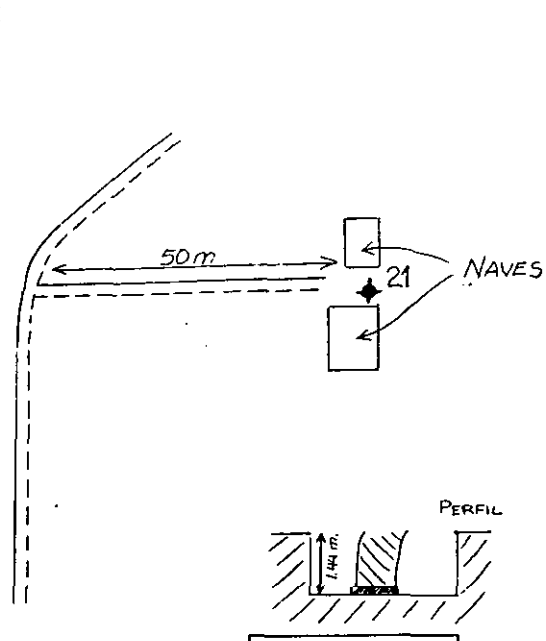
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

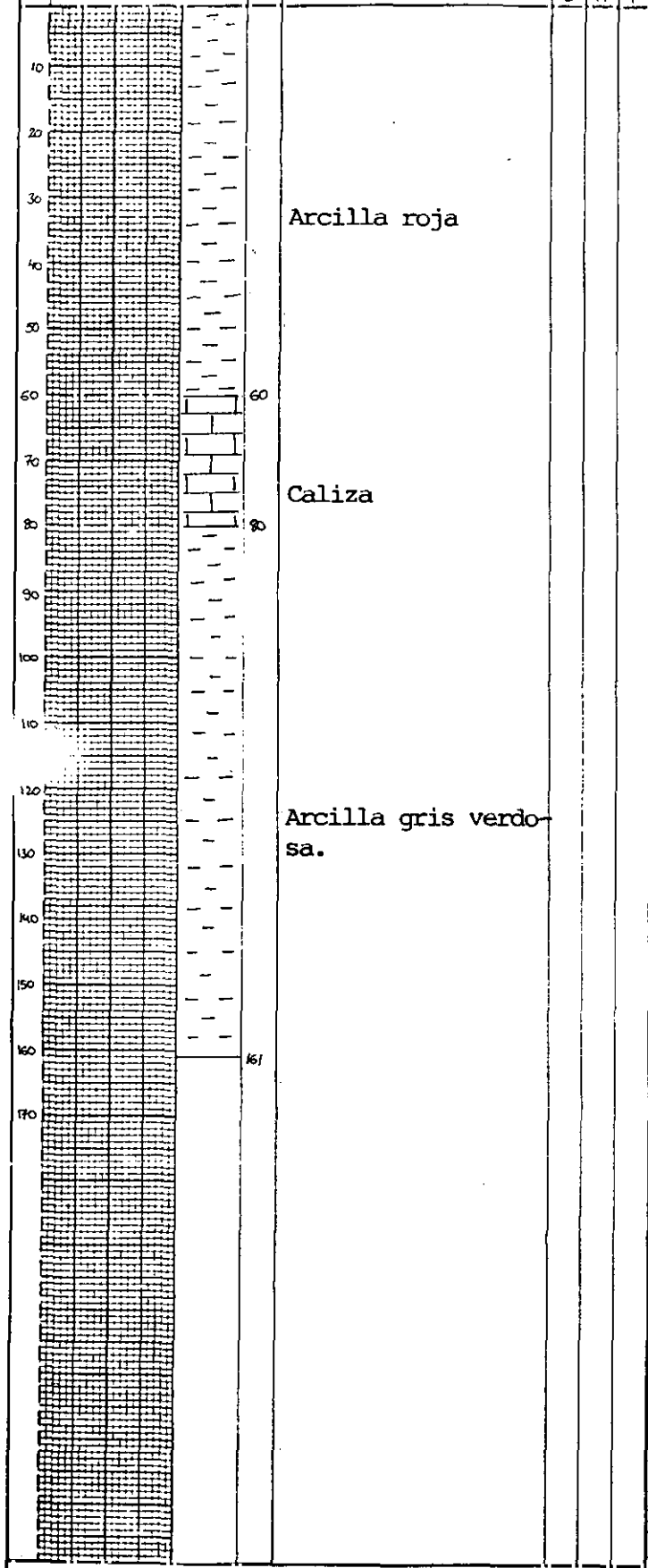
FECHA: 17/5/85
8/6/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Morra del C. La Roda | S. ACUIFERO: JURÁSICO | INDICE: 765 | 5 | 21



CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	116	600	
116	161	480	
A percusión			

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	116	500	5	Acero

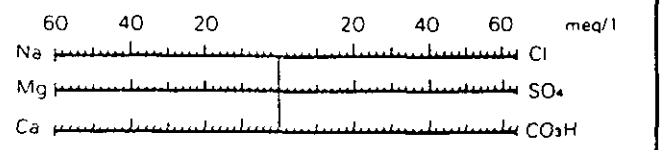
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Según ITGE 765/5/71, 765/433.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada E		INDICE	765	6 | 1
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.00	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	741 | 800
TOPONIMIA	Bancales de Tolano			V	494 | 600
PARAJE	Casa Caballos		COTA DEL SUELO	E: 694	
SISTEMA ACUIFERO	LLanos-Albacete			N: 696.403 (*1)	

PROPIETARIO	En 1972 D.Mejias García García		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	11.9m.	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	1.10m.	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

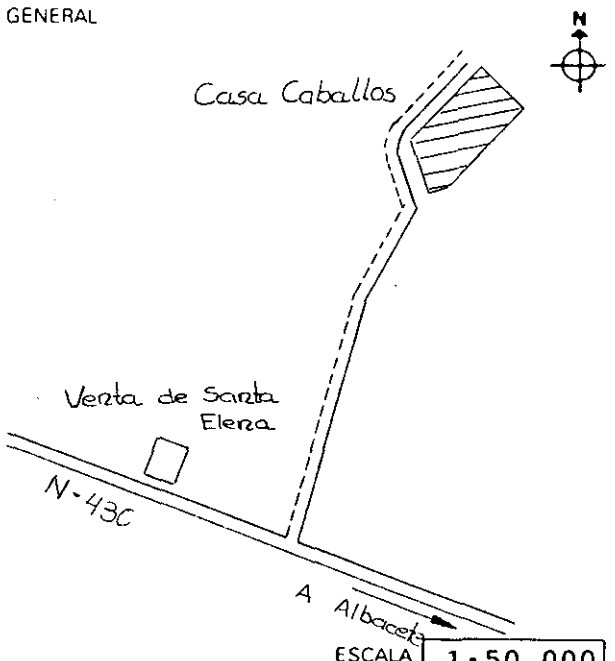
REF. ALTIMETRICA	Brocal Pozo	ALTURA	1.1m		
PROF NIVEL DEL AGUA — FECHA	21.7.91	8.7.72	15.12.72	1.5.92	
PROF NIVEL DEL AGUA — (m)	11.0	7.55	6.85	11.42	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA X	CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI X	A VECES		NO	
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Se nivela, pero la medida no parece sensata, se toma la del mapa topográfico 1:25.000. Parece fuera de uso. Las medidas correspondientes al año 1972 son del ITGE. Se vuelve a medir a 1/5/92: y se vuelve a nivelar(*1). El agua en esta fecha está a 11.47.

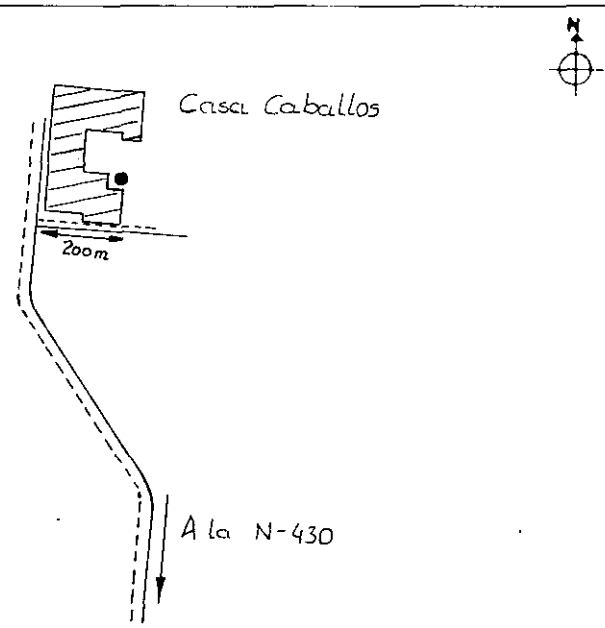
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX ☐ O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 21/7/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA | S. ACUIFERO | INDICE

DETALLE Pl	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	PERFORACION A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	REVESTIMIENTO A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS

60 40 20 20 40 60 meq/l

Na — Cl

Mg — SO_4

Ca — CO_3H

LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

ENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

ECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7445 Pasada D	INDICE	765	6	2
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H	742	250
TOPONIMIA	Casa Capitan nº 1		V	497	250
PARAJE	Alto de las Auntardas	COTA DEL SUELO	E	689	
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete		N	(*1)	

PROPIETARIO	?				
DIRECCION		TEL			
CONSTRUCTOR	?				
DIRECCION		TEL			
NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	25.92	FECHA CONSTRUCCION	+de40año
DIAMETRO	1 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	?		
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	Horizontal		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
X	ABASTEC.	Familiar	hab
X	INDUSTRIA DE	Ganadería	

FECHA		1/5/91			
CAUDAL	l/s	2ó3(±)			
TIEMPO BOMBEO (h)					
DESCENSO (m)					

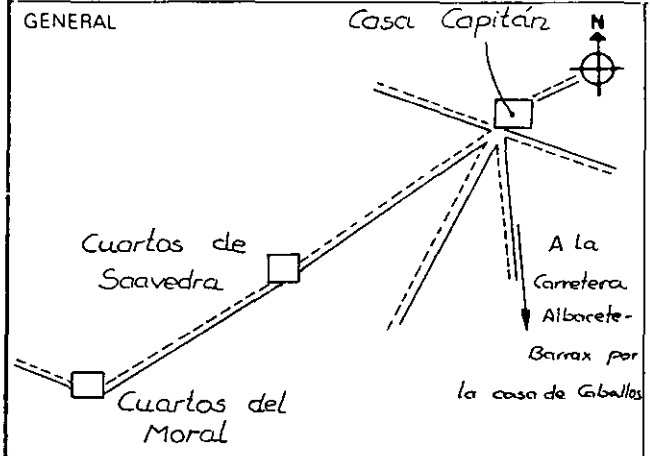
REF. ALTIMETRICA	Brocal del Pozo	ALTURA	±40cm	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.5.92		
	(m)	25.05		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO X	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI X	A VECES		NO
HORARIO	Cuando esté el dueño.			

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*1) Se nivela, pero la medida que se obtiene no coincide con la del mapa topografico:696.569m. El dueño dice que hay otros seis pozos mas en la aldea, que si detienen sus motores, el nivel en el pozo aumenta casi 1 m . Este pozo se agota, pero luego se recupera. Cuando llueve aumentan los niveles en el pozo.

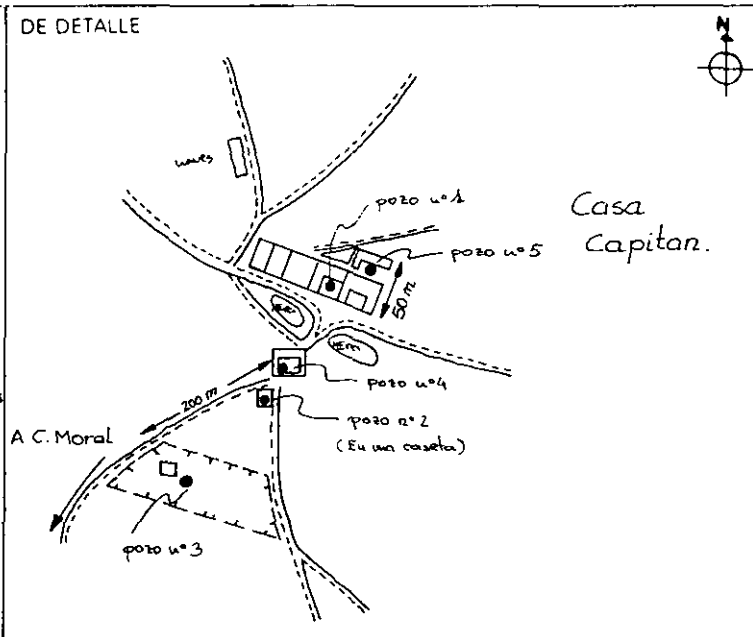
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 1/5/1992 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA	Casa Capitan nº 1	S. ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	6	2

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

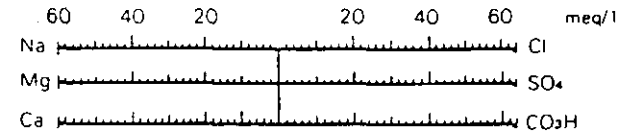
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según el dueño, cuando bajaba el rio Lezuza tenía más agua. Ahora hace diez años que no baja.

NO INVENTARIADO POR EL ITGE.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 | 6 | 3
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS H	
TOPONIMIA	Las Tiesas	COORDENADAS V	
PARAJE	Las Tiesas	COTA DEL SUELO E	695.45
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete	COTA DEL SUELO N	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	220	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	400	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	20 - 220 m	TIPO	Entrelozada

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	?		
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	?		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

X	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC.		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

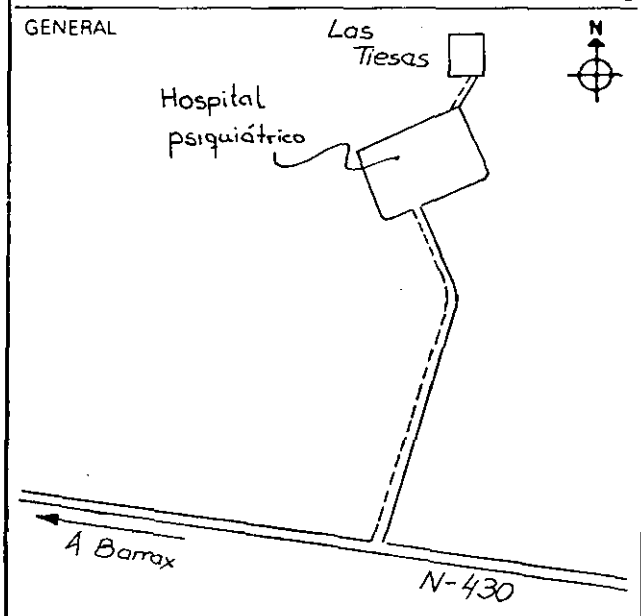
REF. ALTIMETRICA	Extremo tubo piezo.	ALTURA	55 cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA FECHA	24.10.91	15.2.92			
PROF. NIVEL DEL AGUA (m)	58.62	55.39			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Es un sondeo muy reciente. A 15/2/92 Lo estan instalando para abastecer un pivot a 6 tramos, El dueño proporciona los datos de profundidad, y profundidad rejilla.

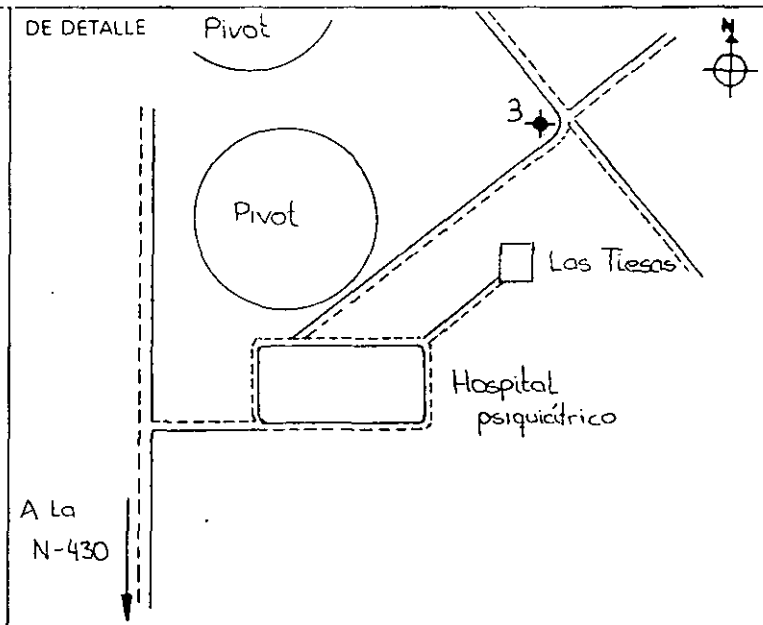
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 24/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Las tiesas | S. ACUIFERO: Jurásico ? | INDICE: 765 | 6 | 3

Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

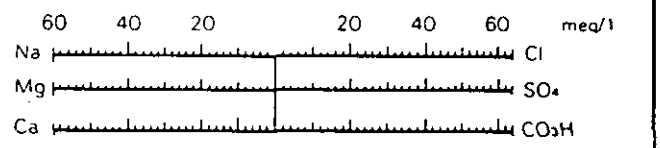
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según el dueño a los 20 m. comienzan a aparecer calizas, que continúan hasta el final del sondeo .

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: 24/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765	6 5
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Barrax		COORDENADAS	H	737 000
TOPONIMIA	Las Tiesas. Sondeo nº 2			V	497 250
PARAJE	Finca "Las Tiesas"		COTA DEL SUELO	E	695
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	Diputación albacete. ITAP.		
DIRECCION	Ctra. Madrid.Poligono Industrial Campollano.	TEL.	
CONSTRUCTOR	Ctra. Madrid. Poligono Industrial Campollano.		
DIRECCION	Ctra. Madrid. Poligono industrial Campollano.	TEL.	967 219075

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	145 m.	FECHA CONSTRUCCION	1982		
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	112 - 145m.	TIPO	Sin entubar

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR a 91 m.

TIPO	Eléctrico		
POT	125	X	CV
			KW

BOMBA

TIPO	IDEAL
MARCA	5044 F
CAP NOM	l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

EXTRACCION (m^3/año) 432.684

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL l/s	80
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	?
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	4381

FECHA 1980

REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA	55 cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	8/86	16.11.82	2.5.92	11.6.92
	(m)	61	43.81	52.59	53.55

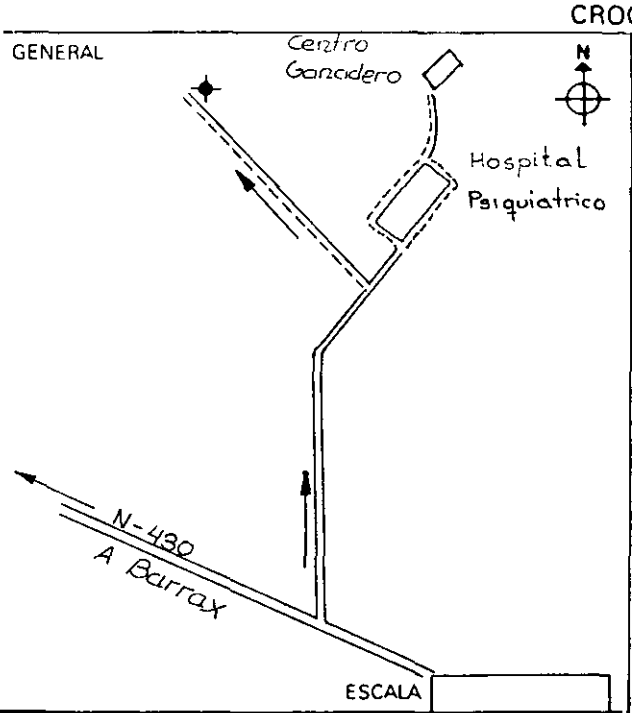
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	X	☐
PERFIL GEOLOGICO	☒	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☒	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

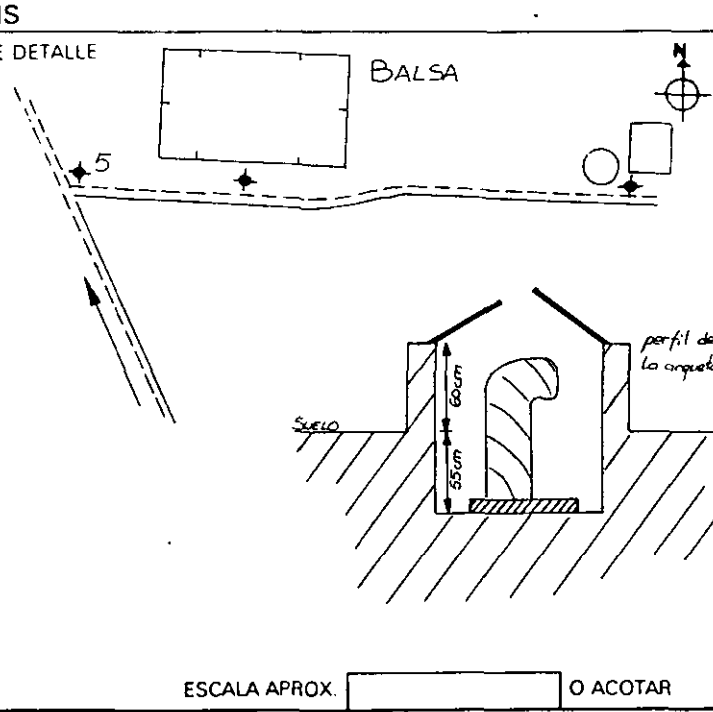
OBSERVACIONES Se adjuntan datos de piezometría en los anejos.

CROQUIS

GENERAL



DE DETALLE



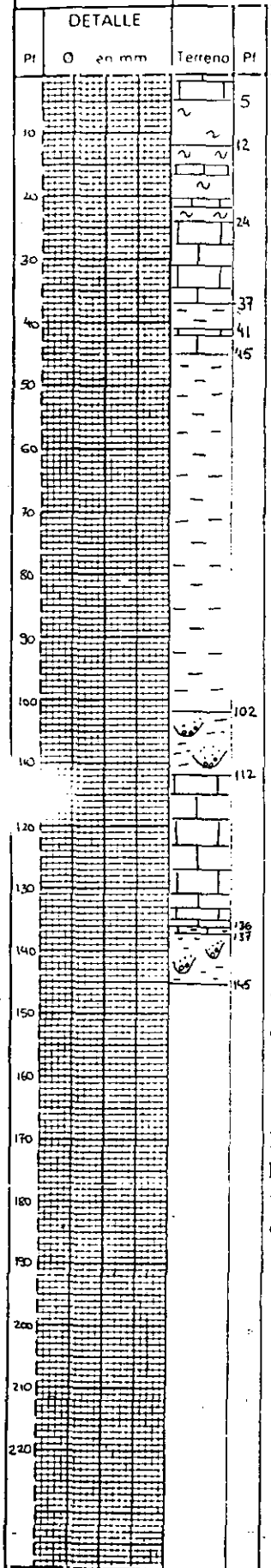
DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 24/10/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA	Las Tiesas nº 2	S. ACUIFERO	Neog, Juras. Profundo	INDICE	765	6	5



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Caliza Blanca			
Margas			
Caliza y margas blancas			
Caliza blanca			
Arcilla negra			
Caliza blanca			
Arcilla roja			
Arcilla roja y conglomerado			
Caliza gris			
Conglomerados y arcillas			
Domingo Garcia Delcán interpreta M hasta 106m J desde 111m.			

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	145	550	A percusión

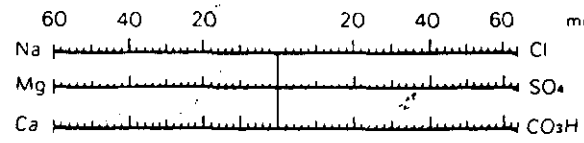
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	112	500	6	Acero Ciega
112	145	SIN ENTUBAR		

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Según ITGE; 765/6/45, 765/378.

B = BUENO R = REGULAR P = POBRE Ø = DIAMETRO

FECHA: 24/10/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 / 6 / 4
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS H	738 075
TOPONIMIA	Las Tiesas. Sondeo nº 3	COORDENADAS V	496 950
PARAJE	Las tiesas	COTA DEL SUELO E	695
SISTEMA ACUIFERO		COTA DEL SUELO N	

PROPIETARIO	Diputación Albacete. ITAP.		
DIRECCION	Ctra. Madrid .Poligono Industrial Campollano	TEL	
CONSTRUCTOR	Ctra. Madrid . Poligono Industrial Campollano		
DIRECCION	Ctra. Madrid . Poligono Industrial Campollano	TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	232m	FECHA CONSTRUCCION	1987		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	154-233	TIPO	Sin entubar

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	Electrico		
POT	67.5	X	CV / KW
BOMBA	a 108 m.		
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	50	X	l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

EXTRACCION (m^3/año) 224.160

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	FECHA	1992
	ABASTEC		hab	CAUDAL l/s	± 80
	INDUSTRIA DE			TIEMPO BOMBEO (h)	
				DESCENSO (m)	

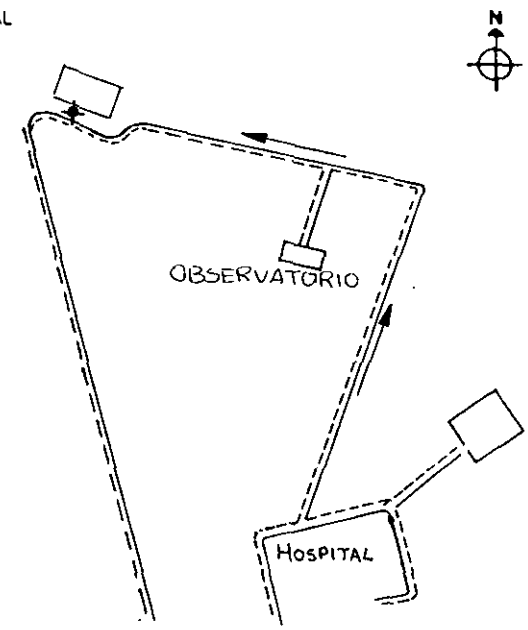
REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo		ALTURA			
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA		15.2.92			
	(m)		52.93			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO	
HORARIO	Cualquiera					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☒	☐
PERFIL GEOLOGICO	☒	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☒	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☒
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☒
OTROS ENSAYOS	☐	☒

OBSERVACIONES El dato de caudal lo proporciona un empleado. Se encuentra en una arquet
Datos proporcionados por el ITAP.

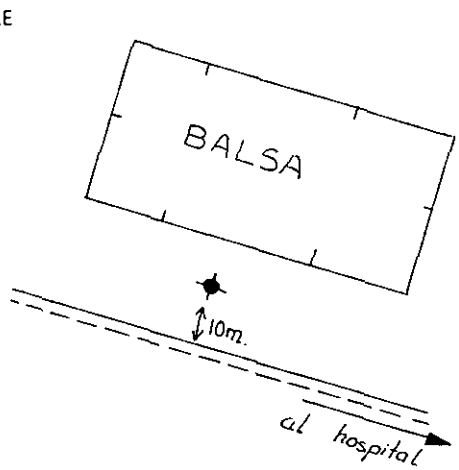
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:25.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 24/10/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Las Tiesas nº 3 | S. ACUIFERO: Jurásico. | INDICE: 765 | 6 | 4

DETALLE (Pl / Ø en mm) | Terreno | Pl | MATERIAL | ACUIFERO B R P

Pl	Terreno	MATERIAL
10		Arcilla blanca
20	23	
30		
40		Arcilla blanca y negra
50	47	
60		Arcilla roja
70		Arcilla roja
80		
90		
100	102	
110		Arcillas rojas y Gravas
120	120	
130	130 / 135	Arcillas rojas
140		Arenas sueltas y cementadas
150		Caliza blanca
160		
170		
180		
190		
200		
210		
220	224	
230	230	Margas verdes

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	113.5	500	5	
106	143	450	5	
140	154	400	10	
154	233	SIN ENTUBAR		

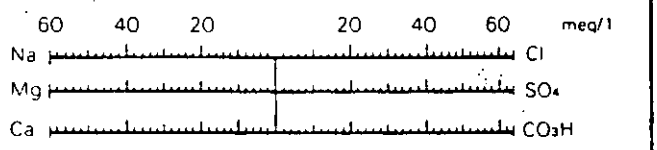
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Las Tiesas nº 1 | S. ACUIFERO | INDICE: 765 | 6 | 6

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	115		A rotación

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

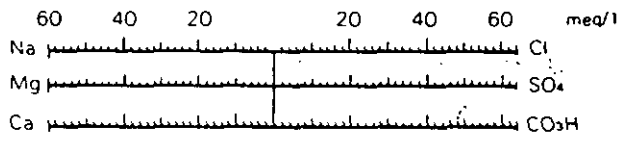
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

765/6/28 Según ITGE.
765/192

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: 24/10/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 6 6
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS H	737 400
TOPONIMIA	Las Tiesas sondeo nº 1	COORDENADAS V	497 050
PARAJE	Finca "Las Tiesas"	COTA DEL SUELO E	698m.
SISTEMA ACUIFERO		COTA DEL SUELO N	

PROPIETARIO	Diputación Albacete
DIRECCION	Ctra. Madrid. Poligono Industrial Campollano (Alb.) Tel
CONSTRUCTOR	Ctra. Madrid. Poligono Industrial Campollano (Alb.)
DIRECCION	Ctra. Madrid. Poligono Industrial Campollano (Alb.) TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	115 m	FECHA CONSTRUCCION	1974		
DIAMETRO	400	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	Eléctrico		
POT	160	X	CV
			KW
BOMBA a 102 m.			
TIPO	Sumergible		
MARCA	INDAR		
CAP. NOM	92	X	l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año) 326.502

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL l/s	108
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	?
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	82

FECHA 1985

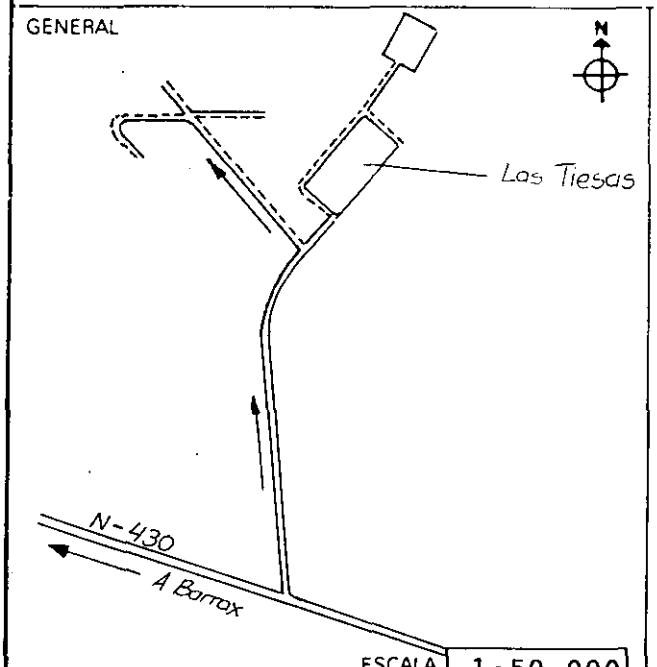
REF. ALTIMETRICA	Boca del Sondeo	ALTURA	0 m		
PROF. NIVEL DEL AGUA — FECHA	19.12.74	24.10.91	2.5.92	9.6.92	
PROF. NIVEL DEL AGUA — (m)	33.8	55.60	53.92	54.67	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES	NO	
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Existen datos de piezometría provenientes del ITAP.
El 2/5/92 se bombeo el día anterior. Se intentó medir bombeando. El 15/2/92 se introdujeron 87 m de cable y no se alcanzó el agua.

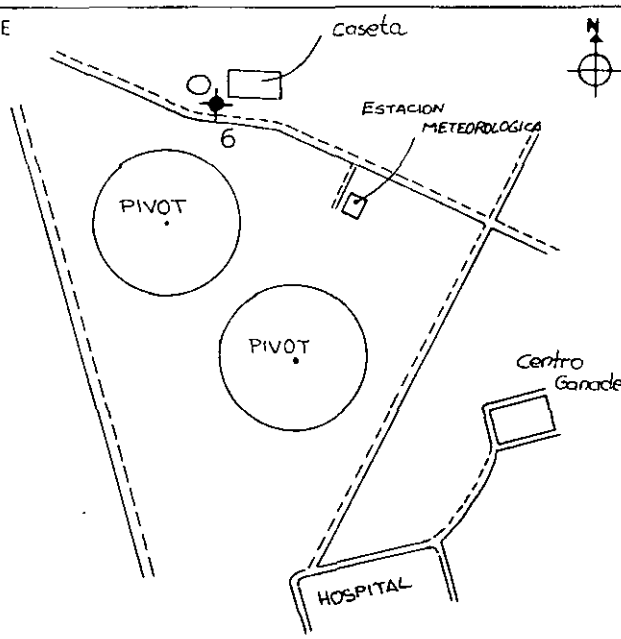
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. 1:20.000 O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 24/10/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO			
ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 6 7
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS	H 737 95
TOPONIMIA	Casa De Las Tiesas nº 2		V 495 45
PARAJE	Casas De Las Tiesas	COTA DEL SUELO	E 700m
SISTEMA ACUIFERO	LLanos Albacete		N

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	19 m	FECHA CONSTRUCCION	?
DIAMETRO	1 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO				REGIMEN DE BOMBEO												EXTRACCION (m^3/año)
MOTOR				MES		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
TIPO				DIAS/MES												
POT			CV	HORAS/DIA												
			KW	Q medio												
BOMBA				EXTRACCION												
TIPO				USO DEL AGUA							FECHA					
MARCA				RIEGO DE				ha			CAUDAL					
CAP. NOM			l/s	ABASTEC.				hab			TIEMPO BOMBEO (h)					
			m^3/h	INDUSTRIA DE							DESCENSO (m)					

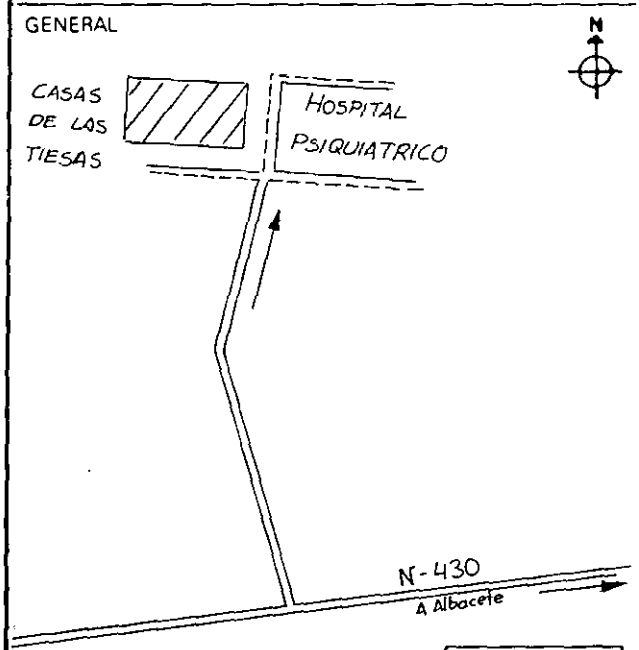
REF. ALTIMETRICA	Boca del Pozo	ALTURA	65 cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	21.7.91			
	(m)	14.2 m			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES	NO	
HORARIO	Cualquiera				

	SI
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐
ANALISIS QUIMICO	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐
OTROS ENSAYOS	☐

OBSERVACIONES Cota del topográfico 1:25.000. Fuera de uso. No se puede apreciar si está ó no revestido. Abandonado.

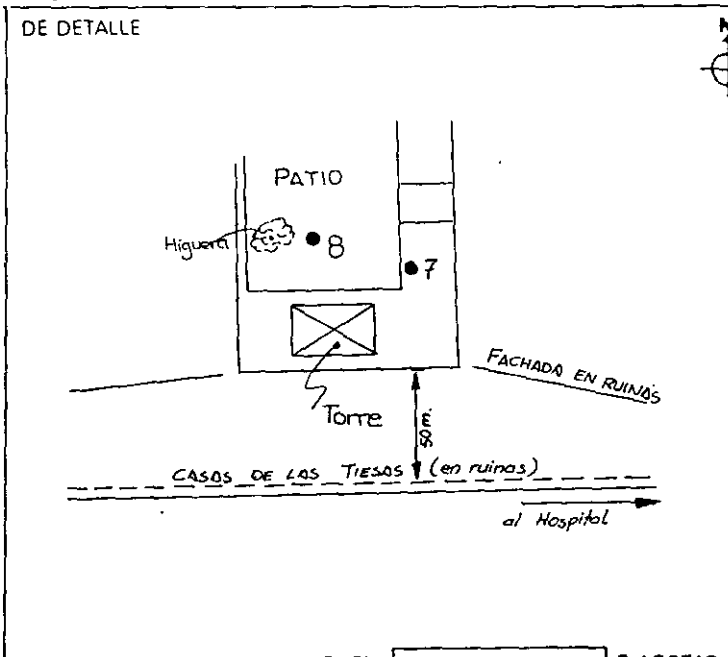
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 2/7/91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Casas De Las Tiesas 2 | S. ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 6 | 7

DETALLE PI	DETALLE Ø en mm	Terreno	PI	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

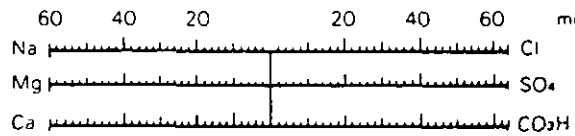
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 / 6 / 8
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS H	737 950
TOPONIMIA	Casas De Las Tiesas nº 1	COORDENADAS V	495 450
PARAJE	Casas De Las Tiesas	COTA DEL SUELO E	700 m.
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete	COTA DEL SUELO N	

PROPIETARIO: ?

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR: ?

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	9.5 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	65 cm	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO:

POT: CV / KW

BOMBA

TIPO:

MARCA:

CAP NOM: l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE ha

ABASTEC. hab

INDUSTRIA DE

FECHA:

CAUDAL:

TIEMPO BOMBEO (h):

DESCENSO (m):

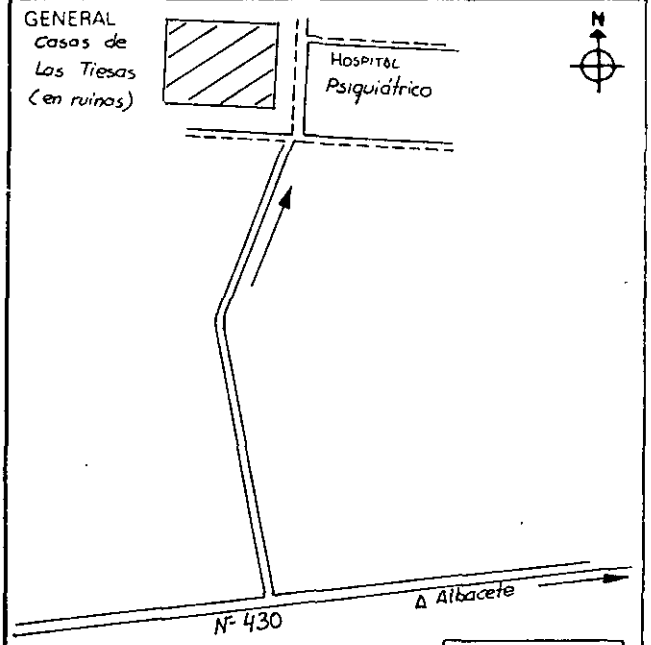
REF. ALTIMETRICA	Boca del Pozo	ALTURA	±70cm			
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	21.7.91				
	(m)	seco				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO	
HORARIO	Cualquiera					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Cota: del mapa topográfico 1:25.000. Fuera de uso. No se aprecia si est
ó no revestido. Abandonado.

