

**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO  
DE LA CUENCA DE FUENTE DE PIEDRA**

MEMORIA

31135

Empresa colaboradora: EMPRESA NACIONAL ADARO DE  
INVESTIGACIONES MINERAS S.A.

Málaga, Noviembre de 1.984

I N D I C E  
=====

	<u>Pág.</u>
1.- GENERALIDADES.....	1
1.1.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....	2
1.2.- PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION.....	5
1.3.- ANTECEDENTES HISTORICOS.....	8
1.4.- DESCRIPCION DE LA ZONA.....	13
1.4.1.- SITUACION.....	13
1.4.2.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA.....	15
1.4.3.- DESCRIPCION DE LA LAGUNA.....	19
2.- CLIMATOLOGIA.....	22
2.1.- GENERALIDADES.....	23
2.2.- PLUVIOMETRIA.....	25
2.2.1.- RED Y PERIODOS DE OBSERVACION.....	25
2.2.2.- DETERMINACION DEL AÑO TIPO Y VALORES REPRESENTATIVOS.....	30
2.2.3.- ISOYETAS.....	32
2.2.4.- ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES MEN- SUALES EN EL PERIODO 1962-1982.....	32
2.3.- TEMPERATURAS.....	39
2.3.1.- RED Y PERIODOS DE OBSERVACION.....	39
2.3.2.- TEMPERATURAS MEDIAS. VALORES REPRESENTATIVOS.....	40

2.3.3.- TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN EL PERIODO 1962-1982.....	40
2.4.- EVAPOTRANSPIRACION.....	47
2.4.1.- EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL.....	47
2.4.2.- EVAPOTRANSPIRACION REAL.....	53
2.4.2.1.- CALCULOS BASADOS EN EL METODO DE THORNTHWAITE.....	53
2.4.2.2.- CALCULOS BASADOS EN LAS FOR- MULAS DE COUTAGNE Y TURC.....	60
2.5.- LLUVIA UTIL.....	63
2.6.- EVAPORACION.....	65
2.6.1.- INTRODUCCION.....	65
2.6.2.- DETERMINACION DE LA EVAPORACION A PARTIR DE MEDIDAS DIRECTAS.....	66
2.6.2.1.- ESTACION DE BOBADILLA.....	66
2.6.2.2.- ESTACION DEL EMBALSE DEL GUADALHORCE.....	67
2.6.2.3.- ESTACION DE LA RODA.....	69
2.6.3.- DETERMINACION DE LA EVAPORACION POR EL METODO DE PENMAN.....	70
2.6.3.1.- ESTACION DEL EMBALSE DEL GUADALHORCE.....	72
2.6.3.2.- ESTACION DE LA HERRIZA.....	73
2.6.4.- DETERMINACION DE LA EVAPORACION POR CORRELACION CON OTROS PARAMETROS.....	76
3.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	80
3.1.- GENERALIDADES.....	81
3.2.- APORTACIONES EN LAS ESTACIONES DE AFORO PROPUESTAS.....	84
3.2.1.- CAUDALES MEDIOS.....	84
3.2.2.- CAUDALES DE MAXIMA CRECIDA.....	85
3.2.3.- CONCLUSIONES.....	89
3.3.- METODOLOGIA EMPLEADA PARA EL DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE AFORO.....	89
3.4.- ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE SANTILLAN.....	93
3.5.- ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE HUMILLADERO.....	101
3.6.- ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE LAS TINAJAS.....	108

	<u>Pág.</u>
4.- GEOLOGIA.....	115
4.1.- ANTECEDENTES.....	116
4.2.- LOCALIZACION GEOLOGICA.....	118
4.3.- ESTRATIGRAFIA.....	121
4.3.1.- EL SUBSTRATO TRIASICO.....	121
4.3.2.- LA COBERTERA MESOZOICA.....	122
4.3.2.1.- SERIE DE LA SIERRA DE LOS CABALLOS.....	123
4.3.2.2.- SERIE DE LA SIERRA DE MOLLINA-LA CAMORRA.....	124
4.3.2.3.- SERIE DE LA SIERRA DE HUMILLADERO.....	125
4.3.2.4.- AFLORAMIENTOS CRETACICOS Y PALEOCENOS DE CAMPILLOS.....	126
4.3.3.- UNIDADES DE LA ZONA CIRCUMBETICA ("Calizas de Campillos").....	126
4.3.4.- FORMACIONES POSTOROGENICAS.....	126
4.3.4.1.- MIOCENO.....	126
4.3.4.2.- CUATERNARIO.....	128
4.4.- TECTONICA.....	129
4.4.1.- EL SUBSTRATO TRIASICO.....	129
4.4.2.- LA COBERTERA MESOZOICA.....	130
4.4.3.- UNIDADES DE LA ZONA CIRCUMBETICA ("Calizas de Campillos").....	133
4.4.4.- FORMACIONES POSTOROGENICAS.....	133
4.5.- GEOMORFOLOGIA.....	134
5.- DEFINICION DE ACUIFEROS Y FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO.....	136
5.1.- GENERALIDADES.....	137
5.2.- TRIAS.....	139
5.3.- JURASICO.....	141
5.3.1.- SIERRA DE MOLLINA.....	142
5.3.2.- SIERRA DE HUMILLADERO.....	142
5.3.3.- SIERRA DE LOS CABALLOS.....	143
5.4.- MIOCENO-CUATERNARIO.....	145
5.5.- LIMITES Y FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA.....	147

6.-	PIEZOMETRIA.....	151
6.1.-	OBSERVACIONES REALIZADAS.....	152
6.2.-	MORFOLOGIA DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA.....	154
6.3.-	EVOLUCION PIEZOMETRICA DESDE 1974.....	158
6.4.-	EVOLUCION PIEZOMETRICA EN EL ULTIMO AÑO.....	161
7.-	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y EXPLOTACIONES.....	167
7.1.-	OBJETIVOS Y METODOLOGIA.....	168
7.2.-	CARACTERISTICAS DE LAS CAPTACIONES.....	171
7.3.-	EXPLOTACIONES Y DISTRIBUCION DE LA DEMANDA.....	174
7.4.-	SUPERFICIE EN REGADIO. EVOLUCION.....	177
8.-	CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS.....	181
8.1.-	INTRODUCCION.....	182
8.2.-	BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO LA CONEJA.....	185
8.2.1.-	DATOS GENERALES.....	185
8.2.2.-	CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION.....	186
8.2.3.-	COMENTARIOS E INTERPRETACION DEL DESCENSO.....	187
8.2.4.-	INTERPRETACION DE LA RECUPERACION.....	188
8.2.5.-	CONCLUSIONES.....	189
8.3.-	BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO CORTIJO SAN LUIS...	193
8.3.1.-	DATOS GENERALES.....	193
8.3.2.-	CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION.....	194
8.3.3.-	INTERPRETACION DEL DESCENSO.....	195
8.3.4.-	INTERPRETACION DE LA RECUPERACION.....	196
8.3.5.-	CONCLUSIONES.....	196
8.4.-	BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "ICONA".....	201
8.4.1.-	DATOS GENERALES.....	201
8.4.2.-	CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION.....	202
8.4.3.-	INTERPRETACION DEL DESCENSO.....	203
8.4.4.-	INTERPRETACION DE LA RECUPERACION.....	204
8.4.5.-	CONCLUSIONES.....	204
8.5.-	BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "CORTIJO RISQUILLO".....	210
8.5.1.-	DATOS GENERALES.....	210
8.5.2.-	CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION.....	211
8.5.3.-	COMENTARIOS E INTERPRETACION DEL BOMBEO.....	212
8.5.4.-	CONCLUSIONES.....	214

8.6.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "CORTIJO DE LOS CORRALES".....	217
8.6.1.- DATOS GENERALES.....	217
8.6.2.- CARACTERISTICAS DE LAS CAPTACIONES.....	218
8.6.3.- INTERPRETACION DEL DESCENSO.....	219
8.6.4.- INTERPRETACION DE LA RECUPERACION.....	220
8.6.5.- CONCLUSIONES.....	220
8.7.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO "CORTIJO DE SANTILLAN".....	224
8.7.1.- DATOS GENERALES.....	224
8.7.2.- CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION.....	225
8.7.3.- INTERPRETACION DEL BOMBEO.....	225
8.8.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO "HUMILLADERO"....	229
8.8.1.- INTRODUCCION.....	229
8.8.2.- CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION.....	230
8.8.3.- INTERPRETACION DEL DESCENSO.....	230
8.8.4.- INTERPRETACION DE LA RECUPERACION.....	232
8.8.5.- CONCLUSIONES.....	233
8.9.- CONCLUSIONES.....	238
9.- HIDROQUIMICA.....	242
9.1.- INTRODUCCION.....	243
9.2.- CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS DE LOS ACUIFEROS.....	245
9.2.1.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.....	245
9.2.2.- CLORUROS.....	246
9.2.3.- SULFATOS.....	246
9.2.4.- NITRATOS.....	246
9.2.5.- OTROS PARAMETROS QUIMICOS.....	247
9.3.- FACIES QUIMICAS.....	248
9.4.- CALIDAD DEL AGUA.....	252
9.4.1.- CALIDAD PARA ABASTECIMIENTO.....	252
9.4.2.- CALIDAD PARA USOS AGRICOLAS.....	255
9.5.- CONCLUSIONES.....	258
10.- BALANCES HIDRICOS DE LA CUENCA, ACUIFERO Y LAGUNA....	261
10.1.- MODELO DE CIRCULACION HIDRICA.....	262
10.2.- PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.....	264
10.3.- BALANCE HIDRICO PARA LOS SISTEMAS SUELO Y ACUIFERO.....	266

10.3.1.- DETERMINACION DE LOS VALORES DE INFILTRACION (periodo octubre 1973 a mayo 1984) Y POROSIDAD EFICAZ DEL ACUIFERO.....	266
10.3.1.1.- DATOS DE PARTIDA.....	266
10.3.2.- SELECCION DE LA RESERVA UTIL MAXIMA DEL SUELO Y ESTIMACION DE LLUVIA UTIL PARA UN PERIODO MEDIO.....	271
10.3.3.- ESTIMACION Y CONSUMO DE RESERVAS.....	273
10.3.4.- BALANCE HIDRICO DEL ACUIFERO PARA EL PERIODO OCTUBRE 1973-MAYO 1984....	274
10.3.5.- BALANCE HIDRICO DEL ACUIFERO PARA EL PERIODO MEDIO (1962-1982).....	274
10.3.6.- CONSIDERACIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO.....	276
10.4.- BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA.....	279
10.4.1.- DATOS DE PARTIDA.....	279
10.4.2.- FUNCIONAMIENTO HIDROLOGICO DE LA LAGUNA.....	303
10.5.- BALANCE HIDRICO GLOBAL DE LA CUENCA.....	307
10.5.1.- BALANCE EN CONDICIONES MEDIAS.....	307
10.5.2.- CONSIDERACIONES A CERCA DE LA GESTION OPTIMA DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA..	309
10.6.- RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	311
11.- ANALISIS DE POSIBLES SOLUCIONES Y ALTERNATIVAS.....	316
11.1.- INTRODUCCION.....	317
11.2.- SOLUCIONES CON AGUAS SUBTERRANEAS DE LA PROPIA CUENCA.....	319
11.2.1.- BOMBEO EN CAPTACIONES DE LA CUENCA...	319
11.2.2.- BOMBEO EN POZOS DEL INTERIOR DE LA LAGUNA.....	322
11.3.- SOLUCIONES CON AGUAS SUBTERRANEAS DE OTRAS CUENCAS.....	325
11.4.- SOLUCIONES CON AGUAS SUPERFICIALES DE OTRAS CUENCAS.....	328
11.4.1.- TRASVASE DESDE EL GUADALHORCE.....	328
11.4.2.- TRASVASE DESDE EL ARROYO DE LAS TINAJAS.....	329
11.4.3.- TRASVASE DE LOS MANANTIALES SALINOS DE MELIONES Y CAÑAVERALEJO.....	332

11.5.- OTRAS ALTERNATIVAS.....335  
    11.5.1.- EXCAVACIONES EN EL FONDO DE LA LAGUNA.335  
    11.5.2.- ACCIONES LEGALES.....337  
11.6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....339  
12.- BIBLIOGRAFIA.....342



INDICE DE FIGURAS  
=====

Pág.