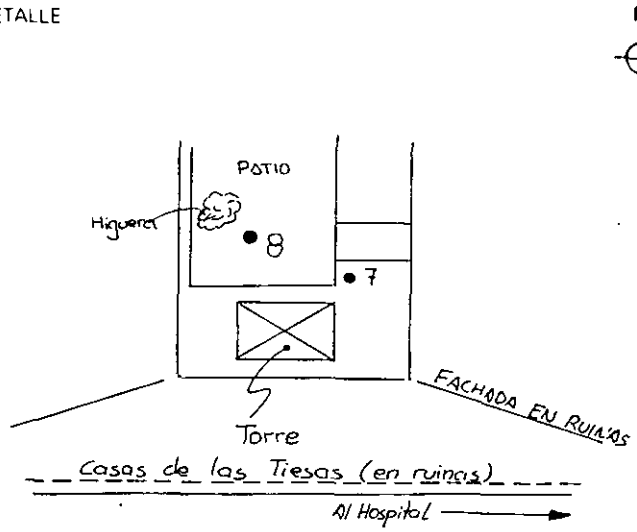
CROQUIS

GENERAL



ESCALA: 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX.: O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 21/7/1991 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Casas De Las Tiesas 1	S. ACUIFERO	Neógeno Superficial	INDICE	765	6	8

DETALLE Pf	Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

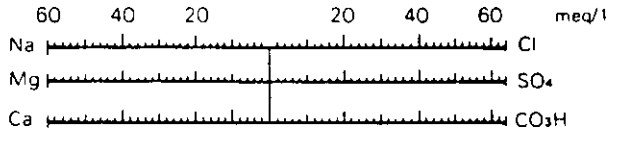
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C	micromho/cm	a	°C

DUREZA	mg/l CO_3Ca	pH

OTROS



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada E	INDICE	765 6 9
PROVINCIA	Albacete	MAPA	La Gineta 1:50.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS H	743 325
TOPONIMIA	Sondeo del Acequion	V	493 275
PARAJE	Laguna del Acequion	COTA DEL SUELO	E: 691
SISTEMA ACUIFERO	Los LLanos - Albacete		N:

PROPIETARIO: Dueño de la finca de la laguna del Acequion — TEL:

DIRECCION:

CONSTRUCTOR: INC — TEL:

DIRECCION:

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	220.2	FECHA CONSTRUCCION	1972		
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	?	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO		
MARCA		
CAP. NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC.		hab
INDUSTRIA DE		

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

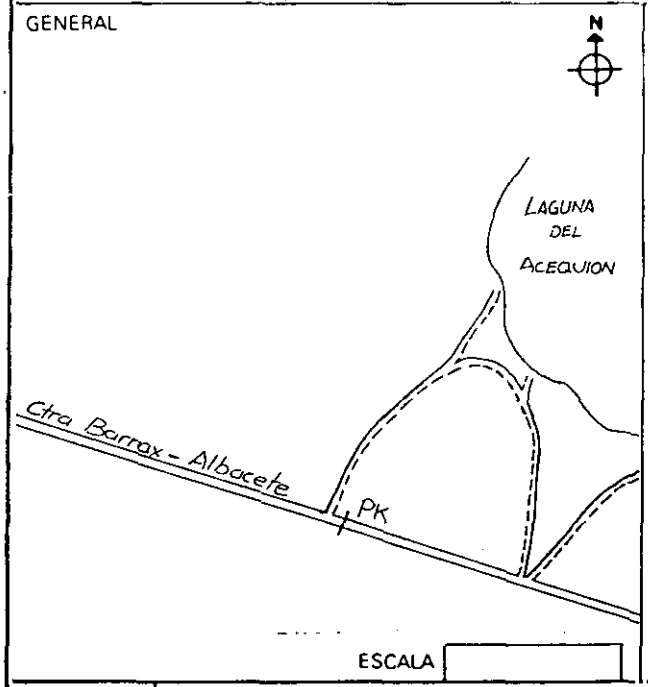
REF. ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA			
PROF. NIVEL DEL AGUA — FECHA	19.10.72	9/75	18.11.76	23.10.91	
(m)	3.3	691.645	690.04	670.71	

ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

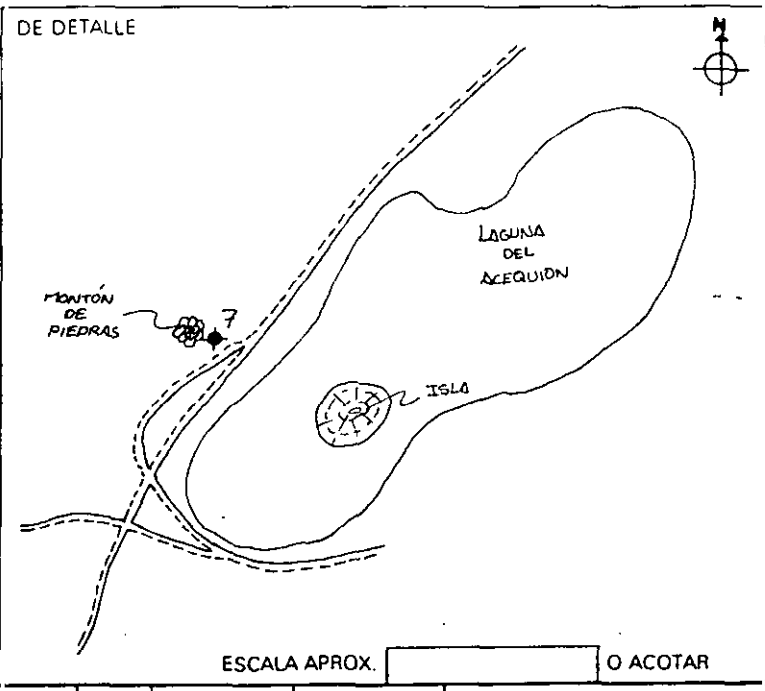
OBSERVACIONES: Sondeo abandonado. El guarda de la finca del Acequion dice que se abandonó por ser muy poco productivo. Boca del sondeo al ras del suelo. Se nivela la boca, la nivelacion no se ajusta al mapa por lo que se utilizan las cotas del mapa. En 1972 no estaba equipado. Se oye caer agua en su interior. 19/4/93 nivel a 12.26m. CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



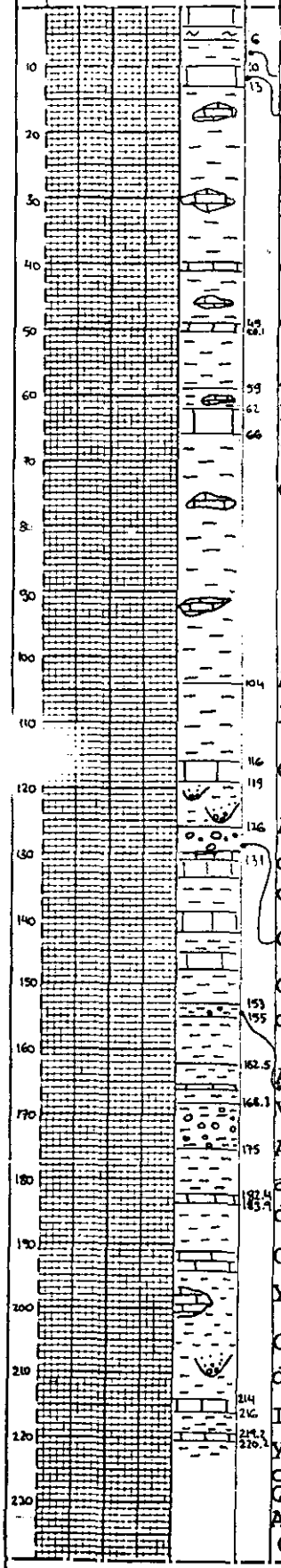
ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION: No tiene — TEL: — ENCARGADO: D. Joaquin

FECHA: 23/10/91 — INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA: Sondeo del Acequion | S. ACUIFERO: Neogeno Sup.+Prof. | INDICE: 765 | 6 | 9



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Caliza y Margas			
Arcilla blanca			
Caliza Blanca			
Arcillas Blancas y rojas con in - tercalaciones de Calizas			
Caliza Blanca			
Arcillas rojas Plasticas con in- tercalaciones de caliza			
Arcilla con módu los de caliza			
Caliza			
Arcillas rojas con capas de caliza			
Gravas con caliza			
Caliza con inter. de caliza			
Arcillas con gra vas			
Arcilla roja arcilla con algo de caliza			
Conglo. de arcilla y grava			
Caliza dura(gran des desprendim.)			
INTER. de caliza y arcilla rojas con grava			
Caliza durísima			
Arcilla roja plast.			
Caliza durísima			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
		500	A percusión

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

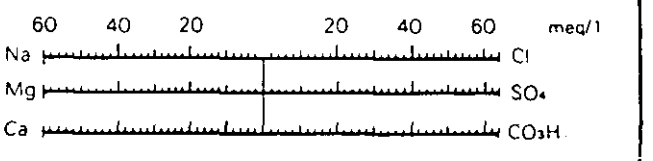
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Columna y otros datos del ITGE. Según inventario del ITGE: 2430/6/9 ó 765/142.

La tubería se rompe al perforar en el 135 m, y queda metida desde 153.2 hasta 181.77m, (de 8 1/5") no se pudo extraer.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 / 6 / 10
PROVINCIA	Albacete	MAPA	La Gineta 1:50.000
Tno MUNICIPAL	Barrax	COORDENADAS H	738 600
TOPONIMIA	Casa Cebrian	COORDENADAS V	493 550
PARAJE	LLano Del Hornillo	COTA DEL SUELO E	699m.
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete	COTA DEL SUELO N	
PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	200 m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	550	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	CAUDAL		
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		

FECHA

REF. ALTIMETRICA	Boca Sondeo	ALTURA	50cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA — FECHA	25.10.91	10.6.92			
PROF. NIVEL DEL AGUA — (m)	18.72				

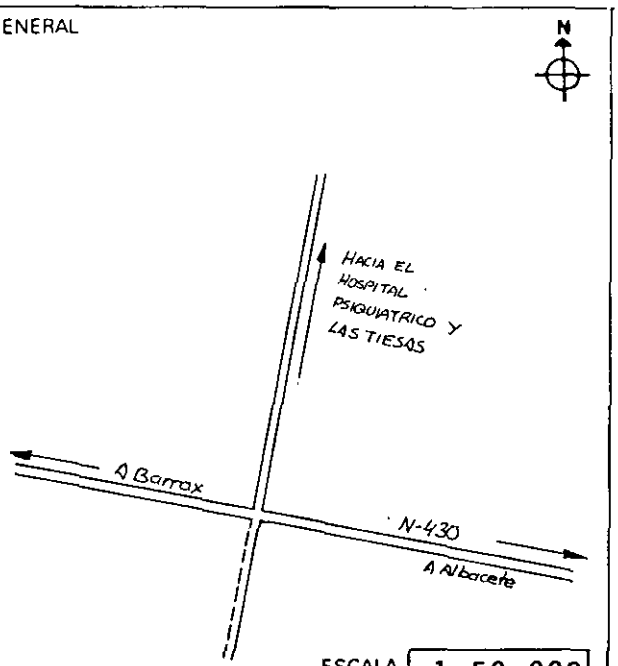
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Está recién hecho. Se nivela pero los resultados son poco fiables. Se toma la cota de 1:25.000. Éste sondeo va a ser reprofundizado, según los dueños. Éste pozo ha sido vigilado por D.D. Garcia Delcán que previamente a su perforación realizó unos estudios geofísicos.

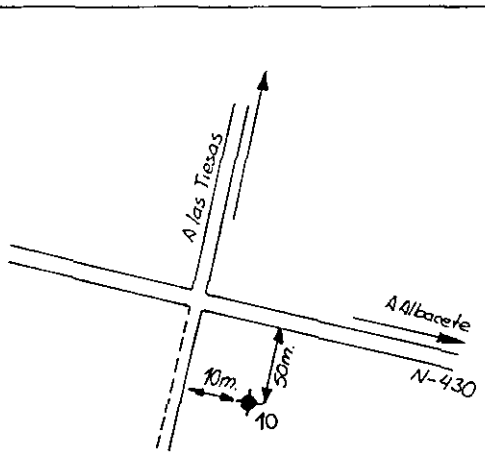
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 25.10.91 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Casa Cebrian | S. ACUIFERO: Neogeno Sup.+Prof | INDICE: 765 | 6 | 10

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P
				A los 45mts. Empieza a aparecer arcilla. Según los dueños hasta 180± en que comienza aparecer caliza. Tienen todos los testigos.			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	PERFORACION A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	200	600	

REVESTIMIENTO DE	REVESTIMIENTO A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	200	550		

En 1992 todo tubería ciega según los dueños.

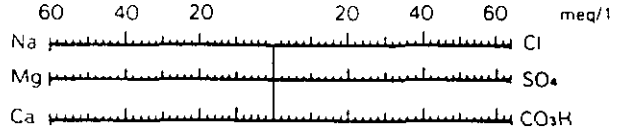
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C micromho/cm a °C

DUREZA mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada D	INDICE	765	6	11
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Csa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H	740	800
TOPONIMIA	Sondeo Casa Las Monjas		V	493	400
PARAJE	Casa De Las Monjas	COTA DEL SUELO	E:		
SISTEMA ACUIFERO	LLanos - Albacete		N: 696.78		

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR: IRYDA

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	391 m	FECHA CONSTRUCCION	31.10.73
DIAMETRO	660-385	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	264-282,307-346

TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO		
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC.		hab
INDUSTRIA DE		

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA		1973	?
CAUDAL	l/s	65	234
TIEMPO BOMBEO (h)		27	27
DESCENSO (m)		17.465	17.465

REF ALTIMETRICA	Boca sondeo	ALTURA	0.5m		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	1973	4/1974	1/1990	
	(m)	150m	47.19	56.4	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: Sondeo 765/143 del ITGE. Aparece el agua a unos 150m.
En 1974 se encuentra sin equipar.

T_B = 110 m^2/h — Q -234,27h

T_R = 317 m^2/h — d = 17.465?

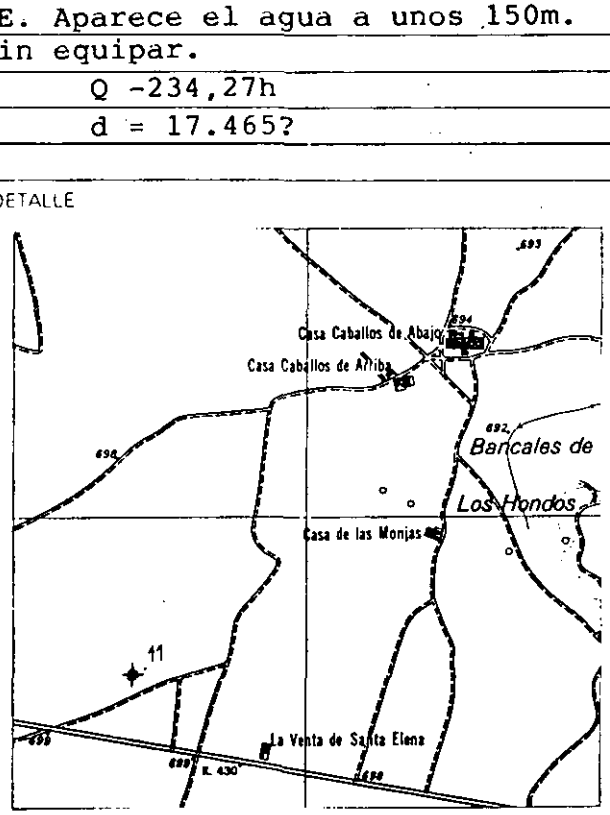
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX 1:25.000 O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

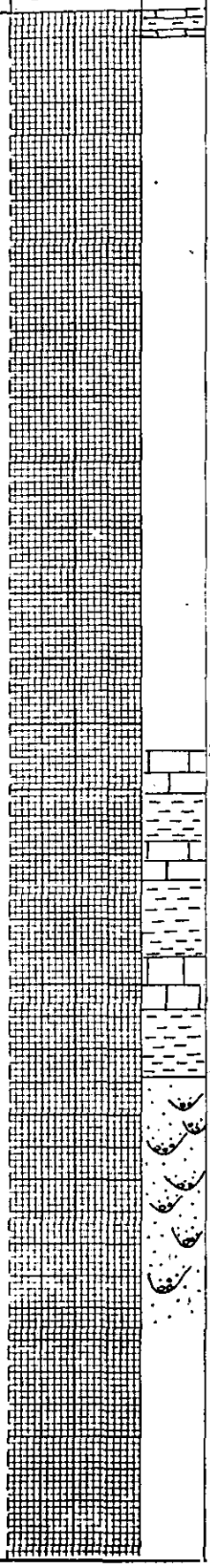
FECHA: — INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Sondeo C. De Las Monjas | S. ACUIFERO: Cretácico | INDICE: 765 | 6 | 11

DETALLE

Pl	Ø en mm	Terreno	Pl



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
0-15 Caliza con pasadas de arcilla blanca			
15-41 Arcilla gris y rojiza con pasadas arenosas			
41-49 Arcilla amarilla con arena			
49-74 Arcilla roja ocre			
74-88 Arcilla roja con niv. arena y conglomerado			
88-101 Arcilla roja			
101-107 Arena, conglomerado suelto y arcilla roja			
107-175 Arcilla roja con pasadas de conglomerado suelto en los mts: 127,128 y 151.			
175-194 Alternancia de arena roja y amarilla, arenas y conglom. suelto			
194-201 Arcilla roja			
201-206 Arcilla, arena y grava			
206-213 Arcilla roja			
213-219 Conglom. suelto en material arenoso y arcilloso			
219-241 Alternancia arcillas arenosas y conglom. suelto			
241-246 Arcilla blanca y pasadas de caliza			
246-251 Caliza blanca con pasadas arcillosas			
251-254 Arcilla con pasadas de caliza			
254- 269 Caliza y arcilla blanca			
269-299 Calizas a veces dolomía y algunas pasadas arcillosas			
299-319 Arcillas blancas pasadas de limo y arena			
319-321 Arcilla amarilla			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	130.3	660	a percusión
130.3	200.6	570	a percusión
200.6	289.6	490	a percusión
289.6	391	385	a percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	143.5	557-575		
143.5	216	500-518		
207	346	400-416		

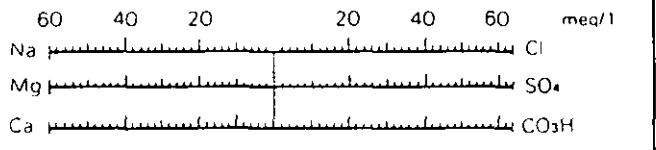
30/10/74 ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +	0.7	16	CO_3H^-	4.1	250
K +	0	0	$SO_4^=$	0.18	40
Ca ++	2.6	52	Cl^-	0.4	14
Mg ++	2.1	25	NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA 30/10/74

MEDICIONES DE CAMPO

C	520	µ mho/cm	T	25	°C
CL		mg/l	pH	7.85	

OBSERVACIONES SAR: 0.5

Según ITGE : 2430/6/12

765/143.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada E		INDICE	765	6 12
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	738 300
TOPONIMIA	Sondeo nº 2 LT 2 Piez.=SGOP			V	497 450
PARAJE	La Pulgosa		COTA DEL SUELO	E	695.63
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	SGOP		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	SGOP		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	155.7 y 40	FECHA CONSTRUCCION	1976		
DIAMETRO	1 1/4"	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	30-40 143.7-154.7	TIPO	Ranurado

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC.		hab	
INDUSTRIA DE			

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

REF. ALTIMETRICA	Ras tubo Piezo.	ALTURA	6,3cm.	
PROF. NIVEL DEL AGUA FECHA	15.2.92	15.2.92	20.5.93	20.5.93
(m)	37.5	43.93	41.71	37.27

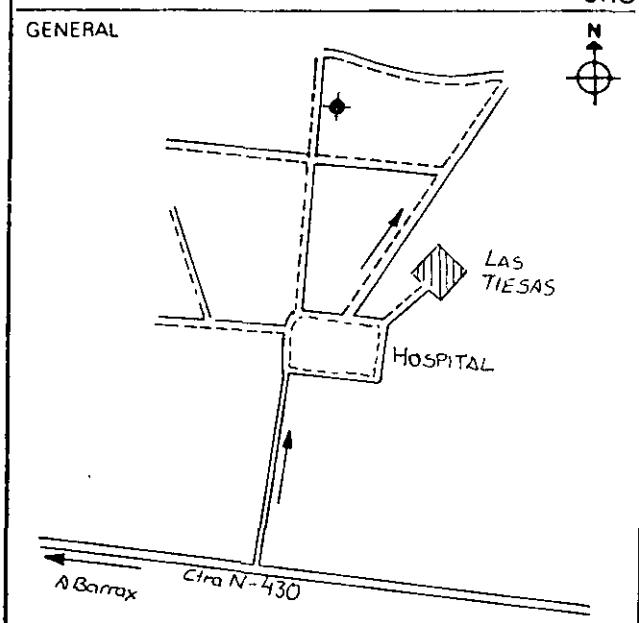
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	(*1) Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Piezómetro con dos tubos piezométricos. (*1) Para su medició se nescesita llave SGOP. En el anexo nº 1 se puede consultar el registro piezometrico. Sin equipar.

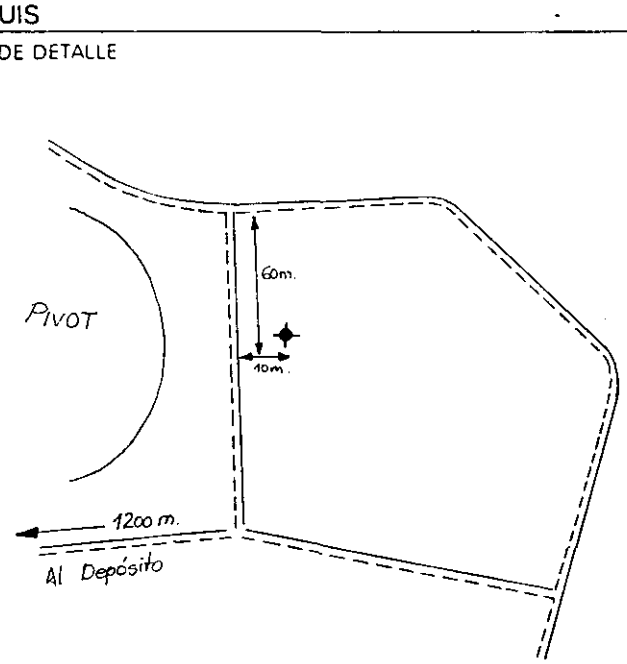
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL.		ENCARGADO	

FECHA: 15/2/92 INSTRUCTOR: REVISADO: MARIA CASAD

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Piezometro SGOP LT2 | S. ACUIFERO: Neogeno? | INDICE: 765 | 6 | 12

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

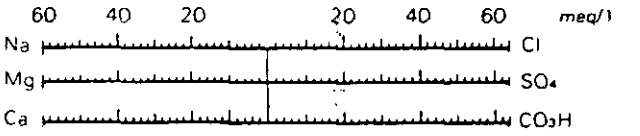
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
2 TUBOS			
0	40		Tubería plastico
0	155.7	1 1/4"	Tubería acero
130	170		Revisten con gravilla
120	155		
120	130		Revisten con Arcilla

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	30	Tubo	p1	Plastico Ranurado
30	40	Tubo	p1	Plastico ciego
0	143.7	Tubo	p2	Acero ciego
143.7	154.7	Tubo	p2	Acero Ranurado
154.7	155.7	Tubo	p2	Acero ciego

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Tiene dos tubos piezométricos. Datos extraidos del ITGE: 2430/6/29.

Datos constructivos y revestimiento (Sondeo LT 2 Las Tiesas) orales procedentes del SGOP.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7445 Pasada D		INDICE	765 6 13	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.0	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H 742 00	
TOPONIMIA	Casa Capitan nº 2			V 497 05	
PARAJE	Alto De Las Auutardas		COTA DEL SUELO	E 689	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO: D. José Gomez Reugea Rodriguez

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR:

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	18m	FECHA CONSTRUCCION	?
DIAMETRO	3x1.15 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA: a 16 m	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT	?	CV / KW

BOMBA

TIPO	Cent.Vertical	
MARCA	DITTER	
CAP NOM		l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
DIAS/MES					8	8	8	8	8	8	
HORAS/DIA					?	?	?	?	?	?	
Q medio m^3/dia					100	100	100	100	100	100	
EXTRACCION											

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

X	RIEGO DE	Alfalfa 1	ha	CAUDAL l/s	3
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA: 1949

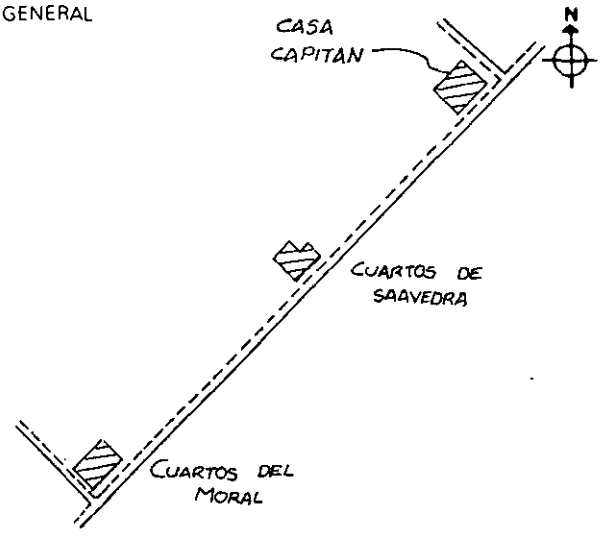
REF. ALTIMETRICA	Suelo Caseta	ALTURA	0.1m		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72			
	(m)	10.92			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐
ANALISIS QUIMICO	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐
OTROS ENSAYOS	☐

OBSERVACIONES: El depósito del agua tiene un vol. de : 140 m^3.
N piezométrico encontrado a 16 m. Influenciado por el rio Lezuza.

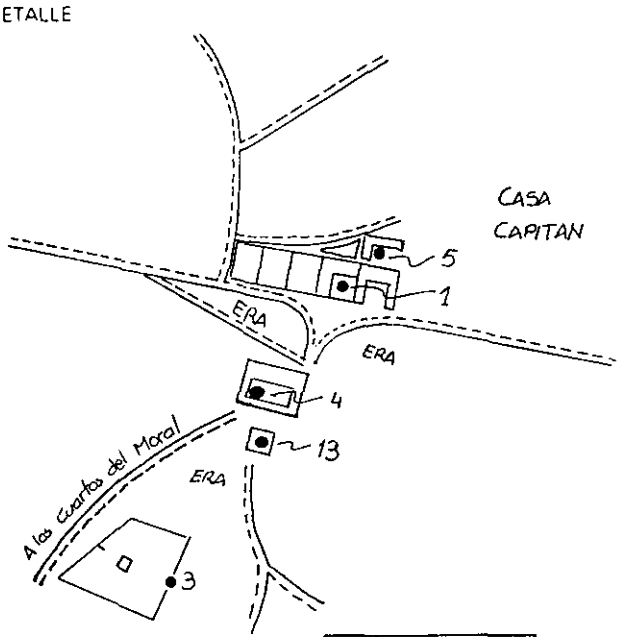
CROQUIS

GENERAL



ESCALA:

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

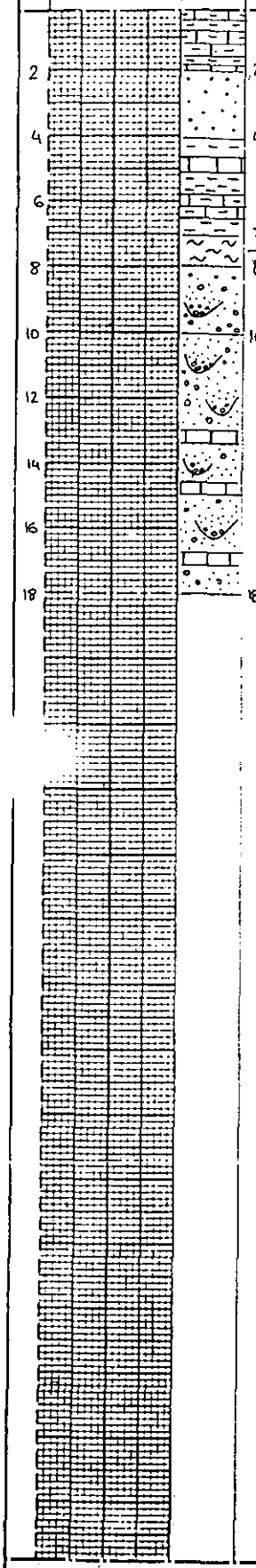
DIRECCION: TEL.: ENCARGADO:

FECHA: 8/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Casa Capitan nº 2 | S. ACUIFERO: Neogeno Superfic. | NDICE: 765 6 13



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Tosquizo			
Arena			
Tosquizo			
Margas			
Conglomerado			
Arena tosquizo			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

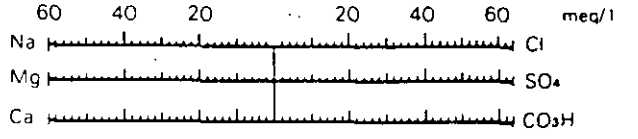
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Dato de columna proporcionado por el dueño.

Según ITGE : 765/6/5

765/79.

FECHA:

INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7902 Pasada E	INDICE	765 / 6 / 14
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS H	739 425
TOPONIMIA	Cuartos del Moral	COORDENADAS V	494 850
PARAJE	Moral	COTA DEL SUELO	E: 698 m.
SISTEMA ACUIFERO			N:

PROPIETARIO	Pedro Cuerdas Marquez		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	17 m	FECHA CONSTRUCCION	
DIAMETRO	0.75x0.4m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	13.5 m
TIPO					

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO	Centrifuga Vert.	
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC		hab	
INDUSTRIA DE			

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA 20.5.93

CAUDAL Unos 2.000 l/año según dueño.

TIEMPO BOMBEO (h)

DESCENSO (m)

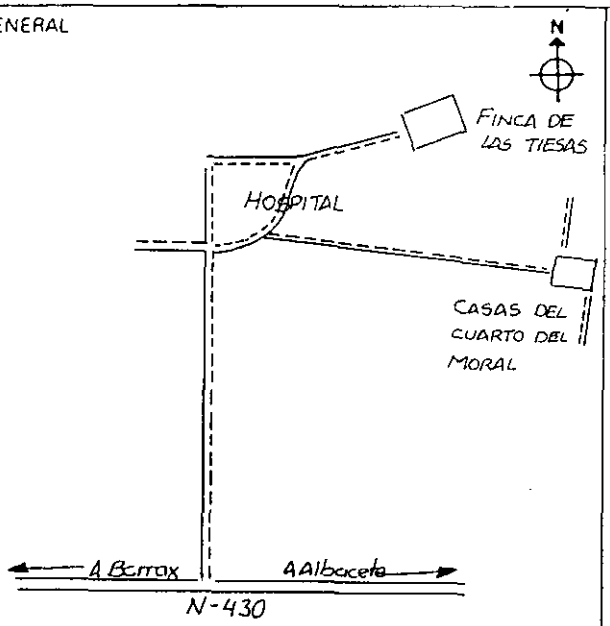
REF ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.085 m.	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72	1.5.92	20.4.93	
	(m)	11.76	16.45	16.5	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES H. Manométrica bomba: 15 m. a 1/5/92 sigue instalado. Vol. depósito: 77m^3.

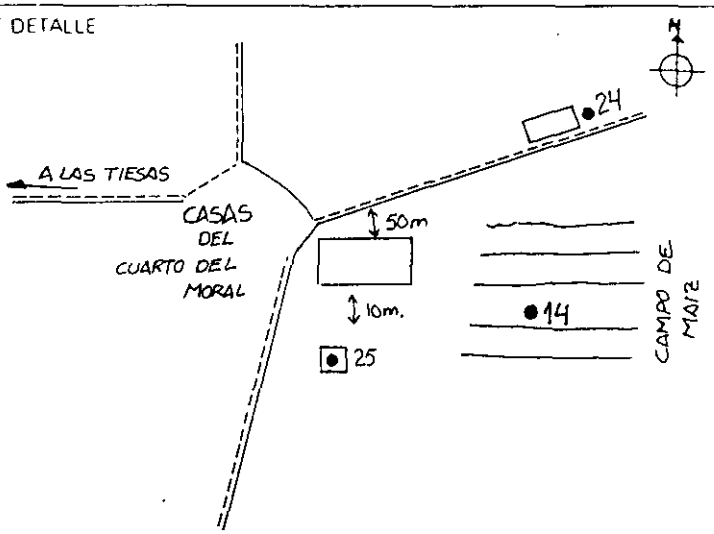
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 8/6/72
1/5/92

INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Cuartos del Moral	S. ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	6	14

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf.	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

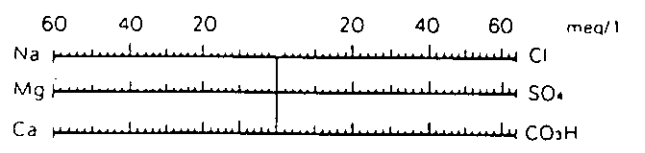
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	14	0.75X0.4	Excavado

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

El dueño dice que cuando riega con el sondeo, suben los niveles en el excavado.

Según ITGE: 765/6/6 ó 765/76.

Datos extraidos del ITGE.

FECHA:

INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765	6 15
PROVINCIA	Al bacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.00	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	737 375
TOPONIMIA	Casas Rojas Viejas			V	494 750
PARAJE	Casas Rojas		COTA DEL SUELO	E	
SISTEMA ACUIFERO				N	696.423

PROPIETARIO	D. Francisco Rojas		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	17 m.	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	400	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR (*1)		
TIPO		
POT		CV
		KW
BOMBA		
TIPO		
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC		hab
	INDUSTRIA DE	Ganadera	

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

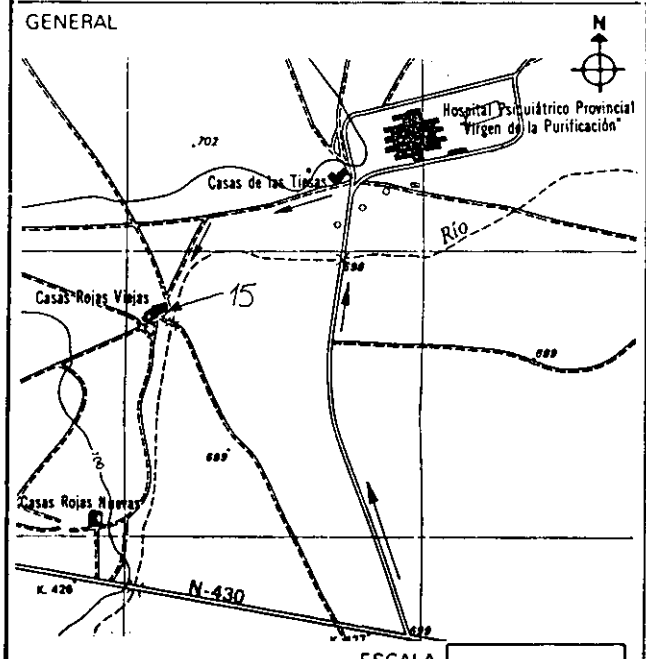
REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.95m	
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72	15.12.76		
	(m)	10.42	7.38		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	DIFICIL	X
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES	NO	
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*1) Sistema de extracción Polea. Se seco y se ha perforad un sondeo en el propio pozo. Ver 765/6/15 bis. El dueño no permitió medi el pozo, a 2/5/92.

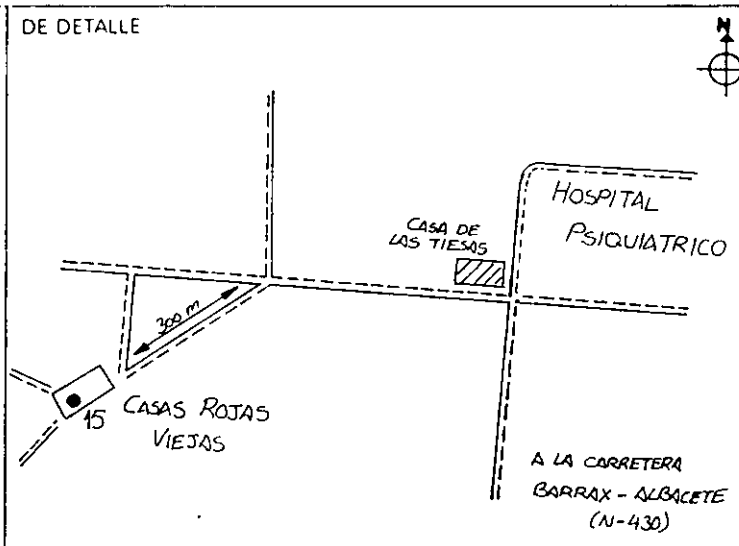
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX. | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 8/6/72 INSTRUCTOR: J.L.Q.

2/5/92, 20/5/93 REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Casas Rojas | S. ACUIFERO: Neogeno Superfic. | INDICE: 765 | 6 | 15

Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	14m	400	Excavado

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

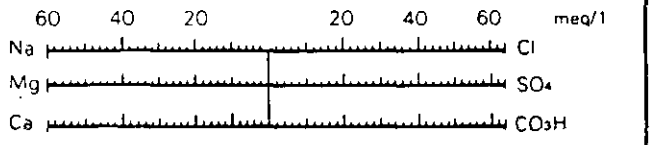
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C: micromho/cm a °C

DUREZA: mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO: FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Según inventario ITGE : 765/6/24 ó 765/73. Datos extraídos del ITGE

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7902 Pasada E		INDICE	765 6 16	
PROVINCIA	Albacete		MAPA		
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	739 200
TOPONIMIA	Cuartos del Moral			V	494 850
PARAJE			COTA DEL SUELO	E:	697
SISTEMA ACUIFERO				N:	

PROPIETARIO	D. José Cifuentes Navarro		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	19 m.	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	1.8 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT	?		CV
			KW

BOMBA			
TIPO	Centrífuga Vert.		
MARCA	DITTER		
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES					12	12	12	12	12			
HORAS/DIA												
Q medio m^3/día					100	100	100	100	100			
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA				FECHA			
X	RIEGO DE	Hortalizas 1	ha	CAUDAL			
X	ABASTEC	4	hab	TIEMPO BOMBEO (h)			
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)			

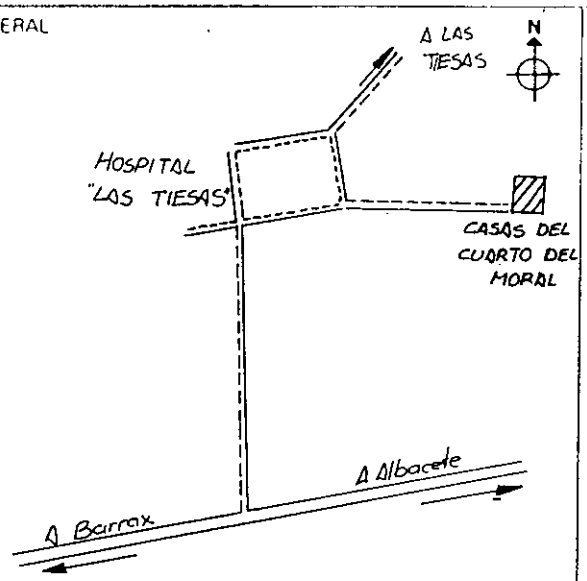
REF ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.25m		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72				
	(m)	11.25				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	
HORARIO						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Pozo con galerías de δ "S" y "N". En el depósito cabe un volumen de 15 x 8.3 x 1.2 m^3. A 5/2/91, no se pudo entrar, cerrado en una caseta, parece que ha sido reprofundizado.

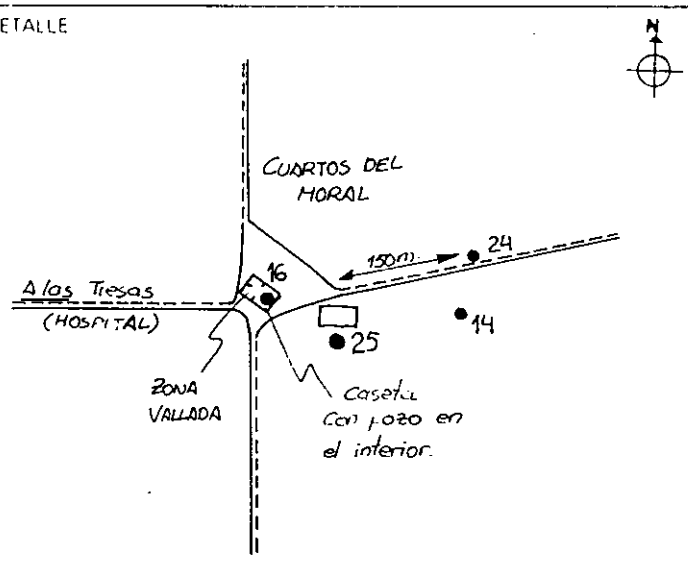
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA 8/6/72
5/2/91

INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Cuartos del Moral	S. ACUIFERO	Neogeno Superficial	INDICE	765	6	16

PI	DETALLE Ø en mm	Terreno	PI	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	19	1800	Excavado

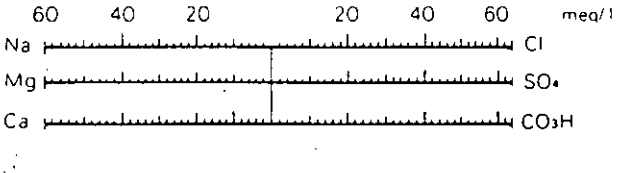
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según ITGE : 765/6/25
765/75.

Datos extraídos del ITGE.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7445 Pasada E		INDICE	765	6 17
PROVINCIA	Albacete		MAPA		
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	742 25
TOPONIMIA	Casa Capitan nº 3			V	497 25
PARAJE	Alto de las Auutardas		COTA DEL SUELO	E: 689	
SISTEMA ACUIFERO				N:	

PROPIETARIO	J. Andrés Lozano Piqueras		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	15 m.	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	60 cm.	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR (*1)			
TIPO			
POT	No		CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM	No		l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
DIAS/MES											
HORAS/DIA											
Q medio											
EXTRACCION											

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC		hab
INDUSTRIA DE		

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

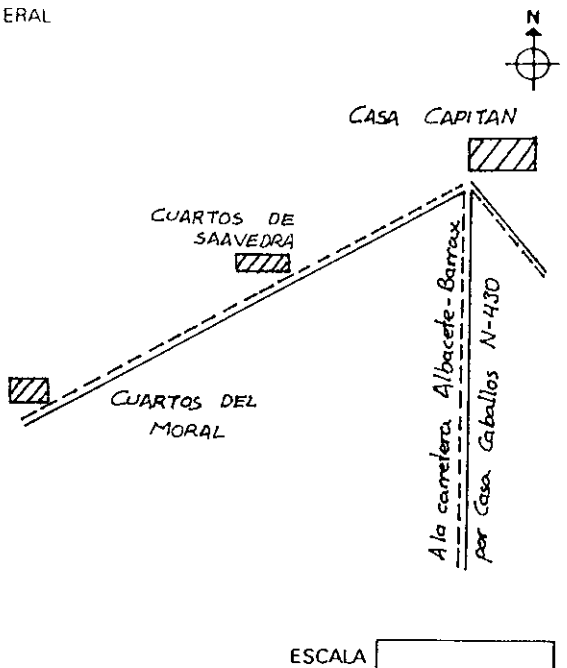
REF. ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.5m.	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	8.6.72	15.12.72		
	(m)	10.75	6.37		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO
HORARIO					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES No se ve seca. En la aldea hay siete pozos más, que abastecen a unas 20 per nas más ó menos. Influenciado por el río Lezuza. (*1) Sistema extracción : Torno.

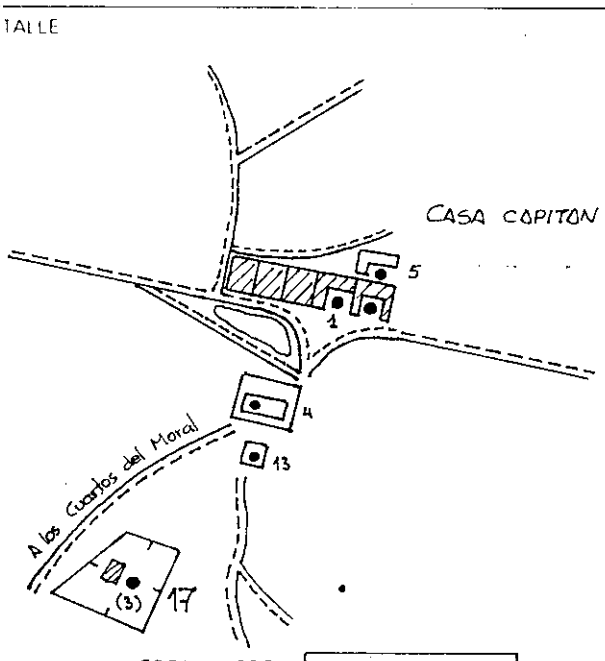
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 8/6/72. INSTRUCTOR: J.L.Q.

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Casa Capitan nº 3 | S ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 6 | 17

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf.	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO . R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					

60 40 20 20 40 60 meq/l

Na — Cl

Mg — SO_4

Ca — CO_3H

LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario del ITGE:
765/6/8 ò 765/78.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 3883 Pasada C		INDICE	765	6 18
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS H	742	350
TOPONIMIA	Pozo Majano		V	499	650
PARAJE	Pozo Majano		COTA DEL SUELO	E: 692	
SISTEMA ACUIFERO				N:	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL.	
CONSTRUCTOR	Contratista : El Iryda		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	220 m.	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	550-455	REVESTIMIENTO	S.reves. 165-220?	ZONA REJILLA	165 – 220 ?	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	?		
POT			CV
			KW

BOMBA

TIPO	?		
MARCA			
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA			
CAUDAL			
TIEMPO BOMBEO (h)			
DESCENSO (m)			

REF ALTIMETRICA		ALTURA			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	23.3.81	24.1.90		
	(m)	44.47	52.54		

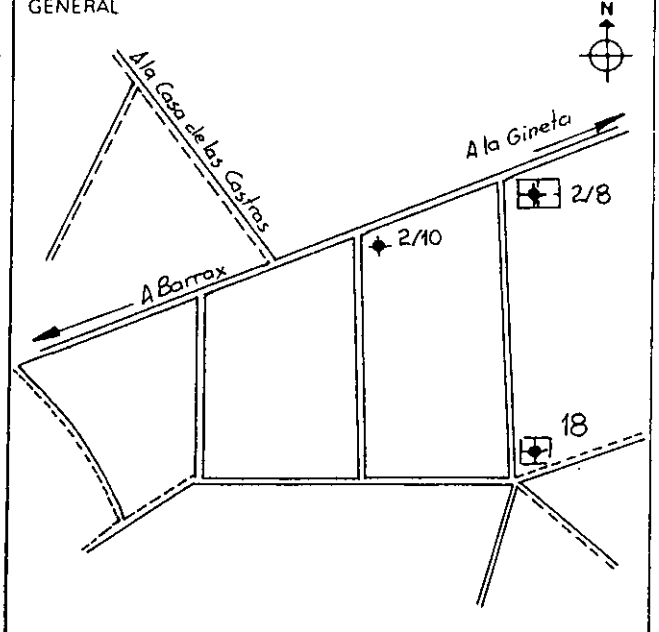
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL	X
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	X
HORARIO	?					

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES

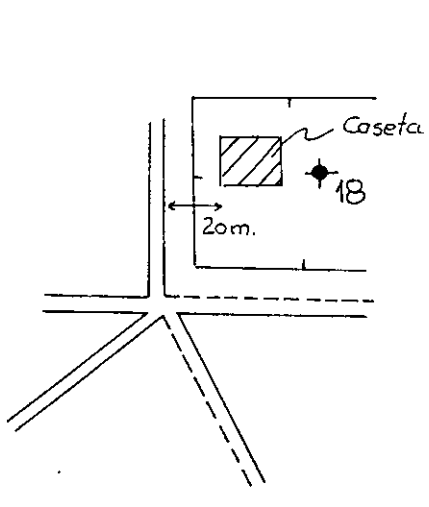
CROQUIS

GENERAL



ESCALA ≃ 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

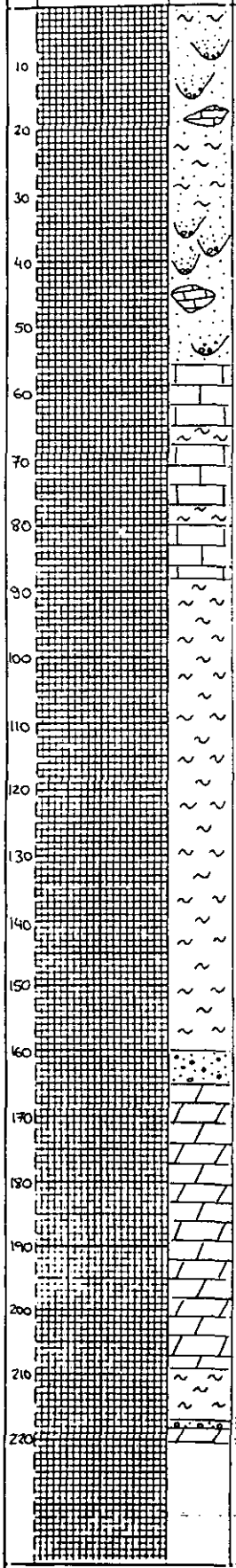
FECHA

INSTRUCTOR

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Pozo Majano	S. ACUIFERO	Jurásico	INDICE	765	6	18



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Alternancia de conglomerado y margas con alguna capa de caliza.			
Caliza con alguna pasada margosa.			
Margas rojizas plásticas.			
Conglomerado de grano fino.			
Dolomía gris con alguna pasada de marga blanca.			
Marga plastica amarillenta. Congl. gravilloso.			
Dolomía gris clara con alguna pasada de marga blanca.			

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	60	645	
60	153	560	
153	220	435	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	105.7	550-520	10	
105.7	165.4	455-471	8	
165	220	Sin revestir		

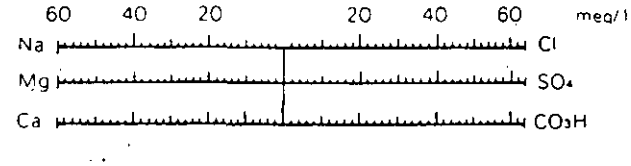
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C micromho/cm a °

DUREZA mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos del ITGE:

Según inventario ITGE : 765/6/44

Piezómetro del ITGE : desde 1981 - 1990.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765	6	19
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H	738	050
TOPONIMIA	Las Tiesas . Sondeo abandonado		V	496	850
PARAJE		COTA DEL SUELO	E	698	
SISTEMA ACUIFERO			N	696.5	

PROPIETARIO	Diputación Albacete				
DIRECCION	C/Paseo de la Libertad nº 5, Albacete	TEL			
CONSTRUCTOR	J. Perez en 79				
DIRECCION		TEL			
NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	200 m	FECHA CONSTRUCCION	11/79
DIAMETRO	450-350	REVESTIMIENTO	Parte sin rev.	ZONA REJILLA	167 - 200 ?
TIPO					

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	
	ABASTEC.		hab.	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA

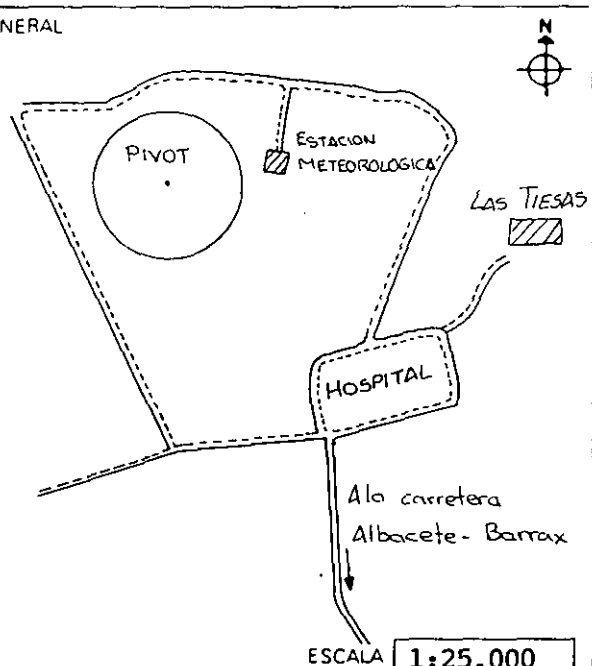
REF. ALTIMETRICA	Suelo	ALTURA	10 cm		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	15.2.79	15.2.92	9.6.92	
	(m)	34 m	43.43	34.43	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Posición rejilla: deducción personal. Sin equipar. Abandonado (por poc
productividad en 1992). Revisado en 1992 por María Casado.

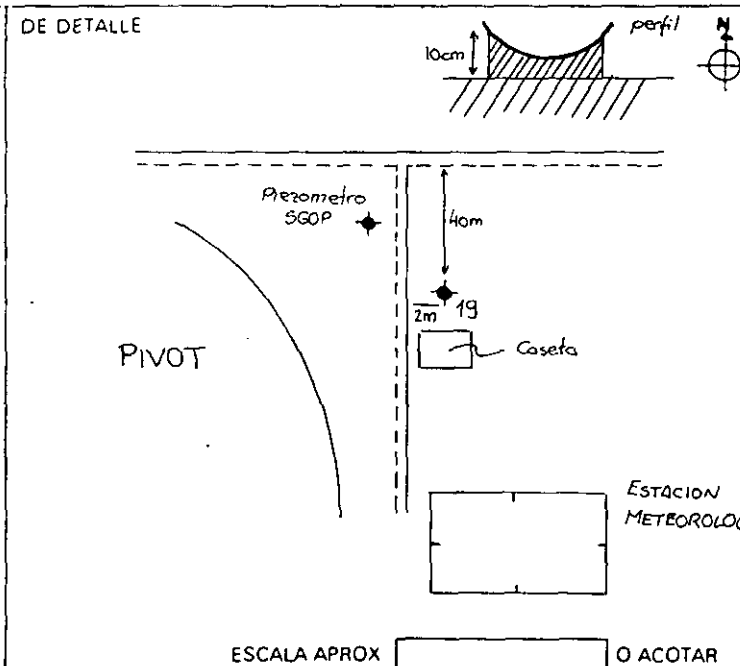
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:25.000

DE DETALLE



ESCALA APROX ☐ O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

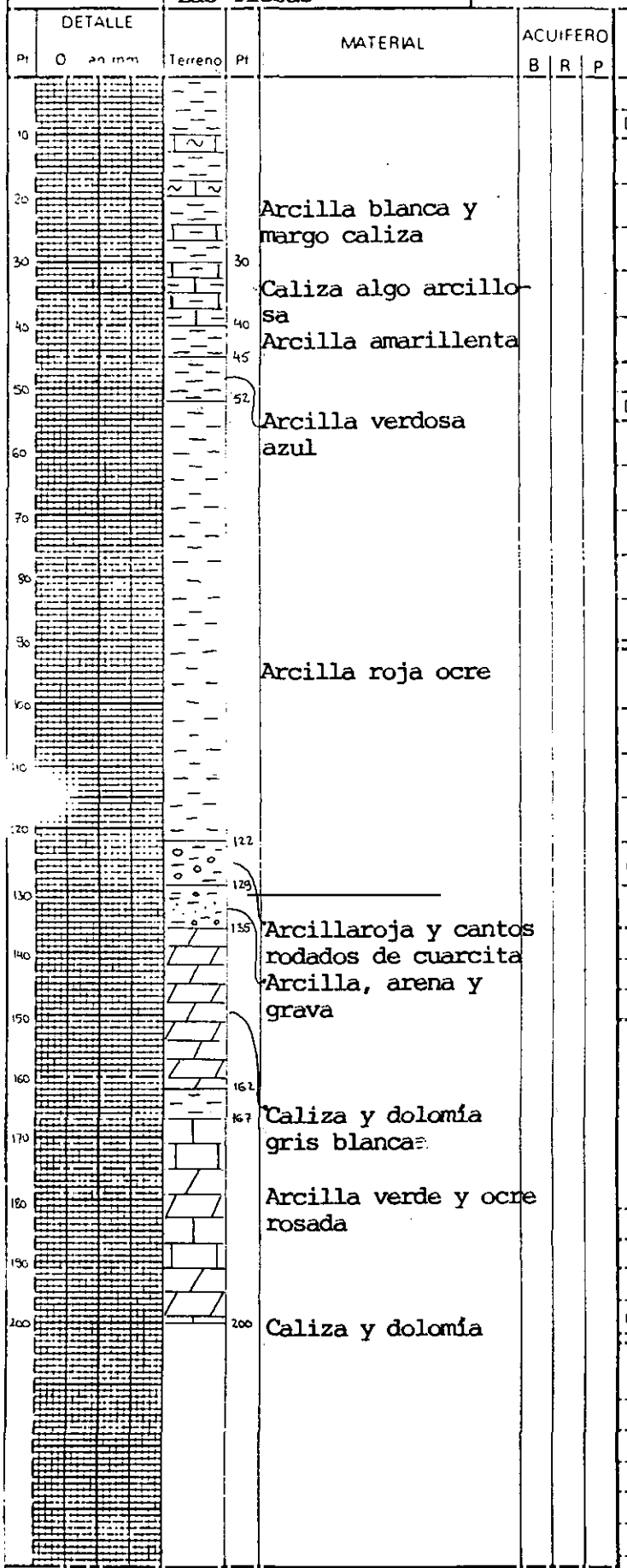
FECHA: 5/11/79
1992

INSTRUCTOR: J.L.Q. (Adaro)
REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Las Tiesas | S. ACUIFERO: Jurásico + NEOG. | INDICE: 765 | 6 | 19



B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	60	550	a percusión
60	131	480	a percusión
131	152	430	a percusión
152	167	380	a percusión
167	200	34	a percusión

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	131	450		
130	152	400		
152	167	350		
167	200	sin revestir		

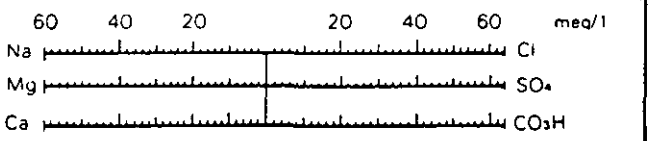
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C: | micromho/cm | a | °C

DUREZA: | mg/l CO_3Ca | pH:

OTROS:



LABORATORIO: | FECHA: Mayo 82

MEDICIONES DE CAMPO

C	997	µ mho/cm	T		°C
Cl^-		mg/l	D	5	ºF

OBSERVACIONES: Datos extraídos del ITGE.

Nº inventario: 765/302, 2430/6/42.

FECHA: 15/11/79 — INSTRUCTOR: J.L.Q. (Adaro)

1992 — REVISADO : MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765 6 20
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS H	743 700
TOPONIMIA	Casa Capitan - Algibarro	COORDENADAS V	496 700
PARAJE		COTA DEL SUELO E	
SISTEMA ACUIFERO		COTA DEL SUELO N	698.156

PROPIETARIO	José Gomez Rengel						
DIRECCION						TEL	
CONSTRUCTOR	Luis Lerma						
DIRECCION						TEL	
NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	100m.	FECHA CONSTRUCCION	1974		
DIAMETRO	500	REVESTIMIENTO	?	ZONA REJILLA	?	TIPO	?

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL 1/s	50
	ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	24
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	20m

FECHA ?

REF. ALTIMETRICA			ALTURA	0.435 m	
PROF NIVEL DEL AGUA — FECHA	20.6.74	15.5.76	11.8.76	1.5.92	
PROF NIVEL DEL AGUA — (m)	36.78	39.05	40.3	50.32	

ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES En 1976 sin sistema de extracción. El agua aparece a 37m. Revisado 1.5.9
Ya no tiene tubo piezométrico. Referencia a -. 1m de la superficie topografica. Está metido en un agujero, revestido de hormigón. Parece Abandonado. Se nivela el 1/5/92. Boca sondeo.
El ITGE da una nivelación: 687.13?

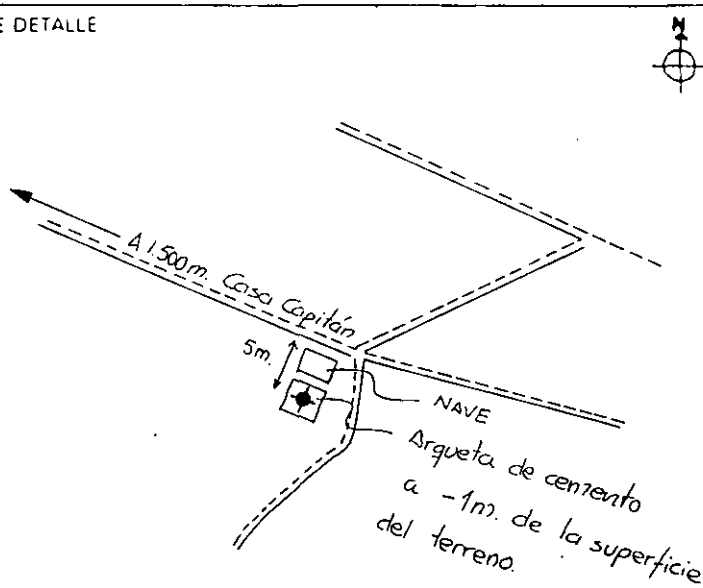
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 1974
1992

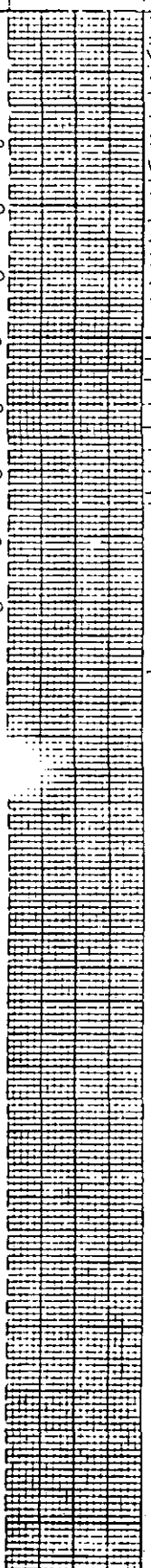
INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO :

TOPONIMIA: C.Capitan - Algibarro | S. ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 | 6 | 20

DETALLE





MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcillas, grvas y arenas			
Calizas			
Arcillas			
Dice que es Pon- tiense			

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	100	500	a percusión

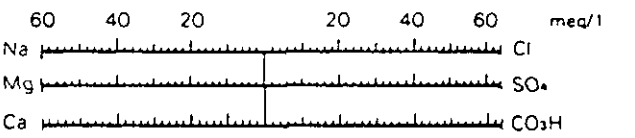
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0		450		

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Según inventario ITGE:
765/6/31
765/184
Datos extraídos del ITGE.
Piezómetro ITGE 1979-1990.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

REVISADO: MARIA CASAS

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 / 6 / 21
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS H	737 725
TOPONIMIA	Casas rojas	COORDENADAS V	494 800
PARAJE	Casas rojas	COTA DEL SUELO	E 699
SISTEMA ACUIFERO			N

PROPIETARIO: Francisco Rojas e Hijos

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR:

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	110m.	FECHA CONSTRUCCION	12/77		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO	Sin revestir	ZONA REJILLA	No	TIPO	No

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO		
POT		CV
		KW

BOMBA

TIPO		
MARCA		
CAP NOM		l/s
		m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	CAUDAL	l/s	Nada
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)		
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)		

FECHA: 1977

REF. ALTIMETRICA	Suelo	ALTURA	0 m.				
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	14.2.78					
	(m)	12 m.					
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO		
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES: El caudal fue escaso ó nulo. Sin equipar el 14/2/78.
El dueño no permitió medirlo a 1/5/92.

CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:25.000

DE DETALLE



ESCALA APROX: O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 14/2/78.
1/5/92.

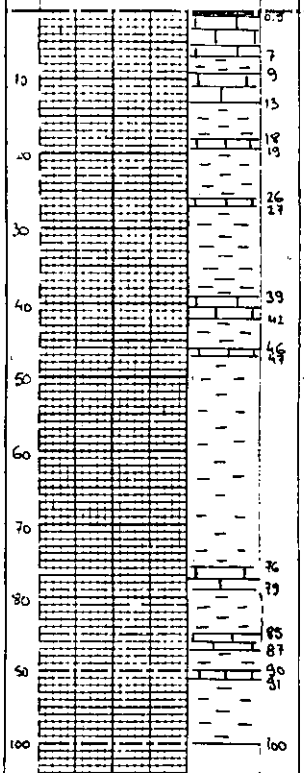
INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Casas rojas | S. ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 | 6 | 21

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Tierra labor (0.5)			
Caliza (6.5)			
Arcilla (2)			
Caliza (4)			
Arcilla (5)			
Caliza (1)			
Arcilla (3)			
Caliza (1)			
Arcilla (12)			
Caliza (3)			
Arcilla (4)			
Arcilla (29)			
Caliza (3)			
Arcilla (6)			
Caliza dura (2)			
Arcilla (3)			
Caliza dura (1)			
Arcilla vrde (9)			
Mioceno?			

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
			a percusión

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm.	ESPESOR en mm	NATURALEZA

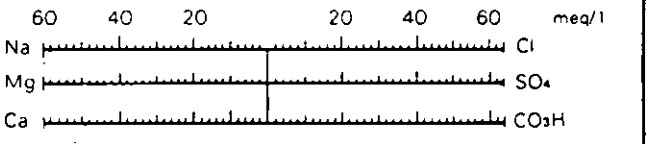
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C: micromho/cm a °C

DUREZA: mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO: FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos del ITGE:
2430/6/40
765/271.

B = BUENO R = REGULAR P = POBRE Ø = DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7445 Pasada E		INDICE	765 6 22	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	La Gineta		COORDENADAS	H	743 925
TOPONIMIA	Algibarro- Haza de la Liebre			V	498 350
PARAJE			COTA DEL SUELO	E	692
SISTEMA ACUIFERO				N	685.429(*)

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	100m.	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	560-500	REVESTIMIENTO	sin el 60-100?	ZONA REJILLA	60 – 100	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT			CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

X	RIEGO DE	15 de ?	ha	
	ABASTEC		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

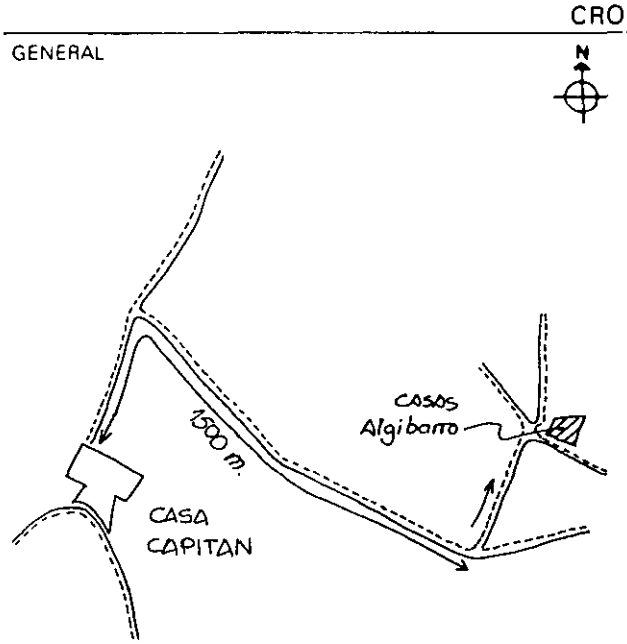
REF. ALTIMETRICA	Ras Tubo	ALTURA	0.25m	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	25.5.79	1.5.92	
	(m)	39.75	50.06	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	A VECES	NO	
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*) Se nivela 1/5/92, pero no parece muy precisa. A 1/5/92: Se encuentra en el interior de una caseta. El tubo piezométrico se encuentra a unos 15 cm del Br cal, que a su vez se encuentra a unos 30 cm del suelo de la caseta.

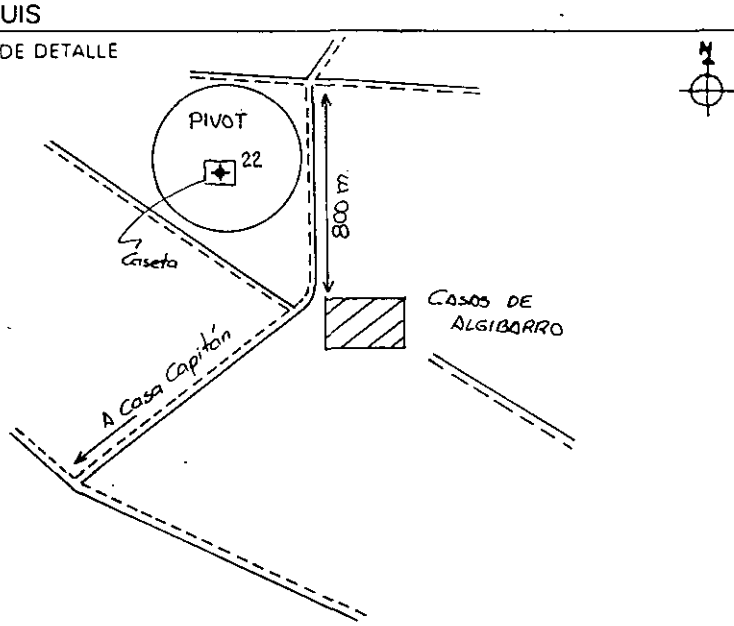
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX — O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 25/5/79.
1/5/92.

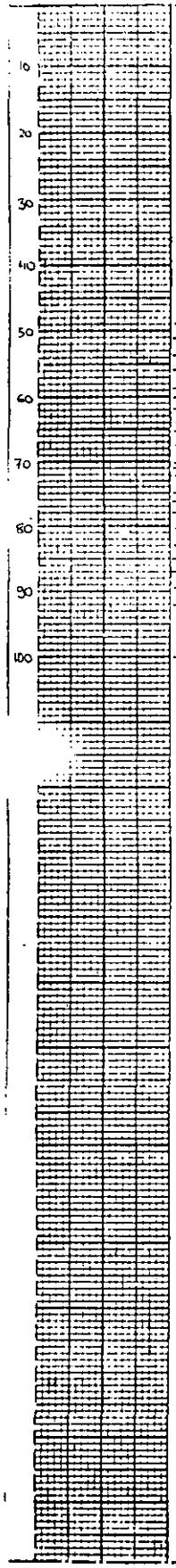
INSTRUCTOR: J.L.Q.
REVISADO: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO	

TOPONIMIA	Algi. H. de la Liebre	S. ACUIFERO	Neogeno Profundo	INDICE	765	6	22

DETALLE



MATERIAL	ACUIFERO B	R	P
Arcilla ocre y blanca			
Caliza arcillosa blanca			
Caliza gris negra			
Caliza blanca y arcilla gris			
Caliza blanca y arcilla blanca			
Caliza blanca y arcilla gris ocre			
Arcilla beige versa			
Arcilla ocre con alguna pasada de caliza			
Caliza blanca			
Arcilla roja			

Vistas las muestras hasta los 49m.

0 - 92: Mioceno

92 - 100: Mioceno basal

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

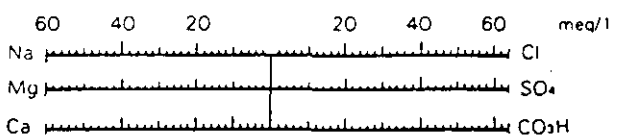
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0	60	560	a percusión
60	100	500	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0	60	550		
60	100	Sin revestir		

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			SO_4 =		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos extraídos ITGE:
765/6/41
765/297.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	6	23
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000		
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H	738	725
TOPONIMIA	Casa Cebrian		V	492	350
PARAJE	LLano del Hornillo	COTA DEL SUELO	E	699	
SISTEMA ACUIFERO			N		

PROPIETARIO	José María y J. Miguel		
DIRECCION	C/ Ferra nº 36, Albacete	TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	120m.	FECHA CONSTRUCCION	1980		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	Eje Vertical		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA			FECHA			
	RIEGO DE	ha	CAUDAL			
	ABASTEC.	hab	TIEMPO BOMBEO (h)			
	INDUSTRIA DE		DESCENSO (m)			

REF. ALTIMETRICA	Suelo		ALTURA	0 m.	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	19.5.80	10.6.92		
	(m)	15.4	26.64		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO	Cuando esten los dueños.				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Segun los dueños (José María y Juan Miguel) Se agota ésta en una arqueta.

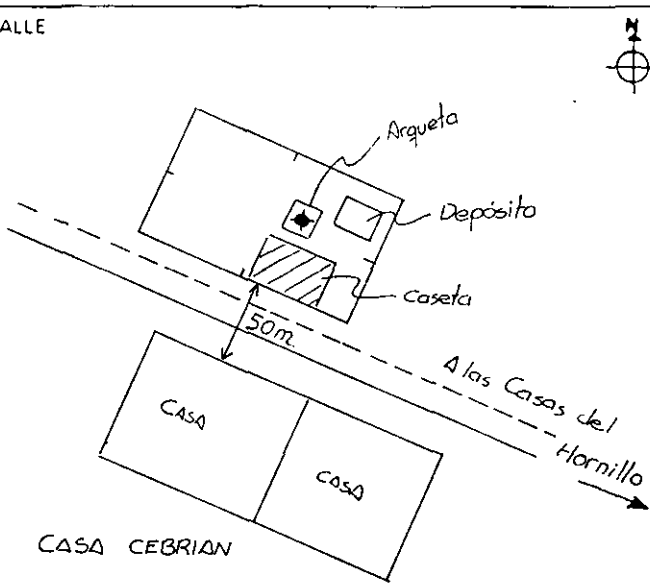
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX

O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

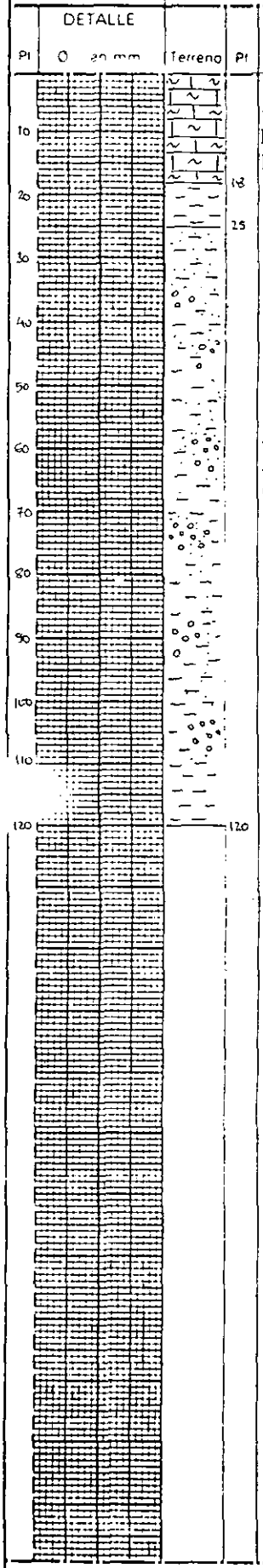
FECHA: 10/6/92

INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: C.del Hornillo | S. ACUIFERO: Neogeno Profundo | INDICE: 765 | 6 | 23



MATERIAL

Margo Caliza Blanca

Arcilla Amarillenta

Arcilla roja con Algún paso de conglomerado

ACUIFERO: B | R | P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0		510	

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm.	ESPESOR en mm.	NATURALEZA
0		440	5	Acero

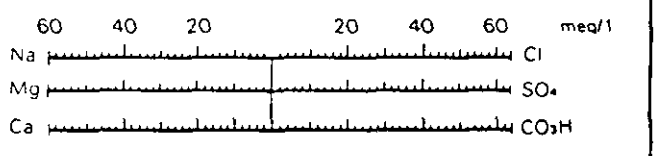
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Según ITGE 765//643.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 6 , 24
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.00
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS H	739 400
TOPONIMIA	Cuarto del Moral	V	495 050
PARAJE	Moral	COTA DEL SUELO	E
SISTEMA ACUIFERO			N 697.803 (*

PROPIETARIO

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	13m.	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	2m.	REVESTIMIENTO	Ladrillo	ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO			
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	CAUDAL	
ABASTEC.		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA:

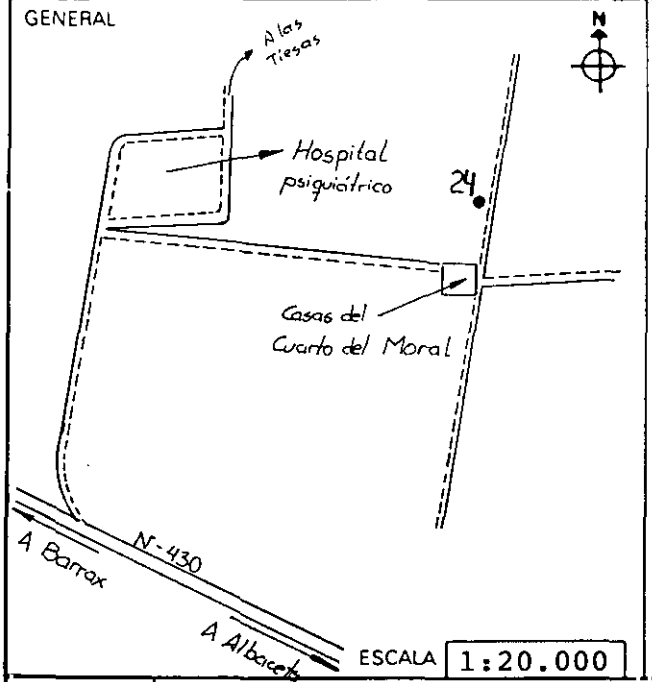
REF. ALTIMETRICA	Brocal Pozo	ALTURA	60cm	
PROF. NIVEL DEL AGUA — FECHA	1.5.92	20.4.93		
(m)	11.70	11.70		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI X	A VECES	NO	
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*) Se encuentra abandonado a 1/5/92. El Brocal tiene un grosor de 40cm, muy próximo a un depósito y a una caseta. Tiene una galería de acceso de N-E para instalación de la bomba. (*) Se nivela el Brocal.

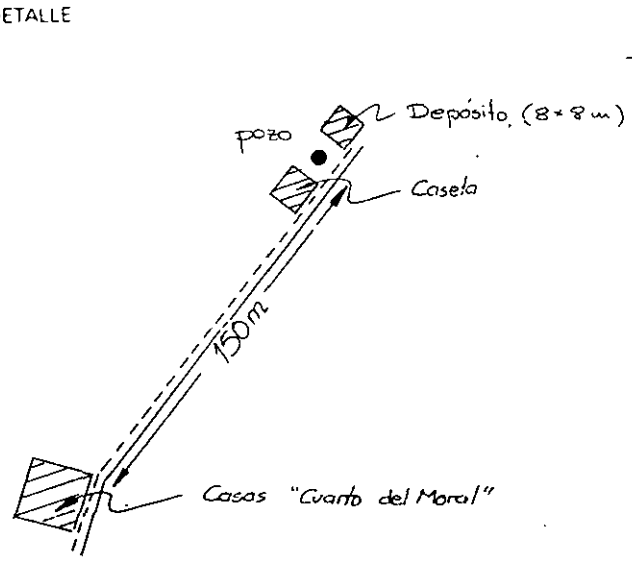
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:20.000

DE DETALLE



ESCALA APROX. O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 1/5/1992 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Cuarto del Moral | S. ACUIFERO: Neogeno Superfic. | INDICE: 765 6 24

Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

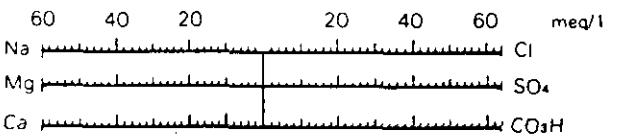
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: Según ITGE 765/6/7.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765 6 25	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	
TOPONIMIA	Cuarto del Moral			V	
PARAJE	Cuarto del Moral		COTA DEL SUELO	E:	
SISTEMA ACUIFERO				N: 698.166(*3)	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	14.35m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	1,5 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO (*1)

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	CAUDAL	
	ABASTEC		hab	TIEMPO BOMBEO (h)	
	INDUSTRIA DE			DESCENSO (m)	

FECHA

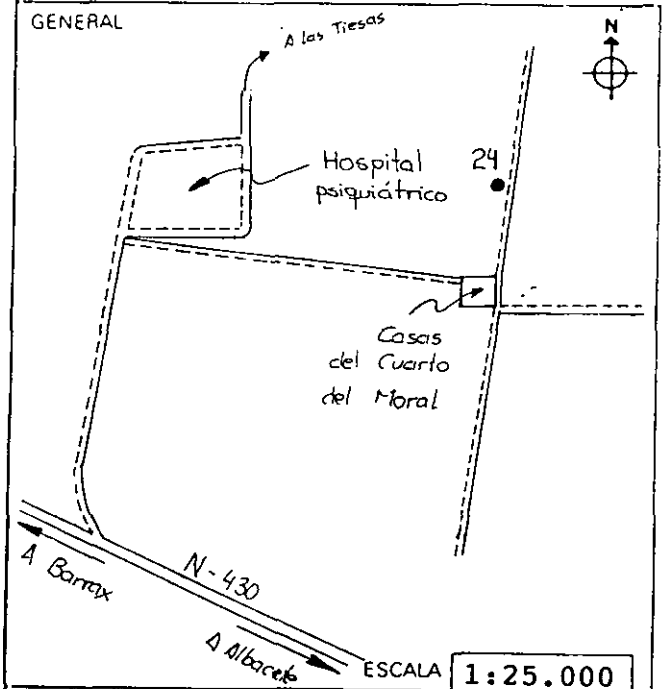
REF ALTIMETRICA	Brocal			ALTURA	65 cm		
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.5.92					
	(m)	seco					
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	X	
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

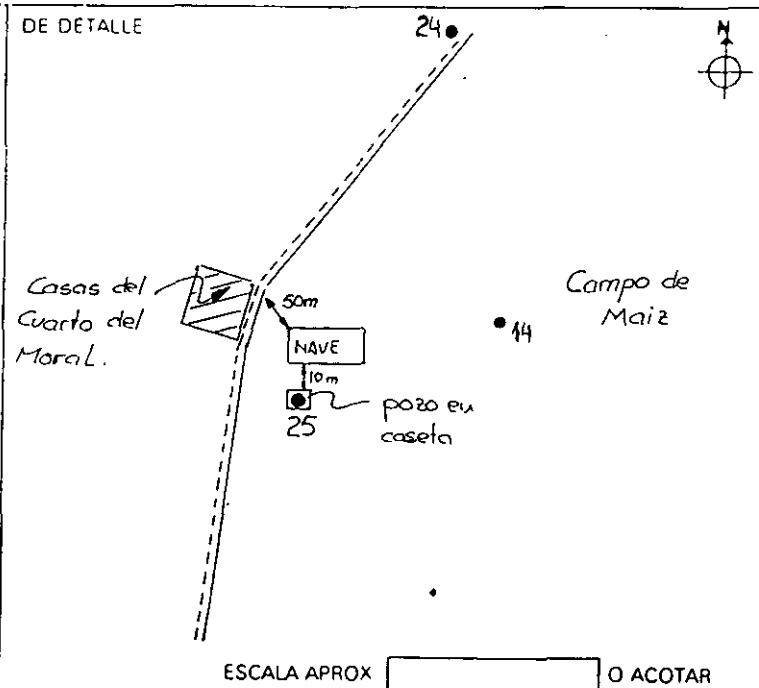
OBSERVACIONES En 1992 se encuentra sin equipar.
Se encuenrta dentro de una caseta, está abandonado.
No está en el inventario del ITGE. Se nivela el Brocal del pozo.

CROQUIS

GENERAL



DE DETALLE



DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 1/5/92. INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA	Cuarto del Moral	S. ACUIFERO	Neogeno Superfic.	INDICE	765	6	25

DETALLE Pl	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pl	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

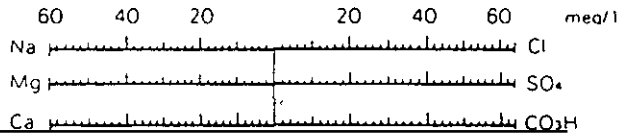
PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES No inventariado por el ITGE.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E	INDICE	765 6 26
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H
TOPONIMIA	Cuartos de Saavedra		V
PARAJE	Moral	COTA DEL SUELO	E: 693
SISTEMA ACUIFERO			N 686.520(1*

PROPIETARIO: ?

DIRECCION: TEL:

CONSTRUCTOR: ?

DIRECCION: TEL:

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	16.9 m	FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	1 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO: Gasolina

POT: CV / KW

BOMBA

TIPO: Horizontal

MARCA:

CAP NOM: l/s / m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

- RIEGO DE: ha
- X ABASTEC: Familiar hab
- INDUSTRIA DE:

FECHA:
CAUDAL:
TIEMPO BOMBEO (h):
DESCENSO (m):

REF ALTIMETRICA: Brocal del Pozo — ALTURA: 60 cm

PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.5.92	20.4.93		
	(m)	12.4 ?	12.43		

ACCESIBILIDAD: DIRECTA — X CON PERMISO — DIFICIL

FACILIDAD DE MEDICION: SI — X A VECES — NO

HORARIO: Cualquiera

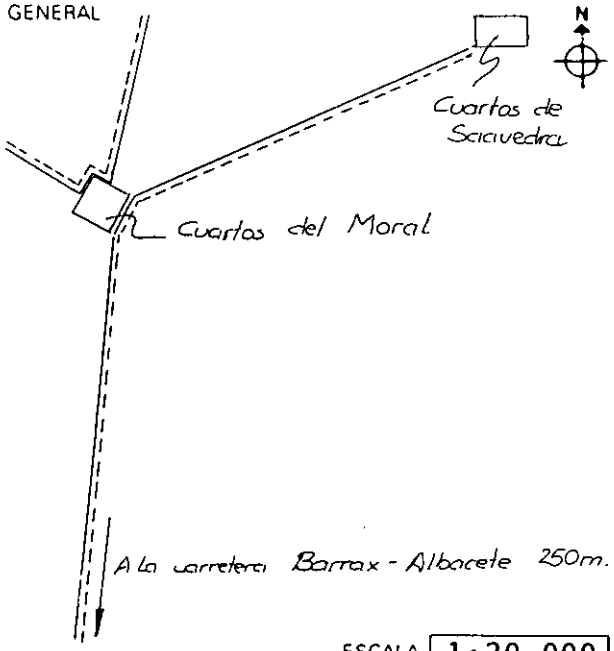
	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (1*) Se nivela el Brocal del Pozo, pero la medida no coincid con la cota del mapa topográfico.

Tenía torno antiguamente, todavía se conserva. Tomo una foto

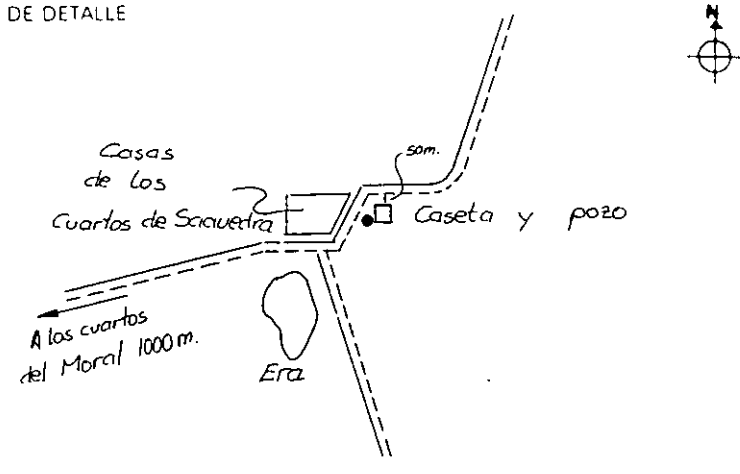
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:20.000

DE DETALLE



ESCALA APROX: O ACOTAR

DIRECCION: TEL: ENCARGADO:

FECHA: 1/5/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO :

TOPONIMIA: C. de Saavedra | S. ACUIFERO: Neogeno Superfic. | INDICE: 765 | 6 | 26

DETALLE PI	DETALLE Ø en mm	Terreno	PI	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm.	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

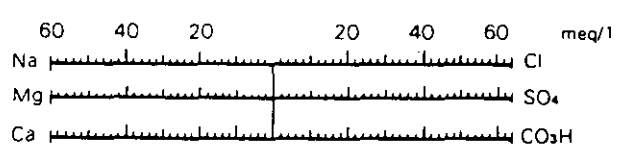
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C micromho/cm a °C

DUREZA mg/l CO_3Ca pH

OTROS



LABORATORIO FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada E	INDICE	765 6 27
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H
TOPONIMIA	Casa del Guarda		V
PARAJE	Acequion	COTA DEL SUELO	E 694 m
SISTEMA ACUIFERO			N

PROPIETARIO	Dueños de la finca "Acequion"
DIRECCION	TEL
CONSTRUCTOR	?
DIRECCION	TEL

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	6.85 m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	FECHA	
	ABASTEC.		hab	CAUDAL	
	INDUSTRIA DE			TIEMPO BOMBEO (h)	
				DESCENSO (m)	

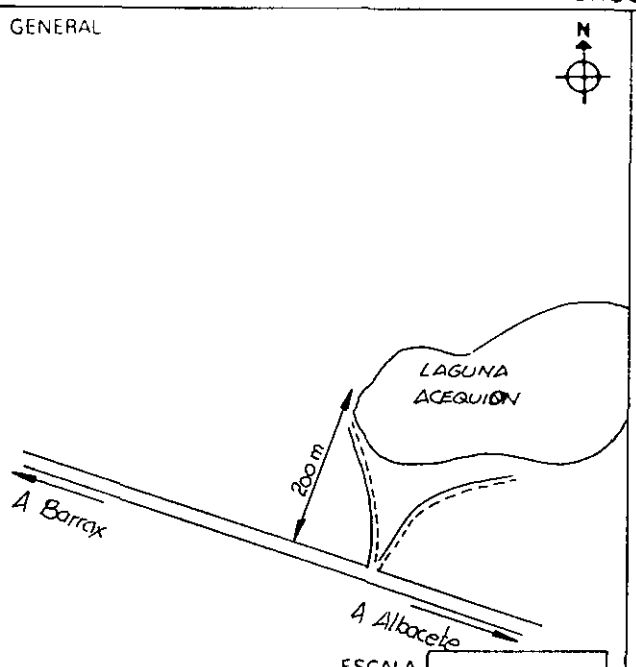
REF ALTIMETRICA	Brocal			ALTURA			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.5.92					
	(m)	seco					
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Está seco y abandonado a 1/5/92.