1.- Situación de la laguna de Fuente de Piedra.....	14
2.- Límites de la Reserva Integral de Fuente de Piedra y de la Zona de Protección.....	16
3.- Cuenca de Fuente de Piedra. Situación y Límites.....	17
4.- Croquis de la laguna.....	20
5.- Diagramas de pluviometrias anuales clasificadas Determinación de años-tipo.....	31
6.- Distribucion de las precipitaciones a lo largo del año en las distintas estaciones (periodo 1962-1982).....	38
7.- Estación de Bobadilla. Temperaturas medias mensuales (periodo 1951-1982).....	42
8.- Distribución mensual media de la evapotranspiración potencial por estaciones (periodo 1962-1982).....	54
9.- Evaporación media mensual (periodo 1962-1982) Estación de La Herriza.....	77
10.- Croquis de la estación de aforos del arroyo de Santillán.....	94
11.- Dimensiones del vertedero de Santillán.....	97
12.- Croquis de la estación de aforos del arroyo de Humilladero.....	102
13.- Croquis de la estación de aforos del arroyo de Las Tinajas.....	109
14.- Localización geológica.....	119
14 bis.- Corte hidrogeológico esquemático de la cuenca..	150
15.- Evolución del nivel piezométrico en los puntos 1642-2-280 y 1642-2-267 de mayo 1983 a julio 1984..	162
16.- Localización de las captaciones en que se han realizado bombeos de ensayo.....	184
17.- Bombeo de ensayo en "La Coneja" Descenso en el punto de bombeo.....	190
18.- Bombeo de ensayo en "La Coneja" Descenso en el piezómetro.....	191
19.- Bombeo de ensayo en "La Coneja" Recuperación en el punto de bombeo.....	192
20.- Bombeo de ensayo en el Cortijo de San Luis Descenso en el pozo de bombeo.....	197
21.- Bombeo de ensayo en el Cortijo San Luis Descenso en el piezómetro.....	198

22.- Bombeo de ensayo en el Cortijo de San Luis Recuperación en el pozo de bombeo.....	199
23.- Bombeo de ensayo en el Cortijo de San Luis Recuperación en el piezómetro.....	200
24.- Bombeo de ensayo en el pozo de ICONA Descenso en el pozo de bombeo.....	206
25.- Bombeo de ensayo en el pozo de ICONA Descenso en el piezómetro.....	207
26.- Bombeo de ensayo en el pozo de ICONA Recuperación en el pozo de bombeo.....	208
27.- Bombeo de ensayo en el pozo de ICONA Recuperación en el piezómetro.....	209
28.- Bombeo de ensayo en el pozo del Cortijo El Risquillo Descenso en el pozo (primera fase).....	215
29.- Bombeo de ensayo en el pozo del Cortijo El Risquillo Descenso en el pozo (segunda fase).....	216
30.- Bombeo de ensayo en el Cortijo Los Corrales Descenso en el pozo de bombeo.....	222
31.- Bombeo de ensayo en el Cortijo Los Corrales Recuperación en el pozo de bombeo.....	223
32.- Bombeo de ensayo en el Cortijo de Santillan Descenso en el pozo de bombeo.....	227
33.- Bombeo de ensayo en el Cortijo de Santillan Recuperación en el pozo de bombeo.....	228
34.- Bombeo de ensayo en Humilladero Descenso en el pozo de bombeo.....	234
35.- Bombeo de ensayo en Humilladero Descenso en el piezómetro.....	235
36.- Bombeo de ensayo en Humilladero Recuperación en el pozo de bombeo.....	236
37.- Bombeo de ensayo en Humilladero Recuperación en el piezómetro.....	237
38.- Diagramas de análisis de agua (según PIPER).....	249
39.- Diagrama de potabilidad.....	253
40.- Diagrama de calidad de aguas para riego.....	256
41.- Esquema de la circulación hídrica en la cuenca.....	263
42.- Balance hídrico de la cuenca (condiciones de pluviometría media).....	308

INDICE DE CUADROS

=====

Pág.

1.- Características de las estaciones meteorológicas en la zona de Fuente de Piedra.....	26
2.- Precipitaciones. Datos disponibles.....	28
3.- Precipitaciones. Periodo homogéneo (1948-1982).....	29
4.- Estación de Humilladero. Precipitaciones mensuales (período 1962-1982).....	34
5.- Estación de La Herriza. Precipitaciones mensuales (período 1962-1982).....	35
6.- Estación de La Roda de Andalucía. Precipitaciones mensuales (período 1962-1982).....	36
7.- Estación de Bobadilla. Precipitaciones mensuales (período 1962-1982).....	37
8.- Temperaturas medias mensuales (período 1951-1982). Estación de Bobadilla.....	41
9.- Estación de Bobadilla. Temperaturas medias mensuales (período 1962-1982).....	44
10.- Estación de La Roda de Andalucía. Temperaturas medias mensuales (período 1962-1982).....	45
11.- Estación de La Herriza. Temperaturas medias mensuales (período 1962-1982).....	46
12.- Estación de Bobadilla. Evapotranspiración potencial mensual media (período 1962-1982).....	48
13.- Estación de la Roda de Andalucía. Evapotranspiración potencial mensual media (período 1962-1982).....	49
14.- Estación de Humilladero. Evapotranspiración potencial mensual media (período 1962-1982).....	50
15.- Estación de La Herriza. Evapotranspiración potencial mensual media (período 1962-1982).....	51
16.- Evapotranspiración potencial media mensual (período 1962-1982) según Thornthwaite, en las distintas estaciones.....	52
17.- Estación de Bobadilla. Evapotranspiración real. Valores anuales (período 1962-1982).....	55
18.- Estación de La Roda de Andalucía. Evapotranspiración real. Valores anuales (período 1962-1982).....	56
19.- Estación de Humilladero. Evapotranspiración real. Valores anuales (período 1962-1982).....	57

20.- Estación de La Herriza. Evapotranspiración real. Valores anuales (periodo 1962-1982).....	58
21.- Precipitaciones, ETP, ETR y lluvia útil anuales (media del periodo 1962-1982) en las distintas estaciones.....	59
22.- Evapotranspiración real (según Thornthwaite, Coutagne y Turc) periodo 1962-1982. Estación de Bobadilla.	62
23.- Evaporaciones medias mensuales, periodo 1950-1982. Estación de Bobadilla.....	68
24.- Evaporación mensual. Periodo 1969-1975. Embalse del Guadalhorce,.....	74
25.- Evaporación mensual periodo 1969-1975. Estación de La Herriza.....	75
26.- Estación de La Herriza. Evaporación mensual. Periodo 1962-1982.....	78
27.- Aportación media de los arroyos de Santillán, Humilladero y Las Tinajas.....	86
28.- Estimación del caudal de máxima crecida en las estaciones de aforo.....	87
29.- Estación de aforos del Arroyo de Santillán. Tabla de equivalencias teóricas caudal/altura de lámina de agua. (sin instalar vertedero).....	96
30.- Estación de aforos del Arroyo de Santillán. Tabla de equivalencias teóricas caudal/altura de lámina de agua en el vertedero rectangular.....	98
31.- Estación de aforos del arroyo de Humilladero. Tabla de equivalencias teóricas caudal/altura de lámina de agua (sin instalar vertedera).....	103
32.- Estación de aforos del arroyo de Humilladero. Tabla de equivalencias teóricas caudal/altura de lámina de agua en el vertedero triangular.....	105
33.- Estación de aforos del arroyo de las Tinajas. Tabla de equivalencias teóricas caudal/altura de lámina de agua (sin instalar vertedero).....	110
34.- Estación de aforos del arroyo de las Tinajas. Tabla de equivalencias teóricas caudal/altura de lámina de agua en el vertedero rectangular.....	112
35.- Superficie de regadío por municipios.....	178
36.- Evolución de la superficie regada en la cuenca de Fuente de Piedra entre 1974 y 1983.....	180
37.- Características hidráulicas de los acuíferos según los bombeos de ensayo realizados.....	239
38.- Valores de pluviometría, desaturación y bombeos en el periodo 1973-1984.....	267

39.-	Balances hídricos anuales del acuífero (periodo 1962-1982).....	278
40 a 59.-	Balance hídrico de la laguna (por años hidrológicos desde 1962-1963 a 1981-1982).....	283 a 302
60.-	Incidencia del factor extracción por bombeo en el agotamiento de la laguna.....	306

INDICE DE PLANOS  
=====

- 1.- Estaciones meteorológicas.
- 2.- Isoyetas medias (periodo 1948-1982).
- 3.- Isoyetas año medio de años húmedos (periodo 1948-1982).
- 4.- Isoyetas año medio de años secos. (periodo 1948-1982).
- 5.- Polígonos de Thiessen.
- 6.- Hidrología superficial.
- 7.- Plano hidrogeológico.
- 8.- Puntos nivelados.
- 9.- Isopiezas octubre 1973/enero 1974.
- 10.- Isopiezas junio 1983.
- 11.- Isopiezas 15-18 mayo 1984.
- 12.- Descensos observados entre noviembre de 1973 y mayo 1983.
- 13.- Evolución piezométrica en el periodo 1974-1984.
- 14.- Inventario de puntos de agua.
- 15.- Bombeos de agua subterránea.
- 16.- Hidroquímica. Diagrama tipo Stiff.
- 17.- Hidroquímica. Conductividades.
- 18.- Hidroquímica. Cloruros.
- 19.- Hidroquímica. Sulfatos.
- 20.- Hidroquímica. Nitratos.
- 21.- Hidroquímica. Sodio.

1.- GENERALIDADES

### 1.1.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) viene realizando desde 1973 estudios hidrogeológicos en el sector occidental de la Cuenca Sur por medio de un equipo técnico con presencia permanente en Málaga, habiéndose llevado a cabo una investigación básica que ha permitido definir los principales sistemas acuíferos presentes en la zona, determinar sus características hidrogeológicas fundamentales y cuantificar los recursos y reservas de los mismos. Esta documentación, obtenida dentro del denominado P.I.A.S. (Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas) ha sido recogida en numerosos informes y notas técnicas que constituyen la base de una primera síntesis, realizada en 1975. Posteriormente, en 1983, esta documentación, junto con los datos que se han venido obteniendo a lo largo de estos últimos años en los distintos proyectos del P.G.C.A. (Plan de Gestión y Conservación de Acuíferos), ha permitido llevar a cabo un nuevo informe general de



síntesis mucho más amplio, detallado y actualizado, denominado Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur (sector occidental).

Por otra parte, entre los estudios que realiza el IGME en el campo de la investigación hidrogeológica, numerosos de ellos se refieren a zonas de relevante interés desde el punto de vista ecológico o de protección de la naturaleza; como ejemplos más notorios se encuentran los de las Tablas de Daimiel en relación con el Sistema acuífero nº 23 de la Llanura Manchega, los del Parque Nacional de Doñana en conexión con la explotación del acuífero Almonte-Marismas, los del Parque Nacional del Teide, etc. Ello ha conducido a unas excelentes relaciones de colaboración con organismos como ICONA, con altas responsabilidades en materia de protección de la naturaleza, que no disponen de los equipos necesarios para conocer los problemas hidrogeológicos específicos de muchas zonas.

A finales de 1982 y dentro de este marco de colaboración, el ICONA solicitó al IGME la elaboración de un estudio hidrogeológico integral y detallado de los acuíferos existentes en la cuenca endorreica de Fuente de Piedra en relación con el problema ecológico planteado en su laguna.

Considerando el interés del tema, el IGME incluyó el presente estudio en uno de los proyectos que normalmente se desarrollan a través de la Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia encuadrados en el capítulo presupuestario 662 (Plan de Acción Regional), habiéndose realizado el mismo durante los años 1983 y 1984.

En el estudio ha intervenido como colaboradora la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras S.A. (ENADIMSA) que también ha actuado como tal en los estudios hidrogeológicos previos realizados en la zona desde 1973 antes mencionados.