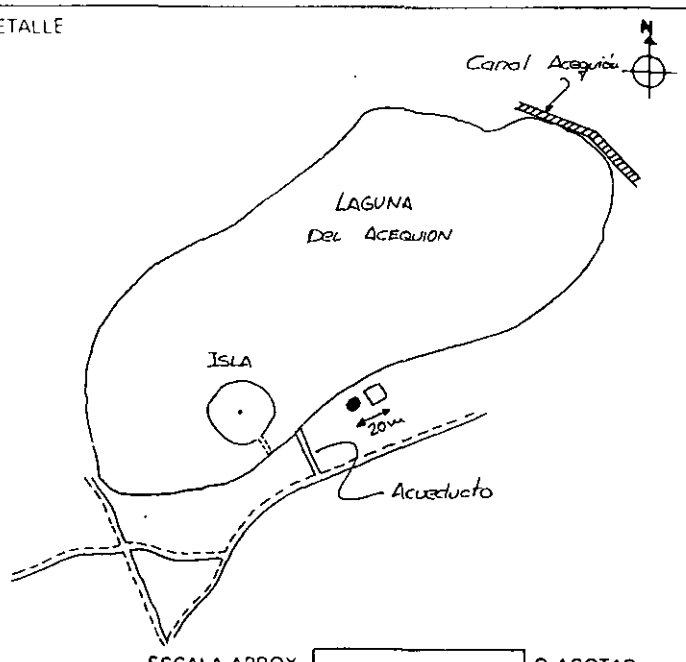
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 1/5/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO |

TOPONIMIA	El Acequion	S. ACUIFERO	Neogeno Superfic.	INDICE	765	6	27

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

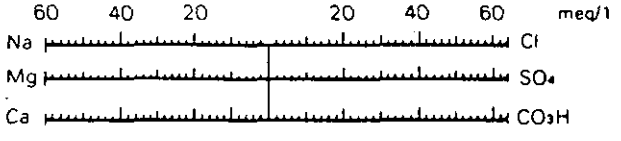
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm.	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES Según ITGE no está inventariado.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7445 Pasada E	INDICE	765 6 28
PROVINCIA	Albacete	MAPA	Casa Capitan 1:25.000
Tno MUNICIPAL	Albacete	COORDENADAS	H
TOPONIMIA	Casa Capitan nº 4		V
PARAJE	Alto de las A utardas	COTA DEL SUELO	E 689
SISTEMA ACUIFERO			N (1*)

PROPIETARIO	?				
DIRECCION				TEL	
CONSTRUCTOR	?				
DIRECCION				TEL	
NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	22.15m	FECHA CONSTRUCCION	?
DIAMETRO	1.5 m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA	TIPO

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	De aspiración		
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
X	ABASTEC		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA					
CAUDAL					
TIEMPO BOMBEO (h)					
DESCENSO (m)					

REF. ALTIMETRICA	Brocal pozo	ALTURA	50cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.5.92			
	(m)	19.38			

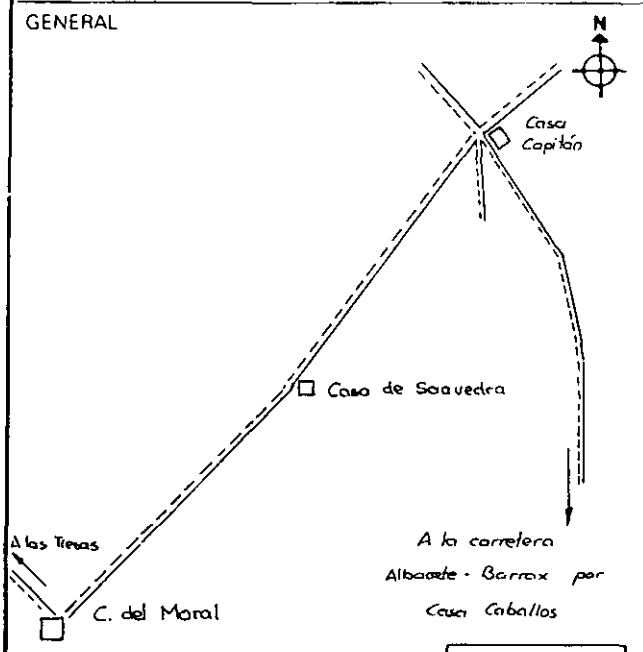
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO	X	DIFICIL		
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO							

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (1*) Se nivela el Brocal con 694.9, pero la medida no se ajusta al mapa topográfico.

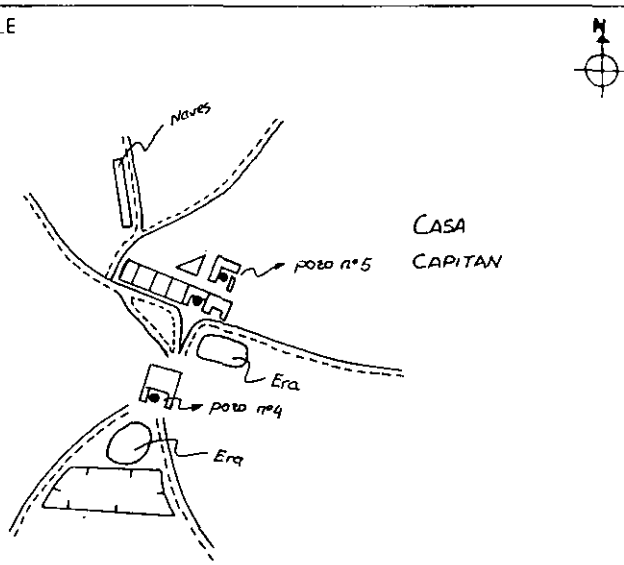
CROQUIS

GENERAL



ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 1/5/92 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Casa Capitan nº 4 | S. ACUIFERO: Neogeno Superfic. | INDICE: 765 | 6 | 28

Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	R	P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

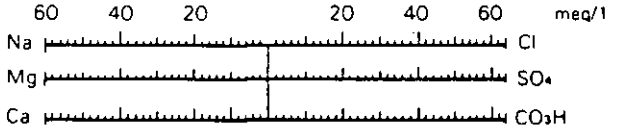
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm.	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		ºC
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		ºC
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: No está inventariado en el ITGE.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7445 Pasada D		INDICE	765 6 29	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	
TOPONIMIA	Casa Capitan nº 5			V	
PARAJE	Alto de las Auutardas		COTA DEL SUELO	E 689.411	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	22.15m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC.		hab	
INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

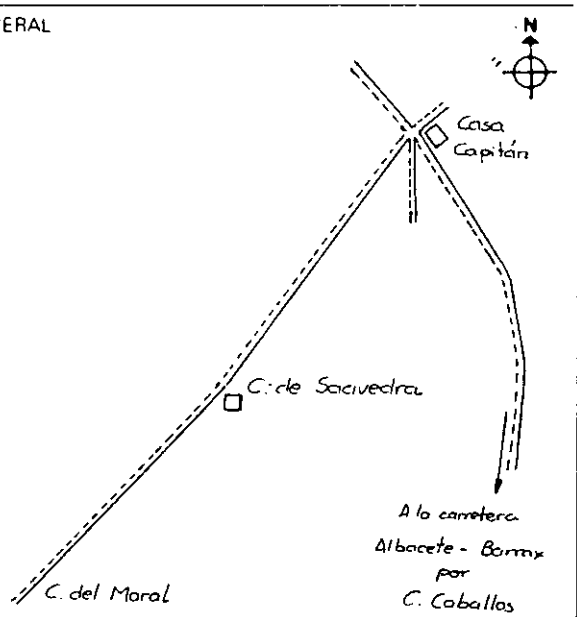
REF ALTIMETRICA	Brocal del Pozo	ALTURA	50 cm		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA	1.5.92			
	(m)	seco			
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO		DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES (*1) Se nivela a la altura del Brocal. Abandonado. Brocal revestido de Piedra Caliza.

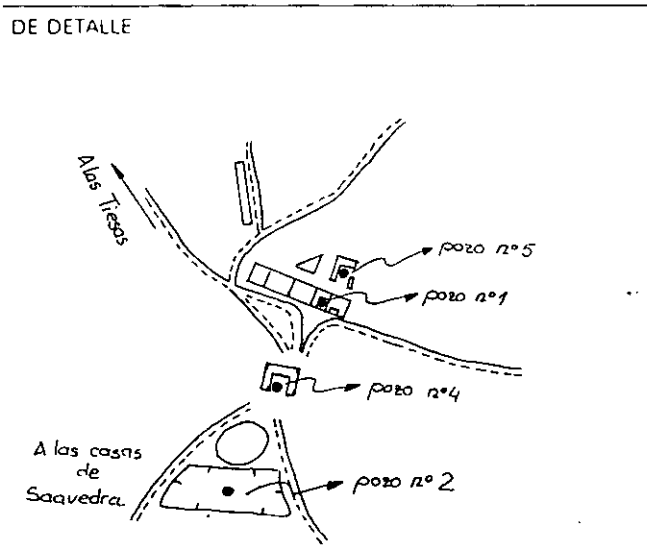
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:50.000

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 1/5/1992. INSTRUCTOR: MARÍA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Casa Capitan nº 5 | S. ACUIFERO: Neogeno Superfic. | INDICE: 765 6 29

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

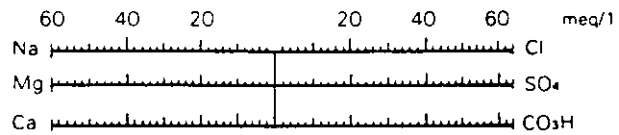
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C	micromho/cm	a	°C

DUREZA	mg/l CO_3Ca	pH	

OTROS:



LABORATORIO: | FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: No consta en el inventario del ITGE.

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765	6 30
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	738 200
TOPONIMIA	Las Tiesas.Sondeo colapsado			V	497 175
PARAJE	Las Tiesas		COTA DEL SUELO	E	698 m.
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	Diputación Albacete .ITAP.		
DIRECCION	Ctra. de Madrid. Poligono Industrial Campollano	tel	967 219075
CONSTRUCTOR	Ctra. de Madrid. Poligono Industrial Campollano.		
DIRECCION	Ctra. de Madrid. Poligono Industrial Campollano.		

NATURALEZA DEL POZO	Sondeo	PROFUNDIDAD	233 m	FECHA CONSTRUCCION	1986		
DIAMETRO	500-400	REVESTIMIENTO	Tubería	ZONA REJILLA	154 - 233 m	TIPO	Sin entubar

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	
ABASTEC.		hab	
INDUSTRIA DE			

EXTRACCION (m^3/año)

FECHA		1985
CAUDAL	l/s	105
TIEMPO BOMBEO (h)		?
DESCENSO (m)		82

REF. ALTIMETRICA		ALTURA		
PROF. NIVEL DEL AGUA	FECHA			
	(m)			

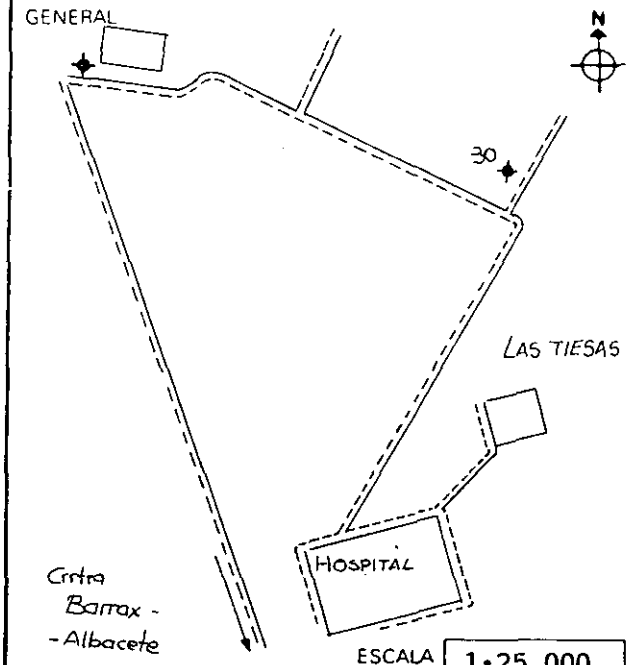
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	A VECES	NO	
HORARIO				

	SI	NO
FICHA CARACT. TECNICAS DEL POZO	X	
PERFIL GEOLOGICO	X	
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	X	
ANALISIS QUIMICO		X
ANALISIS BACTERIOLOGICO		X
OTROS ENSAYOS		X

OBSERVACIONES: Éste sondeo se colapsó al edificar. Se encuentra tapado y cubierto. No es localizable.

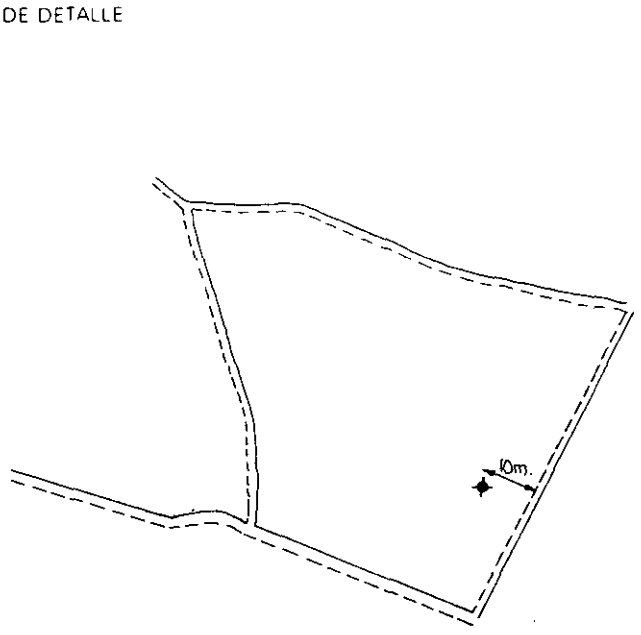
CROQUIS

GENERAL



ESCALA 1:25.000

DE DETALLE



ESCALA APROX | O ACOTAR

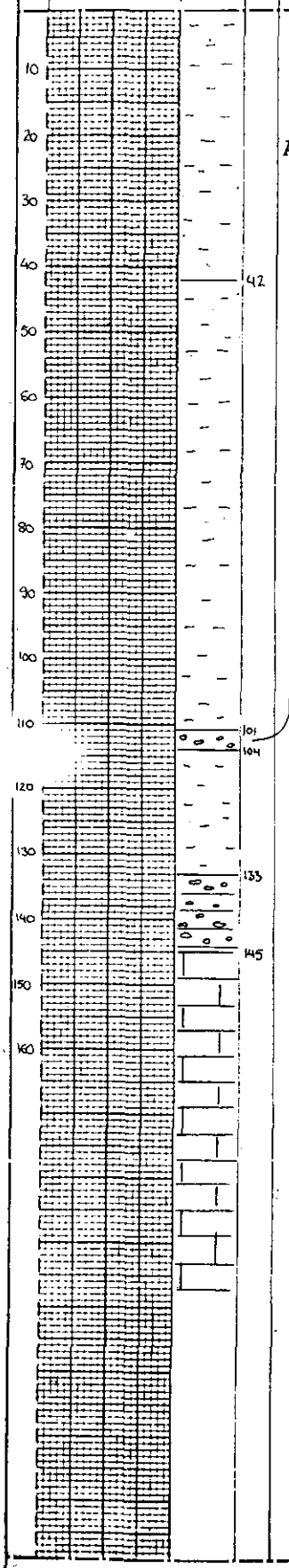
DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 24/10/1991. INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Las Tiesas nº 3 | S. ACUIFERO: Jurásico | INDICE: 765 | 6 | 30



B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA
0	113.48	500	5	Ciega
108	144.18	450	5	Ciega
139	154	400	5	Ciega
154	233	Sin revest.		

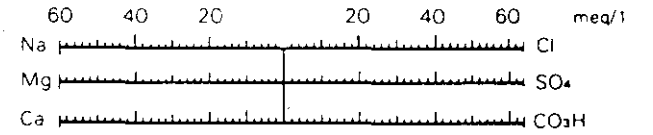
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Datos de la Diputación de Albacete (ITAP).

Datos columna: sondista.

Según ITGE : 765/6/47.

FECHA: 24/10/91. INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7910 Pasada E		INDICE	765	6 31
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H 743	600
TOPONIMIA	Casas de Alto Blanco			V 495	200
PARAJE	Alto Blanco		COTA DEL SUELO	E:697 m.	
SISTEMA ACUIFERO				N:	

PROPIETARIO	Dueño de la finca del Acequion.		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR			
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	13.5 m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	0.9 x 0.6	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT	TORNO		CV
			KW
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM			l/s
			m^3/h

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha
ABASTEC		hab
INDUSTRIA DE		

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

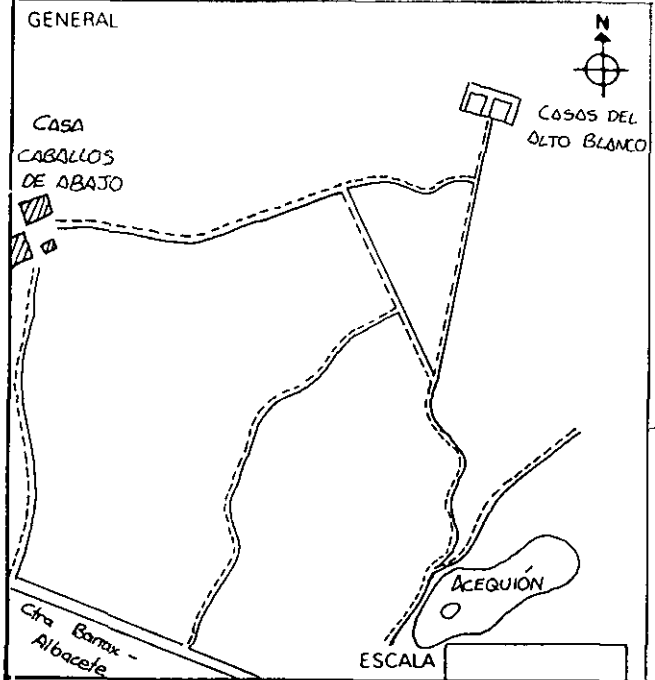
REF ALTIMETRICA	Brocal		ALTURA	0.35 m	
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	15.6.72	11.6.92		
	(m)	9.6	seco		
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	X	CON PERMISO	DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES	NO	
HORARIO	Cualquiera				

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

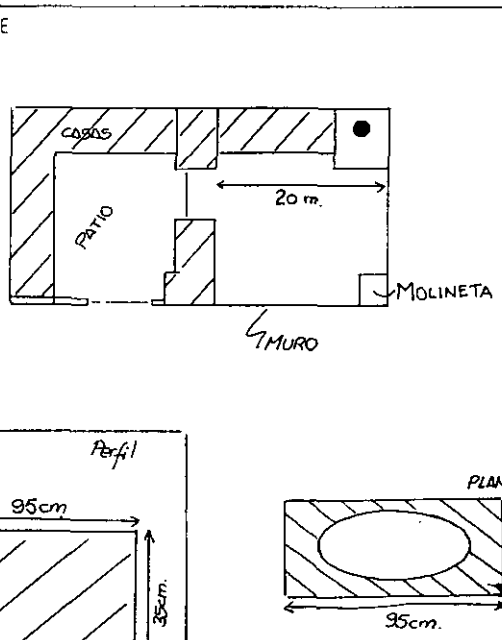
OBSERVACIONES Está abandonado en 1992. El sistema de extracción era un torno. La información correspondiente a 1972 tomada ITGE. En el año 1972 se secaba algunas temporadas.

CROQUIS

GENERAL



DE DETALLE



DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA: 11/6/1992 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: Alto Blanco | S ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 6 | 31

DETALLE (Pt | Ø en mm) | Terreno | Pt | MATERIAL | ACUIFERO (B | R | P)

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
0.9 X	0.60		

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

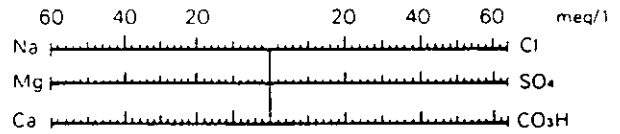
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +	0.4	9	CO_3H^-	4.6	281
K +	0	0	$SO_4=$	1.3 ?	61
Ca ++	2.7	54	Cl^-	1.4	50
Mg ++	3.7	46	NO_3^-	0.2	6

C: 615 micromho/cm | a: | °C

DUREZA: 366 mg/l CO_3Ca | pH: 7.6

OTROS: SAR: 0.2 Indice SCOTT: 40.8



LABORATORIO | FECHA: 20.10.72

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

Los análisis químicos se han tomado de la base del ITGE.

Según ITGE:

2430/6/13

765/90.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: 15/6/72 INSTRUCTOR: MARÍA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada E		INDICE	765 / 6	32
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	
TOPONIMIA	Casa Caballos Arriba			V	
PARAJE	Casa Caballos Arriba		COTA DEL SUELO	E 693 m.	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO	?		
DIRECCION		TEL	
CONSTRUCTOR	?		
DIRECCION		TEL	

NATURALEZA DEL POZO	Pozo excavado	PROFUNDIDAD		FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO	± 1.70m	REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO	Gasolina		
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO	Horizontal		
MARCA	Piva BV		
CAP NOM	Hp: 4	l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

RIEGO DE		ha	FECHA	
ABASTEC		hab	CAUDAL	
INDUSTRIA DE			TIEMPO BOMBEO (h)	
			DESCENSO (m)	

REF ALTIMETRICA	Boca Pozo		ALTURA	1.25m
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA	11.6.92		
	(m)	13.55		

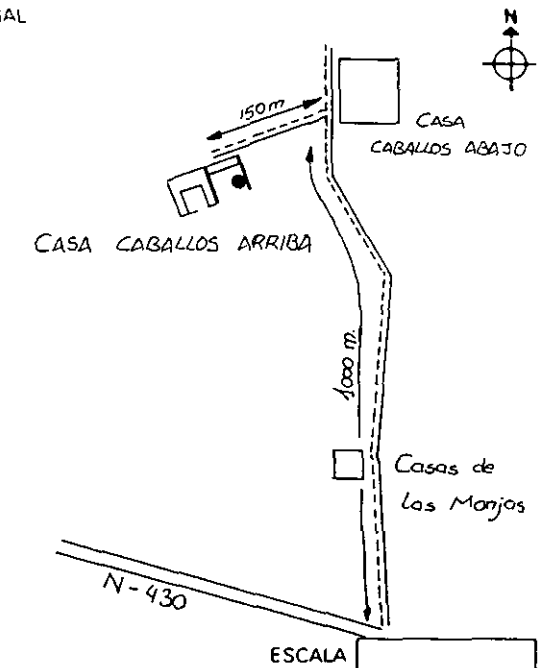
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	
FACILIDAD DE MEDICION	SI		A VECES		NO	
HORARIO						

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

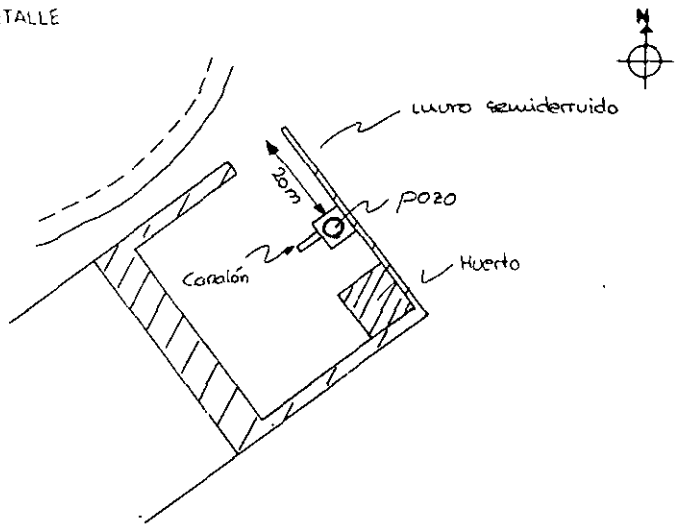
OBSERVACIONES Antiguo sistema de extracción TORNO.

CROQUIS

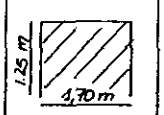
GENERAL



DE DETALLE



PERFIL



CASA CABALLOS DE ARRIBA

ESCALA

ESCALA APROX O ACOTAR

DIRECCION		TEL		ENCARGADO	

FECHA:

INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA | CODIGO

TOPONIMIA: Casa Caballos | S. ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 6 | 32

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA:

INSTRUCTOR:

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

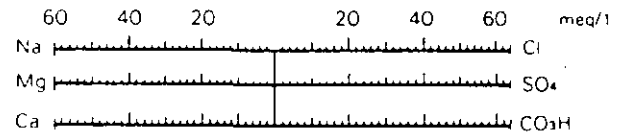
REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C		micromho/cm	a		°C
DUREZA		mg/l CO_3Ca	pH		
OTROS					



LABORATORIO		FECHA	

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA	Foto 7918 Pasada E		INDICE	765 6 33/34	
PROVINCIA	Albacete		MAPA	Casa Capitan 1:25.000	
Tno MUNICIPAL	Albacete		COORDENADAS	H	740 100
TOPONIMIA	Casas del Hornillo nº 1			V	491 800
PARAJE	Casas del Hornillo		COTA DEL SUELO	E:	
SISTEMA ACUIFERO				N	

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Excavados	PROFUNDIDAD		FECHA CONSTRUCCION			
DIAMETRO		REVESTIMIENTO		ZONA REJILLA		TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR			
TIPO			
POT		CV	
		KW	
BOMBA			
TIPO			
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha
	ABASTEC		hab
	INDUSTRIA DE		

FECHA				
CAUDAL				
TIEMPO BOMBEO (h)				
DESCENSO (m)				

REF ALTIMETRICA	Brocal	ALTURA
PROF NIVEL DEL AGUA — FECHA	11.6.92	
PROF NIVEL DEL AGUA — (m)	seco	
ACCESIBILIDAD	DIRECTA	CON PERMISO / DIFICIL
FACILIDAD DE MEDICION	SI	A VECES / NO
HORARIO		

	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Abandonados en 1992 y secos los dos.

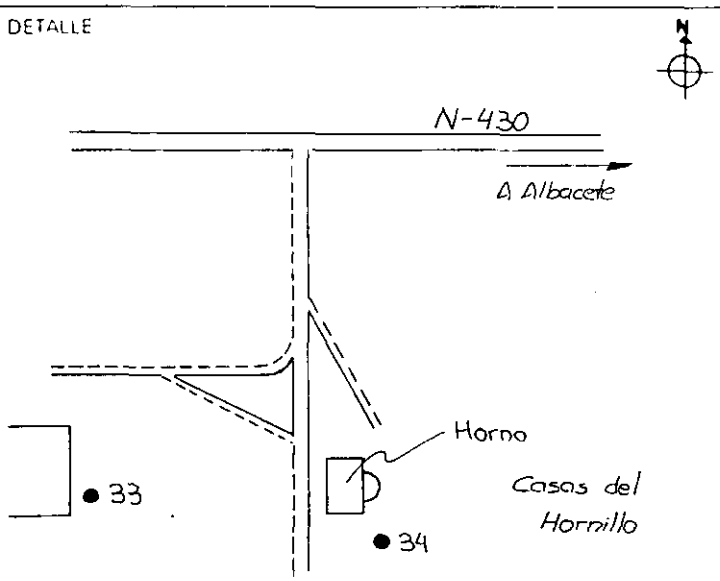
CROQUIS

GENERAL

N

ESCALA

DE DETALLE



ESCALA APROX — O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO:

TOPONIMIA: Casas del Hornillo 1y2 | S ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 6 33/1

DETALLE Pt	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pt	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES
Nº 31	diámetro	1m	
Nº 32	diámetro	1.77m	

REVESTIMIENTO DE	A	Ø int en mm	ESPESOR en mm	NATURALEZA

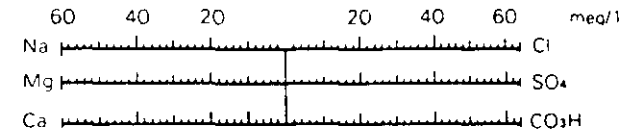
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na +			CO_3H^-		
K +			$SO_4=$		
Ca ++			Cl^-		
Mg ++			NO_3^-		

C: | micromho/cm | a | °

DUREZA: | mg/l CO_3Ca | pH:

OTROS:



LABORATORIO: | FECHA:

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES: El 765/6/33 creo que es el 765/6/16 del ITGE.

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

FECHA: INSTRUCTOR:

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

ZONA/SUBZONA		INDICE	765	6	35
PROVINCIA		MAPA			
Tno MUNICIPAL		COORDENADAS	H	740	100
TOPONIMIA	Cuartos de Saavedra nº 2		V	495	355
PARAJE	Cuartos de Saavedra	COTA DEL SUELO	E:	694	
SISTEMA ACUIFERO			N		

PROPIETARIO

DIRECCION — TEL

CONSTRUCTOR

DIRECCION — TEL

NATURALEZA DEL POZO	Excavado	PROFUNDIDAD	± 15 m	FECHA CONSTRUCCION	?		
DIAMETRO	.	REVESTIMIENTO	Sin revestir	ZONA REJILLA	Sin revestir	TIPO	

EQUIPO DE BOMBEO

MOTOR

TIPO	GASOIL		
POT		CV	
		KW	

BOMBA

TIPO	Eje VerticaL		
MARCA			
CAP NOM		l/s	
		m^3/h	

REGIMEN DE BOMBEO

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
DIAS/MES												
HORAS/DIA												
Q medio												
EXTRACCION												

EXTRACCION (m^3/año)

USO DEL AGUA

	RIEGO DE		ha	
	ABASTEC		hab	
	INDUSTRIA DE			

FECHA	
CAUDAL	
TIEMPO BOMBEO (h)	
DESCENSO (m)	

REF. ALTIMETRICA	Suelo Laseta		ALTURA	0 m			
PROF NIVEL DEL AGUA	FECHA		20.4.93				
	(m)		13.28				
ACCESIBILIDAD	DIRECTA		CON PERMISO		DIFICIL	X	
FACILIDAD DE MEDICION	SI	X	A VECES		NO		
HORARIO	Cualquiera						

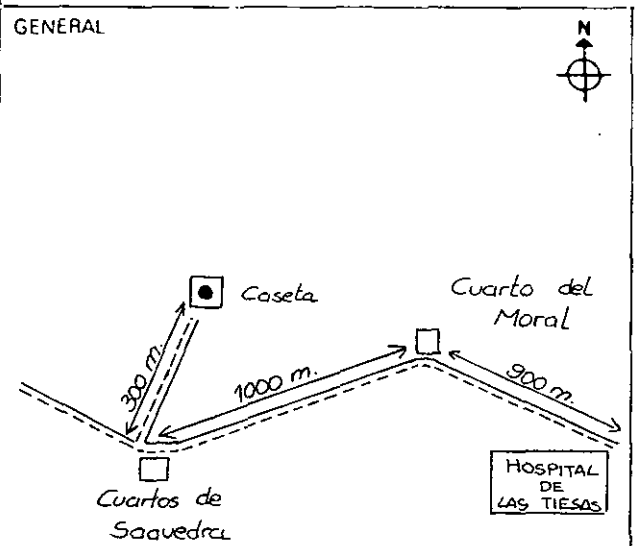
	SI	NO
FICHA CARACT TECNICAS DEL POZO	☐	☐
PERFIL GEOLOGICO	☐	☐
ENSAYO DE BOMBEO/AFOROS	☐	☐
ANALISIS QUIMICO	☐	☐
ANALISIS BACTERIOLOGICO	☐	☐
OTROS ENSAYOS	☐	☐

OBSERVACIONES Tiene una galería. Hemos bajado y tiene el agua muy limpia. Tenia ± 1.5m de agua desde abajo. Parece que tiene una galería en dirección Sur.

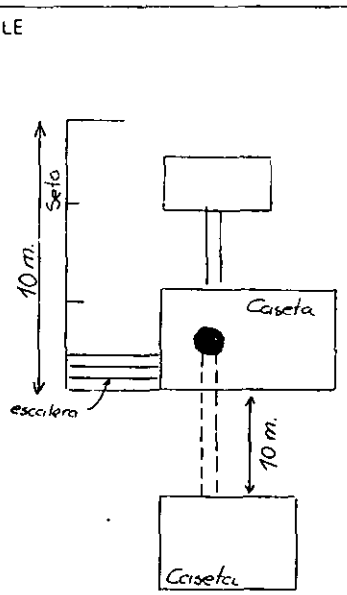
Parece que se usa poco.

CROQUIS

GENERAL



DE DETALLE



ESCALA

ESCALA APROX — O ACOTAR

DIRECCION — TEL — ENCARGADO

FECHA: 20/4/1993 INSTRUCTOR: MARIA CASADO

FICHA DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRANEA

CODIGO

TOPONIMIA: C. de Saavedra | S ACUIFERO: Neogeno Superficial | INDICE: 765 | 6 | 35

DETALLE Pf	DETALLE Ø en mm	Terreno	Pf	MATERIAL	ACUIFERO B	ACUIFERO R	ACUIFERO P

CARACTERISTICAS TECNICAS

PERFORACION

DE	A	Ø mm	OBSERVACIONES

REVESTIMIENTO

DE	A	Ø int. en mm	ESPESOR en mm.	NATURALEZA

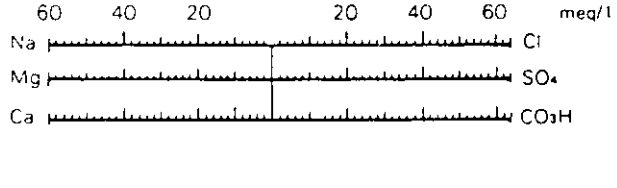
ANALISIS QUIMICO-TIPO

ION	meq/l	mg/l	ION	meq/l	mg/l
Na^+			CO_3H^-		
K^+			$SO_4^=$		
Ca^{++}			Cl^-		
Mg^{++}			NO_3^-		

C | micromho/cm | a | °C

DUREZA | mg/l CO_3Ca | pH

OTROS



LABORATORIO | FECHA

MEDICIONES DE CAMPO

C		µ mho/cm	T		°C
CL^-		mg/l			

OBSERVACIONES

B =BUENO R =REGULAR P =POBRE Ø =DIAMETRO

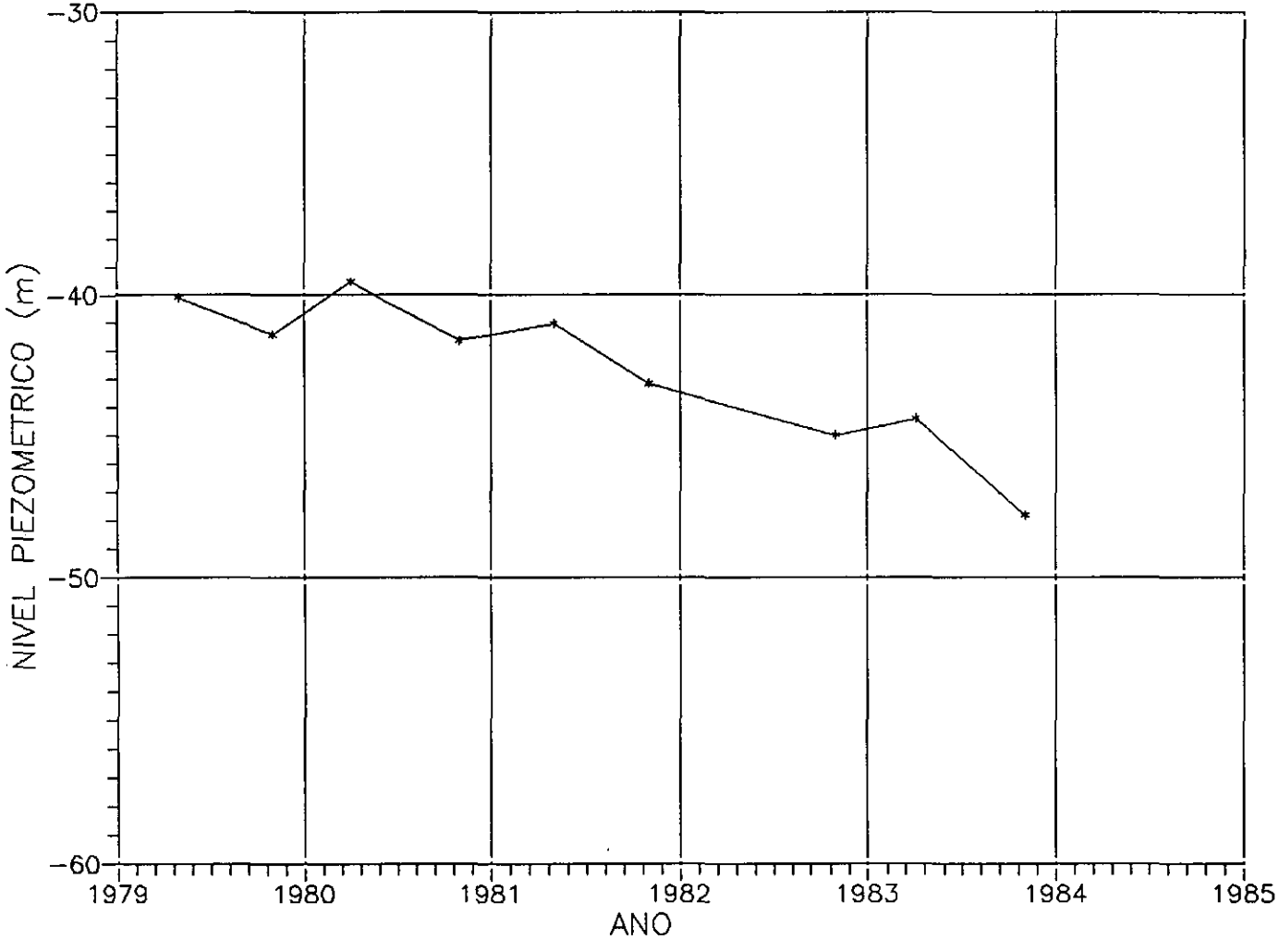
FECHA: INSTRUCTOR:

ANEXO 3

Algunos registros piezométricos adicionales

FACULTAD CC. GEOLOGICAS
BIBLIOTECA

PIEZOMETRIA EN BARRAX
N. DE INVENTARIO: 765/5/? (765/5/15 ITGE)
COTA TOPOGRAFICA: 697.96 m
PROFUNDIDAD: 113 m. ACUIFERO: Mioceno.



PIEZOMETRIA EN BARRAX
N. DE INVENTARIO: 765/1/1 (765/1/29 ITGE)
COTA TOPOGRAFICA: 713.58
PROFUNDIDAD: 114 m. ACUIFERO: Jurasico.