En este trabajo ha participado el siguiente equipo de técnicos:

Por parte del IGME:

Director de la División de Aguas Subterráneas  
Jorge Porrás Martín

Director del Proyecto  
Manuel del Valle Cardenete

Por parte de ENADIMSA:

Luis Linares Girela  
(Responsable-director del estudio)  
Luis Dichtl Subías  
Andrés M. Rivera Martínez  
Leovigildo Trenado Navarro  
Francisco M. Catalán Monzón

Los objetivos propuestos se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Definición de los acuíferos presentes en la zona, estableciendo su geometría, funcionamiento hidrogeológico, y características hidráulicas y piezométricas.
- Estudio climatológico e hidrológico detallado de la zona.
- Inventario de captaciones y de las explotaciones de aguas subterráneas existentes.
- Determinación de la calidad de las aguas subterráneas y sus variaciones.
- Establecimiento del balance hídrico de la cuenca.
- Proposición y análisis de alternativas para incrementar los recursos hídricos con destino a la laguna.

## 1.2.- PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

La laguna de Fuente de Piedra es una de las zonas húmedas más importantes de España desde el punto de vista biológico pues constituye el habitat de una importante colonia de flamencos (*Phoenicopterus ruber*), que inverna y se reproduce en ella cuando las condiciones ambientales lo permiten. Hay que señalar, como dato significativo al respecto, que se trata de una especie muy exigente en lo que se refiere a las condiciones de nidificación pues sólo lo hace en cuatro puntos de Europa y no siempre de modo simultáneo.

Los flamencos que ocupan la laguna, lo hacen en dos periodos y condiciones bien diferenciadas: en primer lugar hay un periodo de invernada en que los flamencos llegan a la laguna alrededor de octubre-noviembre, cuando las primeras lluvias de otoño empiezan a cubrir los sectores que quedan secos al final del estiaje anterior, variando considerablemente el número de ejemplares de este primer periodo. Posteriormente

te, sobre el mes de marzo y si las condiciones ambientales -  
son propicias, se empieza a producir una llegada masiva de -  
individuos que van a iniciar su periodo de reproducción, -  
aumentando de modo considerable la colonia. Este periodo, que  
suele durar unos 6 meses, culmina cuando los últimos jóvenes  
nacidos meses atrás, abandonan la laguna generalmente forza-  
dos por la falta de agua.

Es evidente que hay una estrecha relación entre la -  
existencia o no de agua en la laguna y la presencia anual de  
la colonia de flamencos en ella. Por otra parte, el déficit  
hídrico que ocasionalmente se produce en la laguna condicio-  
na que esta colonia deje de nidificar aquí algunos años o -  
que, habiendo nidificado, muchos individuos jóvenes mueran al  
no poder abandonar la laguna si la desecación se produce an-  
tes de que se hallen lo suficientemente desarrollados para -  
iniciar la emigración.

Hay constancia de que la desecación total o casi to -  
tal que ocasionalmente se produce en la laguna no es un fenó -  
meno que tenga lugar sólo en los últimos años, aunque es po -  
sible que en la época más reciente la desecación se produzca  
con más frecuencia debido no sólo a unas condiciones climato -  
lógicas diferentes sino también a la influencia que sin duda  
ejercen las captaciones de aguas subterráneas y las transfor -  
maciones en regadíos que en los últimos años ha tenido lugar.

Por este motivo y para la elaboración del presente -  
trabajo se planteó la necesidad de llevar a cabo, junto con  
el estudio de las características hidrogeológicas de los -  
acuíferos incluidos en la cuenca y relacionados hidraulica -  
mente con la laguna, un estudio detallado de la climatología  
de la zona y un inventario exhaustivo de las captaciones -  
existentes determinando la explotación que en cada una de -  
ellas se produce.

Los datos históricos que sobre la evolución de los -

acuíferos ha obtenido el IGME desde que inició la investigación hidrogeológica del sector occidental de las cuencas del Sur de España se ha incorporado y tratado junto con los ahora conseguidos con este fin concreto, y todos ellos permiten en definitiva abordar la determinación del balance hídrico - del sistema hidrogeológico del que forma parte la laguna, como uno de los objetivos fundamentales del trabajo.

Por medio de la determinación de balances anuales de un periodo de 20 años (1962-1982), del que por otra parte se poseen algunos datos históricos fiables sobre la presencia - de agua o no en la laguna, se ha pretendido conocer en detalle las causas de su eventual desecación.

Con posterioridad y una vez conocidos el funcionamiento hidrogeológico de la zona, y las causas que provocan el - déficit hídrico que ocasionalmente se produce, se analizarán, desde la perspectiva de la hidrogeología, las alternativas - que se proponen para solucionar el problema existente.

### 1.3.- ANTECEDENTES HISTORICOS

La denominación de Fuente de Piedra que reciben tanto el pueblo como la laguna hacen referencia a un manantial, al parecer de excepcionales propiedades curativas, que existió en el lugar en que hoy está emplazado el núcleo urbano.

De esta fuente se tienen referencias históricas que se remontan a la dominación romana, durante la cual se grabó una lápida, conservada en Antequera, en la que ya se hace referencia a la "Fons Divinus" (fuente divina). Hay constancia histórica de que incluso el emperador Trajano hacía llevar a Roma agua de esta fuente, para remediar el "mal de piedra", ya que ésta era una de las principales cualidades de sus aguas, por lo cual fue conocida con el nombre de Fuente de la Piedra, denominación que heredó el municipio a partir del siglo XVI.

Las referencias históricas más antiguas y documenta -

das sobre esta fuente y sus cualidades corresponde a 1697 - ("Espejo cristalino de las aguas" del Dr. Alfonso Limón) y - 1789 ("Conversaciones históricas malagueñas" de C. García de la Leña) que, junto con otros de interés, son transcritos y comentados por MUÑOZ HIDALGO, F. y GARCIA CAÑERO, A.R. (1983) y VARGAS YAÑEZ, J.M. (1979), autores de los que se ha recogido gran parte de los datos incluidos en este capítulo.

Por lo que respecta a la laguna, hay constancia histórica de que ya los musulmanes explotaban su sal (cloruro sódico) de modo permanente e intenso, explotación que continuó efectuándose regularmente hasta 1951 en que dejó de ser rentable. Alrededor de 1880 se construyeron un canal longitudinal que atraviesa la laguna según la dirección de su eje mayor y otro periférico comunicado con el primero por diversas acequias. Por medio de ellas se pretendía recoger las aguas de escorrentía superficial que afluyen a la laguna por el arroyo de Santillán y otros menos caudalosos y transportar las hasta el extremo SW de la laguna donde se excavó un túnel de algo menos de un kilómetro de longitud que permitía trasvasar las aguas recogidas por los canales al arroyo de las Tinajas, tributario del Guadalhorce. La finalidad de estas obras de desagüe era impedir que el agua de escorrentía superficial -poco cargada en sales- se mezclara con la de la laguna -mucho más concentrada- favoreciendo de este modo la producción de sal.

Sin embargo esta obra no llegó a durar 20 años pues en la década de 1890 el túnel se hundió quedando inservible.

A partir de los últimos años del siglo XIX fueron numerosos los estudiosos que se interesaron por la laguna publicando algunos trabajos en relación con las características de sus aguas, de la sal que de ella se extraía y también de los aspectos morfológicos, fisiográficos y geológicos de la propia laguna y de su entorno. Como datos a retener de estos trabajos merece citarse que antes de la construcción -

del desagüe descrito se podían obtener unos 20.000 m<sup>3</sup> de sal anualmente y que la capacidad máxima que se atribuyó a la laguna era de 5 Hm<sup>3</sup>.

Una vez abandonada la explotación de sal en 1951 y - después de una clara persecución a los flamencos en los últimos años de aquella por considerarlos perjudiciales para la cristalización de la sal, la laguna empezó a ser objeto de - atención desde el punto de vista biológico poniéndose pronto de manifiesto el excepcional interés de su fauna especialmente en lo que se refiere a los flamencos.

Paralelamente y a partir de la década de los sesenta se empezó a tomar conciencia por parte de los organismos oficiales de la importancia de las zonas húmedas y del peligro de desecación que presentan, cambiándose paulatinamente la - idea de que dichas zonas son focos de infección y epidemias que deben ser desecadas (idea que venía apoyada por la ley - española de 24 de julio de 1918 referida a la insalubridad de estas zonas) y se pasa a una mentalidad mucho más "conservacionista".

En lo que se refiere concretamente al caso de Fuente de Piedra, durante la década siguiente, la Administración, a través del ICONA, se interesa profundamente por el problema aportando medios humanos y económicos para paliar las consecuencias de las periódicas sequías que afectan a este ecosistema. En 1977 este organismo financia un estudio hidrogeológico y dos sondeos de investigación encaminados a determinar las posibilidades de aportar una alimentación artificial a la laguna, recomendándose en él llevar a cabo un estudio hidrogeológico más detallado de la zona.

Al mismo tiempo hay que destacar el trabajo que desde 1975 realiza J.M. VARGAS obteniendo datos que le permiten la elaboración y presentación en 1979 de su tesis doctoral en la Universidad de Málaga "Contribución al conocimiento de -



los vertebrados de la laguna de Fuente Piedra (Málaga)". Recientemente, este autor, en colaboración con otros, ha realizado un interesante trabajo (\*) en el que analiza la evolución histórica de la laguna como habitat de la colonia de flamencos y en el que se resumen las observaciones más importantes realizadas por él y otros investigadores.

Anteriormente, en 1970, L. CASTELLON SERRANO había realizado su tesis de licenciatura "Sobre la sedimentación en la laguna salada de Fuente de Piedra (Málaga)" en la que aborda aspectos geológicos y en especial las relaciones con la mineralogénesis y la sedimentación actual en la propia laguna.

En 1981 finalmente, ICONA adquiere la propiedad de la laguna y un año más tarde, por el Real Decreto 1740/82 de 18 de junio, la laguna se convierte en Refugio Nacional de Caza. El consejo de Ministros del 15 de octubre de ese mismo año acuerda incluir la laguna en el catálogo de "zonas húmedas" de importancia internacional (lista MAR) promovido en la Conferencia Internacional sobre Conservación de Zonas Húmedas y Areas Acuáticas, celebrada en Ramsar (Iran) en 1971.

A lo largo de 1983 el Parlamento Andaluz, recién constituido, se interesa por el problema elaborándose una proposición de ley para declarar la laguna como "Reserva integral" ley que después de ser debatida es aprobada y publicada con el nº 1/1984 de 9 de enero. En dicha ley tras un preambulo en el que se pone de manifiesto la importancia del enclave que es calificado como la zona más importante de nidificación de los flamencos en la península ibérica y el interés

---

(\*) SANCHEZ, J.M., VARGAS, J.M. y BLASCO, M. (1984).- Historia y evolución de la colonia de flamenco común *Phoenicopterus ruber*, de la laguna de Fuente de Piedra.

de su protección y conservación, se establece un "régimen jurídico especial que se orienta a proteger y mejorar la integridad de la gea, fauna, flora, aguas y atmósfera y, en definitiva, del conjunto del ecosistema de la Reserva Integral de la Laguna de Fuente de Piedra, en razón de su interés educativo y científico".

También se establecen los límites de la "Reserva Integral" y de la "Zona de Protección" que son expuestas en el apartado 1.4.1 de este informe.

A lo largo de 1983 el IGME, inicia el estudio hidrogeológico detallado de los acuíferos incluidos en la cuenca endorreica de Fuente de Piedra cuyos resultados constituyen el presente informe.

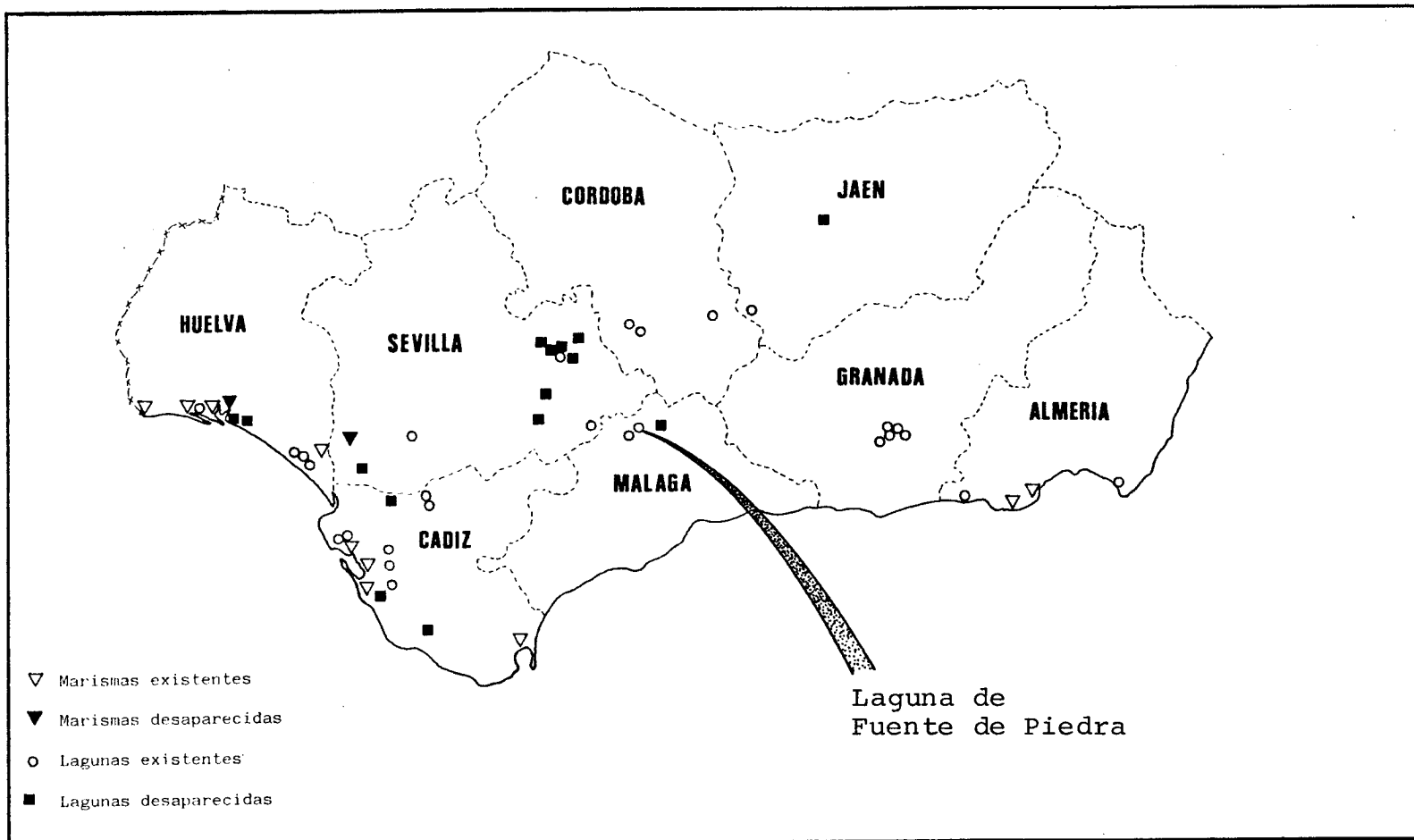
#### 1.4.- DESCRIPCION DE LA ZONA

##### 1.4.1.- SITUACION

La laguna de Fuente de Piedra se situa al norte de la provincia de Málaga a unos 75 Km de la capital y próxima a la provincia de Sevilla, hallandose incluida dentro del término municipal y muy próxima al núcleo urbano del que recibe su nombre. (Fig. 1).

La laguna se encuentra a una altitud aproximada de 410 m.s.n.m. y constituye el área de cota más baja de una cuenca endorreica que también recibe el nombre de Fuente de Piedra.

Los límites de la "Reserva Integral" de Fuente de Piedra tal como ha sido definida por la ley 1/1984 de la Junta de Andalucía, "comprende la finca actualmente inscrita en el Catastro correspondiente al Polígono 43, parcela nº 10, del término municipal de Fuente de Piedra, así como, una zona pe-



SITUACION EN EL AMBITO  
DE LAS ZONAS HUMEDAS ANDALUZAS

Fig. 1

rimetral exterior y continua de una anchura de 100 metros".

Por su parte la denominada en la misma ley "Zona de - Protección" viene definida por los siguientes límites:(Fig.2)

Norte.- Tramo de la carretera N-334, entre el cruce - con el ferrocarril Sevilla-Málaga y el límite de los térmi - nos municipales de Fuente de Piedra y La Roda de Andalucía.

Oeste.- Límite entre los términos municipales de Fuen - te de Piedra y La Roda de Andalucía a partir del cruce con - la carretera N-334, y en dirección sur. Este límite se conti - nuará por la línea de separación de los términos municipales de Fuente de Piedra y Sierra de Yeguas, hasta el punto de - confluencia con el término municipal de Campillos. Dicha lí - nea se continuará en dirección sur, hasta el cruce con la ca - rretera N-342.

Sur.- Carretera N-342 desde el cruce con el límite de los términos municipales de Antequera y Campillos, en dire - cción este, hasta la intersección con el ferrocarril Sevilla Málaga.

Este.- Ferrocarril Sevilla-Málaga, desde el cruce de la carretera N-342, en dirección norte, hasta la confluencia con la carretera N-334.

#### 1.4.2.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA

A efectos administrativos la cuenca de Fuente de Pie - dra se halla integrada en la Cuenca del Sur, aunque en reali - dad se sitúa sobre la divisoria atlántico-mediterránea y más concretamente entre las cuencas del Sur (río Guadalhorce) y del Guadalquivir. La extensión de esta cuenca es de 153,5Km<sup>2</sup>. (Fig. 3).

Los puntos culminantes de las divisorias que la sepa - ran de las cuencas del Guadalquivir y Guadalhorce se sitúan

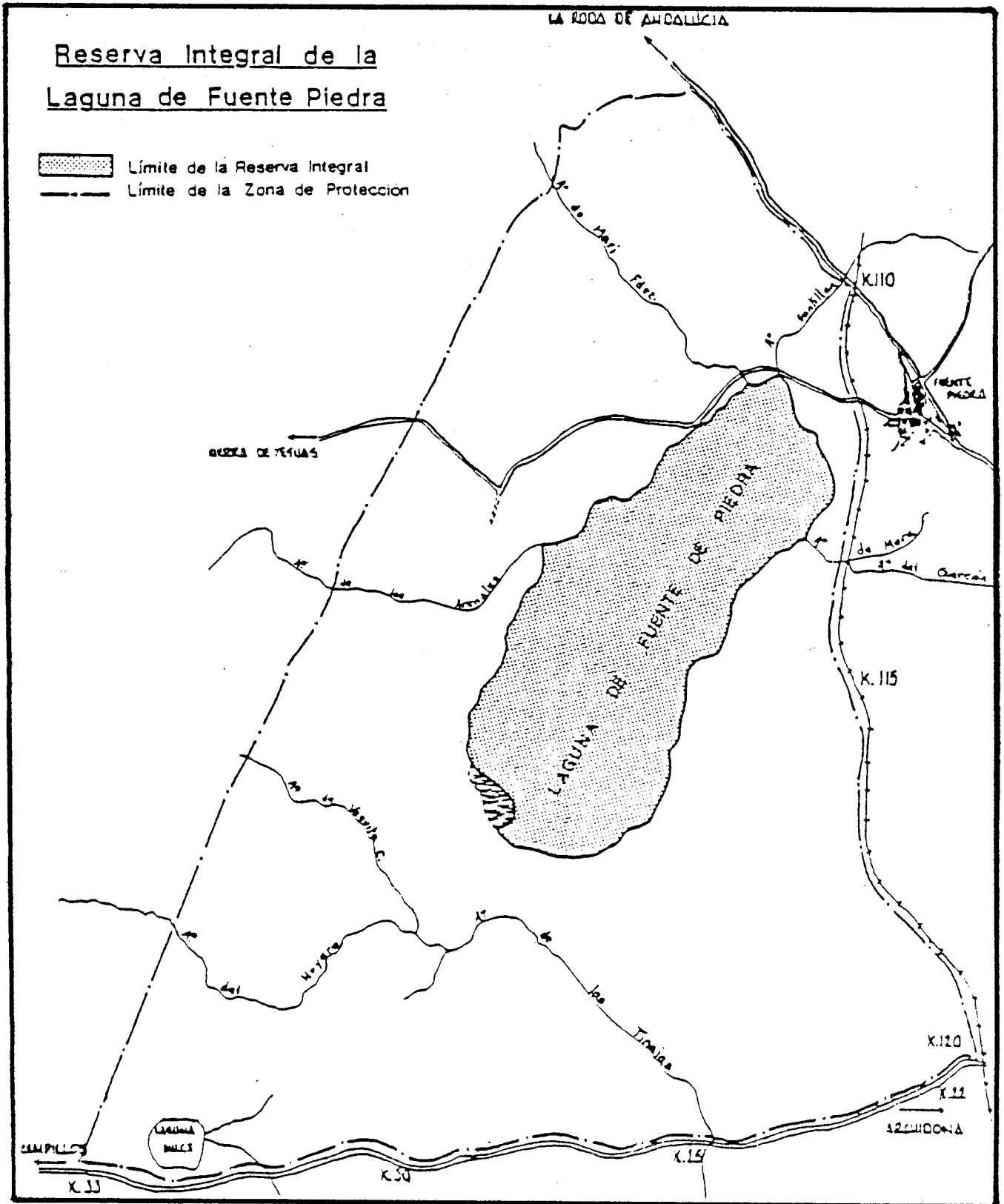


Fig. 2

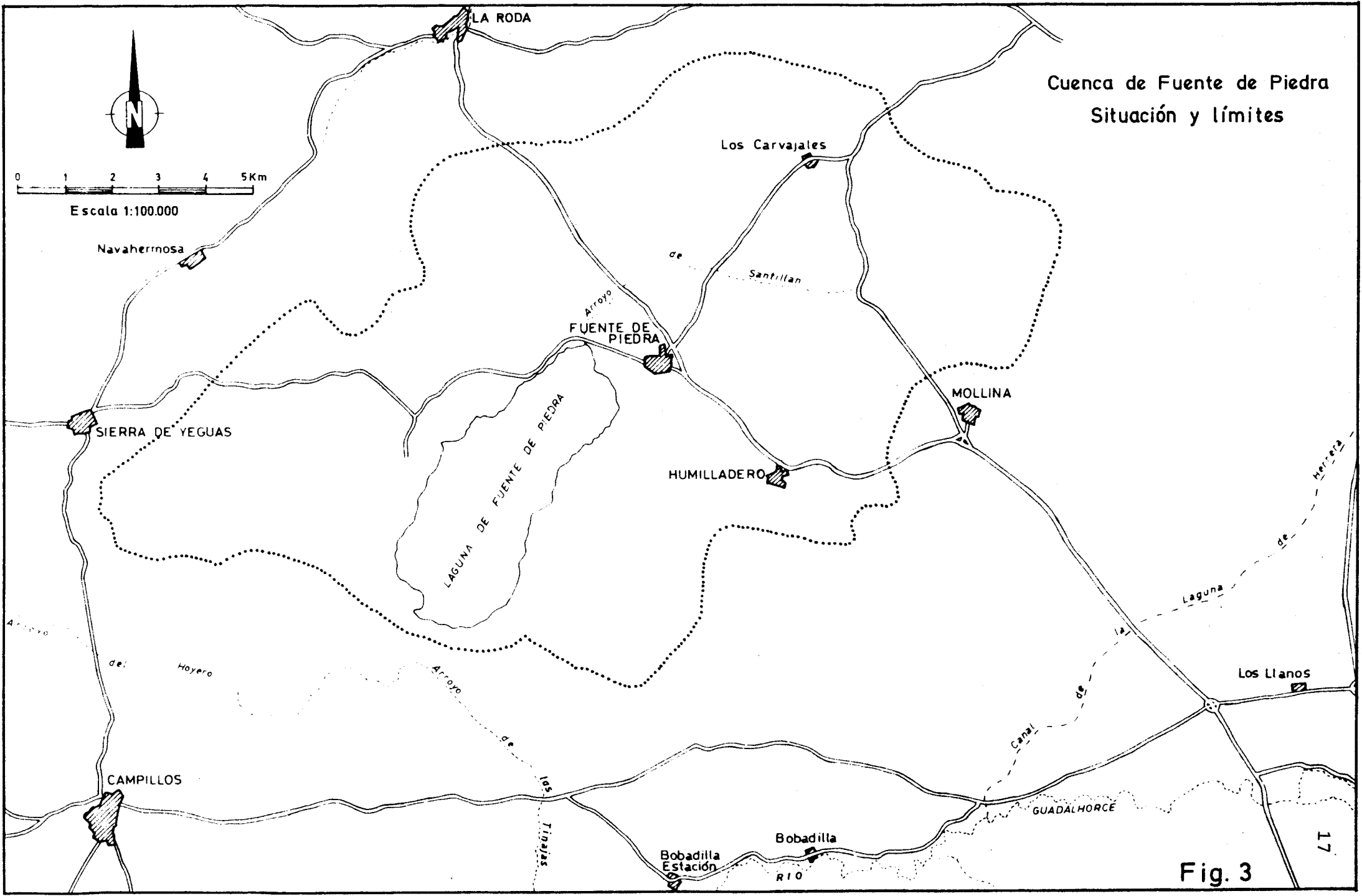


Fig. 3

en las Sierras de Mollina-La Camorra (798 m.s.n.m.) y Humilladero (680 m.s.n.m.) respectivamente, coincidiendo con los únicos relieves jurásicos carbonatados de entidad que existen en la cuenca; solamente en estas sierras el relieve es abrupto, quedando el resto de la zona ocupado por terrenos mucho menos coherentes que dan lugar a un relieve suavemente alomado que desciende paulatinamente hasta el nivel de base de la cuenca constituido por la laguna.