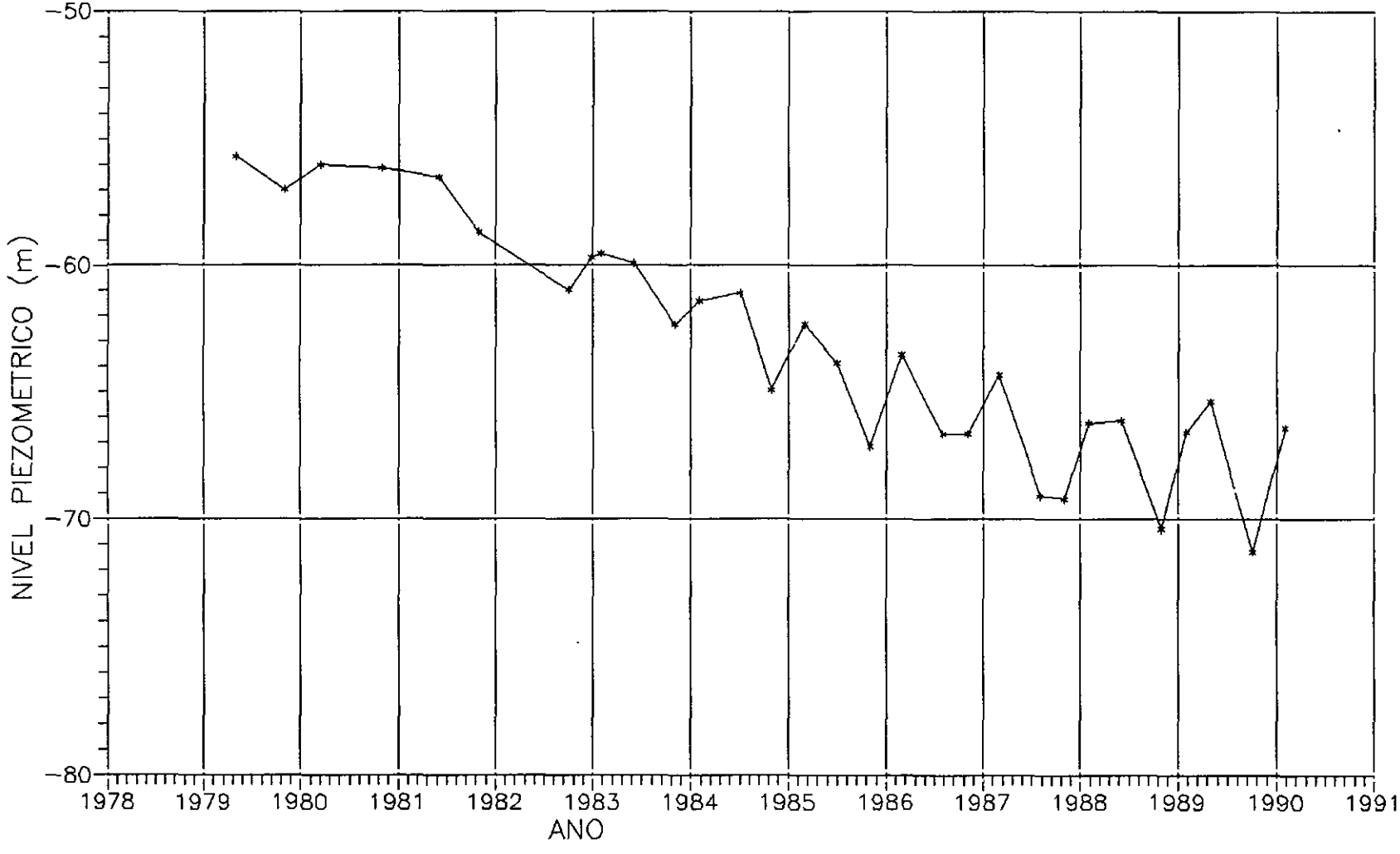
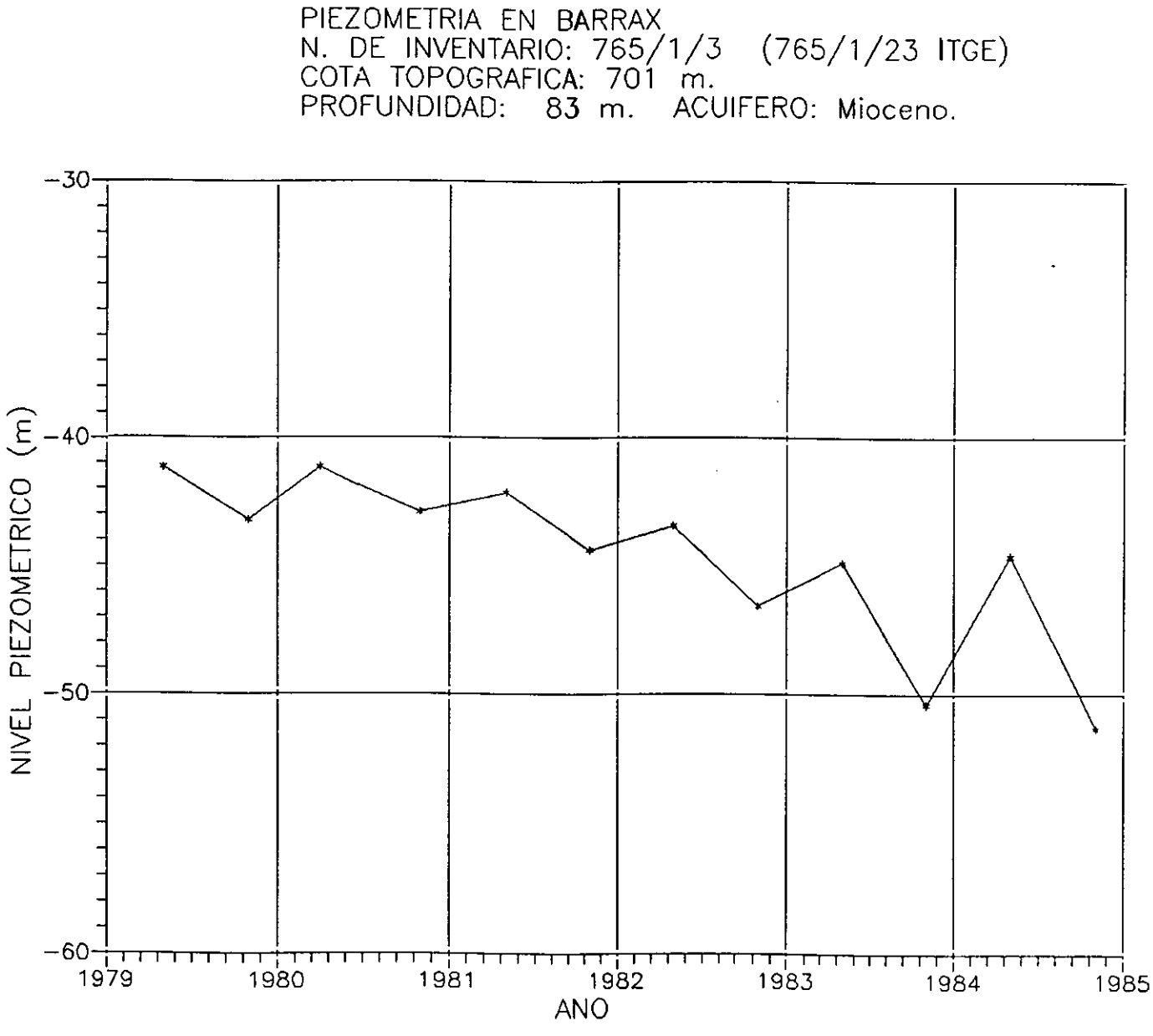
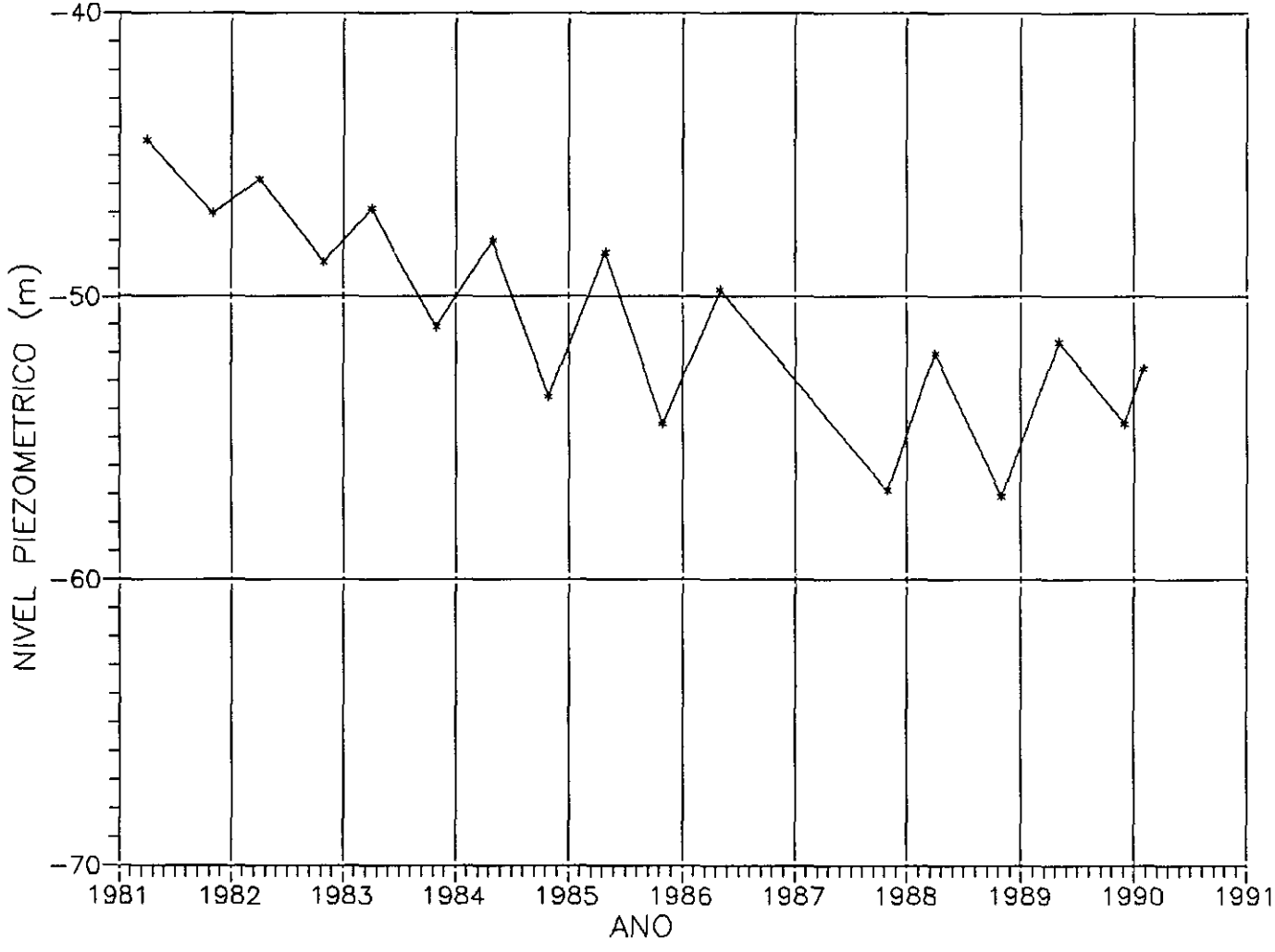


FIGURA n.3.6: Evolución piezométrica en el piezómetro n. 765/1/3.



PIEZOMETRIA EN BARRAX
N. DE INVENTARIO: 765/6/18 (765/6/44 ITGE)
COTA TOPOGRAFICA: 692 m.
PROFUNDIDAD: 220 m. ACUIFERO: Jurasico.



ANEXO 4

Archivos de entrada y salida de datos de las pasadas B60 y B61, del modelo numérico realizado

B60.DAT BARRAX: OBTENCION DE LA SUPERFICIE LIBRE PARTIENDO DE LA RECARGA

NSTEPS	DELTA	ERROR	KOD1	KOD2	KOD3	KOD4	KOD5	KOD6	KOD7
20	365E+03	.10000	1	1	1	1	1	1	1

NC	NR	PP1	PP2	S1	HH	QQ
13	30	.00000	.00000.10000E-05	000.00000		.00000

28 =NT: NUMERO DE CATEGORIAS./ SIMBOLOS: 16(4X,A1)/ NIVELES: 16(F5.0)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	a	b				

690. 689. 688. 687. 686. 685. 684. 683. 682. 681. 679. 678. 677. 676. 675. 674.
672. 671. 670. 669. 668. 667. 666. 664. 662. 660. 658. 654. 650.

I	J	P1	P2	S	H	Q	
1	9	.00000	.00000.10000E+07	670.8904	.00000		BORDE PERMEABLE
1	10	.00000	.06000.10000E+07	670.8182	.00000		BORDE PERMEABLE
1	11	.00000	9.0000.10000E+07	651.6128	.00000		BORDE PERMEABLE
1	12	.00000	18.0000.10000E+07	650.7057	.00000		BORDE PERMEABLE
1	13	.00000	18.0000.10000E+07	650.5052	.00000		BORDE PERMEABLE
1	14	.00000	9.0000.10000E+07	648.3802	.00000		BORDE PERMEABLE
1	15	.00000	.0600.10000E+07	640.1039	.00000		BORDE PERMEABLE
1	16	.00000	.0600.10000E+07	640.1000	.00000		BORDE PERMEABLE
1	17	.00000	.0600.10000E+07	644.0542	.00000		BORDE PERMEABLE
1	18	.00000	.0600.10000E+07	644.0549	.00000		BORDE PERMEABLE
1	19	.00000	.0600.10000E+07	645.0460	.00000		BORDE PERMEABLE
1	20	.00000	.0600.10000E+07	646.0382	.00000		BORDE PERMEABLE
1	21	.00000	.0600.10000E+07	648.0201	.00000		BORDE PERMEABLE
1	22	.00000	9.0000.10000E+07	650.2235	.00000		BORDE PERMEABLE
1	23	.00000	18.0000.10000E+07	650.3021	.00000		BORDE PERMEABLE
1	24	.00000	18.0000.10000E+07	650.3025	.00000		BORDE PERMEABLE
1	25	.00000	18.0000.10000E+07	650.3023	.00000		BORDE PERMEABLE
1	26	.00000	18.0000.10000E+07	650.3019	.00000		BORDE PERMEABLE
1	27	.00000	18.0000.10000E+07	650.3015	.00000		BORDE PERMEABLE
1	28	.00000	18.0000.10000E+07	650.2938	.00000		BORDE PERMEABLE
1	29	.00000	9.0000.10000E+07	650.1956	.00000		BORDE PERMEABLE
2	10	.00060	.0600.10000E-05	652.8317	-.13700		SUPERFICIE LIBRE
2	11	.18000	9.0000.10000E-05	651.6419	.00000		CALIZAS NEOG
2	12	.18000	18.0000.10000E-05	651.6292	.00000		CALIZAS NEOG
2	13	.18000	18.0000.10000E-05	651.6125	.00000		CALIZAS NEOG
2	14	.00060	9.0000.10000E-05	651.5727	.00000		CALIZAS NEOG
2	15	.00060	.0600.10000E-05	650.6284	.00000		SEMIPERM
2	16	.00060	.0600.10000E-05	650.0322	.00000		SEMIPERM
2	17	.00060	.0600.10000E-05	649.7545	.00000		SEMIPERM
2	18	.00060	.0600.10000E-05	649.6312	.00000		SEMIPERM
2	19	.00060	.0600.10000E-05	649.6664	.00000		SEMIPERM
2	20	.00060	.0600.10000E-05	649.8349	.00000		CALIZAS JURASICO
2	21	.00060	.0600.10000E-05	650.1204	.00000		CALIZAS JURASICO
2	22	.18000	9.0000.10000E-05	650.4666	.00000		CALIZAS JURASICO
2	23	.18000	18.0000.10000E-05	650.4684	.00000		CALIZAS JURASICO
2	24	.18000	18.0000.10000E-05	650.4689	.00000		CALIZAS JURASICO
2	25	.18000	18.0000.10000E-05	650.4687	.00000		CALIZAS JURASICO
2	26	.18000	18.0000.10000E-05	650.4682	.00000		CALIZAS JURASICO
2	27	.00060	18.0000.10000E-05	650.4678	.00000		CALIZAS JURASICO
2	28	.00060	18.0000.10000E-05	650.4556	.00000		CALIZAS JURASICO
2	29	.00000	9.0000.10000E-05	650.4105	.00000		CALIZAS JURASICO
3	9	.00060	.0600.10000E-05	655.2391	-.13700		SUPERFICIE LIBRE
3	10	.00060	.0600.10000E-05	654.0945	.00000		SEMIPERM
3	11	.18000	9.0000.10000E-05	652.9502	.00000		CALIZAS NEOG
3	12	.18000	18.0000.10000E-05	652.9432	.00000		CALIZAS NEOG
3	13	.18000	18.0000.10000E-05	652.9378	.00000		CALIZAS NEOG
3	14	.00060	9.0000.10000E-05	652.9322	.00000		CALIZAS NEOG
3	15	.00060	.0600.10000E-05	652.4491	.00000		SEMIPERM
3	16	.00060	.0600.10000E-05	651.9993	.00000		SEMIPERM
3	17	.00060	.0600.10000E-05	651.5970	.00000		SEMIPERM
3	18	.00060	.0600.10000E-05	651.2469	.00000		SEMIPERM
3	19	.00060	.0600.10000E-05	650.9512	.00000		SEMIPERM
3	20	.09000	9.0000.10000E-05	650.7090	.00000		CALIZAS JURASICO
3	21	.09000	18.0000.10000E-05	650.7007	.00000		CALIZAS JURASICO

3	22	.18000	18.0000.10000E-05	650.6790	.00000	CALIZAS JURASICO
3	23	.18000	18.0000.10000E-05	650.6656	.00000	CALIZAS JURASICO
3	24	.18000	18.0000.10000E-05	650.6533	.00000	CALIZAS JURASICO
3	25	.18000	18.0000.10000E-05	650.6422	.00000	CALIZAS JURASICO
3	26	.18000	18.0000.10000E-05	650.6327	.00000	CALIZAS JURASICO
3	27	.18000	18.0000.10000E-05	650.6253	.00000	CALIZAS JURASICO
3	28	.18000	18.0000.10000E-05	650.6202	.00000	CALIZAS JURASICO
3	29	.00000	9.0000.10000E-05	650.6179	.00000	CALIZAS JURASICO
4	9	.00060	.0600.10000E-05	656.3982	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
4	10	.00060	.0600.10000E-05	655.2509	.00000	SEMIPERM
4	11	.09000	.0600.10000E-05	654.0979	.00000	CALIZAS NEOG
4	12	.18000	9.0000.10000E-05	654.0909	.00000	CALIZAS NEOG
4	13	.18000	18.0000.10000E-05	654.0925	.00000	CALIZAS NEOG
4	14	.00060	9.0000.10000E-05	654.0924	.00000	CALIZAS NEOG
4	15	.00060	.0600.10000E-05	653.4353	.00000	SEMIPERM
4	16	.00060	.0600.10000E-05	652.7802	.00000	SEMIPERM
4	17	.00060	.0600.10000E-05	652.1341	.00000	SEMIPERM
4	18	.00060	.0600.10000E-05	651.5040	.00000	SEMIPERM
4	19	.09000	9.0000.10000E-05	650.8971	.00000	CALIZAS JURASICO
4	20	.18000	18.0000.10000E-05	650.8827	.00000	CALIZAS JURASICO
4	21	.18000	18.0000.10000E-05	650.8686	.00000	CALIZAS JURASICO
4	22	.18000	18.0000.10000E-05	650.8514	.00000	CALIZAS JURASICO
4	23	.18000	18.0000.10000E-05	650.8323	.00000	CALIZAS JURASICO
4	24	.09000	9.0000.10000E-05	650.8113	.00000	CALIZAS JURASICO
4	25	.09000	.0000.10000E-05	650.7727	.00000	CALIZAS JURASICO
4	26	.09000	.0000.10000E-05	650.7446	.00000	CALIZAS JURASICO
4	27	.09000	.0000.10000E-05	650.7254	.00000	CALIZAS JURASICO
4	28	.09000	.0000.10000E-05	650.7143	.00000	CALIZAS JURASICO
4	29	.00000	.00000.10000E-05	650.7106	.00000	CALIZAS JURASICO
5	8	.00060	.0600.10000E-05	660.9499	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
5	9	.00060	.0600.10000E-05	659.8108	.00000	SEMIPERM
5	10	.00060	.0600.10000E-05	658.6829	.00000	SEMIPERM
5	11	.00060	.0600.10000E-05	657.5662	.00000	SEMIPERM
5	12	.18000	9.0000.10000E-05	655.3671	.00000	CALIZAS NEOG
5	13	.18000	18.0000.10000E-05	655.3608	.00000	CALIZAS NEOG
5	14	.00060	9.0000.10000E-05	655.3539	.00000	CALIZAS NEOG
5	15	.00060	.0600.10000E-05	654.3686	.00000	SEMIPERM
5	16	.00060	.0600.10000E-05	653.3377	.00000	SEMIPERM
5	17	.00060	.0600.10000E-05	652.2722	.00000	SEMIPERM
5	18	.09000	9.0000.10000E-05	651.1782	.00000	CALIZAS JURASICO
5	19	.18000	18.0000.10000E-05	651.1577	.00000	CALIZAS JURASICO
5	20	.18000	18.0000.10000E-05	651.1389	.00000	CALIZAS JURASICO
5	21	.09000	9.0000.10000E-05	651.1155	.00000	CALIZAS JURASICO
5	22	.09000	.0000.10000E-05	651.0721	.00000	CALIZAS JURASICO
5	23	.09000	.0000.10000E-05	651.0461	.00000	CALIZAS JURASICO
5	24	.00000	.0000.10000E-05	651.0371	.00000	CALIZAS JURASICO
6	8	.00060	.0600.10000E-05	659.9119	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
6	9	.00060	.0600.10000E-05	658.7663	.00000	SEMIPERM
6	10	.00060	.0600.10000E-05	657.6169	.00000	SEMIPERM
6	11	.09000	9.0000.10000E-05	656.4636	.00000	CALIZAS NEOG
6	12	.18000	18.0000.10000E-05	656.4446	.00000	CALIZAS NEOG
6	13	.18000	18.0000.10000E-05	656.4356	.00000	CALIZAS NEOG
6	14	.09000	18.0000.10000E-05	656.4353	.00000	CALIZAS NEOG
6	15	.00060	9.0000.10000E-05	656.4408	.00000	CALIZAS NEOG
6	16	.00060	.0600.10000E-05	654.7618	.00000	SEMIPERM
6	17	.00060	.0600.10000E-05	653.1230	.00000	SEMIPERM
6	18	.18000	9.0000.10000E-05	651.5048	.00000	CALIZAS JURASICO
6	19	.18000	18.0000.10000E-05	651.5029	.00000	CALIZAS JURASICO
6	20	.18000	18.0000.10000E-05	651.5089	.00000	CALIZAS JURASICO
6	21	.09000	18.0000.10000E-05	651.5238	.00000	CALIZAS JURASICO
6	22	.09000	18.0000.10000E-05	651.5590	.00000	CALIZAS JURASICO
6	23	.09000	18.0000.10000E-05	651.5856	.00000	CALIZAS JURASICO
6	24	.09000	18.0000.10000E-05	651.6052	.00000	CALIZAS JURASICO
6	25	.09000	18.0000.10000E-05	651.6188	.00000	CALIZAS JURASICO
6	26	.09000	18.0000.10000E-05	651.6269	.00000	CALIZAS JURASICO

6	27	.00000	9.0000.10000E-05	651.6297	.00000	CALIZAS JURASICO
7	8	.00060	.0600.10000E-05	660.4280	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
7	9	.00060	.0600.10000E-05	659.2728	.00000	SEMIPERM
7	10	.00060	.0600.10000E-05	658.1083	.00000	SEMIPERM
7	11	.18000	9.0000.10000E-05	656.9391	.00000	CALIZAS NEOG
7	12	.18000	18.0000.10000E-05	656.9308	.00000	CALIZAS NEOG
7	13	.18000	18.0000.10000E-05	656.9214	.00000	CALIZAS NEOG
7	14	.09000	9.0000.10000E-05	656.9001	.00000	CALIZAS NEOG
7	15	.00060	.0600.10000E-05	656.8717	.00000	CALIZAS NEOG
7	16	.00060	.0600.10000E-05	655.1831	.00000	SEMIPERM
7	17	.00060	.0600.10000E-05	653.4560	.00000	SEMIPERM
7	18	.09000	.0600.10000E-05	651.6568	.00000	CALIZAS JURASICO
7	19	.09000	.0600.10000E-05	651.6502	.00000	CALIZAS JURASICO
7	20	.18000	9.0000.10000E-05	651.6548	.00000	CALIZAS JURASICO
7	21	.18000	18.0000.10000E-05	651.6605	.00000	CALIZAS JURASICO
7	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.6674	.00000	CALIZAS JURASICO
7	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.6744	.00000	CALIZAS JURASICO
7	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.6812	.00000	CALIZAS JURASICO
7	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.6876	.00000	CALIZAS JURASICO
7	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.6933	.00000	CALIZAS JURASICO
7	27	.09000	18.0000.10000E-05	651.6986	.00000	CALIZAS JURASICO
7	28	.09000	18.0000.10000E-05	651.7063	.00000	CALIZAS JURASICO
7	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.7088	.00000	CALIZAS JURASICO
8	5	.00060	.0600.10000E-05	680.5241	-.33700	SUPERFICIE LIBRE
8	6	.00060	.0600.10000E-05	672.0713	.00000	SEMIPERM
8	7	.00060	.0600.10000E-05	669.2351	.00000	SEMIPERM
8	8	.00060	.0600.10000E-05	666.3627	.00000	SEMIPERM
8	9	.00060	.0600.10000E-05	663.4645	.00000	SEMIPERM
8	10	.00060	.0600.10000E-05	660.5318	.00000	SEMIPERM
8	11	.09000	.0600.10000E-05	657.5556	.00000	CALIZAS NEOG
8	12	.09000	.0600.10000E-05	657.5194	.00000	CALIZAS NEOG
8	13	.09000	.0600.10000E-05	657.4937	.00000	CALIZAS NEOG
8	14	.00060	.0600.10000E-05	657.4731	.00000	CALIZAS NEOG
8	15	.00060	.0600.10000E-05	657.2381	.00000	SEMIPERM
8	16	.00060	.0600.10000E-05	656.5652	.00000	SEMIPERM
8	17	.00060	.0600.10000E-05	655.5904	.00000	SEMIPERM
8	18	.00060	.0600.10000E-05	654.4207	.00000	SEMIPERM
8	19	.00060	.0600.10000E-05	653.1465	.00000	SEMIPERM
8	20	.09000	.0600.10000E-05	651.7742	.00000	CALIZAS JURASICO
8	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.7692	.00000	CALIZAS JURASICO
8	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.7689	.00000	CALIZAS JURASICO
8	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.7688	.00000	CALIZAS JURASICO
8	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.7690	.00000	CALIZAS JURASICO
8	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.7693	.00000	CALIZAS JURASICO
8	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.7697	.00000	CALIZAS JURASICO
8	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.7702	.00000	CALIZAS JURASICO
8	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.7706	.00000	CALIZAS JURASICO
8	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.7708	.00000	CALIZAS JURASICO
9	3	.00060	.0600.10000E-05	688.3575	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
9	4	.00060	.0600.10000E-05	687.1987	.00000	SEMIPERM
9	5	.00060	.0600.10000E-05	686.0399	.00000	SEMIPERM
9	6	.00060	.0600.10000E-05	684.8866	.00000	SEMIPERM
9	7	.00060	.0600.10000E-05	683.7333	.00000	SEMIPERM
9	8	.00060	.0600.10000E-05	682.5942	.00000	SEMIPERM
9	9	.00060	.0600.10000E-05	681.4740	.00000	SEMIPERM
9	10	.00060	.0600.10000E-05	680.3772	.00000	SEMIPERM
9	11	.00060	.0600.10000E-05	679.3086	.00000	CALIZAS NEOG
9	12	.00060	.0600.10000E-05	677.2712	.00000	CALIZAS NEOG
9	13	.00060	.0600.10000E-05	675.3494	.00000	CALIZAS NEOG
9	14	.00060	.0600.10000E-05	671.8048	.00000	SEMIPERM
9	15	.00060	.0600.10000E-05	668.5492	.00000	SEMIPERM
9	16	.00060	.0600.10000E-05	665.4978	.00000	SEMIPERM
9	17	.00060	.0600.10000E-05	662.5938	.00000	SEMIPERM
9	18	.00060	.0600.10000E-05	659.7995	.00000	SEMIPERM
9	19	.00060	.0600.10000E-05	657.0905	.00000	SEMIPERM

9	20	.00060	.0600.10000E-05	654.4507	.00000	SEMIPERM
9	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.8715	.00000	CALIZAS JURASICO
9	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.8636	.00000	CALIZAS JURASICO
9	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.8570	.00000	CALIZAS JURASICO
9	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.8517	.00000	CALIZAS JURASICO
9	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.8474	.00000	CALIZAS JURASICO
9	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.8441	.00000	CALIZAS JURASICO
9	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8418	.00000	CALIZAS JURASICO
9	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.8404	.00000	CALIZAS JURASICO
9	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.8400	.00000	CALIZAS JURASICO
10	1	.00060	.0600.10000E-05	695.2126	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
10	2	.00060	.0600.10000E-05	695.0944	.00000	SEMIPERM
10	3	.00060	.0600.10000E-05	694.9706	.00000	SEMIPERM
10	4	.00060	.0600.10000E-05	695.0944	.00000	SEMIPERM
10	5	.00060	.0600.10000E-05	694.9706	.00000	SEMIPERM
10	6	.00060	.0600.10000E-05	693.7485	.00000	SEMIPERM
10	7	.00060	.0600.10000E-05	692.5205	.00000	SEMIPERM
10	8	.00060	.0600.10000E-05	691.3083	.00000	SEMIPERM
10	9	.00060	.0600.10000E-05	690.1115	.00000	SEMIPERM
10	10	.00060	.0600.10000E-05	688.9297	.00000	SEMIPERM
10	11	.00060	.0600.10000E-05	687.7625	.00000	CALIZAS NEOG
10	12	.00060	.0600.10000E-05	685.4709	.00000	CALIZAS NEOG
10	13	.00060	.0600.10000E-05	683.2332	.00000	CALIZAS NEOG
10	14	.00060	.0600.10000E-05	678.9090	.00000	SEMIPERM
10	15	.00060	.0600.10000E-05	674.7567	.00000	SEMIPERM
10	16	.00060	.0600.10000E-05	670.7469	.00000	SEMIPERM
10	17	.00060	.0600.10000E-05	666.8519	.00000	SEMIPERM
10	18	.00060	.0600.10000E-05	663.0461	.00000	SEMIPERM
10	19	.00060	.0600.10000E-05	659.3060	.00000	SEMIPERM
10	20	.00060	.0600.10000E-05	655.6099	.00000	SEMIPERM
10	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.9367	.00000	CALIZAS JURASICO
10	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.9252	.00000	CALIZAS JURASICO
10	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.9150	.00000	CALIZAS JURASICO
10	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.9063	.00000	CALIZAS JURASICO
10	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.8991	.00000	CALIZAS JURASICO
10	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.8933	.00000	CALIZAS JURASICO
10	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8892	.00000	CALIZAS JURASICO
10	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.8867	.00000	CALIZAS JURASICO
10	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.8858	.00000	CALIZAS JURASICO
11	1	.00060	.0600.10000E-05	697.7282	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
11	2	.00060	.0600.10000E-05	697.6125	.00000	SEMIPERM
11	3	.00060	.0600.10000E-05	697.4937	.00000	SEMIPERM
11	4	.00060	.0600.10000E-05	697.3774	.00000	SEMIPERM
11	5	.00060	.0600.10000E-05	697.2637	.00000	SEMIPERM
11	6	.00060	.0600.10000E-05	696.1295	.00000	SEMIPERM
11	7	.00060	.0600.10000E-05	694.9982	.00000	SEMIPERM
11	8	.00060	.0600.10000E-05	693.8701	.00000	SEMIPERM
11	9	.00060	.0600.10000E-05	692.7455	.00000	SEMIPERM
11	10	.00060	.0600.10000E-05	691.6246	.00000	SEMIPERM
11	11	.00060	.0600.10000E-05	690.5074	.00000	SEMIPERM
11	12	.00060	.0600.10000E-05	688.2851	.00000	SEMIPERM
11	13	.00060	.0600.10000E-05	686.0788	.00000	SEMIPERM
11	14	.00060	.0600.10000E-05	681.7134	.00000	SEMIPERM
11	15	.00060	.0600.10000E-05	677.4008	.00000	SEMIPERM
11	16	.00060	.0600.10000E-05	673.1275	.00000	SEMIPERM
11	17	.00060	.0600.10000E-05	668.8805	.00000	SEMIPERM
11	18	.00060	.0600.10000E-05	664.6485	.00000	SEMIPERM
11	19	.00060	.0600.10000E-05	660.4220	.00000	SEMIPERM
11	20	.00060	.0600.10000E-05	656.1948	.00000	SEMIPERM
11	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.9655	.00000	CALIZAS JURASICO
11	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.9512	.00000	CALIZAS JURASICO
11	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.9370	.00000	CALIZAS JURASICO
11	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.9238	.00000	CALIZAS JURASICO
11	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.9122	.00000	CALIZAS JURASICO
11	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.9025	.00000	CALIZAS JURASICO

11	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8952	.00000	CALIZAS JURASICO
11	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.8906	.00000	CALIZAS JURASICO
11	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.8890	.00000	CALIZAS JURASICO
12	1	.00060	.0600.10000E-05	698.9758	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
12	2	.00060	.0600.10000E-05	698.8609	.00000	SEMIPERM
12	3	.00060	.0600.10000E-05	698.7440	.00000	SEMIPERM
12	4	.00060	.0600.10000E-05	698.6249	.00000	SEMIPERM
12	5	.00060	.0600.10000E-05	698.5080	.00000	SEMIPERM
12	6	.00060	.0600.10000E-05	697.3466	.00000	SEMIPERM
12	7	.00060	.0600.10000E-05	696.1916	.00000	SEMIPERM
12	8	.00060	.0600.10000E-05	695.0453	.00000	SEMIPERM
12	9	.00060	.0600.10000E-05	693.9095	.00000	SEMIPERM
12	10	.00060	.0600.10000E-05	692.7841	.00000	SEMIPERM
12	11	.00060	.0600.10000E-05	691.6711	.00000	SEMIPERM
12	12	.00060	.0600.10000E-05	689.4892	.00000	SEMIPERM
12	13	.00060	.0600.10000E-05	687.3545	.00000	SEMIPERM
12	14	.00060	.0600.10000E-05	683.1953	.00000	SEMIPERM
12	15	.00060	.0600.10000E-05	679.0653	.00000	SEMIPERM
12	16	.00060	.0600.10000E-05	674.8473	.00000	SEMIPERM
12	17	.00060	.0600.10000E-05	670.5348	.00000	SEMIPERM
12	18	.00060	.0600.10000E-05	666.1126	.00000	SEMIPERM
12	19	.00060	.0600.10000E-05	661.5564	.00000	SEMIPERM
12	20	.00060	.0600.10000E-05	656.8310	.00000	SEMIPERM
12	21	.18000	9.0000.10000E-05	652.0069	.00000	CALIZAS JURASICO
12	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.9715	.00000	CALIZAS JURASICO
12	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.9349	.00000	CALIZAS JURASICO
12	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.9028	.00000	CALIZAS JURASICO
12	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.8752	.00000	CALIZAS JURASICO
12	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.8521	.00000	CALIZAS JURASICO
12	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8335	.00000	CALIZAS JURASICO
12	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.8193	.00000	CALIZAS JURASICO
12	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.8104	.00000	CALIZAS JURASICO
13	1	.00000	.0600.10000E+07	700.8809	.00000	BORDE PERMEABLE
13	2	.00000	.0600.10000E+07	700.8745	.00000	BORDE PERMEABLE
13	3	.00000	.0600.10000E+07	700.8680	.00000	BORDE PERMEABLE
13	4	.00000	.0600.10000E+07	698.9713	.00000	BORDE PERMEABLE
13	5	.00000	.0600.10000E+07	697.0007	.00000	BORDE PERMEABLE
13	6	.00000	.0600.10000E+07	695.9488	.00000	BORDE PERMEABLE
13	7	.00000	.0600.10000E+07	693.9561	.00000	BORDE PERMEABLE
13	8	.00000	.0600.10000E+07	691.9593	.00000	BORDE PERMEABLE
13	9	.00000	.0600.10000E+07	690.9599	.00000	BORDE PERMEABLE
13	10	.00000	.0600.10000E+07	688.9633	.00000	BORDE PERMEABLE
13	11	.00000	.0600.10000E+07	686.9671	.00000	BORDE PERMEABLE
13	12	.00000	.0600.10000E+07	685.9606	.00000	BORDE PERMEABLE
13	13	.00000	.0600.10000E+07	684.9619	.00000	BORDE PERMEABLE
13	14	.00000	.0600.10000E+07	683.9459	.00000	BORDE PERMEABLE
13	15	.00000	.0600.10000E+07	682.9305	.00000	BORDE PERMEABLE
13	16	.00000	.0600.10000E+07	678.9300	.00000	BORDE PERMEABLE
13	17	.00000	.0600.10000E+07	674.9289	.00000	BORDE PERMEABLE
13	18	.00000	.0600.10000E+07	670.9271	.00000	BORDE PERMEABLE
13	19	.00000	.0600.10000E+07	666.9235	.00000	BORDE PERMEABLE
13	20	.00000	.0600.10000E+07	659.9302	.00000	BORDE PERMEABLE
13	21	.00000	.0600.10000E+07	653.0163	.00000	BORDE PERMEABLE
13	22	.00000	.0600.10000E+07	652.0215	.00000	BORDE PERMEABLE
13	23	.00000	.0600.10000E+07	651.8196	.00000	BORDE PERMEABLE
13	24	.00000	.0600.10000E+07	651.7677	.00000	BORDE PERMEABLE
13	25	.00000	.0600.10000E+07	651.7249	.00000	BORDE PERMEABLE
13	26	.00000	.0600.10000E+07	651.6903	.00000	BORDE PERMEABLE
13	27	.00000	.0600.10000E+07	651.6634	.00000	BORDE PERMEABLE
13	28	.00000	.0600.10000E+07	651.6133	.00000	BORDE PERMEABLE
13	29	.00000	.0600.10000E+07	651.2871	.00000	BORDE PERMEABLE

DELTA-X
1000.
1000.

1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
DELTA-Y
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
10.
10.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.

B61.DAT BARRAX: OBTENCION DE LA SUPERFICIE LIBRE PARTIENDO DE LA RECARGA

NSTEPS	DELTA	ERROR	KOD1	KOD2	KOD3	KOD4	KOD5	KOD6	KOD7
20	365E+03	.10000	0	1	1	1	1	1	1

NC	NR	PP1	PP2	S1	HH	QQ
13	30	.00000	.00000.10000E-05	000.00000		.00000

28 =NT: NUMERO DE CATEGORIAS./ SIMBOLOS: 16(4X,A1)/ NIVELES: 16(F5.0)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	a	b				

690. 689. 688. 687. 686. 685. 684. 683. 682. 681. 679. 678. 677. 676. 675. 674.
672. 671. 670. 669. 668. 667. 666. 664. 662. 660. 658. 654. 650.

I	J	P1	P2	S	H	Q	
1	9	.00000	.00000.10000E+07	670.8904	.00000		BORDE PERMEABLE
1	10	.00000	.06000.10000E+07	670.8180	.00000		BORDE PERMEABLE
1	11	.00000	9.0000.10000E+07	651.6133	.00000		BORDE PERMEABLE
1	12	.00000	18.0000.10000E+07	650.7112	.00000		BORDE PERMEABLE
1	13	.00000	18.0000.10000E+07	650.5115	.00000		BORDE PERMEABLE
1	14	.00000	9.0000.10000E+07	648.3885	.00000		BORDE PERMEABLE
1	15	.00000	.0600.10000E+07	640.1041	.00000		BORDE PERMEABLE
1	16	.00000	.0600.10000E+07	640.1002	.00000		BORDE PERMEABLE
1	17	.00000	.0600.10000E+07	644.0542	.00000		BORDE PERMEABLE
1	18	.00000	.0600.10000E+07	644.0549	.00000		BORDE PERMEABLE
1	19	.00000	.0600.10000E+07	645.0460	.00000		BORDE PERMEABLE
1	20	.00000	.0600.10000E+07	646.0382	.00000		BORDE PERMEABLE
1	21	.00000	.0600.10000E+07	648.0201	.00000		BORDE PERMEABLE
1	22	.00000	9.0000.10000E+07	650.2241	.00000		BORDE PERMEABLE
1	23	.00000	18.0000.10000E+07	650.3029	.00000		BORDE PERMEABLE
1	24	.00000	18.0000.10000E+07	650.3033	.00000		BORDE PERMEABLE
1	25	.00000	18.0000.10000E+07	650.3031	.00000		BORDE PERMEABLE
1	26	.00000	18.0000.10000E+07	650.3027	.00000		BORDE PERMEABLE
1	27	.00000	18.0000.10000E+07	650.3023	.00000		BORDE PERMEABLE
1	28	.00000	18.0000.10000E+07	650.2946	.00000		BORDE PERMEABLE
1	29	.00000	9.0000.10000E+07	650.1961	.00000		BORDE PERMEABLE
2	10	.00060	.0600.10000E-05	652.9597	-.13700		SUPERFICIE LIBRE
2	11	.18000	9.0000.10000E-05	651.7699	.00000		CALIZAS NEOG
2	12	.18000	18.0000.10000E-05	651.7572	.00000		CALIZAS NEOG
2	13	.18000	18.0000.10000E-05	651.7406	.00000		CALIZAS NEOG
2	14	.00060	9.0000.10000E-05	651.7008	.00000		CALIZAS NEOG
2	15	.00060	.0600.10000E-05	650.7364	.00000		SEMIPERM
2	16	.00060	.0600.10000E-05	650.1205	.00000		SEMIPERM
2	17	.00060	.0600.10000E-05	649.8240	.00000		SEMIPERM
2	18	.00060	.0600.10000E-05	649.6827	.00000		SEMIPERM
2	19	.00060	.0600.10000E-05	649.7011	.00000		SEMIPERM
2	20	.00060	.0600.10000E-05	649.8546	.00000		CALIZAS JURASICO
2	21	.00060	.0600.10000E-05	650.1271	.00000		CALIZAS JURASICO
2	22	.18000	9.0000.10000E-05	650.4614	.00000		CALIZAS JURASICO
2	23	.18000	18.0000.10000E-05	650.4631	.00000		CALIZAS JURASICO
2	24	.18000	18.0000.10000E-05	650.4637	.00000		CALIZAS JURASICO
2	25	.18000	18.0000.10000E-05	650.4635	.00000		CALIZAS JURASICO
2	26	.18000	18.0000.10000E-05	650.4630	.00000		CALIZAS JURASICO
2	27	.00060	18.0000.10000E-05	650.4627	.00000		CALIZAS JURASICO
2	28	.00060	18.0000.10000E-05	650.4507	.00000		CALIZAS JURASICO
2	29	.00000	9.0000.10000E-05	650.4055	.00000		CALIZAS JURASICO
3	9	.00060	.0600.10000E-05	655.4908	-.13700		SUPERFICIE LIBRE
3	10	.00060	.0600.10000E-05	654.3459	.00000		SEMIPERM
3	11	.18000	9.0000.10000E-05	653.2013	.00000		CALIZAS NEOG
3	12	.18000	18.0000.10000E-05	653.1943	.00000		CALIZAS NEOG
3	13	.18000	18.0000.10000E-05	653.1889	.00000		CALIZAS NEOG
3	14	.00060	9.0000.10000E-05	653.1832	.00000		CALIZAS NEOG
3	15	.00060	.0600.10000E-05	652.6544	.00000		SEMIPERM
3	16	.00060	.0600.10000E-05	652.1591	.00000		SEMIPERM
3	17	.00060	.0600.10000E-05	651.7119	.00000		SEMIPERM
3	18	.00060	.0600.10000E-05	651.3179	.00000		SEMIPERM
3	19	.00060	.0600.10000E-05	650.9796	.00000		SEMIPERM
3	20	.09000	9.0000.10000E-05	650.6964	.00000		CALIZAS JURASICO
3	21	.09000	18.0000.10000E-05	650.6881	.00000		CALIZAS JURASICO

3	22	.18000	18.0000.10000E-05	650.6669	.00000	CALIZAS JURASICO
3	23	.18000	18.0000.10000E-05	650.6538	.00000	CALIZAS JURASICO
3	24	.18000	18.0000.10000E-05	650.6419	.00000	CALIZAS JURASICO
3	25	.18000	18.0000.10000E-05	650.6310	.00000	CALIZAS JURASICO
3	26	.18000	18.0000.10000E-05	650.6217	.00000	CALIZAS JURASICO
3	27	.18000	18.0000.10000E-05	650.6145	.00000	CALIZAS JURASICO
3	28	.18000	18.0000.10000E-05	650.6096	.00000	CALIZAS JURASICO
3	29	.00000	9.0000.10000E-05	650.6073	.00000	CALIZAS JURASICO
4	9	.00060	.0600.10000E-05	656.7731	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
4	10	.00060	.0600.10000E-05	655.6257	.00000	SEMIPERM
4	11	.09000	.0600.10000E-05	654.4725	.00000	CALIZAS NEOG
4	12	.18000	9.0000.10000E-05	654.4665	.00000	CALIZAS NEOG
4	13	.18000	18.0000.10000E-05	654.4689	.00000	CALIZAS NEOG
4	14	.00060	9.0000.10000E-05	654.4693	.00000	CALIZAS NEOG
4	15	.00060	.0600.10000E-05	653.7324	.00000	SEMIPERM
4	16	.00060	.0600.10000E-05	652.9969	.00000	SEMIPERM
4	17	.00060	.0600.10000E-05	652.2704	.00000	SEMIPERM
4	18	.00060	.0600.10000E-05	651.5614	.00000	SEMIPERM
4	19	.09000	9.0000.10000E-05	650.8786	.00000	CALIZAS JURASICO
4	20	.18000	18.0000.10000E-05	650.8640	.00000	CALIZAS JURASICO
4	21	.18000	18.0000.10000E-05	650.8502	.00000	CALIZAS JURASICO
4	22	.18000	18.0000.10000E-05	650.8334	.00000	CALIZAS JURASICO
4	23	.18000	18.0000.10000E-05	650.8148	.00000	CALIZAS JURASICO
4	24	.09000	9.0000.10000E-05	650.7944	.00000	CALIZAS JURASICO
4	25	.09000	.0000.10000E-05	650.7570	.00000	CALIZAS JURASICO
4	26	.09000	.0000.10000E-05	650.7298	.00000	CALIZAS JURASICO
4	27	.09000	.0000.10000E-05	650.7112	.00000	CALIZAS JURASICO
4	28	.09000	.0000.10000E-05	650.7004	.00000	CALIZAS JURASICO
4	29	.00000	.00000.10000E-05	650.6968	.00000	CALIZAS JURASICO
5	8	.00060	.0600.10000E-05	661.4950	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
5	9	.00060	.0600.10000E-05	660.3555	.00000	SEMIPERM
5	10	.00060	.0600.10000E-05	659.2272	.00000	SEMIPERM
5	11	.00060	.0600.10000E-05	658.1100	.00000	SEMIPERM
5	12	.18000	9.0000.10000E-05	655.9100	.00000	CALIZAS NEOG
5	13	.18000	18.0000.10000E-05	655.9037	.00000	CALIZAS NEOG
5	14	.00060	9.0000.10000E-05	655.8965	.00000	CALIZAS NEOG
5	15	.00060	.0600.10000E-05	654.7781	.00000	SEMIPERM
5	16	.00060	.0600.10000E-05	653.6063	.00000	SEMIPERM
5	17	.00060	.0600.10000E-05	652.3942	.00000	SEMIPERM
5	18	.09000	9.0000.10000E-05	651.1498	.00000	CALIZAS JURASICO
5	19	.18000	18.0000.10000E-05	651.1290	.00000	CALIZAS JURASICO
5	20	.18000	18.0000.10000E-05	651.1104	.00000	CALIZAS JURASICO
5	21	.09000	9.0000.10000E-05	651.0877	.00000	CALIZAS JURASICO
5	22	.09000	.0000.10000E-05	651.0458	.00000	CALIZAS JURASICO
5	23	.09000	.0000.10000E-05	651.0208	.00000	CALIZAS JURASICO
5	24	.00000	.0000.10000E-05	651.0120	.00000	CALIZAS JURASICO
6	8	.00060	.0600.10000E-05	660.6286	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
6	9	.00060	.0600.10000E-05	659.4832	.00000	SEMIPERM
6	10	.00060	.0600.10000E-05	658.3342	.00000	SEMIPERM
6	11	.09000	9.0000.10000E-05	657.1814	.00000	CALIZAS NEOG
6	12	.18000	18.0000.10000E-05	657.1617	.00000	CALIZAS NEOG
6	13	.18000	18.0000.10000E-05	657.1522	.00000	CALIZAS NEOG
6	14	.09000	18.0000.10000E-05	657.1532	.00000	CALIZAS NEOG
6	15	.00060	9.0000.10000E-05	657.1604	.00000	CALIZAS NEOG
6	16	.00060	.0600.10000E-05	655.2213	.00000	SEMIPERM
6	17	.00060	.0600.10000E-05	653.3287	.00000	SEMIPERM
6	18	.18000	9.0000.10000E-05	651.4601	.00000	CALIZAS JURASICO
6	19	.18000	18.0000.10000E-05	651.4573	.00000	CALIZAS JURASICO
6	20	.18000	18.0000.10000E-05	651.4620	.00000	CALIZAS JURASICO
6	21	.09000	18.0000.10000E-05	651.4754	.00000	CALIZAS JURASICO
6	22	.09000	18.0000.10000E-05	651.5076	.00000	CALIZAS JURASICO
6	23	.09000	18.0000.10000E-05	651.5319	.00000	CALIZAS JURASICO
6	24	.09000	18.0000.10000E-05	651.5498	.00000	CALIZAS JURASICO
6	25	.09000	18.0000.10000E-05	651.5622	.00000	CALIZAS JURASICO
6	26	.09000	18.0000.10000E-05	651.5696	.00000	CALIZAS JURASICO

6	27	.00000	9.0000.10000E-05	651.5721	.00000	CALIZAS JURASICO
7	8	.00060	.0600.10000E-05	661.2401	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
7	9	.00060	.0600.10000E-05	660.0862	.00000	SEMIPERM
7	10	.00060	.0600.10000E-05	658.9241	.00000	SEMIPERM
7	11	.18000	9.0000.10000E-05	657.7577	.00000	CALIZAS NEOG
7	12	.18000	18.0000.10000E-05	657.7492	.00000	CALIZAS NEOG
7	13	.18000	18.0000.10000E-05	657.7393	.00000	CALIZAS NEOG
7	14	.09000	9.0000.10000E-05	657.7147	.00000	CALIZAS NEOG
7	15	.00060	.0600.10000E-05	657.6805	.00000	CALIZAS NEOG
7	16	.00060	.0600.10000E-05	655.6748	.00000	SEMIPERM
7	17	.00060	.0600.10000E-05	653.6624	.00000	SEMIPERM
7	18	.09000	.0600.10000E-05	651.6040	.00000	CALIZAS JURASICO
7	19	.09000	.0600.10000E-05	651.5954	.00000	CALIZAS JURASICO
7	20	.18000	9.0000.10000E-05	651.5976	.00000	CALIZAS JURASICO
7	21	.18000	18.0000.10000E-05	651.6020	.00000	CALIZAS JURASICO
7	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.6076	.00000	CALIZAS JURASICO
7	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.6137	.00000	CALIZAS JURASICO
7	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.6196	.00000	CALIZAS JURASICO
7	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.6253	.00000	CALIZAS JURASICO
7	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.6304	.00000	CALIZAS JURASICO
7	27	.09000	18.0000.10000E-05	651.6353	.00000	CALIZAS JURASICO
7	28	.09000	18.0000.10000E-05	651.6422	.00000	CALIZAS JURASICO
7	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.6445	.00000	CALIZAS JURASICO
8	5	.00060	.0000.10000E-05	677.9233	-.33700	SUPERFICIE LIBRE
8	6	.00060	.0000.10000E-05	672.3066	.00000	SEMIPERM
8	7	.00060	.0600.10000E-05	669.5151	.00000	SEMIPERM
8	8	.00060	.0600.10000E-05	666.7366	.00000	SEMIPERM
8	9	.00060	.0600.10000E-05	663.9811	.00000	SEMIPERM
8	10	.00060	.0600.10000E-05	661.2409	.00000	SEMIPERM
8	11	.18000	9.0000.10000E-05	658.5089	.00000	CALIZAS NEOG
8	12	.18000	18.0000.10000E-05	658.4923	.00000	CALIZAS NEOG
8	13	.18000	18.0000.10000E-05	658.4799	.00000	CALIZAS NEOG
8	14	.00060	9.0000.10000E-05	658.4678	.00000	CALIZAS NEOG
8	15	.00060	.0600.10000E-05	657.4102	.00000	SEMIPERM
8	16	.00060	.0600.10000E-05	656.2972	.00000	SEMIPERM
8	17	.00060	.0600.10000E-05	655.1470	.00000	SEMIPERM
8	18	.00060	.0600.10000E-05	653.9864	.00000	SEMIPERM
8	19	.00060	.0600.10000E-05	652.8512	.00000	SEMIPERM
8	20	.09000	.0600.10000E-05	651.7017	.00000	CALIZAS JURASICO
8	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.6979	.00000	CALIZAS JURASICO
8	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.6980	.00000	CALIZAS JURASICO
8	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.6984	.00000	CALIZAS JURASICO
8	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.6989	.00000	CALIZAS JURASICO
8	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.6996	.00000	CALIZAS JURASICO
8	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.7003	.00000	CALIZAS JURASICO
8	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.7009	.00000	CALIZAS JURASICO
8	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.7014	.00000	CALIZAS JURASICO
8	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.7016	.00000	CALIZAS JURASICO
9	7	.00060	.0600.10000E-05	665.5561	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
9	8	.00060	.0600.10000E-05	661.7104	.00000	SEMIPERM
9	9	.00060	.0600.10000E-05	661.7104	.00000	SEMIPERM
9	10	.00060	.0600.10000E-05	660.3009	.00000	SEMIPERM
9	11	.09000	.0600.10000E-05	658.8329	.00000	CALIZAS NEOG
9	12	.09000	.0600.10000E-05	658.8146	.00000	CALIZAS NEOG
9	13	.09000	.0600.10000E-05	658.8014	.00000	CALIZAS NEOG
9	14	.00060	.0600.10000E-05	658.7906	.00000	SEMIPERM
9	15	.00060	.0600.10000E-05	658.5253	.00000	SEMIPERM
9	16	.00060	.0600.10000E-05	657.8516	.00000	SEMIPERM
9	17	.00060	.0600.10000E-05	656.8910	.00000	SEMIPERM
9	18	.00060	.0600.10000E-05	655.7367	.00000	SEMIPERM
9	19	.00060	.0600.10000E-05	654.4622	.00000	SEMIPERM
9	20	.00060	.0600.10000E-05	653.1277	.00000	SEMIPERM
9	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.7869	.00000	CALIZAS JURASICO
9	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.7827	.00000	CALIZAS JURASICO
9	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.7791	.00000	CALIZAS JURASICO

9	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.7760	.00000	CALIZAS JURASICO
9	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.7735	.00000	CALIZAS JURASICO
9	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.7715	.00000	CALIZAS JURASICO
9	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.7701	.00000	CALIZAS JURASICO
9	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.7693	.00000	CALIZAS JURASICO
9	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.7690	.00000	CALIZAS JURASICO
10	2	.00060	.0600.10000E-05	689.6395	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
10	3	.00060	.0600.10000E-05	689.5130	.00000	SEMIPERM
10	4	.00060	.0600.10000E-05	689.5130	.00000	SEMIPERM
10	5	.00060	.0600.10000E-05	689.3741	.00000	SEMIPERM
10	6	.00060	.0600.10000E-05	687.9728	.00000	SEMIPERM
10	7	.00060	.0600.10000E-05	686.6145	.00000	SEMIPERM
10	8	.00060	.0600.10000E-05	685.2982	.00000	SEMIPERM
10	9	.00060	.0600.10000E-05	684.0233	.00000	SEMIPERM
10	10	.00060	.0600.10000E-05	682.7897	.00000	SEMIPERM
10	11	.00060	.0600.10000E-05	681.5973	.00000	CALIZAS NEOG
10	12	.00060	.0600.10000E-05	679.3380	.00000	CALIZAS NEOG
10	13	.00060	.0600.10000E-05	677.2225	.00000	CALIZAS NEOG
10	14	.00060	.0600.10000E-05	673.3605	.00000	SEMIPERM
10	15	.00060	.0600.10000E-05	669.8491	.00000	SEMIPERM
10	16	.00060	.0600.10000E-05	666.5804	.00000	SEMIPERM
10	17	.00060	.0600.10000E-05	663.4785	.00000	SEMIPERM
10	18	.00060	.0600.10000E-05	660.4901	.00000	SEMIPERM
10	19	.00060	.0600.10000E-05	657.5763	.00000	SEMIPERM
10	20	.00060	.0600.10000E-05	654.7085	.00000	SEMIPERM
10	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.8631	.00000	CALIZAS JURASICO
10	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.8542	.00000	CALIZAS JURASICO
10	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.8462	.00000	CALIZAS JURASICO
10	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.8393	.00000	CALIZAS JURASICO
10	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.8336	.00000	CALIZAS JURASICO
10	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.8289	.00000	CALIZAS JURASICO
10	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8256	.00000	CALIZAS JURASICO
10	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.8236	.00000	CALIZAS JURASICO
10	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.8229	.00000	CALIZAS JURASICO
11	1	.00060	.0600.10000E-05	694.8216	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
11	2	.00060	.0600.10000E-05	694.7039	.00000	SEMIPERM
11	3	.00060	.0600.10000E-05	694.5793	.00000	SEMIPERM
11	4	.00060	.0600.10000E-05	694.4601	.00000	SEMIPERM
11	5	.00060	.0600.10000E-05	694.3462	.00000	SEMIPERM
11	6	.00060	.0600.10000E-05	693.2129	.00000	SEMIPERM
11	7	.00060	.0600.10000E-05	692.0857	.00000	SEMIPERM
11	8	.00060	.0600.10000E-05	690.9653	.00000	SEMIPERM
11	9	.00060	.0600.10000E-05	689.8521	.00000	SEMIPERM
11	10	.00060	.0600.10000E-05	688.7466	.00000	SEMIPERM
11	11	.00060	.0600.10000E-05	687.6491	.00000	SEMIPERM
11	12	.00060	.0600.10000E-05	685.4788	.00000	SEMIPERM
11	13	.00060	.0600.10000E-05	683.3421	.00000	SEMIPERM
11	14	.00060	.0600.10000E-05	679.1671	.00000	SEMIPERM
11	15	.00060	.0600.10000E-05	675.1064	.00000	SEMIPERM
11	16	.00060	.0600.10000E-05	671.1361	.00000	SEMIPERM
11	17	.00060	.0600.10000E-05	667.2327	.00000	SEMIPERM
11	18	.00060	.0600.10000E-05	663.3749	.00000	SEMIPERM
11	19	.00060	.0600.10000E-05	659.5443	.00000	SEMIPERM
11	20	.00060	.0600.10000E-05	655.7266	.00000	SEMIPERM
11	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.9135	.00000	CALIZAS JURASICO
11	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.9004	.00000	CALIZAS JURASICO
11	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.8875	.00000	CALIZAS JURASICO
11	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.8753	.00000	CALIZAS JURASICO
11	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.8645	.00000	CALIZAS JURASICO
11	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.8555	.00000	CALIZAS JURASICO
11	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8486	.00000	CALIZAS JURASICO
11	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.8443	.00000	CALIZAS JURASICO
11	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.8428	.00000	CALIZAS JURASICO
12	1	.00060	.0600.10000E-05	697.6059	-.13700	SUPERFICIE LIBRE
12	2	.00060	.0600.10000E-05	697.4911	.00000	SEMIPERM

12	3	.00060	.0600.10000E-05	697.3748	.00000	SEMIPERM
12	4	.00060	.0600.10000E-05	697.2568	.00000	SEMIPERM
12	5	.00060	.0600.10000E-05	697.1415	.00000	SEMIPERM
12	6	.00060	.0600.10000E-05	695.9958	.00000	SEMIPERM
12	7	.00060	.0600.10000E-05	694.8572	.00000	SEMIPERM
12	8	.00060	.0600.10000E-05	693.7277	.00000	SEMIPERM
12	9	.00060	.0600.10000E-05	692.6096	.00000	SEMIPERM
12	10	.00060	.0600.10000E-05	691.5025	.00000	SEMIPERM
12	11	.00060	.0600.10000E-05	690.4086	.00000	SEMIPERM
12	12	.00060	.0600.10000E-05	688.2674	.00000	SEMIPERM
12	13	.00060	.0600.10000E-05	686.1772	.00000	SEMIPERM
12	14	.00060	.0600.10000E-05	682.1182	.00000	SEMIPERM
12	15	.00060	.0600.10000E-05	678.1041	.00000	SEMIPERM
12	16	.00060	.0600.10000E-05	674.0169	.00000	SEMIPERM
12	17	.00060	.0600.10000E-05	669.8483	.00000	SEMIPERM
12	18	.00060	.0600.10000E-05	665.5812	.00000	SEMIPERM
12	19	.00060	.0600.10000E-05	661.1885	.00000	SEMIPERM
12	20	.00060	.0600.10000E-05	656.6322	.00000	SEMIPERM
12	21	.18000	9.0000.10000E-05	651.9802	.00000	CALIZAS JURASICO
12	22	.18000	18.0000.10000E-05	651.9453	.00000	CALIZAS JURASICO
12	23	.18000	18.0000.10000E-05	651.9092	.00000	CALIZAS JURASICO
12	24	.18000	18.0000.10000E-05	651.8776	.00000	CALIZAS JURASICO
12	25	.18000	18.0000.10000E-05	651.8505	.00000	CALIZAS JURASICO
12	26	.18000	18.0000.10000E-05	651.8277	.00000	CALIZAS JURASICO
12	27	.18000	18.0000.10000E-05	651.8094	.00000	CALIZAS JURASICO
12	28	.18000	18.0000.10000E-05	651.7953	.00000	CALIZAS JURASICO
12	29	.00000	9.0000.10000E-05	651.7864	.00000	CALIZAS JURASICO
13	1	.00000	.0600.10000E+07	700.8802	.00000	BORDE PERMEABLE
13	2	.00000	.0600.10000E+07	700.8738	.00000	BORDE PERMEABLE
13	3	.00000	.0600.10000E+07	700.8673	.00000	BORDE PERMEABLE
13	4	.00000	.0600.10000E+07	698.9709	.00000	BORDE PERMEABLE
13	5	.00000	.0600.10000E+07	697.0007	.00000	BORDE PERMEABLE
13	6	.00000	.0600.10000E+07	695.9488	.00000	BORDE PERMEABLE
13	7	.00000	.0600.10000E+07	693.9561	.00000	BORDE PERMEABLE
13	8	.00000	.0600.10000E+07	691.9593	.00000	BORDE PERMEABLE
13	9	.00000	.0600.10000E+07	690.9599	.00000	BORDE PERMEABLE
13	10	.00000	.0600.10000E+07	688.9633	.00000	BORDE PERMEABLE
13	11	.00000	.0600.10000E+07	686.9671	.00000	BORDE PERMEABLE
13	12	.00000	.0600.10000E+07	685.9606	.00000	BORDE PERMEABLE
13	13	.00000	.0600.10000E+07	684.9619	.00000	BORDE PERMEABLE
13	14	.00000	.0600.10000E+07	683.9459	.00000	BORDE PERMEABLE
13	15	.00000	.0600.10000E+07	682.9305	.00000	BORDE PERMEABLE
13	16	.00000	.0600.10000E+07	678.9300	.00000	BORDE PERMEABLE
13	17	.00000	.0600.10000E+07	674.9289	.00000	BORDE PERMEABLE
13	18	.00000	.0600.10000E+07	670.9271	.00000	BORDE PERMEABLE
13	19	.00000	.0600.10000E+07	666.9235	.00000	BORDE PERMEABLE
13	20	.00000	.0600.10000E+07	659.9302	.00000	BORDE PERMEABLE
13	21	.00000	.0600.10000E+07	653.0136	.00000	BORDE PERMEABLE
13	22	.00000	.0600.10000E+07	652.0210	.00000	BORDE PERMEABLE
13	23	.00000	.0600.10000E+07	651.8199	.00000	BORDE PERMEABLE
13	24	.00000	.0600.10000E+07	651.7683	.00000	BORDE PERMEABLE
13	25	.00000	.0600.10000E+07	651.7254	.00000	BORDE PERMEABLE
13	26	.00000	.0600.10000E+07	651.6909	.00000	BORDE PERMEABLE
13	27	.00000	.0600.10000E+07	651.6641	.00000	BORDE PERMEABLE
13	28	.00000	.0600.10000E+07	651.6141	.00000	BORDE PERMEABLE
13	29	.00000	.0600.10000E+07	651.2883	.00000	BORDE PERMEABLE

DELTA-X

1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
1000.

1000.
1000.
1000.
1000.
1000.
DELTA-Y
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
5.
10.
10.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.
20.

PASADA B60 DEL MODELO

VARIACION DE LOS NIVELES EN EL PASO 20 = .40 METROS
VARIACION MEDIA POR NUDO ACTIVO = .0016 METROS
SALIDA NUMERICA POR COLUMNAS : H (EN M) Q1, Q2, Q Y Q5 (EN M3/D/M.L. DE ACUIFERO)
(Q5 = CAUDAL QUE ENTRA EN EL ALMACENAMIENTO)

I	J	H(I,J)	Q1(I,J)	Q2(I,J)	Q(I,J)	Q5(I,J)	ERROR CIERRE
1	9	670.8904	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
1	10	670.8181	.0000 V	.0054 >	.0000	-.0054	.0000
1	11	651.6128	.0000 V	-.0017 >	.0000	.0017	.0000
1	12	650.7080	.0000 V	-.1652 >	.0000	.1652	.0000
1	13	650.5079	.0000 V	-.2973 >	.0000	.2973	.0000
1	14	648.3841	.0000 V	-.5733 >	.0000	.5733	.0000
1	15	640.1040	.0000 V	-.0126 >	.0000	.0126	.0000
1	16	640.1001	.0000 V	-.0119 >	.0000	.0119	.0000
1	17	644.0542	.0000 V	-.0068 >	.0000	.0068	.0000
1	18	644.0549	.0000 V	-.0067 >	.0000	.0067	.0000
1	19	645.0460	.0000 V	-.0055 >	.0000	.0055	.0000
1	20	646.0382	.0000 V	-.0046 >	.0000	.0046	.0000
1	21	648.0201	.0000 V	-.0025 >	.0000	.0025	.0000
1	22	650.2238	.0000 V	-.0431 >	.0000	.0431	.0000
1	23	650.3025	.0000 V	-.0585 >	.0000	.0585	.0000
1	24	650.3029	.0000 V	-.0585 >	.0000	.0585	.0000
1	25	650.3027	.0000 V	-.0586 >	.0000	.0586	.0000
1	26	650.3023	.0000 V	-.0585 >	.0000	.0585	.0000
1	27	650.3019	.0000 V	-.0585 >	.0000	.0585	.0000
1	28	650.2942	.0000 V	-.0570 >	.0000	.0570	.0000
1	29	650.1959	.0000 V	-.0381 >	.0000	.0381	.0000
2	10	652.8281	.1428 V	-.0004 >	-.1370	.0000	.0000
2	11	651.6384	.2289 V	-.0879 >	.0000	.0000	.0000
2	12	651.6256	.2992 V	-.2354 >	.0000	.0000	.0000
2	13	651.6090	.3581 V	-.3562 >	.0000	.0000	.0000
2	14	651.5692	.0283 V	-.2436 >	.0000	.0000	.0000
2	15	650.6247	.0179 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
2	16	650.0284	.0083 V	-.0024 >	.0000	.0000	.0000
2	17	649.7507	.0037 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
2	18	649.6274	-.0011 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
2	19	649.6626	-.0051 V	-.0015 >	.0000	.0000	.0000
2	20	649.8312	-.0086 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
2	21	650.1168	-.0104 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
2	22	650.4632	-.0160 V	-.0375 >	.0000	.0000	.0000
2	23	650.4650	-.0050 V	-.0695 >	.0000	.0000	.0000
2	24	650.4655	.0015 V	-.0650 >	.0000	.0000	.0000
2	25	650.4653	.0041 V	-.0611 >	.0000	.0000	.0000
2	26	650.4649	.0035 V	-.0579 >	.0000	.0000	.0000
2	27	650.4645	.0004 V	-.0554 >	.0000	.0000	.0000
2	28	650.4525	.0014 V	-.0580 >	.0000	.0000	.0000
2	29	650.4073	.0000 V	-.0367 >	.0000	.0000	.0000
3	9	655.2294	.1373 V	-.0003 >	-.1370	.0000	.0000
3	10	654.0848	.1373 V	-.0003 >	.0000	.0000	.0000
3	11	652.9406	.1265 V	-.0771 >	.0000	.0000	.0000
3	12	652.9335	.0965 V	-.2055 >	.0000	.0000	-.0001
3	13	652.9282	.0504 V	-.3102 >	.0000	.0000	-.0001
3	14	652.9226	.0145 V	-.2078 >	.0000	.0000	-.0001
3	15	652.4397	.0135 V	-.0012 >	.0000	.0000	.0000
3	16	651.9902	.0121 V	-.0009 >	.0000	.0000	.0000
3	17	651.5882	.0105 V	-.0006 >	.0000	.0000	.0000
3	18	651.2383	.0089 V	-.0003 >	.0000	.0000	.0000
3	19	650.9428	.0073 V	.0001 >	.0000	.0000	.0000
3	20	650.7008	.0369 V	-.0307 >	.0000	.0000	.0000
3	21	650.6926	.0955 V	-.0593 >	.0000	.0000	.0000
3	22	650.6713	.1190 V	-.0609 >	.0000	.0000	.0000
3	23	650.6581	.1083 V	-.0589 >	.0000	.0000	.0000
3	24	650.6461	.0990 V	-.0557 >	.0000	.0000	.0000
3	25	650.6351	.0839 V	-.0461 >	.0000	.0000	.0000

3	26	650.6258	.0654 V	-.0395 >	.0000	.0000	.0000
3	27	650.6185	.0452 V	-.0353 >	.0000	.0000	.0000
3	28	650.6135	.0204 V	-.0331 >	.0000	.0000	.0000
3	29	650.6112	.0000 V	-.0163 >	.0000	.0000	.0000
4	9	656.3827	.1377 V	-.0010 >	-.1370	.0000	.0000
4	10	655.2354	.1384 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
4	11	654.0825	.0628 V	-.0016 >	.0000	.0000	.0000
4	12	654.0755	-.0286 V	-.1143 >	.0000	.0000	-.0002
4	13	654.0771	.0017 V	-.3407 >	.0000	.0000	-.0002
4	14	654.0769	.0197 V	-.2259 >	.0000	.0000	-.0001
4	15	653.4205	.0196 V	-.0011 >	.0000	.0000	.0000
4	16	652.7662	.0194 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
4	17	652.1209	.0189 V	-.0002 >	.0000	.0000	.0000
4	18	651.4916	.0182 V	.0004 >	.0000	.0000	.0000
4	19	650.8856	.0644 V	-.0462 >	.0000	.0000	.0000
4	20	650.8712	.1245 V	-.0908 >	.0000	.0000	.0000
4	21	650.8574	.1525 V	-.0874 >	.0000	.0000	.0000
4	22	650.8405	.1696 V	-.0780 >	.0000	.0000	.0000
4	23	650.8216	.1863 V	-.0756 >	.0000	.0000	.0000
4	24	650.8009	.1704 V	-.0399 >	.0000	.0000	.0000
4	25	650.7630	.1244 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
4	26	650.7354	.0849 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
4	27	650.7166	.0495 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
4	28	650.7055	.0164 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
4	29	650.7019	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
5	8	660.9278	.1367 V	.0003 >	-.1370	.0000	.0000
5	9	659.7888	.1353 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
5	10	658.6609	.1340 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
5	11	657.5442	.1319 V	.0005 >	.0000	.0000	.0000
5	12	655.3451	.1141 V	-.0965 >	.0000	.0000	.0000
5	13	655.3388	.0619 V	-.2887 >	.0000	.0000	-.0003
5	14	655.3319	.0295 V	-.1937 >	.0000	.0000	-.0001
5	15	654.3481	.0309 V	-.0025 >	.0000	.0000	.0000
5	16	653.3187	.0319 V	-.0017 >	.0000	.0000	.0000
5	17	652.2548	.0328 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
5	18	651.1623	.0912 V	-.0581 >	.0000	.0000	.0000
5	19	651.1421	.1678 V	-.1227 >	.0000	.0000	.0000
5	20	651.1234	.2085 V	-.1316 >	.0000	.0000	-.0001
5	21	651.1003	.1936 V	-.0726 >	.0000	.0000	-.0001
5	22	651.0572	.1156 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
5	23	651.0316	.0399 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
5	24	651.0227	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
6	8	659.8844	.1375 V	-.0002 >	-.1370	.0000	.0000
6	9	658.7388	.1379 V	-.0002 >	.0000	.0000	.0000
6	10	657.5894	.1384 V	-.0001 >	.0000	.0000	.0000
6	11	656.4360	.1708 V	-.0319 >	.0000	.0000	.0000
6	12	656.4171	.1613 V	-.0871 >	.0000	.0000	-.0001
6	13	656.4081	.0029 V	-.1306 >	.0000	.0000	-.0003
6	14	656.4078	-.0243 V	-.1665 >	.0000	.0000	-.0001
6	15	656.4132	.0503 V	-.0772 >	.0000	.0000	-.0001
6	16	654.7369	.0491 V	-.0005 >	.0000	.0000	.0000
6	17	653.1005	.0485 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
6	18	651.4849	.0174 V	-.0270 >	.0000	.0000	.0000
6	19	651.4830	-.0531 V	-.0523 >	.0000	.0000	-.0001
6	20	651.4889	-.1329 V	-.0518 >	.0000	.0000	-.0001
6	21	651.5036	-.1570 V	-.0486 >	.0000	.0000	.0000
6	22	651.5385	-.1186 V	-.0384 >	.0000	.0000	.0000
6	23	651.5649	-.0871 V	-.0315 >	.0000	.0000	.0000
6	24	651.5842	-.0602 V	-.0269 >	.0000	.0000	.0000
6	25	651.5976	-.0358 V	-.0244 >	.0000	.0000	.0000
6	26	651.6056	-.0122 V	-.0236 >	.0000	.0000	.0000
6	27	651.6083	.0000 V	-.0122 >	.0000	.0000	.0000
7	8	660.3990	.1386 V	-.0018 >	-.1370	.0000	.0000
7	9	659.2436	.1398 V	-.0013 >	.0000	.0000	.0000
7	10	658.0789	.1404 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000

7	11	656.9093	.1500 V	-.0416 >	.0000	.0000	.0000
7	12	656.9010	.1682 V	-.1059 >	.0000	.0000	-.0005
7	13	656.8916	.1915 V	-.1543 >	.0000	.0000	-.0004
7	14	656.8704	.1277 V	-.1030 >	.0000	.0000	-.0003
7	15	656.8420	.0506 V	-.0004 >	.0000	.0000	-.0003
7	16	655.1546	.0517 V	-.0016 >	.0000	.0000	.0000
7	17	653.4301	.0539 V	-.0025 >	.0000	.0000	.0000
7	18	651.6350	.0301 V	-.0033 >	.0000	.0000	.0000
7	19	651.6283	-.0205 V	-.0018 >	.0000	.0000	-.0001
7	20	651.6328	-.0511 V	-.0214 >	.0000	.0000	-.0001
7	21	651.6385	-.0609 V	-.0389 >	.0000	.0000	-.0001
7	22	651.6453	-.0631 V	-.0364 >	.0000	.0000	-.0001
7	23	651.6523	-.0608 V	-.0338 >	.0000	.0000	-.0001
7	24	651.6590	-.0563 V	-.0315 >	.0000	.0000	-.0001
7	25	651.6653	-.0515 V	-.0294 >	.0000	.0000	-.0001
7	26	651.6710	-.0477 V	-.0275 >	.0000	.0000	-.0001
7	27	651.6763	-.0343 V	-.0257 >	.0000	.0000	-.0001
7	28	651.6839	-.0112 V	-.0231 >	.0000	.0000	.0000
7	29	651.6864	.0000 V	-.0112 >	.0000	.0000	.0000
8	5	675.0041	.3401 V	-.0031 >	-.3370	.0000	.0000
8	6	672.1695	.3438 V	-.0036 >	.0000	.0000	.0000
8	7	669.3045	.3480 V	-.0042 >	.0000	.0000	.0000
8	8	666.4049	.3508 V	-.0047 >	.0000	.0000	.0000
8	9	663.4811	.3548 V	-.0052 >	.0000	.0000	.0000
8	10	660.5244	.3599 V	-.0058 >	.0000	.0000	.0000
8	11	657.5256	.3278 V	-.0096 >	.0000	.0000	.0000
8	12	657.4892	.2332 V	-.0115 >	.0000	.0000	-.0003
8	13	657.4633	.0942 V	-.0156 >	.0000	.0000	-.0003
8	14	657.4423	.0077 V	-.0167 >	.0000	.0000	-.0002
8	15	657.1842	.0205 V	-.0131 >	.0000	.0000	.0000
8	16	656.5018	.0292 V	-.0104 >	.0000	.0000	.0000
8	17	655.5276	.0348 V	-.0081 >	.0000	.0000	.0000
8	18	654.3663	.0378 V	-.0063 >	.0000	.0000	.0000
8	19	653.1059	.0406 V	-.0046 >	.0000	.0000	.0000
8	20	651.7515	.0224 V	-.0031 >	.0000	.0000	.0000
8	21	651.7465	.0020 V	-.0186 >	.0000	.0000	-.0001
8	22	651.7463	.0000 V	-.0344 >	.0000	.0000	-.0001
8	23	651.7463	-.0018 V	-.0321 >	.0000	.0000	-.0001
8	24	651.7465	-.0032 V	-.0302 >	.0000	.0000	-.0001
8	25	651.7468	-.0041 V	-.0285 >	.0000	.0000	-.0001
8	26	651.7473	-.0044 V	-.0272 >	.0000	.0000	-.0001
8	27	651.7478	-.0039 V	-.0263 >	.0000	.0000	-.0001
8	28	651.7482	-.0015 V	-.0256 >	.0000	.0000	-.0001
8	29	651.7484	.0000 V	-.0127 >	.0000	.0000	-.0001
9	3	687.8393	.1391 V	-.0021 >	-.1370	.0000	.0000
9	4	686.6798	.1413 V	-.0021 >	.0000	.0000	.0000
9	5	685.5024	.1403 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
9	6	684.3334	.1388 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
9	7	683.1766	.1368 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
9	8	682.0363	.1343 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
9	9	680.9169	.1313 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
9	10	679.8227	.1277 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
9	11	678.7585	.1214 V	-.0033 >	.0000	.0000	.0000
9	12	676.7344	.1142 V	-.0043 >	.0000	.0000	.0000
9	13	674.8307	.1049 V	-.0063 >	.0000	.0000	.0000
9	14	671.3335	.0960 V	-.0077 >	.0000	.0000	.0000
9	15	668.1339	.0897 V	-.0069 >	.0000	.0000	.0000
9	16	665.1437	.0852 V	-.0059 >	.0000	.0000	.0000
9	17	662.3041	.0818 V	-.0048 >	.0000	.0000	.0000
9	18	659.5761	.0793 V	-.0037 >	.0000	.0000	.0000
9	19	656.9343	.0772 V	-.0025 >	.0000	.0000	.0000
9	20	654.3618	.0754 V	-.0013 >	.0000	.0000	.0000
9	21	651.8496	.0690 V	-.0122 >	.0000	.0000	.0000
9	22	651.8419	.0575 V	-.0231 >	.0000	.0000	-.0001
9	23	651.8356	.0471 V	-.0218 >	.0000	.0000	-.0001

9	24	651.8303	.0376 V	-.0207 >	.0000	.0000	-.0001
9	25	651.8261	.0286 V	-.0197 >	.0000	.0000	-.0001
9	26	651.8230	.0201 V	-.0188 >	.0000	.0000	-.0001
9	27	651.8207	.0119 V	-.0181 >	.0000	.0000	-.0001
9	28	651.8194	.0040 V	-.0177 >	.0000	.0000	-.0001
9	29	651.8190	.0000 V	-.0088 >	.0000	.0000	-.0001
10	1	697.2728	.1375 V	-.0005 >	-.1370	.0000	.0000
10	2	696.1268	.1385 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	3	694.9724	.1374 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	4	693.8272	.1363 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	5	692.6912	.1352 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	6	691.5645	.1341 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	7	690.4473	.1329 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	8	689.3395	.1318 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	9	688.2414	.1306 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	10	687.1528	.1295 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
10	11	686.0740	.1277 V	-.0015 >	.0000	.0000	.0000
10	12	683.9454	.1254 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	13	681.8550	.1221 V	-.0030 >	.0000	.0000	.0000
10	14	677.7849	.1181 V	-.0038 >	.0000	.0000	.0000
10	15	673.8470	.1147 V	-.0035 >	.0000	.0000	.0000
10	16	670.0222	.1119 V	-.0031 >	.0000	.0000	.0000
10	17	666.2906	.1097 V	-.0026 >	.0000	.0000	.0000
10	18	662.6325	.1081 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	19	659.0295	.1070 V	-.0014 >	.0000	.0000	.0000
10	20	655.4635	.1064 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
10	21	651.9172	.1003 V	-.0061 >	.0000	.0000	.0000
10	22	651.9060	.0883 V	-.0111 >	.0000	.0000	-.0001
10	23	651.8962	.0761 V	-.0097 >	.0000	.0000	-.0001
10	24	651.8878	.0634 V	-.0081 >	.0000	.0000	-.0001
10	25	651.8807	.0502 V	-.0065 >	.0000	.0000	-.0001
10	26	651.8752	.0364 V	-.0050 >	.0000	.0000	-.0001
10	27	651.8711	.0221 V	-.0039 >	.0000	.0000	-.0001
10	28	651.8687	.0074 V	-.0031 >	.0000	.0000	.0000
10	29	651.8678	.0000 V	-.0014 >	.0000	.0000	.0000
11	1	700.6807	.1367 V	-.0002 >	-.1370	.0000	.0000
11	2	699.5415	.1361 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	3	698.4072	.1355 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	4	697.2778	.1349 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	5	696.1534	.1343 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	6	695.0341	.1337 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	7	693.9198	.1331 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	8	692.8106	.1325 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	9	691.7065	.1319 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	10	690.6075	.1313 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
11	11	689.5136	.1304 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
11	12	687.3407	.1292 V	-.0009 >	.0000	.0000	.0000
11	13	685.1868	.1276 V	-.0014 >	.0000	.0000	.0000
11	14	680.9320	.1260 V	-.0021 >	.0000	.0000	.0000
11	15	676.7328	.1248 V	-.0023 >	.0000	.0000	.0000
11	16	672.5728	.1241 V	-.0023 >	.0000	.0000	.0000
11	17	668.4376	.1237 V	-.0022 >	.0000	.0000	.0000
11	18	664.3152	.1236 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
11	19	660.1963	.1236 V	-.0015 >	.0000	.0000	.0000
11	20	656.0751	.1237 V	-.0008 >	.0000	.0000	.0000
11	21	651.9510	.1263 V	-.0087 >	.0000	.0000	.0000
11	22	651.9370	.1248 V	-.0097 >	.0000	.0000	-.0001
11	23	651.9231	.1167 V	-.0016 >	.0000	.0000	.0000
11	24	651.9102	.1033 V	.0053 >	.0000	.0000	.0000
11	25	651.8987	.0858 V	.0110 >	.0000	.0000	.0000
11	26	651.8891	.0649 V	.0158 >	.0000	.0000	.0000
11	27	651.8819	.0410 V	.0199 >	.0000	.0000	.0000
11	28	651.8774	.0145 V	.0234 >	.0000	.0000	.0000
11	29	651.8758	.0000 V	.0130 >	.0000	.0000	.0000
12	1	702.1360	.1366 V	.0002 >	-.1370	.0000	.0000

12	2	700.9977	.1361 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
12	3	699.8634	.1360 V	-.0003 >	.0000	.0000	.0000
12	4	698.7302	.1356 V	-.0001 >	.0000	.0000	.0000
12	5	697.6000	.1350 V	.0002 >	.0000	.0000	.0000
12	6	696.4750	.1344 V	.0002 >	.0000	.0000	.0000
12	7	695.3549	.1336 V	.0004 >	.0000	.0000	.0000
12	8	694.2418	.1325 V	.0007 >	.0000	.0000	.0000
12	9	693.1380	.1314 V	.0007 >	.0000	.0000	.0000
12	10	692.0433	.1300 V	.0009 >	.0000	.0000	.0000
12	11	690.9598	.1276 V	.0018 >	.0000	.0000	.0000
12	12	688.8337	.1249 V	.0017 >	.0000	.0000	.0000
12	13	686.7513	.1219 V	.0016 >	.0000	.0000	.0000
12	14	682.6870	.1213 V	-.0015 >	.0000	.0000	.0000
12	15	678.6425	.1242 V	-.0051 >	.0000	.0000	.0000
12	16	674.5029	.1272 V	-.0053 >	.0000	.0000	.0000
12	17	670.2635	.1306 V	-.0056 >	.0000	.0000	.0000
12	18	665.9105	.1347 V	-.0060 >	.0000	.0000	.0000
12	19	661.4206	.1398 V	-.0066 >	.0000	.0000	.0000
12	20	656.7596	.1428 V	-.0038 >	.0000	.0000	.0000
12	21	651.9992	.3170 V	-.1829 >	.0000	.0000	.0000
12	22	651.9639	.3280 V	-.0207 >	.0000	.0000	.0000
12	23	651.9275	.2876 V	.0387 >	.0000	.0000	.0000
12	24	651.8955	.2469 V	.0459 >	.0000	.0000	.0000
12	25	651.8681	.2065 V	.0514 >	.0000	.0000	.0000
12	26	651.8451	.1667 V	.0556 >	.0000	.0000	.0000
12	27	651.8266	.1280 V	.0586 >	.0000	.0000	.0000
12	28	651.8124	.0799 V	.0715 >	.0000	.0000	.0000
12	29	651.8035	.0000 V	.0928 >	.0000	.0000	.0000
13	1	700.8809	.0000 V	.0000 >	.0000	.0002	.0000
13	2	700.8745	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
13	3	700.8680	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0003	.0000
13	4	698.9713	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0001	.0000
13	5	697.0007	.0000 V	.0000 >	.0000	.0002	.0000
13	6	695.9488	.0000 V	.0000 >	.0000	.0002	.0000
13	7	693.9561	.0000 V	.0000 >	.0000	.0004	.0000
13	8	691.9593	.0000 V	.0000 >	.0000	.0007	.0000
13	9	690.9599	.0000 V	.0000 >	.0000	.0007	.0000
13	10	688.9633	.0000 V	.0000 >	.0000	.0009	.0000
13	11	686.9671	.0000 V	.0000 >	.0000	.0018	.0000
13	12	685.9606	.0000 V	.0000 >	.0000	.0017	.0000
13	13	684.9619	.0000 V	.0000 >	.0000	.0016	.0000
13	14	683.9459	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0015	.0000
13	15	682.9305	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0051	.0000
13	16	678.9300	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0053	.0000
13	17	674.9289	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0056	.0000
13	18	670.9271	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0060	.0000
13	19	666.9235	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0066	.0000
13	20	659.9302	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0038	.0000
13	21	653.0151	.0000 V	.0000 >	.0000	-.1829	.0000
13	22	652.0214	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0207	.0000
13	23	651.8199	.0000 V	.0000 >	.0000	.0387	.0000
13	24	651.7680	.0000 V	.0000 >	.0000	.0459	.0000
13	25	651.7253	.0000 V	.0000 >	.0000	.0514	.0000
13	26	651.6907	.0000 V	.0000 >	.0000	.0556	.0000
13	27	651.6638	.0000 V	.0000 >	.0000	.0586	.0000
13	28	651.6138	.0000 V	.0000 >	.0000	.0715	.0000
13	29	651.2877	.0000 V	.0000 >	.0000	.0928	.0000

FACULTAD CC. GEOLOGICAS
BIBLIOTECA

NIVELES PIEZOMETRICOS EN EL NUDO (I,J) (EN M)

COLUMNA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FILA	1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	697.27
FILA	2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	696.13
FILA	3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	687.84	694.97