Los cursos superficiales que vierten a dicha laguna son escasos y como es lógico de corto recorrido, estando secos la mayor parte del año. Destacan los de Los Arenales, Mari Fernandez, Santillán y El Charcón que son descritos más detalladamente en el capítulo de hidrología.

Además de otras pequeñas lagunas situadas fuera de la cuenca de Fuente de Piedra, aunque en las proximidades de ésta, y entre las que destacan las de Campillos al SE. y la de La Ratosa al NE., en la propia cuenca existen otras de menor entidad, mereciendo mencionarse la laguna dulce de Fuente de Piedra situada en la proximidad inmediata del núcleo urbano.

La cuenca incluye parte de los términos municipales de Fuente de Piedra, Humilladero, Mollina y Sierra de Yeguas de la provincia de Málaga y una pequeña parte del de La Roda de Andalucía de la provincia de Sevilla.

Las comunicaciones en la zona son buenas, discurriendo por ella la carretera nacional 334 de Málaga a Sevilla así como otras comarcales que comunican los distintos núcleos y una red de caminos vecinales en general en un estado de circulación aceptable. También atraviesa la zona el tramo de ferrocarril existente entre los nudos ferroviarios de Bobadilla y La Roda de Andalucía, con estación en Fuente de Piedra.

Los núcleos urbanos más importantes incluidos en la -



cuenca son Fuente de Piedra y Humilladero que totalizan unos 5.000 habitantes.

La economía de la zona está basada fundamentalmente en la agricultura con pequeñas industrias de transformación ligadas a ella.

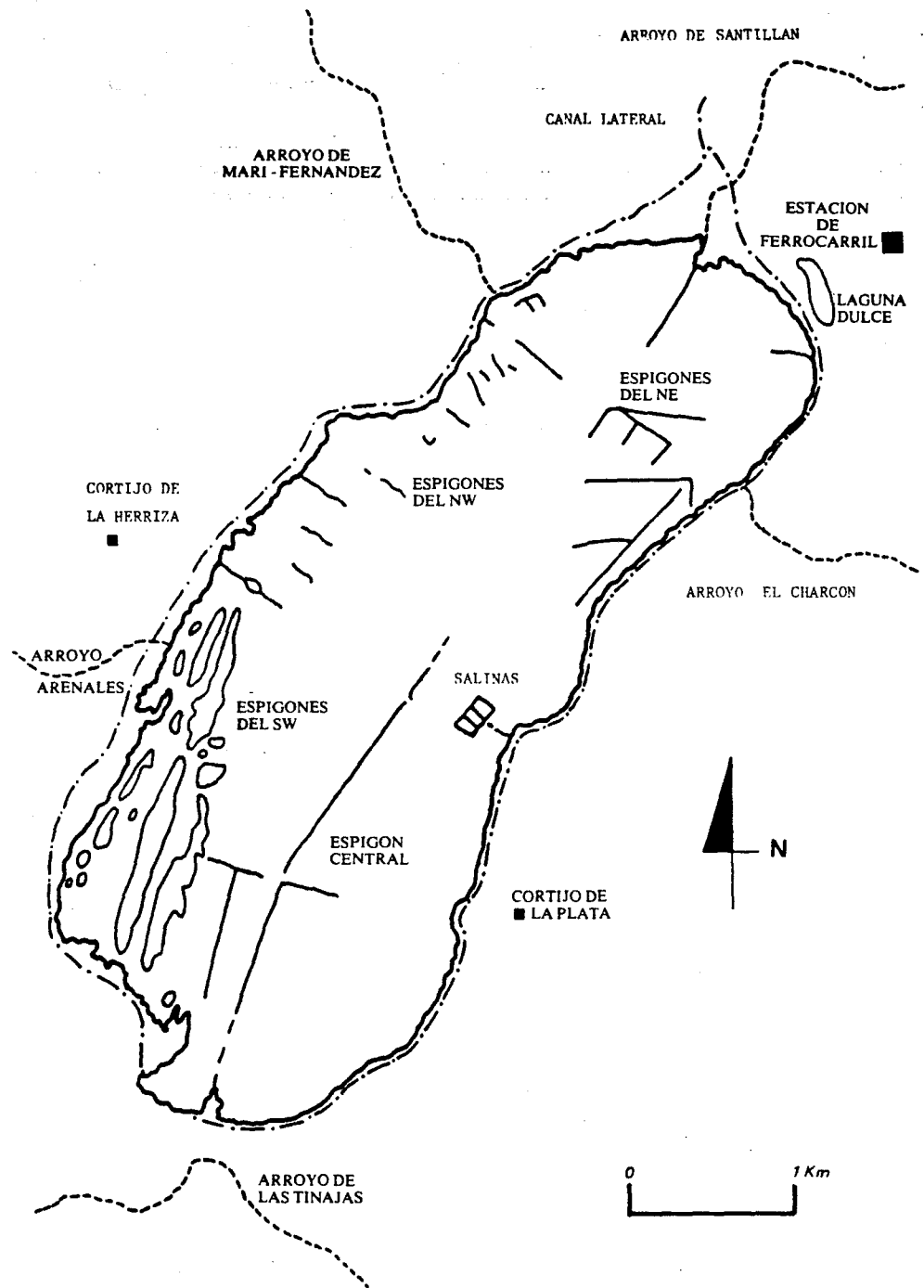
#### 1.4.3.- DESCRIPCION DE LA LAGUNA

La laguna tiene forma aproximadamente elíptica con ejes mayor y menor de longitud 6,8 y 2,5 Km respectivamente, un perímetro de 18 Km y una superficie de 13 Km<sup>2</sup>, teniendo en cuenta los límites hasta los que normalmente puede alcanzar el agua.

Su característica fundamental es que se trata de una laguna con agua salobre que presenta altos contenidos en cloruro sódico (la sal común ha sido explotada comercialmente hasta época relativamente reciente) y sulfato cálcico.

La estructura interna actual no corresponde a su estado natural primitivo ya que la explotación salinera que tuvo lugar en ella, impuso una serie de modificaciones que de alguna manera se mantienen en la actualidad más o menos destruidas según los casos. (Fig. 4).

Prácticamente la totalidad de la laguna está rodeada por un canal perimetral de 2 ó 3 metros de ancho cuya misión inicialmente consistía en recoger las aguas de escorrentía superficial que aflúa al vaso e impedir que llegase a él conduciéndolas hasta el túnel de desagüe que se construyó en el extremo meridional, todo ello con el fin de favorecer la alta concentración salina del agua de la laguna con vistas a la producción de sal. En la actualidad este canal perimetral es utilizado para derivar a través de él y por medio de un sistema de compuertas, los alpechines y otros agentes contaminantes que llegan a la laguna a través de los arroyos que



Croquis de la laguna

Fig. 4

afluyen en el extremo norte.

Coincidiendo con el eje mayor existe un espigón central, discontinuo en la actualidad, que originalmente fue un canal construido para transportar el agua del arroyo de Santillán hasta el túnel de desagüe con el mismo fin que el canal perimetral. Actualmente se encuentra muy erosionado habiendo desaparecido prácticamente en la mitad septentrional de la laguna.

Se conservan también restos de una serie de espigones transversales aproximadamente paralelos entre sí y perpendiculares al eje longitudinal de la laguna cuya misión original era comunicar el canal perimetral con el central para favorecer el drenaje de las aguas dulces que afluyen a la laguna.

Quedan también, localizados especialmente en la mitad oriental de la laguna restos de zanjas, estanques de evaporación, canales, pozos, ...etc todos ellos construidos con motivo de la antigua explotación salinera, que actualmente se hallan muy derruidos.

Finalmente hay que destacar los espigones del suroeste, que son porciones de tierra emergida paralelos al eje mayor de la laguna, junto con los cuales existe una serie de isletas, todas ellas de carácter natural, y en cuya formación no ha intervenido el hombre.

Todos estos elementos que configuran la morfología actual de la laguna están cada vez más desfigurados respecto de su disposición originaria como consecuencia del progresivo deterioro que se va produciendo en ellos por la erosión de las partes más elevadas y la colmatación de las más profundas, colmatación a la que contribuyen los materiales de acarreo transportados por el agua de lluvias torrenciales que llegan a la laguna especialmente a través de los arroyos que afluyen en la mitad norte.

## 2.- CLIMATOLOGIA

## 2.1.- GENERALIDADES

Al objeto de determinar en su momento los recursos hídricos de la cuenca de Fuente de Piedra y de los sistemas hidrogeológicos en ella incluidos, se ha llevado a cabo un estudio tan detallado como ha sido posible de cada uno de los parámetros que intervienen en el balance desde el punto de vista climatológico.

Se han analizado fundamentalmente los datos de pluviometría y temperatura obtenidos de las estaciones meteorológicas incluidas en la cuenca y en sus sectores cercanos.

En base a estos datos se han determinado las evaporaciones potenciales y reales mes a mes en cuatro estaciones que se seleccionaron como representativas.

En algunas estaciones meteorológicas mejor dotadas, como la de Bobadilla-Estación y Embalse del Guadalhorce se han

obtenido también, aunque para periodos más restringidos, datos sobre velocidad del viento, horas de insolación, humedad relativa,.....etc. que permiten determinar por formulas semiempíricas la evaporación, uno de los parámetros que interesa conocer con más detalle en la laguna y compararlos con los datos obtenidos de evaporímetros de medida directa.

## 2.2.- PLUVIOMETRIA

### 2.2.1.- RED Y PERIODOS DE OBSERVACION

Se han seleccionado once estaciones meteorológicas que cubren la totalidad de la zona de estudio, perteneciendo cuatro de ellas a la cuenca del Guadalquivir y las restantes a la del Sur (incluyendo aquí la cuenca endorreica de Fuente de Piedra).

La situación de las mismas y sus características principales se indican en el plano 1 y cuadro 1. Se han incluido para cada estación las numeraciones generalmente no coincidentes del Instituto Nacional de Meteorología (INM), Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) y Comisaría de Aguas del Sur de España (CASE) o del Guadalquivir (CAG).