FILA	4	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	686.68	693.83
FILA	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	675.00	685.50	692.69
FILA	6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	672.17	684.33	691.56
FILA	7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	669.30	683.18	690.45
FILA	8	.00	.00	.00	.00	660.93	659.88	660.40	666.40	682.04	689.34
FILA	9	670.89	.00	655.23	656.38	659.79	658.74	659.24	663.48	680.92	688.24
FILA	10	670.82	652.83	654.08	655.24	658.66	657.59	658.08	660.52	679.82	687.15
FILA	11	651.61	651.64	652.94	654.08	657.54	656.44	656.91	657.53	678.76	686.07
FILA	12	650.71	651.63	652.93	654.08	655.35	656.42	656.90	657.49	676.73	683.95
FILA	13	650.51	651.61	652.93	654.08	655.34	656.41	656.89	657.46	674.83	681.85
FILA	14	648.38	651.57	652.92	654.08	655.33	656.41	656.87	657.44	671.33	677.78
FILA	15	640.10	650.62	652.44	653.42	654.35	656.41	656.84	657.18	668.13	673.85
FILA	16	640.10	650.03	651.99	652.77	653.32	654.74	655.15	656.50	665.14	670.02
FILA	17	644.05	649.75	651.59	652.12	652.25	653.10	653.43	655.53	662.30	666.29
FILA	18	644.05	649.63	651.24	651.49	651.16	651.48	651.63	654.37	659.58	662.63
FILA	19	645.05	649.66	650.94	650.89	651.14	651.48	651.63	653.11	656.93	659.03
FILA	20	646.04	649.83	650.70	650.87	651.12	651.49	651.63	651.75	654.36	655.46
FILA	21	648.02	650.12	650.69	650.86	651.10	651.50	651.64	651.75	651.85	651.92
FILA	22	650.22	650.46	650.67	650.84	651.06	651.54	651.65	651.75	651.84	651.91
FILA	23	650.30	650.46	650.66	650.82	651.03	651.56	651.65	651.75	651.84	651.90
FILA	24	650.30	650.47	650.65	650.80	651.02	651.58	651.66	651.75	651.83	651.89
FILA	25	650.30	650.47	650.64	650.76	.00	651.60	651.67	651.75	651.83	651.88
FILA	26	650.30	650.46	650.63	650.74	.00	651.61	651.67	651.75	651.82	651.88
FILA	27	650.30	650.46	650.62	650.72	.00	651.61	651.68	651.75	651.82	651.87
FILA	28	650.29	650.45	650.61	650.71	.00	.00	651.68	651.75	651.82	651.87
FILA	29	650.20	650.41	650.61	650.70	.00	.00	651.69	651.75	651.82	651.87
FILA	30	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

DISTRIBUCION DE LA RECARGA EN LA SUPERFICIE LIBRE EN MM/AÑO

NUDO DE LA COLUMNA 1 FILA 9 = .0000
NUDO DE LA COLUMNA 2 FILA 10 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 3 FILA 9 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 4 FILA 9 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 5 FILA 8 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 6 FILA 8 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 7 FILA 8 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 8 FILA 5 = 123.0050
NUDO DE LA COLUMNA 9 FILA 3 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 10 FILA 1 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 11 FILA 1 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 12 FILA 1 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 13 FILA 1 = -.1374

CAUDAL TOTAL QUE ENTRA POR LA SUPERFICIE LIBRE = 1.707 M^3/DIA
VALOR DE LA RECARGA MEDIA..... = 51.92 MM/AÑO

DATOS DE CAUDALES POR SECCIONES
(CAUDALES QUE ATRAVIESAN LA SECCION EN M^3/DIA)

SECCION VERTICAL POR LA COLUMNA	CAUDAL HORIZONTAL (POSITIVO —>)	EXTRAIDO (DE TODA LA COLUMNA)	ALMACENADO
1	-1.514	.000	1.514
2	-1.377	-.137	.000
3	-1.240	-.137	.000
4	-1.104	-.137	.000
5	-.968	-.137	.000
6	-.831	-.137	.000
7	-.697	-.137	.000
8	-.361	-.337	.000
9	-.225	-.137	.000
10	-.088	-.137	.000
11	.048	-.137	.000
12	.185	-.137	.000
13	.000	.000	.185

PASADA DEL MODELO B61

VARIACION DE LOS NIVELES EN EL PASO 20 = .27 METROS
VARIACION MEDIA POR NUDO ACTIVO = .0011 METROS
SALIDA NUMERICA POR COLUMNAS : H (EN M) Q1, Q2, Q Y Q5 (EN M3/D/M.L. DE ACUIFERO)
(Q5 = CAUDAL QUE ENTRA EN EL ALMACENAMIENTO)

I	J	H(I,J)	Q1(I,J)	Q2(I,J)	Q(I,J)	Q5(I,J)	ERROR CIERRE
1	9	670.8904	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
1	10	670.8179	.0000 V	.0054 >	.0000	-.0054	.0000
1	11	651.6135	.0000 V	-.0098 >	.0000	.0098	.0000
1	12	650.7137	.0000 V	-.1858 >	.0000	.1858	.0000
1	13	650.5145	.0000 V	-.3280 >	.0000	.3280	.0000
1	14	648.3925	.0000 V	-.5934 >	.0000	.5934	.0000
1	15	640.1042	.0000 V	-.0127 >	.0000	.0127	.0000
1	16	640.1003	.0000 V	-.0120 >	.0000	.0120	.0000
1	17	644.0542	.0000 V	-.0069 >	.0000	.0069	.0000
1	18	644.0549	.0000 V	-.0067 >	.0000	.0067	.0000
1	19	645.0460	.0000 V	-.0056 >	.0000	.0056	.0000
1	20	646.0382	.0000 V	-.0046 >	.0000	.0046	.0000
1	21	648.0201	.0000 V	-.0025 >	.0000	.0025	.0000
1	22	650.2244	.0000 V	-.0423 >	.0000	.0423	.0000
1	23	650.3033	.0000 V	-.0569 >	.0000	.0569	.0000
1	24	650.3037	.0000 V	-.0570 >	.0000	.0570	.0000
1	25	650.3035	.0000 V	-.0570 >	.0000	.0570	.0000
1	26	650.3031	.0000 V	-.0570 >	.0000	.0570	.0000
1	27	650.3027	.0000 V	-.0570 >	.0000	.0570	.0000
1	28	650.2950	.0000 V	-.0555 >	.0000	.0555	.0000
1	29	650.1964	.0000 V	-.0373 >	.0000	.0373	.0000
2	10	652.9482	.1428 V	-.0004 >	-.1370	.0000	.0000
2	11	651.7585	.2286 V	-.0956 >	.0000	.0000	.0000
2	12	651.7458	.2989 V	-.2561 >	.0000	.0000	.0000
2	13	651.7291	.3581 V	-.3871 >	.0000	.0000	.0000
2	14	651.6894	.0289 V	-.2642 >	.0000	.0000	.0000
2	15	650.7262	.0184 V	-.0023 >	.0000	.0000	.0000
2	16	650.1117	.0089 V	-.0024 >	.0000	.0000	.0000
2	17	649.8164	.0042 V	-.0023 >	.0000	.0000	.0000
2	18	649.6765	-.0006 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
2	19	649.6961	-.0046 V	-.0015 >	.0000	.0000	.0000
2	20	649.8508	-.0082 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
2	21	650.1243	-.0101 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
2	22	650.4596	-.0158 V	-.0366 >	.0000	.0000	.0000
2	23	650.4614	-.0050 V	-.0678 >	.0000	.0000	.0000
2	24	650.4619	.0014 V	-.0634 >	.0000	.0000	.0000
2	25	650.4618	.0040 V	-.0595 >	.0000	.0000	.0000
2	26	650.4613	.0034 V	-.0564 >	.0000	.0000	.0000
2	27	650.4610	.0004 V	-.0540 >	.0000	.0000	.0000
2	28	650.4491	.0014 V	-.0565 >	.0000	.0000	.0000
2	29	650.4038	.0000 V	-.0360 >	.0000	.0000	.0000
3	9	655.4648	.1374 V	-.0004 >	-.1370	.0000	.0000
3	10	654.3199	.1373 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
3	11	653.1754	.1265 V	-.0848 >	.0000	.0000	.0000
3	12	653.1683	.0967 V	-.2263 >	.0000	.0000	-.0001
3	13	653.1630	.0512 V	-.3416 >	.0000	.0000	.0000
3	14	653.1573	.0158 V	-.2288 >	.0000	.0000	.0000
3	15	652.6322	.0147 V	-.0013 >	.0000	.0000	.0000
3	16	652.1406	.0133 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
3	17	651.6971	.0117 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
3	18	651.3067	.0100 V	-.0003 >	.0000	.0000	.0000
3	19	650.9718	.0084 V	.0001 >	.0000	.0000	.0000
3	20	650.6919	.0372 V	-.0298 >	.0000	.0000	.0000
3	21	650.6837	.0942 V	-.0577 >	.0000	.0000	.0000
3	22	650.6627	.1169 V	-.0593 >	.0000	.0000	.0000
3	23	650.6497	.1063 V	-.0573 >	.0000	.0000	-.0001
3	24	650.6379	.0971 V	-.0543 >	.0000	.0000	-.0001

3	25	650.6271	.0823 V	-.0448 >	.0000	.0000	-.0001
3	26	650.6180	.0642 V	-.0384 >	.0000	.0000	-.0001
3	27	650.6109	.0444 V	-.0343 >	.0000	.0000	-.0001
3	28	650.6059	.0201 V	-.0323 >	.0000	.0000	-.0001
3	29	650.6037	.0000 V	-.0159 >	.0000	.0000	-.0001
4	9	656.7325	.1377 V	-.0011 >	-.1370	.0000	.0000
4	10	655.5851	.1384 V	-.0011 >	.0000	.0000	.0000
4	11	654.4320	.0552 V	-.0016 >	.0000	.0000	.0000
4	12	654.4258	-.0431 V	-.1282 >	.0000	.0000	-.0001
4	13	654.4282	-.0026 V	-.3821 >	.0000	.0000	-.0001
4	14	654.4285	.0219 V	-.2534 >	.0000	.0000	.0000
4	15	653.6985	.0219 V	-.0012 >	.0000	.0000	.0000
4	16	652.9699	.0216 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
4	17	652.2505	.0211 V	-.0001 >	.0000	.0000	.0000
4	18	651.5483	.0203 V	.0005 >	.0000	.0000	.0000
4	19	650.8721	.0651 V	-.0447 >	.0000	.0000	.0000
4	20	650.8577	.1231 V	-.0879 >	.0000	.0000	-.0001
4	21	650.8440	.1499 V	-.0847 >	.0000	.0000	-.0002
4	22	650.8273	.1661 V	-.0757 >	.0000	.0000	-.0002
4	23	650.8089	.1820 V	-.0733 >	.0000	.0000	-.0002
4	24	650.7886	.1663 V	-.0387 >	.0000	.0000	-.0002
4	25	650.7517	.1214 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
4	26	650.7247	.0829 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
4	27	650.7063	.0484 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
4	28	650.6955	.0160 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
4	29	650.6920	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
5	8	661.4345	.1367 V	.0003 >	-.1370	.0000	.0000
5	9	660.2951	.1354 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
5	10	659.1668	.1340 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
5	11	658.0497	.1320 V	.0004 >	.0000	.0000	.0000
5	12	655.8498	.1147 V	-.1108 >	.0000	.0000	.0000
5	13	655.8434	.0641 V	-.3317 >	.0000	.0000	-.0001
5	14	655.8363	.0332 V	-.2225 >	.0000	.0000	.0000
5	15	654.7299	.0348 V	-.0028 >	.0000	.0000	.0000
5	16	653.5707	.0360 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
5	17	652.3719	.0369 V	-.0011 >	.0000	.0000	.0000
5	18	651.1410	.0930 V	-.0556 >	.0000	.0000	.0000
5	19	651.1203	.1657 V	-.1175 >	.0000	.0000	-.0001
5	20	651.1019	.2035 V	-.1259 >	.0000	.0000	-.0002
5	21	651.0793	.1881 V	-.0694 >	.0000	.0000	-.0002
5	22	651.0375	.1123 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
5	23	651.0125	.0389 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
5	24	651.0039	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	-.0001
6	8	660.5482	.1374 V	-.0002 >	-.1370	.0000	.0000
6	9	659.4028	.1379 V	-.0002 >	.0000	.0000	.0000
6	10	658.2537	.1383 V	-.0002 >	.0000	.0000	.0000
6	11	657.1009	.1769 V	-.0381 >	.0000	.0000	.0000
6	12	657.0812	.1696 V	-.1036 >	.0000	.0000	.0000
6	13	657.0718	-.0069 V	-.1553 >	.0000	.0000	-.0001
6	14	657.0726	-.0314 V	-.1980 >	.0000	.0000	.0000
6	15	657.0795	.0575 V	-.0917 >	.0000	.0000	.0000
6	16	655.1643	.0561 V	-.0005 >	.0000	.0000	.0000
6	17	653.2951	.0554 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
6	18	651.4497	.0255 V	-.0257 >	.0000	.0000	.0000
6	19	651.4468	-.0430 V	-.0493 >	.0000	.0000	-.0003
6	20	651.4516	-.1206 V	-.0484 >	.0000	.0000	-.0002
6	21	651.4650	-.1450 V	-.0452 >	.0000	.0000	-.0001
6	22	651.4972	-.1094 V	-.0357 >	.0000	.0000	.0000
6	23	651.5215	-.0802 V	-.0291 >	.0000	.0000	.0000
6	24	651.5394	-.0554 V	-.0249 >	.0000	.0000	.0000
6	25	651.5517	-.0329 V	-.0225 >	.0000	.0000	.0000
6	26	651.5590	-.0113 V	-.0217 >	.0000	.0000	.0000
6	27	651.5615	.0000 V	-.0113 >	.0000	.0000	.0000
7	8	661.1480	.1385 V	-.0017 >	-.1370	.0000	.0000
7	9	659.9940	.1395 V	-.0012 >	.0000	.0000	.0000

7	10	658.8317	.1400 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
7	11	657.6652	.1514 V	-.0495 >	.0000	.0000	.0000
7	12	657.6568	.1780 V	-.1304 >	.0000	.0000	-.0002
7	13	657.6469	.2175 V	-.1949 >	.0000	.0000	-.0001
7	14	657.6227	.1515 V	-.1321 >	.0000	.0000	-.0001
7	15	657.5890	.0594 V	.0003 >	.0000	.0000	-.0001
7	16	655.6093	.0596 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
7	17	653.6233	.0609 V	-.0017 >	.0000	.0000	.0000
7	18	651.5923	.0381 V	-.0028 >	.0000	.0000	.0000
7	19	651.5839	-.0102 V	-.0015 >	.0000	.0000	-.0004
7	20	651.5862	-.0402 V	-.0187 >	.0000	.0000	-.0003
7	21	651.5906	-.0514 V	-.0345 >	.0000	.0000	-.0005
7	22	651.5963	-.0549 V	-.0325 >	.0000	.0000	-.0004
7	23	651.6024	-.0539 V	-.0305 >	.0000	.0000	-.0004
7	24	651.6084	-.0507 V	-.0285 >	.0000	.0000	-.0004
7	25	651.6141	-.0467 V	-.0268 >	.0000	.0000	-.0004
7	26	651.6192	-.0436 V	-.0252 >	.0000	.0000	-.0004
7	27	651.6241	-.0315 V	-.0237 >	.0000	.0000	-.0003
7	28	651.6311	-.0103 V	-.0213 >	.0000	.0000	-.0001
7	29	651.6334	.0000 V	-.0103 >	.0000	.0000	.0000
8	5	675.0802	.3370 V	.0000 >	-.3370	.0000	.0000
8	6	672.2718	.3370 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
8	7	669.4635	.3353 V	.0017 >	.0000	.0000	.0000
8	8	666.6691	.3325 V	.0012 >	.0000	.0000	.0000
8	9	663.8986	.3305 V	.0007 >	.0000	.0000	.0000
8	10	661.1440	.3295 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
8	11	658.3979	.3003 V	-.0202 >	.0000	.0000	.0000
8	12	658.3812	.2236 V	-.0538 >	.0000	.0000	-.0001
8	13	658.3688	.1094 V	-.0807 >	.0000	.0000	-.0001
8	14	658.3566	.0314 V	-.0541 >	.0000	.0000	.0000
8	15	657.3103	.0330 V	-.0013 >	.0000	.0000	.0000
8	16	656.2108	.0340 V	-.0018 >	.0000	.0000	.0000
8	17	655.0766	.0343 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
8	18	653.9342	.0335 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
8	19	652.8185	.0338 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
8	20	651.6902	.0168 V	-.0017 >	.0000	.0000	.0000
8	21	651.6864	-.0019 V	-.0161 >	.0000	.0000	-.0003
8	22	651.6866	-.0040 V	-.0307 >	.0000	.0000	-.0003
8	23	651.6871	-.0055 V	-.0292 >	.0000	.0000	-.0002
8	24	651.6877	-.0063 V	-.0280 >	.0000	.0000	-.0003
8	25	651.6884	-.0065 V	-.0268 >	.0000	.0000	-.0003
8	26	651.6891	-.0061 V	-.0259 >	.0000	.0000	-.0003
8	27	651.6898	-.0048 V	-.0252 >	.0000	.0000	-.0003
8	28	651.6903	-.0017 V	-.0247 >	.0000	.0000	-.0003
8	29	651.6905	.0000 V	-.0123 >	.0000	.0000	-.0002
9	7	663.8772	.1448 V	-.0061 >	-.1370	.0000	.0000
9	8	662.6705	.1521 V	-.0061 >	.0000	.0000	.0000
9	9	661.4027	.1590 V	-.0062 >	.0000	.0000	.0000
9	10	660.0774	.1656 V	-.0062 >	.0000	.0000	.0000
9	11	658.6975	.1548 V	-.0095 >	.0000	.0000	.0000
9	12	658.6803	.1123 V	-.0114 >	.0000	.0000	-.0001
9	13	658.6678	.0469 V	-.0154 >	.0000	.0000	-.0001
9	14	658.6574	.0089 V	-.0162 >	.0000	.0000	.0000
9	15	658.3596	.0203 V	-.0127 >	.0000	.0000	.0000
9	16	657.6816	.0284 V	-.0098 >	.0000	.0000	.0000
9	17	656.7356	.0338 V	-.0074 >	.0000	.0000	.0000
9	18	655.6086	.0372 V	-.0054 >	.0000	.0000	.0000
9	19	654.3696	.0388 V	-.0035 >	.0000	.0000	.0000
9	20	653.0750	.0390 V	-.0018 >	.0000	.0000	.0000
9	21	651.7759	.0367 V	-.0138 >	.0000	.0000	.0000
9	22	651.7718	.0317 V	-.0260 >	.0000	.0000	-.0003
9	23	651.7683	.0268 V	-.0245 >	.0000	.0000	-.0002
9	24	651.7653	.0219 V	-.0232 >	.0000	.0000	-.0002
9	25	651.7629	.0170 V	-.0221 >	.0000	.0000	-.0002
9	26	651.7610	.0121 V	-.0212 >	.0000	.0000	-.0002

9	27	651.7597	.0072 V	-.0205 >	.0000	.0000	-.0002
9	28	651.7589	.0024 V	-.0201 >	.0000	.0000	-.0002
9	29	651.7586	.0000 V	-.0100 >	.0000	.0000	-.0002
10	2	690.2381	.1389 V	-.0019 >	-.1370	.0000	.0000
10	3	689.0807	.1408 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
10	4	687.9074	.1427 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
10	5	686.7183	.1446 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
10	6	685.5131	.1466 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	7	684.2916	.1424 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	8	683.1045	.1383 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	9	681.9517	.1342 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	10	680.8333	.1300 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0000
10	11	679.7497	.1236 V	-.0031 >	.0000	.0000	.0000
10	12	677.6890	.1163 V	-.0041 >	.0000	.0000	.0000
10	13	675.7506	.1069 V	-.0060 >	.0000	.0000	.0000
10	14	672.1865	.0981 V	-.0074 >	.0000	.0000	.0000
10	15	668.9170	.0920 V	-.0066 >	.0000	.0000	.0000
10	16	665.8500	.0879 V	-.0057 >	.0000	.0000	.0000
10	17	662.9210	.0851 V	-.0046 >	.0000	.0000	.0000
10	18	660.0850	.0833 V	-.0035 >	.0000	.0000	.0000
10	19	657.3099	.0821 V	-.0024 >	.0000	.0000	.0000
10	20	654.5721	.0816 V	-.0012 >	.0000	.0000	.0000
10	21	651.8527	.0773 V	-.0095 >	.0000	.0000	.0000
10	22	651.8441	.0687 V	-.0176 >	.0000	.0000	-.0002
10	23	651.8365	.0598 V	-.0157 >	.0000	.0000	-.0001
10	24	651.8298	.0503 V	-.0138 >	.0000	.0000	-.0001
10	25	651.8243	.0401 V	-.0120 >	.0000	.0000	-.0001
10	26	651.8198	.0292 V	-.0104 >	.0000	.0000	-.0001
10	27	651.8166	.0178 V	-.0092 >	.0000	.0000	-.0001
10	28	651.8146	.0060 V	-.0084 >	.0000	.0000	-.0001
10	29	651.8139	.0000 V	-.0040 >	.0000	.0000	-.0001
11	1	697.6855	.1375 V	-.0005 >	-.1370	.0000	.0000
11	2	696.5398	.1366 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	3	695.4019	.1356 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	4	694.2717	.1347 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	5	693.1494	.1337 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	6	692.0352	.1327 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	7	690.9293	.1317 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	8	689.8320	.1306 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	9	688.7435	.1295 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	10	687.6640	.1284 V	-.0010 >	.0000	.0000	.0000
11	11	686.5937	.1268 V	-.0014 >	.0000	.0000	.0000
11	12	684.4805	.1246 V	-.0019 >	.0000	.0000	.0000
11	13	682.4033	.1215 V	-.0029 >	.0000	.0000	.0000
11	14	678.3517	.1181 V	-.0040 >	.0000	.0000	.0000
11	15	674.4149	.1155 V	-.0040 >	.0000	.0000	.0000
11	16	670.5662	.1136 V	-.0038 >	.0000	.0000	.0000
11	17	666.7811	.1123 V	-.0034 >	.0000	.0000	.0000
11	18	663.0380	.1116 V	-.0028 >	.0000	.0000	.0000
11	19	659.3190	.1113 V	-.0021 >	.0000	.0000	.0000
11	20	655.6106	.1112 V	-.0011 >	.0000	.0000	.0000
11	21	651.9056	.1143 V	-.0126 >	.0000	.0000	.0000
11	22	651.8929	.1142 V	-.0174 >	.0000	.0000	.0001
11	23	651.8802	.1075 V	-.0090 >	.0000	.0000	.0001
11	24	651.8683	.0957 V	-.0020 >	.0000	.0000	.0001
11	25	651.8577	.0798 V	.0039 >	.0000	.0000	.0001
11	26	651.8488	.0606 V	.0089 >	.0000	.0000	.0001
11	27	651.8421	.0384 V	.0130 >	.0000	.0000	.0001
11	28	651.8378	.0136 V	.0165 >	.0000	.0000	.0000
11	29	651.8363	.0000 V	.0096 >	.0000	.0000	.0000
12	1	700.8846	.1365 V	.0000 >	-.1370	.0000	.0000
12	2	699.7470	.1359 V	-.0003 >	.0000	.0000	.0000
12	3	698.6145	.1356 V	-.0007 >	.0000	.0000	.0000
12	4	697.4844	.1351 V	-.0004 >	.0000	.0000	.0000
12	5	696.3587	.1343 V	-.0002 >	.0000	.0000	.0000

12	6	695.2394	.1336 V	-.0002 >	.0000	.0000	.0000
12	7	694.1263	.1326 V	.0001 >	.0000	.0000	.0000
12	8	693.0216	.1313 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
12	9	691.9276	.1300 V	.0003 >	.0000	.0000	.0000
12	10	690.8439	.1285 V	.0006 >	.0000	.0000	.0000
12	11	689.7729	.1258 V	.0013 >	.0000	.0000	.0000
12	12	687.6758	.1229 V	.0010 >	.0000	.0000	.0000
12	13	685.6278	.1194 V	.0006 >	.0000	.0000	.0000
12	14	681.6484	.1182 V	-.0028 >	.0000	.0000	.0000
12	15	677.7091	.1205 V	-.0063 >	.0000	.0000	.0000
12	16	673.6926	.1230 V	-.0063 >	.0000	.0000	.0000
12	17	669.5918	.1261 V	-.0064 >	.0000	.0000	.0000
12	18	665.3898	.1299 V	-.0066 >	.0000	.0000	.0000
12	19	661.0605	.1348 V	-.0070 >	.0000	.0000	.0000
12	20	656.5663	.1377 V	-.0040 >	.0000	.0000	.0000
12	21	651.9758	.3117 V	-.1866 >	.0000	.0000	.0000
12	22	651.9412	.3229 V	-.0287 >	.0000	.0000	.0000
12	23	651.9053	.2832 V	.0307 >	.0000	.0000	.0000
12	24	651.8738	.2433 V	.0379 >	.0000	.0000	.0000
12	25	651.8468	.2036 V	.0436 >	.0000	.0000	.0000
12	26	651.8242	.1646 V	.0479 >	.0000	.0000	.0000
12	27	651.8059	.1267 V	.0509 >	.0000	.0000	.0000
12	28	651.7918	.0794 V	.0638 >	.0000	.0000	.0000
12	29	651.7830	.0000 V	.0889 >	.0000	.0000	.0000
13	1	700.8802	.0000 V	.0000 >	.0000	.0000	.0000
13	2	700.8738	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0003	.0000
13	3	700.8673	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0007	.0000
13	4	698.9709	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0004	.0000
13	5	697.0007	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0002	.0000
13	6	695.9488	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0002	.0000
13	7	693.9561	.0000 V	.0000 >	.0000	.0001	.0000
13	8	691.9593	.0000 V	.0000 >	.0000	.0003	.0000
13	9	690.9599	.0000 V	.0000 >	.0000	.0003	.0000
13	10	688.9633	.0000 V	.0000 >	.0000	.0006	.0000
13	11	686.9671	.0000 V	.0000 >	.0000	.0013	.0000
13	12	685.9606	.0000 V	.0000 >	.0000	.0010	.0000
13	13	684.9619	.0000 V	.0000 >	.0000	.0006	.0000
13	14	683.9459	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0028	.0000
13	15	682.9305	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0063	.0000
13	16	678.9300	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0063	.0000
13	17	674.9289	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0064	.0000
13	18	670.9271	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0066	.0000
13	19	666.9235	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0070	.0000
13	20	659.9302	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0040	.0000
13	21	653.0123	.0000 V	.0000 >	.0000	-.1866	.0000
13	22	652.0208	.0000 V	.0000 >	.0000	-.0287	.0000
13	23	651.8201	.0000 V	.0000 >	.0000	.0307	.0000
13	24	651.7686	.0000 V	.0000 >	.0000	.0379	.0000
13	25	651.7257	.0000 V	.0000 >	.0000	.0436	.0000
13	26	651.6912	.0000 V	.0000 >	.0000	.0479	.0000
13	27	651.6644	.0000 V	.0000 >	.0000	.0509	.0000
13	28	651.6145	.0000 V	.0000 >	.0000	.0638	.0000
13	29	651.2889	.0000 V	.0000 >	.0000	.0889	.0000

NIVELES PIEZOMETRICOS EN EL NUDO (I,J) (EN M)

COLUMNA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FILA	1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
FILA	2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	690.24
FILA	3	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	689.08
FILA	4	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	687.91
FILA	5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	675.08	.00	686.72
FILA	6	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	672.27	.00	685.51
FILA	7	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	669.46	663.88	684.29

FILA	8	.00	.00	.00	.00	661.43	660.55	661.15	666.67	662.67	683.10
FILA	9	670.89	.00	655.46	656.73	660.30	659.40	659.99	663.90	661.40	681.95
FILA	10	670.82	652.95	654.32	655.59	659.17	658.25	658.83	661.14	660.08	680.83
FILA	11	651.61	651.76	653.18	654.43	658.05	657.10	657.67	658.40	658.70	679.75
FILA	12	650.71	651.75	653.17	654.43	655.85	657.08	657.66	658.38	658.68	677.69
FILA	13	650.51	651.73	653.16	654.43	655.84	657.07	657.65	658.37	658.67	675.75
FILA	14	648.39	651.69	653.16	654.43	655.84	657.07	657.62	658.36	658.66	672.19
FILA	15	640.10	650.73	652.63	653.70	654.73	657.08	657.59	657.31	658.36	668.92
FILA	16	640.10	650.11	652.14	652.97	653.57	655.16	655.61	656.21	657.68	665.85
FILA	17	644.05	649.82	651.70	652.25	652.37	653.30	653.62	655.08	656.74	662.92
FILA	18	644.05	649.68	651.31	651.55	651.14	651.45	651.59	653.93	655.61	660.08
FILA	19	645.05	649.70	650.97	650.87	651.12	651.45	651.58	652.82	654.37	657.31
FILA	20	646.04	649.85	650.69	650.86	651.10	651.45	651.59	651.69	653.07	654.57
FILA	21	648.02	650.12	650.68	650.84	651.08	651.47	651.59	651.69	651.78	651.85
FILA	22	650.22	650.46	650.66	650.83	651.04	651.50	651.60	651.69	651.77	651.84
FILA	23	650.30	650.46	650.65	650.81	651.01	651.52	651.60	651.69	651.77	651.84
FILA	24	650.30	650.46	650.64	650.79	651.00	651.54	651.61	651.69	651.77	651.83
FILA	25	650.30	650.46	650.63	650.75	.00	651.55	651.61	651.69	651.76	651.82
FILA	26	650.30	650.46	650.62	650.72	.00	651.56	651.62	651.69	651.76	651.82
FILA	27	650.30	650.46	650.61	650.71	.00	651.56	651.62	651.69	651.76	651.82
FILA	28	650.29	650.45	650.61	650.70	.00	.00	651.63	651.69	651.76	651.81
FILA	29	650.20	650.40	650.60	650.69	.00	.00	651.63	651.69	651.76	651.81
FILA	30	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

DISTRIBUCION DE LA RECARGA EN LA SUPERFICIE LIBRE EN MM/AÑO

NUDO DE LA COLUMNA 1 FILA 9 = .0000
NUDO DE LA COLUMNA 2 FILA 10 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 3 FILA 9 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 4 FILA 9 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 5 FILA 8 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 6 FILA 8 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 7 FILA 8 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 8 FILA 5 = 123.0050
NUDO DE LA COLUMNA 9 FILA 7 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 10 FILA 2 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 11 FILA 1 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 12 FILA 1 = 50.0050
NUDO DE LA COLUMNA 13 FILA 1 = -.0005
CAUDAL TOTAL QUE ENTRA POR LA SUPERFICIE LIBRE = 1.707 M^3/DIA
VALOR DE LA RECARGA MEDIA..... = 51.92 MM/AÑO

DATOS DE CAUDALES POR SECCIONES
(CAUDALES QUE ATRAVIESAN LA SECCION EN M^3/DIA)

SECCION VERTICAL POR LA COLUMNA	CAUDAL HORIZONTAL (POSITIVO ---->)	EXTRAIDO (DE TODA LA COLUMNA)	ALMACENADO
1	-1.583	.000	1.583
2	-1.446	-.137	.000
3	-1.310	-.137	.000
4	-1.174	-.137	.000
5	-1.038	-.137	.000
6	-.902	-.137	.000
7	-.769	-.137	.000
8	-.434	-.337	.000
9	-.299	-.137	.000
10	-.163	-.137	.000
11	-.026	-.137	.000
12	.111	-.137	.000
13	.000	.000	.111

ANEXO 5

Cálculo de caudales en las parcelas BX8 y BX6

ANEXO 5: Cálculo del caudal que circula en el perfil de la parcela BX8, a dos profundidades, 1015 cm y 915 cm, utilizando las curvas de retención determinadas con las muestras BX8M25 y BX8M28.

	GRADIENTE		CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA RELATIVA(cm/día)				CAUDAL (mm)			
			A 915 cm		A 1015 cm		a 915 cm		a 1015 cm	
	i 915 cm	i 1015cm	M25	M28	M25	M28	M25	M28	M25	M28
02/02	-0.03294	-0.24433	0.219742	0.130742	0.169249	0.085558	0.036188	0.018086	0.20676	0.087797
03/02	-0.03702	-0.22227	0.219125	0.130154	0.168466	0.08491	0.040556	0.020235	0.187225	0.079267
04/02	-0.03589	-0.22218	0.220212	0.13119	0.169093	0.085429	0.039518	0.019776	0.187847	0.079719
05/02	-0.03677	-0.23668	0.219887	0.130881	0.16925	0.085559	0.040428	0.020213	0.200292	0.085051
06/02	-0.03514	-0.2481	0.220124	0.131106	0.169618	0.085864	0.038679	0.019351	0.210407	0.08947
07/02	-0.03679	-0.26107	0.219829	0.130824	0.169775	0.085994	0.040437	0.020215	0.221614	0.094292
08/02	-0.03752	-0.26105	0.219975	0.130964	0.169881	0.086082	0.041266	0.020637	0.22174	0.094382
09/02	-0.03516	-0.2862	0.220065	0.13105	0.170463	0.086566	0.03869	0.019354	0.243929	0.104054
10/02	-0.0343	-0.3136	0.22033	0.131304	0.171244	0.087217	0.037788	0.018916	0.268515	0.114878
11/02	-0.03569	-0.27567	0.218428	0.129489	0.169229	0.085542	0.038977	0.01941	0.233257	0.099041
12/02	-0.03228	-0.23446	0.219361	0.130379	0.168778	0.085168	0.035408	0.017678	0.197856	0.083867
13/02	-0.03363	-0.23744	0.220006	0.130994	0.169267	0.085573	0.036992	0.018501	0.200958	0.085339
14/02	-0.0268	-0.23599	0.21951	0.130521	0.168778	0.085168	0.029416	0.014692	0.199146	0.084413
15/02	-0.02841	-0.22685	0.219334	0.130352	0.168501	0.084938	0.031157	0.015554	0.191124	0.080928
16/02	-0.03529	-0.23595	0.219653	0.130657	0.169057	0.085399	0.038762	0.019368	0.199441	0.084628
17/02	-0.03292	-0.25042	0.219801	0.130798	0.169424	0.085703	0.036177	0.018083	0.212133	0.090138
18/02	-0.02972	-0.28926	0.220097	0.13108	0.170427	0.086536	0.032705	0.016361	0.246487	0.105132
19/02	-0.03084	-0.25659	0.219011	0.130045	0.169038	0.085384	0.033775	0.016846	0.216865	0.092015
20/02	-0.02998	-0.25961	0.219275	0.130296	0.169248	0.085557	0.032871	0.016407	0.219696	0.09329
21/02	-0.02983	-0.27938	0.219744	0.130743	0.169985	0.086169	0.032776	0.016381	0.237456	0.101112
22/02	-0.03073	-0.28627	0.219362	0.130379	0.169932	0.086124	0.033705	0.016828	0.243233	0.103551
23/02	-0.02994	-0.27941	0.219392	0.130408	0.169774	0.085993	0.032848	0.016401	0.237185	0.100916
24/02	-0.02916	-0.27713	0.219421	0.130436	0.169721	0.085949	0.03199	0.015974	0.235172	0.10004
25/02	-0.02379	-0.28554	0.219219	0.130243	0.169668	0.085905	0.026077	0.013014	0.242238	0.103025
26/02	-0.0262	-0.32116	0.221403	0.13233	0.17189	0.087757	0.029003	0.014561	0.27602	0.118372
27/02	-0.02011	-0.29399	0.218609	0.129662	0.169403	0.085686	0.021977	0.01095	0.249014	0.105801
28/02	-0.02016	-0.24905	0.218435	0.129496	0.168273	0.084751	0.022021	0.010966	0.209544	0.088651
01/03	-0.02433	-0.26796	0.219952	0.130942	0.169722	0.08595	0.026759	0.013381	0.227389	0.096729
02/03	-0.02866	-0.27492	0.218576	0.12963	0.169142	0.085469	0.031317	0.015601	0.2325	0.098687
03/03	-0.02845	-0.25201	0.219217	0.130241	0.169004	0.085355	0.031182	0.015562	0.212949	0.090341
04/03	-0.03025	-0.28102	0.218459	0.129519	0.169247	0.085556	0.033037	0.016453	0.237806	0.100979
05/03	-0.02603	-0.29237	0.219481	0.130493	0.170037	0.086212	0.028571	0.014269	0.24857	0.105865
06/03	-0.02676	-0.30683	0.219628	0.130633	0.170479	0.086579	0.02939	0.014684	0.261542	0.111574
07/03	-0.02952	-0.28179	0.218314	0.129381	0.169159	0.085483	0.032219	0.016039	0.23834	0.101173
08/03	-0.03062	-0.271	0.219714	0.130715	0.169792	0.086008	0.033635	0.016809	0.23007	0.097896
09/03	-0.03088	-0.2665	0.218895	0.129934	0.169195	0.085513	0.033798	0.016852	0.225454	0.095716
10/03	-0.03142	-0.29691	0.219625	0.130631	0.170355	0.086477	0.034505	0.017239	0.252903	0.107839
11/03	-0.0291	-0.32054	0.219597	0.130604	0.170833	0.086875	0.031954	0.015964	0.273796	0.116957
12/03	-0.0248	-0.59418	0.21849	0.129549	0.176596	0.091724	0.027095	0.013495	0.524646	0.2289
13/03	-0.00767	-0.7351	0.228721	0.139395	0.186628	0.100383	0.008767	0.004488	0.685951	0.309923
14/03	-0.0328	-0.79799	0.222629	0.133506	0.184875	0.09885	0.036511	0.018392	0.737642	0.331302
15/03	-0.03585	-0.68236	0.22033	0.131303	0.180333	0.094918	0.039498	0.019772	0.615264	0.272027
16/03	-0.04029	-0.60991	0.221039	0.131981	0.179068	0.093832	0.044523	0.022331	0.546075	0.240362
17/03	-0.03702	-0.53084	0.219125	0.130154	0.175753	0.091008	0.040556	0.020235	0.466487	0.202907
18/03	-0.03393	-0.47829	0.219068	0.130099	0.17436	0.089831	0.037164	0.01854	0.416971	0.180453
19/03	-0.04227	-0.44011	0.219679	0.130682	0.174031	0.089554	0.04643	0.023201	0.382965	0.165537
20/03	-0.03617	-0.44321	0.21933	0.130349	0.173736	0.089306	0.03967	0.019804	0.385007	0.16624
21/03	-0.03949	-0.41202	0.218687	0.129736	0.172661	0.088402	0.043175	0.021516	0.355695	0.152977
22/03	-0.03642	-0.3968	0.218572	0.129627	0.172155	0.087978	0.0398	0.019827	0.341553	0.14662
23/03	-0.03264	-0.37474	0.218255	0.129325	0.171347	0.087303	0.03562	0.017729	0.321055	0.137408
24/03	-0.034	-0.45545	0.218835	0.129877	0.173662	0.089243	0.037207	0.018549	0.395471	0.170712
25/03	-0.05389	-0.49721	0.219762	0.130761	0.175756	0.091011	0.059212	0.029595	0.436937	0.190056
26/03	-0.05488	-0.50565	0.219088	0.130118	0.175549	0.090836	0.060118	0.029992	0.443827	0.192908
27/03	-0.05772	-0.50404	0.219907	0.130899	0.176112	0.091313	0.063467	0.031734	0.44384	0.193308
28/03	-0.05054	-0.51849	0.22053	0.131494	0.176697	0.091809	0.055725	0.027911	0.458076	0.199929
29/03	-0.04233	-0.50413	0.219503	0.130514	0.175474	0.090772	0.046455	0.023202	0.442306	0.192195
30/03	-0.05524	-0.50498	0.217984	0.129068	0.174821	0.09022	0.060205	0.029944	0.441405	0.191349
31/03	-0.04613	-0.4723	0.217355	0.128469	0.173404	0.089026	0.050132	0.02489	0.409494	0.176598
01/04	-0.0466	-0.44022	0.218307	0.129374	0.17326	0.088905	0.05086	0.025318	0.381359	0.164377
02/04	-0.04493	-0.45086	0.218656	0.129706	0.173699	0.089274	0.04912	0.024476	0.391568	0.16905
03/04	-0.04727	-0.48209	0.218626	0.129677	0.174489	0.08994	0.05167	0.025744	0.420599	0.182109
04/04	-0.04297	-0.46239	0.217529	0.128635	0.173203	0.088858	0.046734	0.023214	0.400439	0.172565
05/04	-0.04314	-0.43501	0.217012	0.128144	0.172224	0.088036	0.046806	0.023217	0.374594	0.160845
06/04	-0.04368	-0.42123	0.21773	0.128826	0.17237	0.088159	0.04755	0.023633	0.363036	0.155966
07/04	-0.04282	-0.42807	0.21799	0.129073	0.172678	0.088416	0.046668	0.023211	0.369587	0.158962
08/04	-0.04285	-0.43569	0.217875	0.128963	0.172786	0.088507	0.046685	0.023212	0.37641	0.161961
09/04	-0.04226	-0.41822	0.217328	0.128444	0.172009	0.087656	0.045918	0.022796	0.359686	0.154322
10/04	-0.04446	-0.40447	0.217701	0.128798	0.171974	0.087827	0.048399	0.024053	0.347788	0.149197
11/04	-0.04014	-0.3779	0.21667	0.12782	0.170598	0.086678	0.043491	0.021552	0.322348	0.137576
12/04	-0.04385	-0.38165	0.217212	0.128334	0.171114	0.087109	0.047621	0.023634	0.326532	0.139631
13/04	-0.05122	-0.39621	0.21604	0.127223	0.170881	0.086914	0.055328	0.027369	0.338524	0.144633
14/04	-0.04086	-0.38322	0.21687	0.128009	0.170864	0.0869	0.044301	0.021965	0.327391	0.139867
15/04	-0.04832	-0.37702	0.217786	0.128878	0.171472	0.087408	0.052614	0.026154	0.323241	0.138408
16/04	-0.04725	-0.38858	0.216297	0.127466	0.170775	0.086826	0.051104	0.025298	0.331799	0.141703

17/04	-0.04779	-0.38166	0.21701	0.128142	0.171078	0.087079	0.05186	0.025723	0.326468	0.139585
18/04	-0.04991	-0.41436	0.21767	0.128768	0.172316	0.088113	0.054317	0.026991	0.357002	0.153344
19/04	-0.04952	-0.41522	0.216495	0.127654	0.171577	0.087495	0.053601	0.026548	0.356214	0.152586
20/04	-0.05099	-0.40834	0.216723	0.12787	0.171596	0.087511	0.055258	0.027387	0.350348	0.150084
21/04	-0.04585	-0.38025	0.215844	0.127037	0.17026	0.086398	0.049484	0.024465	0.323703	0.13798
22/04	-0.04503	-0.35509	0.215986	0.127172	0.16975	0.085974	0.048628	0.024051	0.301385	0.12822
23/04	-0.04883	-0.35125	0.216239	0.127412	0.169909	0.086106	0.05279	0.026128	0.298401	0.127027
24/04	-0.0494	-0.36034	0.216838	0.127979	0.17051	0.086605	0.053563	0.026555	0.307204	0.131069
25/04	-0.04796	-0.36647	0.216496	0.127655	0.170403	0.086516	0.05192	0.025716	0.312235	0.133162
26/04	-0.04976	-0.381	0.215757	0.126955	0.170313	0.086442	0.053682	0.026534	0.324449	0.138325
27/04	-0.05165	-0.38697	0.217094	0.128222	0.171346	0.087302	0.056063	0.027814	0.331531	0.141891
28/04	-0.04754	-0.38027	0.215447	0.126662	0.170048	0.086221	0.051208	0.025288	0.323325	0.137709
29/04	-0.03919	-0.32245	0.21486	0.126108	0.168164	0.08466	0.042107	0.020759	0.271122	0.114655
30/04	-0.04662	-0.34138	0.215872	0.127064	0.1694	0.085683	0.050318	0.024879	0.289151	0.122853
01/05	-0.05126	-0.36193	0.215926	0.127115	0.170014	0.086193	0.05534	0.027366	0.30767	0.131024
02/05	-0.04986	-0.35817	0.215474	0.126688	0.169609	0.085857	0.053713	0.026528	0.303745	0.129155
03/05	-0.04062	-0.34374	0.215253	0.126479	0.168927	0.085291	0.043713	0.021575	0.290338	0.123137
04/05	-0.05223	-0.34217	0.215332	0.126554	0.169207	0.085523	0.056236	0.027763	0.289492	0.122908
05/05	-0.05365	-0.34975	0.215727	0.126927	0.169663	0.085901	0.057872	0.028602	0.296701	0.126186
06/05	-0.05762	-0.36729	0.215471	0.126685	0.169996	0.086178	0.062076	0.030658	0.312188	0.132939
07/05	-0.05616	-0.37037	0.21519	0.126419	0.169855	0.086061	0.060426	0.029819	0.314542	0.13387
08/05	-0.05856	-0.35742	0.214992	0.126232	0.169486	0.085755	0.062945	0.031045	0.302891	0.128733
09/05	-0.05764	-0.36348	0.215414	0.126631	0.169873	0.086076	0.06208	0.030655	0.30873	0.131406
10/05	-0.05938	-0.38105	0.214851	0.126099	0.16996	0.086148	0.063788	0.031448	0.323818	0.137873
11/05	-0.06533	-0.41068	0.215637	0.126842	0.171291	0.087256	0.070433	0.034801	0.351725	0.150503
12/05	-0.06045	-0.41008	0.213985	0.125282	0.170099	0.086263	0.064673	0.031806	0.34877	0.148574
13/05	-0.04599	-0.33858	0.213132	0.124479	0.167593	0.08419	0.049008	0.024043	0.283722	0.119722
14/05	-0.05641	-0.3331	0.21446	0.125731	0.168545	0.084975	0.060483	0.029786	0.280708	0.118881
15/05	-0.05872	-0.34832	0.214487	0.125756	0.168962	0.08532	0.062978	0.031017	0.294268	0.12482
16/05	-0.05878	-0.36129	0.21432	0.125598	0.169153	0.085478	0.06299	0.031008	0.305568	0.129707
17/05	-0.05126	-0.34538	0.2136	0.12492	0.168162	0.084659	0.054749	0.026896	0.290401	0.122807
18/05	-0.06334	-0.35287	0.214597	0.12586	0.169241	0.085551	0.067968	0.033485	0.298602	0.126792
19/05	-0.06735	-0.3468	0.214232	0.125516	0.168962	0.08532	0.072141	0.035504	0.292976	0.124272
20/05	-0.0482	-0.33474	0.21349	0.124817	0.167783	0.084346	0.051446	0.025265	0.280814	0.118581
21/05	-0.062	-0.34684	0.213984	0.125281	0.168683	0.085089	0.066334	0.032623	0.292526	0.12395
22/05	-0.062	-0.36817	0.213984	0.125281	0.16917	0.085493	0.066334	0.032623	0.311416	0.132198
23/05	-0.06898	-0.38948	0.214009	0.125305	0.169836	0.086045	0.073808	0.036301	0.330736	0.140753
24/05	-0.06065	-0.39337	0.213374	0.124707	0.169326	0.085622	0.06471	0.031769	0.33304	0.141461
25/05	-0.05082	-0.37595	0.212634	0.124012	0.168229	0.084714	0.054026	0.026467	0.316227	0.133762
26/05	-0.05446	-0.34997	0.213321	0.124658	0.168162	0.084659	0.05809	0.028514	0.294257	0.124437
27/05	-0.05452	-0.33398	0.213156	0.124502	0.167697	0.084275	0.058105	0.028508	0.28004	0.118215
28/05	-0.05742	-0.34154	0.213764	0.125074	0.168318	0.084788	0.061368	0.030162	0.287435	0.121625
29/05	-0.05177	-0.34607	0.214407	0.12568	0.1687	0.085104	0.055495	0.027325	0.29191	0.123697
30/05	-0.04971	-0.35148	0.2136	0.12492	0.168266	0.084744	0.053091	0.026081	0.295712	0.125102
31/05	-0.05261	-0.34304	0.214211	0.125495	0.168527	0.08496	0.056346	0.027729	0.289054	0.122406
01/06	-0.0527	-0.34535	0.213932	0.125233	0.168405	0.084859	0.056374	0.02772	0.290791	0.123085
02/06	-0.05641	-0.36662	0.21446	0.125731	0.16931	0.085609	0.060483	0.029786	0.310363	0.131821
03/06	-0.05055	-0.3675	0.213406	0.124738	0.168525	0.084959	0.053941	0.026484	0.309662	0.131133
04/06	-0.05435	-0.41348	0.213654	0.124971	0.169823	0.086034	0.05806	0.028527	0.351095	0.14941
05/06	-0.05583	-0.40965	0.213875	0.125179	0.169912	0.086108	0.0597	0.029351	0.34802	0.148151
06/06	-0.05757	-0.41655	0.21332	0.124657	0.169753	0.085976	0.061401	0.03014	0.353553	0.150416
CAUDAL QUE ENTRA-CAUDAL QUE SALE (PERIODO 2/2 HASTA 12/6/95):							**5.68**	**2.81**	**38.42**	**16.46**

ANEXO 5: Cálculo del caudal que circula en el perfil de BX6 a 250 cm de profundidad, desde el día 2/2 hasta el día 12/6/95.

FECHA	i 250 cm	K RELATIVA (cm/día)		Caudal (mm)	
		M25	M28	M25	M28
02/02	-0.178	0.206456	0.118253	0.183746	0.088406
03/02	-0.19	0.2048	0.116724	0.19456	0.093146
04/02	-0.208	0.203819	0.115822	0.211972	0.101182
05/02	-0.22	0.202205	0.114342	0.222426	0.105652
06/02	-0.227	0.20243	0.114547	0.229758	0.109209
07/02	-0.208	0.201439	0.113641	0.209497	0.099277
08/02	-0.19	0.2048	0.116724	0.19456	0.093146
09/02	-0.184	0.204211	0.116182	0.187874	0.089785
10/02	-0.177	0.205228	0.117119	0.181627	0.087066
11/02	-0.177	0.202816	0.114901	0.179492	0.085417
12/02	-0.195	0.19871	0.111157	0.193742	0.091038
13/02	-0.171	0.203009	0.115078	0.173573	0.082649
14/02	-0.184	0.20259	0.114694	0.186383	0.088636
15/02	-0.165	0.201598	0.113787	0.166319	0.078854
16/02	-0.171	0.201027	0.113265	0.171878	0.081347
17/02	-0.17	0.199862	0.112203	0.169882	0.080113
18/02	-0.171	0.200269	0.112575	0.17123	0.080851
19/02	-0.189	0.19699	0.109602	0.186156	0.087002
20/02	-0.182	0.196051	0.108755	0.178406	0.083132
21/02	-0.182	0.195329	0.108106	0.17775	0.082636
22/02	-0.158	0.19757	0.110126	0.156081	0.073079
23/02	-0.17	0.194554	0.10741	0.165371	0.07669
24/02	-0.158	0.196777	0.109409	0.155454	0.072604
25/02	-0.145	0.197173	0.109767	0.14295	0.066848
26/02	-0.152	0.198493	0.110961	0.150855	0.070837
27/02	-0.164	0.194375	0.10725	0.159388	0.073874
28/02	-0.176	0.191856	0.105	0.168833	0.077616
01/03	-0.164	0.197754	0.110292	0.162158	0.075969
02/03	-0.151	0.192582	0.105646	0.145399	0.067001
03/03	-0.138	0.19402	0.106931	0.133874	0.061977
04/03	-0.139	0.195479	0.10824	0.135858	0.063191
05/03	-0.133	0.19754	0.110098	0.131364	0.061501
06/03	-0.115	0.200018	0.112346	0.115011	0.054263
07/03	-0.151	0.19148	0.104666	0.144568	0.066379
08/03	-0.157	0.192407	0.10549	0.151039	0.06956
09/03	-0.151	0.191135	0.104359	0.144307	0.066184
10/03	-0.114	0.19587	0.108592	0.111646	0.051994
11/03	-0.096	0.200238	0.112546	0.096114	0.045379
12/03	-0.102	0.196232	0.108918	0.100078	0.04666
13/03	-0.144	0.190248	0.103572	0.136979	0.062641
14/03	-0.12	0.193489	0.106457	0.116094	0.053654
15/03	-0.139	0.190791	0.104053	0.1326	0.060746
16/03	-0.096	0.196777	0.109409	0.094453	0.044114
17/03	-0.102	0.19402	0.106931	0.09895	0.045809
18/03	-0.114	0.190762	0.104028	0.108734	0.049809
19/03	-0.113	0.189031	0.102496	0.106803	0.048645
20/03	-0.113	0.186971	0.100683	0.105639	0.047784
21/03	-0.131	0.185115	0.099059	0.12125	0.054503
22/03	-0.057	0.186422	0.100202	0.05313	0.023988
23/03	-0.032	0.187109	0.100804	0.029937	0.013548
24/03	-0.044	0.183426	0.09759	0.040354	0.018035

25/03	-0.062	0.182949	0.097176	0.056714	0.025305
26/03	-0.088	0.183267	0.097451	0.080637	0.036018
27/03	-0.081	0.182133	0.096469	0.073764	0.032819
28/03	-0.057	0.18544	0.099343	0.05285	0.023783
29/03	-0.075	0.183613	0.097751	0.068855	0.030792
30/03	-0.088	0.182949	0.097176	0.080498	0.035916
31/03	-0.075	0.181975	0.096333	0.068241	0.030345
01/04	-0.088	0.181011	0.095501	0.079645	0.035297
02/04	-0.056	0.182791	0.097038	0.051181	0.022823
03/04	-0.063	0.183933	0.09803	0.057939	0.025939
04/04	-0.032	0.184441	0.098472	0.029511	0.013235
05/04	-0.05	0.183267	0.097451	0.045817	0.020465
06/04	-0.063	0.18229	0.096605	0.057421	0.025562
07/04	-0.056	0.183108	0.097314	0.05127	0.022888
08/04	-0.045	0.18544	0.099343	0.041724	0.018776
09/04	-0.045	0.18544	0.099343	0.041724	0.018776
10/04	-0.032	0.184441	0.098472	0.029511	0.013235
11/04				0.024893	0.011297
12/04				0.024893	0.011297
13/04				0.024893	0.011297
14/04				0.024893	0.011297
15/04				0.024893	0.011297
16/04				0.024893	0.011297
17/04				0.024893	0.011297
18/04				0.024893	0.011297
19/04				0.024893	0.011297
20/04				0.024893	0.011297
21/04				0.024893	0.011297
22/04				0.024893	0.011297
23/04				0.024893	0.011297
24/04	-0.021	0.193108	0.106116	0.020276	0.009359
25/04	-0.118	0.184764	0.098754	0.109011	0.048942
26/04	-0.074	0.179112	0.093869	0.066271	0.029175
27/04	-0.068	0.178959	0.093739	0.060846	0.026772
28/04	-0.037	0.180365	0.094945	0.033368	0.014754
29/04	-0.049	0.174811	0.090212	0.042829	0.018566
30/04	-0.104	0.172863	0.088571	0.089889	0.038688
01/05	-0.031	0.177673	0.09264	0.027539	0.012062
02/05	-0.043	0.174957	0.090335	0.037616	0.016315
03/05	-0.03	0.174641	0.090068	0.026196	0.011349
04/05	-0.017	0.173748	0.089315	0.014769	0.006377
05/05	-0.03	0.173149	0.088812	0.025972	0.01119
06/05	-0.017	0.173748	0.089315	0.014769	0.006377
07/05	-0.011	0.173892	0.089437	0.009564	0.004132
08/05	-0.018	0.174351	0.089823	0.015692	0.006791
09/05	-0.005	0.174037	0.089559	0.004351	0.001881
10/05	0.019	0.177373	0.092385	-0.01685	-0.00737
11/05	0.025	0.177824	0.092769	-0.02223	-0.00974
12/05	-0.006	0.176454	0.091603	0.005294	0.002308
13/05	-0.017	0.172269	0.088074	0.014643	0.006288
14/05	-0.018	0.174351	0.089823	0.015692	0.006791
15/05	0.012	0.179724	0.094394	-0.01078	-0.00476
16/05	0.012	0.177849	0.09279	-0.01067	-0.00468
17/05	0.037	0.177523	0.092512	-0.03284	-0.01438
18/05	0.013	0.175396	0.090707	-0.0114	-0.00495
19/05	0.032	0.174933	0.090315	-0.02799	-0.01214
20/05	0.038	0.175079	0.090438	-0.03327	-0.01443
21/05	0.026	0.174787	0.090191	-0.02272	-0.00985
22/05	0.032	0.174933	0.090315	-0.02799	-0.01214
23/05	0.043	0.175543	0.090831	-0.03774	-0.0164
24/05	0.05	0.178453	0.093306	-0.04461	-0.01959

25/05	0.043	0.178934	0.093717	-0.03847	-0.01693
26/05	0.056	0.171679	0.087581	-0.04807	-0.0206
27/05	0.056	0.175519	0.09081	-0.04915	-0.02136
28/05	0.062	0.1769	0.091982	-0.05484	-0.02395
29/05	0.08	0.176454	0.091603	-0.07058	-0.03078
30/05	0.002	0.167001	0.083703	-0.00167	-0.0007
31/05	0.039	0.168968	0.085325	-0.03295	-0.01398
01/06	0.045	0.16824	0.084723	-0.03785	-0.01601
02/06	0.052	0.168671	0.08508	-0.04385	-0.01858
03/06	0.045	0.167427	0.084053	-0.03767	-0.01589
04/06	0.039	0.169518	0.085781	-0.03306	-0.01405
05/06	0.039	0.167833	0.084387	-0.03273	-0.01382
06/06	0.033	0.167968	0.084499	-0.02771	-0.01171
07/06	0.026	0.170372	0.08649	-0.02215	-0.00944
08/06	0.039	0.170674	0.086742	-0.03328	-0.01421
09/06	0.007	0.172554	0.088312	-0.00604	-0.0026
10/06	0.007	0.172554	0.088312	-0.00604	-0.0026
11/06	0.001	0.173316	0.088952	-0.00087	-0.00037
12/06	-0.018	0.174061	0.089579	0.015665	0.006772

CAUDAL QUE ENTRA -CAUDAL QUE SALE EN mm (DESDE EL 2/2 HASTA 12/6/95):

8.65 4.03

ANEXO 5: Caudal que circula en el perfil de BX6, desde el día 13/6 hasta 6/9/95.

FECHA	i 250 cm	K RELATIVA (cm/día) M25	M28	Caudal (mm) M25	M28
13/06	-1.906	0.173796	0.089356	1.656275	0.715311
14/06	-1.0736	0.18218	0.09651	0.977942	0.435175
15/06	-0.7158	0.185627	0.099507	0.664361	0.299153
16/06	-0.726	0.193754	0.106694	0.703328	0.32533
16/06	-0.829	0.210425	0.121943	0.87221	0.424579
17/06	-0.6	0.200112	0.112432	0.600337	0.283327
17/06	-0.6814	0.219729	0.13073	0.748618	0.374133
18/06	-0.4084	0.201764	0.113938	0.412002	0.195436
19/06	-0.2776	0.199324	0.111715	0.276662	0.130251
20/06	-0.2104	0.199499	0.111874	0.209873	0.098861
21/06	-0.1416	0.201611	0.113798	0.142741	0.067678
22/06	-0.0694	0.19571	0.108448	0.067912	0.031611
23/06	-0.1126	0.197935	0.110456	0.111438	0.052237
24/06	-0.0888	0.195281	0.108063	0.086705	0.040303
25/06	-3.8144	0.291399	0.203786	5.557561	3.264749
26/06	-0.6168	0.227764	0.138466	0.702425	0.358703
27/06	-0.3456	0.231258	0.14187	0.399613	0.205927
28/06	-0.2092	0.229183	0.139845	0.239725	0.122874
29/06	-0.122	0.22634	0.137084	0.138067	0.070242
30/06	-0.066	0.218859	0.1299	0.072223	0.036008
01/07	-0.054	0.21434	0.125617	0.057872	0.02849
02/07	-0.0012	0.208206	0.119875	0.001249	0.000604
03/07	-0.083	0.21332	0.124657	0.088528	0.043455
04/07	-0.0762	0.211085	0.12256	0.080424	0.039224
05/07	-0.0772	0.209613	0.121185	0.080911	0.039293
06/07	-0.0534	0.206753	0.118528	0.055203	0.026583
07/07	-0.0498	0.205363	0.117244	0.051135	0.024523
08/07	-0.1352	0.211578	0.123022	0.143027	0.069857
09/07	-0.065	0.210092	0.121632	0.06828	0.033206
10/07	-0.0304	0.207765	0.119466	0.03158	0.015253
11/07	-0.0404	0.209875	0.121429	0.042395	0.020604
12/07	0.0054	0.206593	0.118379	-0.00558	-0.00268
13/07	-0.0114	0.206312	0.11812	0.01176	0.005656
14/07	0.0098	0.208128	0.119803	-0.0102	-0.00493
15/07	0.0492	0.20971	0.121275	-0.05159	-0.02506
16/07	0.096	0.208648	0.120286	-0.10015	-0.0485
17/07	0.064	0.207468	0.119191	-0.06639	-0.03204
18/07	-0.0028	0.208655	0.120293	0.002921	0.001415
19/07	0.0364	0.211859	0.123285	-0.03856	-0.01885
20/07	-0.0434	0.215545	0.126755	0.046773	0.023105
21/07	0.0372	0.2152	0.126429	-0.04003	-0.01975
22/07	-0.0174	0.216414	0.127577	0.018828	0.009323
23/07	0.0102	0.21704	0.12817	-0.01107	-0.00549
24/07	-0.0362	0.217958	0.129043	0.03945	0.01962
25/07	-0.0562	0.223753	0.134587	0.062875	0.031768
26/07	-0.0284	0.222904	0.13377	0.031652	0.015956
27/07	0.0384	0.222089	0.132988	-0.04264	-0.02145
28/07	-0.0404	0.221649	0.132566	0.044773	0.022494
29/07	-0.0314	0.222846	0.133714	0.034987	0.017634
30/07	-0.1372	0.225227	0.136009	0.154506	0.078374
31/07	-0.1366	0.229717	0.140365	0.156896	0.08053
01/08	-0.1442	0.229369	0.140026	0.165375	0.084805
02/08	-0.1338	0.231329	0.14194	0.154759	0.079765
03/08	-0.1444	0.230328	0.140962	0.166297	0.08549
04/08	-0.123	0.231624	0.142228	0.142449	0.073475
05/08	-0.2024	0.226597	0.137334	0.229316	0.116745
06/08	-0.0896	0.226678	0.137412	0.101552	0.051711
07/08	-0.059	0.22207	0.132969	0.065511	0.03295

08/08	-0.0644	0.218425	0.129486	0.070333	0.035023
09/08	-0.0686	0.217017	0.128149	0.074437	0.036922
10/08	-0.0618	0.215153	0.126384	0.066482	0.032804
11/08	-0.0412	0.213509	0.124834	0.043983	0.021601
12/08	-0.0932	0.216506	0.127664	0.100892	0.049973
13/08	-0.1232	0.219416	0.130431	0.13516	0.06749
14/08	-0.089	0.2186	0.129654	0.097277	0.048464
15/08	-0.069	0.21857	0.129625	0.075407	0.037565
16/08	-0.0604	0.215461	0.126676	0.065069	0.032135
17/08	-0.046	0.213374	0.124707	0.049076	0.024093
18/08	0.0186	0.209872	0.121426	-0.01952	-0.00949
19/08	-0.0326	0.210169	0.121703	0.034257	0.016664
20/08	-0.035	0.208053	0.119733	0.036409	0.017601
21/08	0.0012	0.205182	0.117076	-0.00123	-0.00059
22/08	-0.1562	0.209754	0.121317	0.163818	0.079589
23/08	-0.271	0.229121	0.139785	0.310459	0.159103
24/08	-0.168	0.231662	0.142266	0.194596	0.100383
25/08	-0.14	0.231073	0.141689	0.161751	0.083313
26/08	-0.1006	0.227842	0.138541	0.114604	0.058536
27/08	-0.0684	0.223029	0.13389	0.076276	0.038464
28/08	-0.0348	0.218104	0.129181	0.03795	0.018881
29/08	-0.023	0.214171	0.125458	0.02463	0.012119
30/08	-0.0064	0.210193	0.121726	0.006726	0.003272
31/08	0.004	0.206256	0.118068	-0.00413	-0.00198
01/09	0.0236	0.202861	0.114942	-0.02394	-0.01139
02/09	0.0384	0.199843	0.112186	-0.03837	-0.01809
03/09	0.072	0.196153	0.108847	-0.07062	-0.03292
04/09	0.0602	0.19458	0.107434	-0.05857	-0.02716
05/09	0.06	0.192728	0.105776	-0.05782	-0.02666
06/09	0.036	0.191279	0.104486	-0.03443	-0.0158

Caudal que entra-caudal que sale en mm:

20.57033 **10.30641**

ANEXO 6

Parte diario del sondeo perforado en la parcela experimental BX8 y Pliego de condiciones original.

DEL m	AL m	LITOLOGÍA	N° DE GOLPES	OBSERVACIONES E INCIDENCIAS
FECHA		2 de NOVIEMBRE DE 1993		
50 cm 97 cm	97 cm 102 cm	Tierra vegetal y arcilla arenosa. M-8 ídem. M-VIII		Sale perfectamente, sin compactación. M-8 Muestra alterada M-VIII
102 cm 260 cm	155 cm 265 cm	Calizas y arcillas. M-9 Ídem. M-IX		Se cortan los 5 primeros cm de muestra. M-9 Muestra alterada. MIX
160 cm 205 cm	205 cm 210 cm	Calizas y arcillas M-10 Ídem M-X	n°Golpes:50/65s 70cm de caída de trépano	Se envía a U.K: 195-205 cm
FECHA		3 de NOVIEMBRE DE 1993		
210 cm 260 cm	260 cm 265 cm	Arcilla arenosa M-11 Margocalizas M-XI	n°Golpes:29/m 70cm de caída de trépano.	Los 1°s 22 cm se toman en 15'. Se añade varilla y los restantes se toman en 26 '.
265 cm 285 cm 295 cm 305 cm	285 cm 295 cm 305 cm 310 cm	265 285 295 305 M-12 M-12 | MXII | M-12 | M M-XII M-12 M-XII Margas.		Esta muestra se ha estropeado al ser sacada del tomamuestras. La parte comprendida entre 285 y 305 cm, ha sido metida a mano
310 cm 347 cm	347 cm 352 cm	Margas. A partir de 350 aparecen calizas. M-13 M-XIII	Se tarda en tomar esta muestra 20'	Se para de tomar muestra al notar que la perforación entra en un tramo muy duro.
352 cm 390 cm	390 cm 395 cm	Margas con algo de caliza.Se recupera más muestra que m perforados?. M-14 M-XIV	n°Golpes:29/m Se tarda en tomar esta muestra 30'	Se añade varillaje, cuando hay ya 25 cm tomados de muestra. A los 5'. Se limpia hasta 396 cm.

DEL cm	AL cm	LITOLOGÍA Y N° DE MUESTRA	N° DE GOLPES	OBSERVACIONES E INCIDENCIAS
FECHA		3 DE NOVIEMBRE DE 1993		
396 cm 439 cm	439 cm 444 cm	Margocalizas. M-15 M-XV	N°Golpes:29/m Se tarda en tomar esta muestra 30'	No se ensancha y limpia el sondeo después de tomar esta muestra. UK:429 cm-439 cm.
444 cm 459 cm	459 cm 464 cm	Margocalizas. Tramo durísimo. M-16 M-XVI		Salen 27 cm de muestra y hemos bajado sólo 20 en la perforación. Primeros 7 cm, son mat.caído. Se limpia hasta 366 cm.
466 cm 482 cm	482 cm 487 cm	Margocaliza. Tramo durísimo. M-17 M-XVII		Esta muestra se comienza a tomar el 3/11/93. Se extrae del terreno el 9/11/93. Se deja 5 días toda la sarta de perforación con la muestra dentro. Llueve.
Fecha		9 DE NOVIEMBRE DE 1993		
487 cm	505 cm	Tramo muy duro. Margas con una costra milimétrica de caliza. M-XVIII		Se pasa el tramo duro con una boquilla de mayor tamaño. No se pudo tomar muestra inalterada.
505 cm 548 cm	548 cm 553 cm	Margas con algo de calizas. M-19 M-XIX		A los 529 cm se añade otra varilla. Se pierden 3 o 4cm en la p.superior. Se limpia y queda el sondeo en 563 cm
563 cm 608 cm	608 cm 613 cm	Margas blancas. Tramo blando M-20 M-XX		Se envía a U.K: 599-608 cm. No se limpia el sondeo después de tomar esta muestra.

DEL cm	AL cm	LITOLOGÍA Y N° DE MUESTRA		N° DE GOLPES	OBSERVACIONES E INCIDENCIAS
FECHA		3 DE NOVIEMBRE DE 1993			
613 646 652	647 652 673	Arcilla ocre plástica	M-21 M-XXI M-XXI BIS	Se tardan 17' en tomar esta muestra.	Se limpia tras tomar la muestra, y se baja sin quererlo desde 652 hasta 673 cm.Se toma como MXXIBIS
673 cm ?	? 728 cm	Arcilla ocre muy plástica	M-22 M-XXII	Se toma sin golpeo. Sólo con el peso del trépano	Antes de tomar muestra se añade varillaje. Se compactan 5 cm.
728 cm 770 cm	770 cm 775 cm	Arcilla ocre plástica	M-23 M-XXIII	n°Golpes: 24/m	
FECHA		10 DE NOVIEMBRE DE 1993			
778 cm ?	 822 cm	Margas blancas	M-24 M-XXIV	Se tarda en tomar esta muestra 10'.	Se toman 20 cm el día 9. Se continúa el día 10. Se baja hasta 822 cm. 822-778=44 cm, pero salen 52 cm de muestra?. Se pierden los 2 primeros cm del extremo inferior.
828 cm 874 cm	874 cm 879 cm	Margas blancas	M-25 M-XXV	Se toma esta muestra en 30'.	Se añade varilla antes de tomar muestra. Algunos cm de la p.superior son de las paredes. Al limpiar se baja hasta 885 cm. Se manda a U.K: 864-874 cm.
885 cm 920 cm	920 cm 925 cm	Margas blancas con cementaciones calcáreas. Muy duro.	M-26 M-XXVI	n°Golpes:25/m. Se toma en 30'.	Después de tomar muestra, al limpiar, se baja hasta 928 cm.

DEL cm	AL cm	LITOLOGÍA Y N° DE MUESTRA		N° DE GOLPES	OBSERVACIONES E INCIDENCIAS
FECHA		10 DE NOVIEMBRE DE 1993			
928 cm 975 cm	975 980	Margas blancas	M-27 M-XVII	Se tardan 10' en tomar esta muestra	Se añade varilla tras tomar muestra.
983 cm 1029cm	1029cm 1034cm	Margas blancas muy húmedas	M-28 M-XVIII	La mitad sólo con el peso del trépano. El resto n°Golpes:25/m	Se baja 45 cm de muestra y se baja 51 cm de perforación?. Se envían a U.K: 1019 cm-1029 cm
1034cm 1069cm	1069cm 1074cm	Margocaliza muy dura	M-29 M-XXIX		Se sustituye varilla torcida después de tomar muestra.
1076cm	1096cm	Caliza	M-XXX		Sólo muestra alterada debido a la dureza del terreno
1096cm	1128cm	Caliza con algo de arcilla	M-31	Se toma con mayor caída de trépano	Se toma con una boquilla de mayor tamaño.Se añade varilla tras tomar muestra.
1128cm 1163cm	1163cm 1168cm	Calizas margosas muy húmedas.	M-32 M-XXXII	n°Golpes:30/m	Al limpiar se profundiza hasta 1178 cm. Se envía a U.K:1143-1163 cm.

DEL cm	AL cm	LITOLOGÍA Y N° DE MUESTRA	N° DE GOLPES	OBSERVACIONES E INCIDENCIAS
FECHA		11 DE NOVIEMBRE DE 1993		
1172cm 1217cm	1217cm 1222cm	Margas blancas M-35 Muy blando M-XXXV	Se toma en 15'	Nivel de agua en el sondeo el día 11/11/94: 11.2 m. No se limpia después de tomar muestra.
1222cm 1267cm	1267cm 1272cm	Margas blancas M-36	Se introduce casi solamente con el peso del trépano.	No se limpia después de tomar muestra. Se añade otra varilla al final de la toma de muestra.
1272cm 1317cm	1317cm 1322cm	Marga blanca, M-37 en la punta comienzan a aparecer calizas. M-XXXVII	Se toma tras 5 minutos de golpeo.	Se introduce agua en el tomamuestras. No se limpia después de tomar esta muestra.
1322cm 1367cm	1367cm 1372cm	Margocaliza M-38 durísima M-XXXVIII	n°Golpes:59/m	Con esta cadencia de golpeo entran 1,5 cm. Los últimos 20 cm entran con trépano en caída libre.

Nota: las muestras m-33 y m34 no existen debido a un error en el etiquetado de muestras.

ANEXO 6: PROYECTO DEL SONDEO PERFORADO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL BX8 (1)

I. DISPOSICIONES GENERALES

I.1. De las Partes
I.2. Del Objeto del Contrato

II. DESCRIPCION DE LA OBRA - TRABAJOS A REALIZAR

II.1. Finalidad del Proyecto
II.2. Ubicación
II.3. Descripción de los Sondeos
II.4. Programa de Trabajo
II.5. Toma de Muestras y Gráfico de Perforación
II.6. Plazos de Ejecución

III. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES

III.1. Perforación de los Sondeos
III.2. Metodología para la Toma de Muestras

PLIEGO DE CONDICIONES

I. DISPOSICIONES GENERALES

I.1. De las Partes

A. Definiciones

. **Propietario:** Persona física o jurídica que contrate con el Constructor, teniendo capacidad para ello.

. **Constructor:** Persona física o jurídica que conociendo este pliego contrate con el Propietario y acepte llevar a cabo las obras que en el se especifican y según las cláusulas contenidas en el mismo.

. **Director de obra:** Representante del Propietario. Persona en quien, a efectos de este pliego, el propietario delegue sus derechos y poderes. Cuando en este pliego se hable de Propietario se entenderá igualmente a su representante, que tendrá poder conferido por el Propietario para tomar las decisiones que juzgue pertinentes.
El Director de Obra podrá delegar en otra persona los cometidos que estime conveniente.

B. Obligaciones y Responsabilidades

. **Propietario**: Aportaciones: Terrenos, derechos de paso, ubicación del sondeo, previsiones columna litológica. Responsabilidades: Permisos, certificados, licencias, cumplimiento de Leyes Nacionales y Locales que afecten. No se responsabiliza de robos y actos de vandalismo.

. **Constructor:** Aportaciones: Material, mano de obra, utillaje. Trabajos de explotación, acondicionamiento y paso. Trabajos de protección de estructuras existentes. Evacuación de residuos (aguas, lodos). Permisos, certificados, licencias. Protecciones sanitarias. Póliza de responsabilidad y de manera muy especial será titular de una póliza civil de daños a terceros.

Responsabilidades: Ejecución de trabajos. Daños a terceros por sus actuaciones. De trabajos, aún en caso de subcontratación (ésta no se hará sin previa autorización del Propietario). Los obreros empleados por el Constructor serán competentes y con experiencia para la realización del trabajo, supervisados directamente por un sondista experimentado.

(1) El sondeo definitivi no se realizó siguiendo el presente proyecto, debido a diversos facores tales como la dureza del terreno, el sondeo fue perforado gratuitamente por la diputación de Albacete, etc. La descripción de los trabajos realizados puede consultarse en el capítulo 6.

El Constructor se atendrá en todo momento a las normas de este pliego y a las normas recibidas por el Director de Obra. Si existen trabajos que no queden convenientemente definidos, los realizará correctamente previa consulta y autorización del Director de Obra. El Constructor estará obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley de Contrato y trabajo, Ley de Seguridad Social y en general a cuantas normas se hayan promulgado sobre estas materias.

El Constructor se compromete a proporcionar al Director de Obra todos los datos requeridos por éste relativos al sondeo y marcha de los trabajos así como un parte diario del sondeo en el que constarán entre otros, profundidad inicial y final diaria, terrenos atravesados, pérdidas de lodo, incidencias, etc.

I.2. Del Objeto del Contrato

- Régimen de las Obras

La interpretación del Proyecto corresponde al Director de Obra que para tal fin designe la Propiedad. Aquel, si lo estima oportuno, como consecuencia de los terrenos atravesados, podrá paralizar las obras antes de los metros previstos en este Proyecto, dando por finalizado los sondeos, sin que el Propietario se vea obligado a abonar más que los metros perforados. De la misma manera podrá exigir se profundicen más metros que los previstos.

En este último supuesto, si la continuación de la perforación no sobrepasa el 20 % de la profundidad señalada en este Proyecto, el contratista estará obligado a ejecutarlo al mismo precio, que se fija en el proyecto, tanto para la perforación como para la entubación.

Asimismo, la Dirección de Obra no se siente obligada a realizar todas y cada una de las unidades de obra previstas en el presupuesto del presente Proyecto.

- Abono de las Obras e Impuestos

Todos los trabajos incluidos en el presente Proyecto se valorarán con arreglo a los precios que figuran en el Presupuesto de este Proyecto.

La conformidad del Director de Obra, será condición indispensable para el abono de la misma.

En el presupuesto de adjudicación se entenderán comprendidos, a todos los efectos y en todos los casos, los impuestos de toda índole que puedan derivarse del Contrato o de la ejecución de la obra, incluso el I.V.A..

Cada unidad de obra realizada se medirá y abonará por volumen, longitud, peso, número, tiempo, etc., con arreglo a la definición dada en cada caso y según los precios ofertados por el Constructor.

La medición se hará siempre sobre obra ejecutada y totalmente terminada y no sobre planos o croquis.

Para que la unidad de obra se considere abonable los materiales empleados en ella deberán cumplir las prescripciones contenidas en el presente PLIEGO DE CONDICIONES.

No se abonará ninguna unidad de obra incompleta salvo en el caso de rescisión del contrato por parte del Propietario.

No se abonarán las obras que excedan de las magnitudes estipuladas salvo los casos en que sean autorizados por el Propietario.

Si a juicio del Propietario se realizaran trabajos no previstos se fijarán los precios de antemano y se llegará a un acuerdo antes de la iniciación de los trabajos.

- Trabajos defectuosos

Serán calificados como tales los que a juicio del Director de Obra no cumplan las especificaciones del presente Pliego.

Los trabajos defectuosos no serán abonados al Constructor, el cual viene obligado a rehacerlos hasta la satisfacción del Director de Obra.

- Rescisión del Contrato

Si una de las partes no cumpliera lo estipulado en el presente documento, la otra podrá poner final al mismo, notificándoselo por escrito con 10 días de antelación.

- Fuerza Mayor

Cada una de las partes quedará exenta de la obligación de cumplir los términos del Contrato por causas de fuerza mayor: sedición, guerras, disposiciones gubernamentales o militares, incendios, etc.

- Subcontrataciones

El Constructor se compromete a no subarrendar o ceder el presente Contrato sin el consentimiento previo del Director de Obra.

II. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS - TRABAJOS A REALIZAR

II.1 Finalidad del proyecto

Con los trabajos que se van a describir a continuación, se pretende la obtención de muestras inalteradas en un sondeo de pequeño diámetro. Las muestras serán analizadas en un laboratorio con posterioridad para averiguar el grado de saturación de las mismas, por lo que se considera prioritario que durante la perforación se evite la contaminación de las mismas con lodos de refrigeración.

II.2 Ubicación

Los sondeo a realizar, de acuerdo con lo indicado en el presente Pliego, se ubica en el lugar que se señala en el plano n.1, dentro de la Finca de Las Tiesas (Albacete) perteneciente a la Excma. Diputación de Albacete.

II.3. Descripción del sondeo

Se prevé la realización de un sondeo geotécnicos de 20 m. Se tomará una muestra inalterada por cada metro de terreno perforado.

Las principales características de los sondeo a realizar serán

1.- Diámetros de perforación

El diámetro de la perforación debe ser tan pequeño como lo permitan las herramientas de perforación disponibles. Sería adecuado un diámetro de 85 mm.

2.- Tubería de revestimiento

Dado que la perforación se realiza en terrenos con tramos de poca consistencia el agujero se ira revistiendo si es necesario, según se perfora con tubería que permita el paso de un tomamuestras de 79.38 mm de diámetro externo y 71.4 de diámetro interno.

II.4. Programa de trabajo

Se deberán llevar a cabo las siguientes operaciones:

1.- Perforación
2.- Entubación
3.- Toma de muestras

Terminados los trabajos citados se llevarán a cabo los siguientes trabajos, según indicación del Director de la Obra:Instalación de unos bloques de yesos antes de cerrar definitivamente el sondeo.

II.5. Toma de muestras y gráfico de perforación

II.5.1

De cada medio metro se guardará muestra del detritus extraído. Estas muestras se conservarán en bolsas apropiadas, debidamente etiquetadas, con referencia expresa de la profundidad a que han sido tomadas.

Cada metro de perforación se procederá a la toma de una muestra con un tomamuestras GMPV de pared gruesa y de 71.4 de diámetro interno y 79.38 de diámetro externo. Extraído el tomamuestras, debe desenrroscarse y abierto debe recuperarse la muestra en el interior de un tubo de cinc, que será tapado y parafinado. Cada muestra será etiquetada con la siguiente información:

a) Lugar de procedencia
b) Número de sondeo
c) Número de la muestra
d) Profundidad de la penetración
e) Longitud de muestra recuperada
f) Fecha de la toma de la muestra
g) Número de golpes necesarios para introducir 30 mm de tomamuestras en el terreno.

II.5.2.

Se llevará al día, un gráfico de perforación en el que se describan las formaciones atravesadas y demás datos técnicos.

III. PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES

III.1. PERFORACIÓN DE LOS SONDEOS

El sistema a emplear en la realización del sondeo es el de percusión. No se emplearán lodos de refrigeración para evitar la contaminación de las muestras que se van a tomar.

Se alcanzará una profundidad máxima de hasta 20 metros, para un sondeo con las condiciones exigibles de verticalidad, según criterios del director de obra.

Se realizará un parte diario en el que consten: las operaciones realizadas, metros perforados, profundidad inicial y final diaria, número de muestras tomadas, y nivel de agua si es posible, operaciones especiales, y descripción de los terrenos atravesados.

La maquinaria será la que el constructor tenga disponible y a ser posible con una capacidad mínima nominal de 100 metros.

El equipo de perforación debe ser capaz de realizar una perforación limpia de 85 mm de diámetro y sin lodos de refrigeración. La perforación debe ser 10 mm mayor que el diámetro del tomamuestras sin rebasar esta cifra, ya que un diámetro de perforación excesivamente grande ocasionaría daños irreparables en el tomamuestras o bien el desvío de la verticalidad el sondeo. El tomamuestras que se empleará para tomar muestra de suelo más o menos inalterada, como ya se ha dicho es un GMPV de pared gruesa seccionado de diámetro externo igual a 79.38 mm. Antes de iniciar la toma de muestra, el sondeo debe ser limpiado. No debe ser utilizado el propio tomamuestras para realizar dicha limpieza, ni herramientas con descarga frontal.

En caso de tener que revestir el sondeo, las herramientas de perforación empleadas no deben tener un diámetro superior al 90% del diámetro interior del tubo de revestimiento.

El eje del sondeo será vertical en toda su profundidad y su anchura suficiente para permitir el paso del tomamuestras y del tren de varillaje acoplado.

El tomamuestras, estará construido de acero tratado, con superficies exterior e interior pulidas. El diámetro exterior debe ser de 71.4 mm. El diámetro interior de 79.38 mm y la longitud será como máximo de 457 mm.

El extremo inferior del tubo se roscara a una zapata con los mismos diámetros interior y exterior del tubo tomamuestras; siendo cónicos los últimos 19 mm por reducción uniforme del diámetro exterior.

El filo debe ser romo, con un espesor de 1,6 mm. El acero empleado debe ser el mismo que el del tubo.

El tubo tomamuestras deberá tener roscada una cabeza portaválvulas de acoplamiento al varillaje. Una válvula de bola permitirá la evacuación de aire o agua.

La zapata será sustituida si se deforma o estropea.

El tomamuestras se limpiará después de cada penetración, eliminando las incrustaciones del terreno por dentro y por fuera.

El Varillaje estará constituido por varillas de acero unidas al tomamuestras por la cabeza de golpe o yunque. Deben tener una longitud, rectitud y sección adecuadas, como por ejemplo:

DIÁMETRO EXTERIOR	mm	42	50
DIÁMETRO INTERIOR	mm	32,5	37,5
MODULO RESISTENTE	c3	5,55	8,59
PESO POR METRO	Kgf	4,52	7,23

Varillaje con peso superior a 10 Kgf no debe ser empleado.

Solamente se utilizarán varillas aplomadas, separándose las torcidas en controles periódicos.

Los límites de desviación serán: gradiente de desviación máximo 1 mm por cada 750 mm de longitud.

El conjunto de golpeo Estará compuesto por:

1.- Un yunque roscado al extremo de la varilla guía o dentro de la maza de seguridad. Debe ser diseñado de forma que la energía transferida por el impacto sea máxima.

2.- Una maza de acero de 63,5 (más menos 0,5 Kgf).

3.- Una guía con el mínimo rozamiento de caída.

4.- Un automatismo de caída libre constante (760 mm).

El peso del conjunto de golpeo no debe exceder los 115 Kgf.

Los valores de cada golpe deberán ser como mínimo el 60% de la energía cinética de la maza de 63,5 Kgf cayendo de una altura de 760 mm, que corresponde a una energía de 474 julios.

Tramo de conducción gradiente de desviación máximo un grado cada cincuenta metros.

Para desviaciones superiores a los limites establecidos debe corregirse el sondeo mediante la colocación de un tapón de cemento y la perforación por desviación desde esa cota hasta dentro de los límites fijados. Así pues el agujero perforado será redondo.

Para la verificación de la verticalidad de la cámara de bombeo, se hará la siguiente prueba:

Se bajará por la misma con cable un tramo de diez metros de tubería cuyo diámetro exterior sea inferior en una pulgada al interior de la tubería cuya verticalidad se trata de verificar.

Si el tramo de tubería no pudiera pasar libremente a través de la longitud de la entubación o agujero hasta una profundidad de 15 m, o si el sondeo variara de la verticalidad por encima de los límites anteriormente establecidos se corregirá la verticalidad y alineación del sondeo por cuenta del contratista.

III.2 METODOLOGÍA PARA TOMAR MUESTRA

Una vez perforado el sondeo hasta la profundidad deseada para la toma de muestra se limpiará el agujero cuidadosamente con herramientas de perforación que no alteren el terreno. Si se observa la posibilidad de derrumbamiento el agujero se revestirá con tubería.

La herramientas de perforación se retirarán con cuidado para evitar derrumbamientos. El revestimiento nunca se introducirá por debajo del punto en el que se va a tomar muestra.

El tomamuestras se introducirá en el terreno efectuando 20 golpes en cada intento de tomar muestra para conseguir hincar el tomamuestras. Si con 30 golpes no se ha conseguido introducir el tomamuestras unos, se continuará la perforación hasta la profundidad más próxima en la que ya se pueda introducir dicho tomamuestras.

La cadencia máxima de golpeo será de 20 golpes por minuto.

Extraído el tomamuestras, desenrroscado y abierto se recuperará la muestra en la camisa interior del tubo. Se tapara con tapas de goma, y se parafinará.