Los datos obtenidos proceden de dos fuentes fundamentales: Comisarías de Aguas e Instituto Nacional de Meteorología;

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS EN LA ZONA DE FUENTE DE PIEDRA

Cuadro 1

Número			Denominación	Dotación	Coordenadas			Periodo de observación	Nº de años sin datos	Precipitaciones características anuales (mm)		
INM	CEH	CASE CAG			Longitud	Latitud	Altitud			Media perio. obser.	Año seco	Año húmedo
106	70	41	Bobadilla estación	P-T-E	1°02'20"W	37°02'10"	380	48-49/81-82	1	443,0	246,2 (1)	685,1 (2)
113	77	50	Campillos	P	1°10'30"W	37°02'50"	460	51-52/81-82	1	521,4	256,0 (3)	917,5 (2)
375	-	86	Fuente de Piedra	P	1°02'30"W	37°08'05"	450	48-49/81-82	-	532,6	283,1 (4)	1077,2 (2)
105	69	89	Venta Galvez	P	0°55'50"W	37°04'55"	410	48-49/81-82	1	446,0	210,9 (3)	769,5 (2)
376	-	106	Humilladero	P	1°01'00"W	37°06'50"	450	48-49/81-82	-	412,3	237,7 (4)	759,6 (2)
103	68	243	Cortijo Rincón	P	0°53'48"W	37°08'12"	438	61-62/80-81	-	497,4	265,0 (1)	854,0 (2)
102	-	283	Cortijo San Juan	P	0°52'15"W	37°07'55"	430	64-65/79-80	-	457,2	272,0 (5)	767,7 (6)
582	570	612	La Roda de Andaluc.	P-T-E (*)	1°05'23"W	37°12'54"	405	42-43/80-81	8	514,9	227,6 (3)	1305,4 (7)
569	-	-	Alameda	P	0°58'23"W	37°12'38"	440	44-45/81-82	5	492,5	183,1 (3)	983,5 (2)
581	-	611	Sierra de Yeguas	P	1°11'00"W	37°07'30"	480	52-53/81-82	-	523,6	224,3 (3)	883,0 (2)
376 <sup>e</sup>	-	270	La Herriza	P-T-E	1°06'10"W	37°07'00"	425	73-74/81-82	-	415,5	314,1	553,1

(\*) Los datos de T y E corresponden a la cercana estación del Cortijo de Las Navas

(1) 1966-67      (3) 1952-53      (5) 1973-74      (7) 1959-60  
 (2) 1962-63      (4) 1974-75      (6) 1968-69      (8) 1980-81



excepcionalmente y con objeto de completar los datos de una de las estaciones (Alameda) en el periodo posteriormente elegido como base de los cálculos, se han recogido los datos directamente del observador al no existir constancia de los mismos en los archivos de los organismos antes mencionados.

Los periodos de observación en las distintas estaciones varían considerablemente oscilando entre 34 y 16 años (Cuadro 2).

Una primera selección entre todas las estaciones cuyos datos han sido tratados ha aconsejado eliminar dos de ellas por distintos motivos:

- Fuente de Piedra presenta unos datos anómalos (por exceso) respecto al resto de las estaciones más cercanas; esta estación ha dejado de funcionar y según las noticias recibidas es bastante probable que las condiciones del antiguo observador no fueran las más idóneas.
- Cortijo de San Juan posee un periodo de observación muy corto y está demasiado alejada de la zona de estudio.

La Herriza, a pesar de poseer un periodo de observación corto, se ha utilizado por ser una de las más cercanas a la laguna, por estar dotada además de termómetro y evaporímetro y por ser la estación que pretende utilizarse en el futuro dentro del previsto complejo de estudio de la reserva de Fuente de Piedra.

Una vez seleccionadas las estaciones a utilizar para el estudio pluviométrico de la zona se han completado por medio de correlación los datos de precipitación total anual que no existían. De este modo se ha conseguido disponer de datos para un periodo lo más largo posible (1948-1982) (Cuadro 3) que permiten, caracterizar la zona desde el punto de vista

## PRECIPITACIONES (mm) DATOS DISPONIBLES

Cuadro 2

Año Hidro- lógico	Número (I.N.M.) y denominación de la estación pluviométrica										
	106 Boba- dilla	113 Campi- llos	375 Fuente Piedra	105 Venta Galvez	376 Humi- lladero	103 Cortijo Rincón	102 Cjo.San Juan	582 La Roda	569 Alameda	581 Sierra Yeguas	376 E Cortijo Herriza
1942-43								611,6			
1943-44								455,3			
1944-45								268,0	235,3		
1945-46								660,0			
1946-47								809,5			
1947-48								602,3			
1948-49	350,5		361,8	285,2	303,0			386,1			
1949-50	326,1		389,6	328,5	356,9			238,6			
1950-51	446,2		517,8	430,6	445,4			430,0	426,4		
1951-52	406,3	352,0	445,4	687,8	432,8			463,6	450,4		
1952-53	317,9	256,0	323,0	210,9	253,3			227,6	183,1	324,3	
1953-54	316,7	285,5	386,7	323,4	256,2			306,1	291,1	304,3	
1954-55	406,2	447,5	533,0	441,3	361,2			353,2	398,8	410,4	
1955-56	491,0	572,7	542,7	521,0	403,3			491,9	547,7	563,6	
1956-57	350,3	391,0	479,1	332,5	311,8			372,0	390,0	356,2	
1957-58	463,6	396,0	544,4	520,4	363,1			561,9	406,6	400,5	
1958-59	517,4	571,0	605,2	450,0	382,7			669,4	462,3	598,0	
1959-60	581,0	652,0	701,8	600,5	490,2			1305,4	737,5	837,0	
1960-61	450,8	482,0	515,5	397,0	321,6			585,8	522,0	578,4	
1961-62	560,4	689,0	838,9	469,5	505,2	505,0		672,2	631,8	679,8	
1962-63	685,1	917,5	1077,2	769,5	759,6	854,0		851,5	983,5	883,0	
1963-64	547,2	643,0	667,0	435,5	595,2	604,0		498,2	605,7	513,4	
1964-65	421,6	456,0	546,0	350,2	419,7	379,0	558,0	366,9	434,1	386,5	
1965-66	405,5	516,5	522,1	457,6	478,8	489,5	485,6	559,3	521,4	486,5	
1966-67	246,2	410,0	440,6	273,4	333,0	265,0	290,2	353,1	387,3	300,6	
1967-68	404,0	581,5	606,2	483,1	510,9	521,0	402,9	541,0	548,5	505,7	
1968-69	587,4	844,9	795,6	662,0	678,9	666,0	767,7		762,2	803,7	
1969-70	633,1	857,5	896,9	664,9	516,4	725,7	662,4	584,5	675,9	741,5	
1970-71	490,5	637,6	686,2	468,9	501,5	568,6	523,1	533,0	625,4	584,4	
1971-72	414,1	485,9	883,0	352,0	347,0	451,4	321,0	460,0	460,8	460,4	
1972-73	471,8	522,1	438,5	387,2	424,9	400,9	354,5	463,0	512,5	600,0	
1973-74	351,2	389,7	293,0	375,0	316,1	309,5	272,0		424,5	443,4	335,3
1974-75	269,3	326,2	283,1	294,0	237,7	313,0	303,8		375,6	348,6	334,7
1975-76	388,5	461,6	345,0	413,0	413,7	442,5	448,9		430,6	482,8	438,1
1976-77	490,0	556,5	483,0	549,5	478,5	580,9	547,1		611,4	652,7	553,1
1977-78	473,8	546,8	406,5	477,0	403,9	471,0	541,5		551,2	605,5	476,1
1978-79		544,6	501,0	579,5	441,0	600,0	545,9		562,0	650,7	480,1
1979-80	533,5	455,0	375,5		322,5	364,0	290,0		330,0	454,4	364,0
1980-81	458,9		291,5	316,5	298,0	356,5		281,0	282,0	371,5	314,1
1981-82	364,0	394,8	387,0	411,0	347,0				404,5	481,5	443,9
Media periodo observ.	443,0	521,4	532,6	446,0	412,3	497,4	457,2	514,9	492,5	523,6	415,5

Procedencia de los datos:



Datos de campo de observador.

Comisaría de Aguas.

Instituto Nacional de Meteorología.

## PRECIPITACIONES (mm) PERIODO HOMOGENEO (1948-1982)

Cuadro 3

Año Hidro- lógico	Número (I.N.M.) y denominación de la estación pluviométrica								
	106 Boba- dilla	113 Campi- llos	105 Venta Galvez	376 Humi- lladero	103 Cortijo Rincón	582 La Roda	569 Alameda	581 Sierra Yeguas	376 e Cortijo Herriza
1948-49	350,5	352,6*	285,2	303,0	287,0*	290,8*	347,8*	371,8*	282,3*
1949-50	326,1	338,7*	328,5	356,9	339,9*	238,9	104,8*	359,6*	324,9*
1950-51	446,2	407,2*	430,6	445,4	464,6*	430,0	426,4	420,0*	393,7*
1951-52	406,3	352,0	687,8	432,8	778,7*	463,6	450,4	371,3*	383,9*
1952-53	317,9	256,0	210,9	253,3	196,3*	227,6	183,1	224,3	244,4*
1953-54	316,7	285,5	323,4	256,2	333,7*	306,1	291,1	304,3	246,7*
1954-55	406,2	447,5	441,3	361,2	477,6*	353,2	398,8	410,4	328,3*
1955-56	491,0	572,7	521,0	403,3	575,0*	491,9	547,7	563,6	361,0*
1956-57	350,3	391,0	332,5	311,8	344,8*	372,0	390,0	356,2	289,9*
1957-58	463,6	396,0	520,4	363,1	574,2*	561,9	486,6	400,5	329,8*
1958-59	517,4	571,0	450,0	382,7	488,3*	669,4	462,3	598,0	345,0*
1959-60	581,0	652,0	600,5	498,2	672,1*	1305,4	737,5	837,0	434,7*
1960-61	450,8	482,0	397,0	321,6	423,5*	585,8	522,0	578,4	297,5*
1961-62	560,4	689,0	469,5	505,2	585,0	672,2	631,8	679,8	440,2*
1962-63	685,1	917,5	769,5	759,6	854,0	851,5	983,5	883,0	763,8*
1963-64	547,2	643,0	435,5	595,2	604,0	498,2	605,7	513,4	602,9*
1964-65	421,6	456,0	350,2	419,7	379,0	366,9	434,1	386,5	430,8*
1965-66	405,5	516,5	457,6	478,8	489,5	559,3	521,4	486,5	488,4*
1966-67	246,2	410,0	273,4	333,0	265,0	353,1	387,3	300,6	354,7*
1967-68	404,0	581,5	483,1	510,9	521,0	541,0	548,5	505,7	520,0*
1968-69	587,4	844,9	662,0	678,9	666,0	756,3*	762,2	803,7	684,6*
1969-70	633,1	857,5	664,9	516,4	725,7	584,6	675,9	741,5	525,6*
1970-71	490,5	637,6	468,9	501,5	568,6	533,0	625,4	584,4	510,8*
1971-72	414,1	485,9	352,0	347,0	451,4	460,0	460,8	460,4	359,6*
1972-73	471,8	522,1	387,2	424,9	400,9	463,0	512,5	600,0	435,8*
1973-74	351,2	389,7	375,0	316,1	309,5	358,2*	424,5	443,4	335,3
1974-75	269,3	326,2	294,0	237,7	313,0	336,2*	375,6	348,6	334,7
1975-76	388,5	461,6	413,0	413,7	442,5	433,6*	430,6	482,8	438,1
1976-77	490,0	556,5	549,5	478,5	580,9	545,3*	611,4	652,7	553,1
1977-78	473,8	546,8	477,0	403,9	471,0	443,5*	551,2	605,5	476,1
1978-79	687,3*	544,6	579,5	441,0	600,0	481,8*	562,0	650,7	480,1
1979-80	533,5	455,0	406,7*	322,5	364,0	322,0*	330,0	454,4	364,0
1980-81	458,9	414,4*	316,5	298,0	356,5	281,0	282,0	371,5	314,1
1981-82	364,0	394,8	411,0	347,0	440,6*	380,8*	404,5	481,5	443,9
Media periodo observ.	450,5	504,6	444,8	412,2	480,7	485,8	484,4	506,8	415,0

(\*) Datos completados por metodos de correlación

pluviométrico. Para un análisis más detallado de la pluviometría, con el fin de establecer posteriormente balances mensuales, se ha elegido el periodo 1962-1982, seleccionándose también con este motivo las cuatro estaciones más representativas (Humilladero, La Herriza, La Roda y Bobadilla).

#### 2.2.2.- DETERMINACION DE AÑOS TIPO Y VALORES REPRESENTATIVOS

Para determinar los valores representativos de los años-tipo seco, húmedo y medio dentro del periodo 1948-1982 se ha realizado un diagrama de pluviometrías anuales clasificadas con la media de las nueve estaciones seleccionadas (Figura 5).

El año-tipo de los años húmedos se considera el representado por la media de aquellos que superan en un 15% la media pluviométrica anual del periodo elegido. Del mismo modo el año-tipo de los años secos vendrá representado por la media de los que no llegan al 85% de dicha media. Así se obtienen nueve años representativos del año-tipo húmedo(1), mientras que otros nueve lo son del año-tipo seco (2); los restantes hasta los 34 del periodo, es decir dieciseis, son representativos del año-tipo medio.

La precipitación media de la zona es de 453,3 mm, siendo los años 1960-61 (con 451 mm) y 1957-58 (con 455,1 mm) los que se aproximan más a dicha media, seguidos del 1972-73 (468,6) y del 1975-76 (433,7 mm).

El año más seco del periodo fue 1952-53 (234,9 mm) seguido de 1953-54 (296 mm) y 1949-50 (302,6 mm). Por el contrario el año más húmedo fue 1962-63 (829,7 mm) seguido de 1968-1969 (716,2 mm) y 1959-60 (702 mm).

---

(1) Años húmedos: 1959-60, 1961-62, 1962-63, 1963-64, 1968-69, 1969-70, 1970-71, 1976-77 y 1978-79.

(2) Años secos: 1948-49, 1949-50, 1952-53, 1953-54, 1956-57 - 1966-67, 1973-74, 1974-75 y 1980-81.

# DIAGRAMA DE PLUVIOMETRIAS ANUALES CLASIFICADAS

Determinación de años-tipo

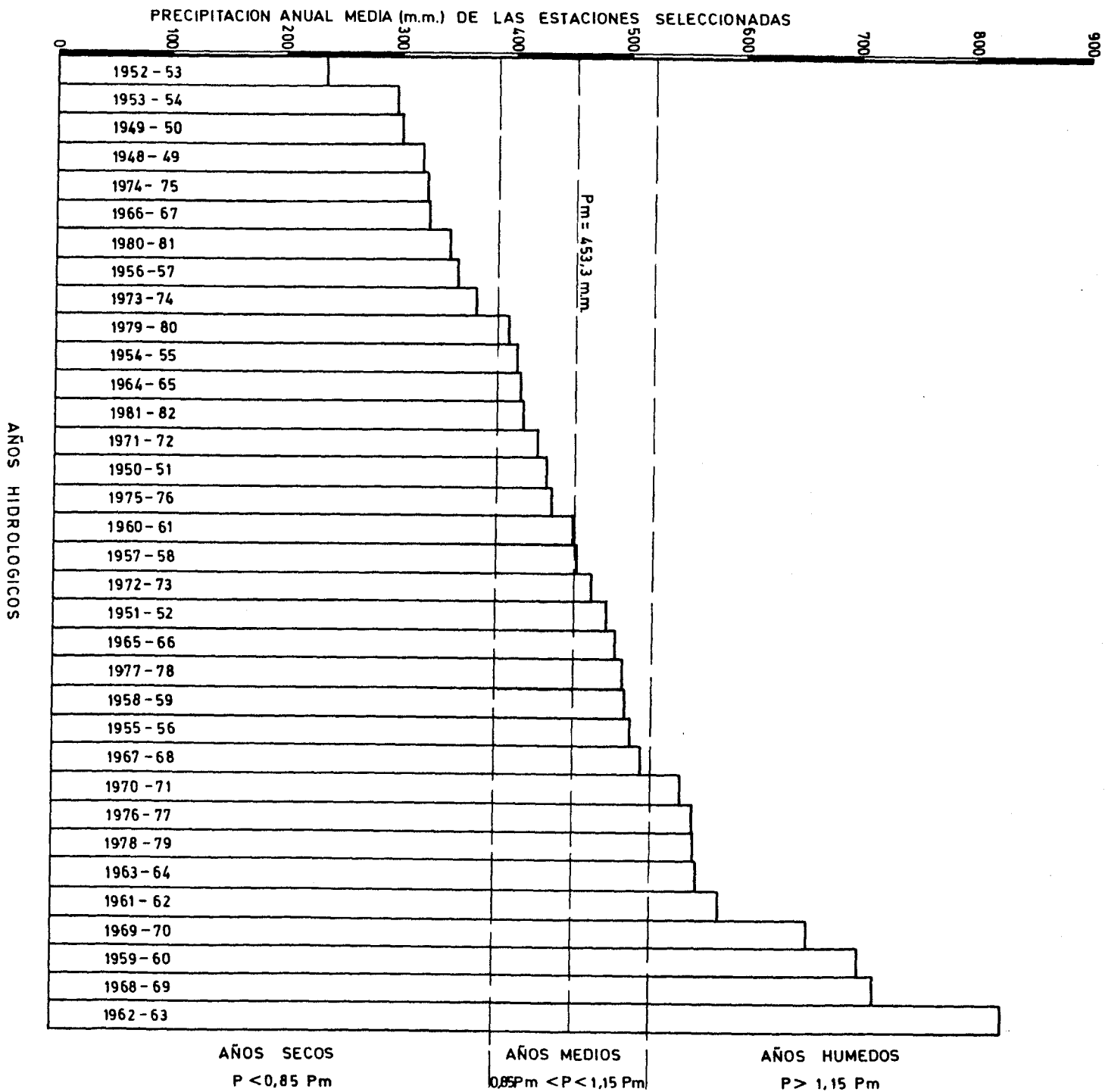


Fig. 5

### 2.2.3.- ISOYETAS

Con el fin de determinar la distribución espacial de las precipitaciones y tomando como base la pluviometría anual de las nueve estaciones seleccionadas, se han dibujado tres planos de isoyetas que corresponde a la media del periodo (Plano 2), al año-tipo de los años húmedos (Plano 3) y al año tipo de los años secos (Plano 4).

Las isoyetas medias permiten observar que las máximas pluviométricas se sitúan al norte y oeste de la cuenca de Fuente de Piedra mientras que los mínimos corresponden al sector más deprimido de dicha cuenca. Este hecho se repite en el año-tipo humedo.

El año-tipo seco por el contrario presenta sus máximos pluviométricos en el sector occidental y meridional de la cuenca mientras que los mínimos coinciden también en este caso con el área de la laguna.

Las estaciones que recogen mayor cantidad de precipitación son las de Sierra de Yeguas y Campillos, situadas al oeste de la cuenca, siendo la de Humilladero la que presenta un índice pluviométrico más bajo.

### 2.2.4.- ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES EN EL PERIODO 1962-1982

El periodo 1962-1982 se ha elegido como el más adecuado para determinar en él los distintos parámetros del balance con detalle mensual. Con este motivo los datos pluviométricos de ese periodo se han analizado mensualmente.

Por otra parte, entre las nueve estaciones meteorológicas cuyos datos se han tratado, se han seleccionado las cuatro más representativas (Humilladero, La Herriza, La Roda y Bobadilla) con objeto de centrar en ellas el análisis de la pluviometría. Las dos primeras se han seleccionado por su proximidad a la laguna y las dos restantes por que son las que mayor número de datos poseen.

Las precipitaciones mensuales del periodo 1962-1982 en las cuatro estaciones citadas se recoge en los cuadros 4, 5, 6 y 7.

La ausencia de algunos de los valores mensuales ha obligado a obtenerlos por correlación a partir de las existentes en las estaciones de características más parecidas.

Con los valores de las medias mensuales de precipitación y para cada una de estas cuatro estaciones se han dibujado gráficos de distribución de la pluviometría superpuestos a otros que muestran la precipitación acumulada expresada en valores absolutos y en % (Figura 6). A partir de estos gráficos se puede observar que los meses más lluviosos son diciembre y febrero oscilando en ellos la precipitación entre 60 y 70 mm. Por el contrario el mes más seco es sistemáticamente el de julio con valores medios siempre inferiores a 5 mm y muy frecuentemente con precipitación nula; el mes de agosto es ligeramente más lluvioso con valores medios próximos a los 5 ó 6 mm.

Por otra parte se observa que practicamente el 90% de la precipitación se produce en los siete primeros meses del año hidrológico, mientras que el 10% restante tiene lugar entre los meses de marzo y septiembre.

ESTACION DE HUMILLADERO

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) (Periodo 1962-1982)

Cuadro 4

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	112,8	57,1	168,9	121,6	121,2	31,9	30,2	81,4	0	0	0	34,5	759,6
1963-64	0	148,2	187,0	19,6	93,2	67,7	33,2	17,1	23,9	0	0	5,3	595,2
1964-65	4,0	51,8	58,9	57,6	53,6	44,7	39,0	6,8	11,9	0	0	91,4	419,7
1965-66	60,9	68,2	50,6	96,3	91,6	0	36,4	7,2	24,5	0	2,2	40,6	478,5
1966-67	69,8	38,6	4,5	41,4	96,7	15,1	24,3	15,1	27,5	0	0	0	333,0
1967-68	50,1	146,7	24,3	2,7	109,2	114,5	24,1	23,7	6,0	0	9,6	0	510,9
1968-69	0	79,9	84,8	83,9	103,0	83,7	50,1	15,1	21,2	0	80,0	77,2	678,9
1969-70	39,0	111,2	45,8	199,5	8,2	48,3	17,1	27,7	18,7	0	0	0,9	516,4
1970-71	15,9	50,5	107,0	84,2	0	64,7	107,1	59,5	12,6	0	0	0	501,5
1971-72	0	32,4	38,8	63,8	45,9	56,2	12,4	23,0	16,0	0	0	58,5	347,0
1972-73	103,5	66,8	36,4	42,6	12,5	36,7	31,0	69,5	24,1	0	1,8	0	424,9
1973-74	17,5	24,9	71,4	15,6	37,8	49,4	49,6	4,7	45,2	0	0	0	316,1
1974-75	4,5	12,0	1,0	17,2	36,1	95,3	45,1	24,2	1,2	0	0,5	0,5	237,6
1975-76	3,1	10,6	58,8	21,4	90,4	47,9	79,8	31,6	0	1,0	12,2	56,9	413,7
1976-77	93,5	30,6	119,3	127,9	43,7	13,8	7,8	6,0	16,3	19,6	0	0	478,5
1977-78	31,3	50,5	58,9	17,2	82,4	64,4	50,7	22,2	20,9	0	0	3,6	402,1
1978-79	29,8	8,4	77,7	116,3	110,5	50,4	25,8	0,5	0	3,5	0	18,1	441,0
1979-80	150,4	10,8	9,1	18,1	34,0	43,5	6,6	43,0	0,5	0	0	6,5	322,5
1980-81	46,0	70,5	0,3	0	3,7	26,0	102,1	20,4	2,5	0	7,7	18,8	298,0
1981-82	5,9	0	120,5	66,9	55,8	6,0	51,8	12,4	0	20,7	0	7,6	347,0
P.MEDIA	41,9	53,5	66,2	60,7	61,5	48,0	41,2	25,6	13,7	2,2	5,7	21,0	441,1



ESTACION DE LA HERRIZA

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) (Periodo 1962-1982)

Cuadro 5

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	112,2*	57,6*	167,1*	120,8*	120,4*	32,9*	31,2*	81,4*	1,6*	1,6*	1,6*	35,4*	763,8*
1963-64	1,6*	146,9*	184,9*	20,8*	93,0*	68,0*	34,2*	18,4*	25,1*	1,6*	1,6*	6,8*	602,9*
1964-65	5,5*	52,4*	59,3*	58,1*	54,2*	45,4*	39,9*	8,3*	13,3*	1,6*	1,6*	91,2*	430,8*
1965-66	61,3*	68,5*	51,2*	96,0*	91,4*	1,6*	37,3*	8,7*	25,6*	1,6*	3,8*	41,4*	488,4*
1966-67	70,0*	39,5*	6,0*	42,2*	96,4*	16,4*	25,4*	16,4*	28,6*	1,6*	1,6*	1,6*	345,7*
1967-68	50,7*	145,4*	25,4*	4,3*	108,6*	113,8*	25,2*	24,9*	7,5*	1,6*	11,0*	1,6*	520,0*
1968-69	1,6*	79,9*	84,7*	83,8*	102,6*	83,6*	50,7*	16,4*	22,4*	1,6*	80,0*	77,3*	684,6*
1969-70	39,8*	110,6*	46,5*	197,1*	0,7*	49,0*	18,4*	28,8*	20,0*	1,6*	1,6*	2,5*	525,6*
1970-71	17,2*	51,1*	106,5*	84,1*	1,6*	65,0*	106,6*	59,9*	14,0*	1,6*	1,6*	1,6*	510,8*
1971-72	1,6*	33,4*	39,7*	64,1*	46,6*	56,7*	13,8*	24,2*	17,3*	1,6*	1,6*	59,0*	359,6*
1972-73	103,0*	67,1*	37,3*	43,4*	13,9*	37,6*	32,0*	69,7*	25,2*	1,6*	3,4*	1,6*	435,8*
1973-74	16,0	13,5	96,0	21,2	47,2	32,0	57,7	2,5	53,2	0	0	0	335,3
1974-75	2,2	22,0	1,3	23,7	53,3	117,4	43,8	32,9	19,5	0	0	2,8	318,9
1975-76	3,3	12,6	84,3	31,5	91,3	49,0	90,6	37,5	0	9,0	6,5	22,5	438,1
1976-77	75,6	45,5	131,8	151,5	49,5	15,7	14,2	8,0	31,3	30,0	0	0	553,1
1977-78	44,7	62,5	77,5	24,8	101,0	65,0	65,5	13,6	34,5	0	2,0	0	491,1
1978-79	36,5	14,5	77,5	126,0	126,5	51,5	36,1	0	0	0	0	11,5	480,1
1979-80	177,5	14,5	16,0	21,5	37,5	45,0	7,0	40,5	0	0	0	4,5	364,0
1980-81	63,5	79,3	0	0	0,5	30,0	94,0	21,5	4,0	0	0	21,3	314,1
1981-82	0,4	0	157,8	91,5	70,0	23,1	52,9	20,5	0	17,0	0	10,7	443,9
P.MEDIA	44,4	55,8	72,5	65,5	66,0	49,9	43,6	26,7	17,2	3,7	5,9	19,7	470,9

(\*) Valores obtenidos por correlación

ESTACION DE LA RODA DE ANDALUCIA

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) (Periodo 1962-1982)

Cuadro 6

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	112,7	102,0	156,3	130,3	153,4	63,9	42,1	35,5	7,3	0	0	48,0	851,5
1963-64	10,5	125,3	103,1	20,1	77,4	73,0	47,8	14,6	19,6	0	2,3	4,5	498,2
1964-65	3,8	38,1	28,6	32,5	43,0	65,6	21,4	6,2	11,0	0	0	116,7	366,9
1965-66	158,8	79,0	49,8	90,8	109,7	12,0	37,7	1,5	1,5	0	0	18,5	559,3
1966-67	75,7	60,4	9,5	45,7	83,5	10,2	30,6	13,7	23,8	0	0	0	353,1
1967-68	42,5	164,6	7,5	2,0	135,8	106,6	40,2	22,0	12,6	0	5,6	1,6	541,0
1968-69	35,0	47,6	84,7*	114,0	153,0	101,0	73,0	18,9*	22,0	4,6*	50,0	52,5	756,3
1969-70	151,6	79,0	48,0	197,0	8,0	43,0	22,0	17,0	19,0	0	0	0	584,6
1970-71	9,0	42,0	97,0	89,0	1,0	82,0	126,0	71,0	12,0	0	0	4,0	533,0
1971-72	0	37,0	33,0	94,0	71,0	65,0	11,0	37,0	19,0	30,0	0	63,0	460,0
1972-73	121,0	78,0	46,0	50,0	33,0	42,0	6,0	59,0	24,0	0	4,0	0	463,0
1973-74	21,0	23,0	90,0	20,0	52,0	29,0	53,0	2,0	59,0	0	4,6*	4,6*	358,2
1974-75	8,9*	14,8	4,0	26,3	51,7	129,0	60,0	22,7	3,0	0	15,8	0	336,2
1975-76	3,0	12,0	58,6	21,0	90,0*	49,9*	80,0*	34,5*	4,6*	5,6*	16,1*	58,4*	433,6
1976-77	131,0	33,5*	117,3*	125,4*	45,9*	17,6*	12,0*	10,3*	20,0*	23,1*	4,6*	4,6*	545,3
1977-78	34,2*	60,7	60,2*	20,9*	82,4*	65,4*	52,5*	25,6*	24,4*	4,6*	4,6*	8,0*	443,5
1978-79	32,8*	12,5*	92,0	138,0	128,0	37,0	25,0	0	0	7,9*	4,6*	4,0	481,8
1979-80	141,0	14,8*	13,2*	20,0	33,0	47,0	6,0	38,0	0	0	0	9,0	322,0
1980-81	43,0	73,0	0	0	5,0	19,0	94,0	22,0	0	0	1,0	24,0	281,0
1981-82	0	0	131,0	67,8*	57,3*	10,3*	53,5*	16,3*	4,6*	24,2*	4,6*	11,2*	380,8
P.MEDIA	56,8	54,9	61,5	65,2	70,7	53,4	44,7	23,4	14,4	5,0	5,9	21,6	477,5

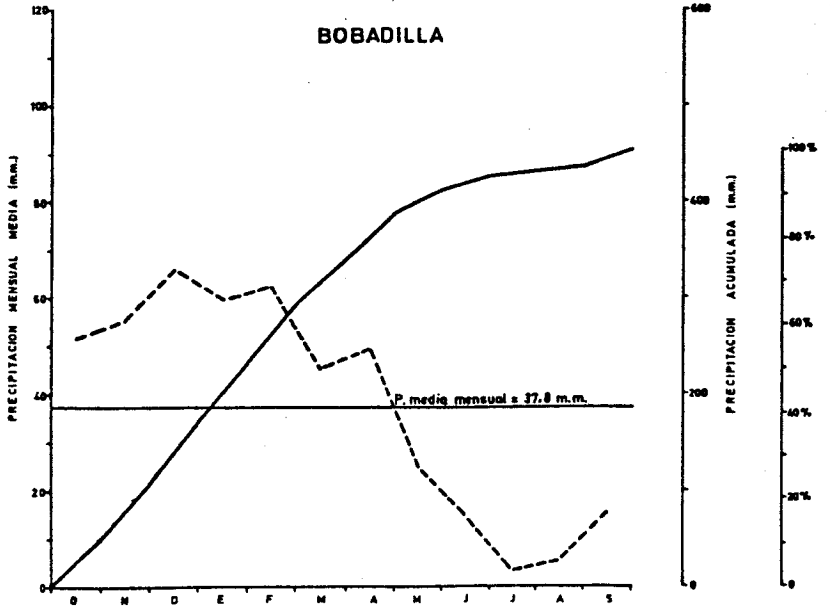
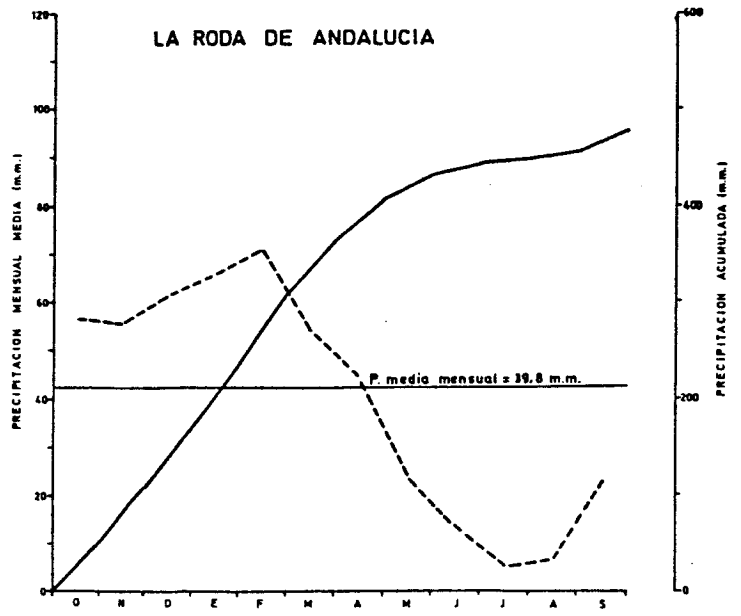
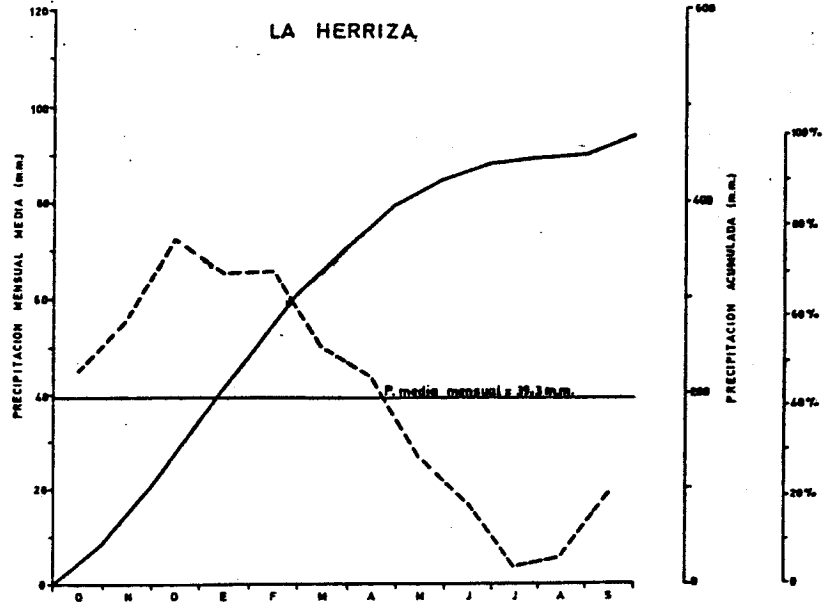
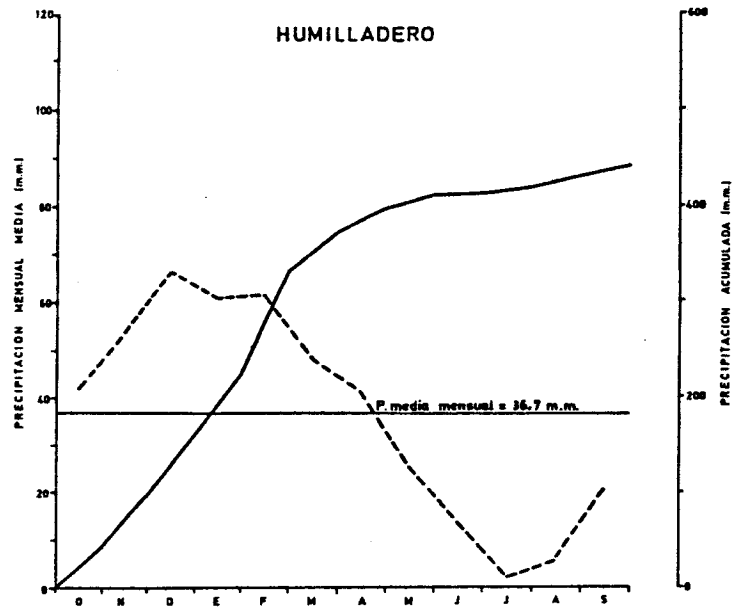
(\*) Valores obtenidos por correlación

ESTACION DE BOBADILLA

PRECIPITACIONES MENSUALES (mm) (Periodo 1962-1982)

Cuadro 7

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	94,0	56,8	91,5	121,6	95,0	35,0	37,5	71,0	22,0	0	0	60,7	685,1
1963-64	5,4	136,9	218,5	18,0	70,6	34,1	25,8	0	32,5	0	0	5,4	547,2
1964-65	0	53,7	87,3	55,5	63,6	71,9	26,7	0	0	0	0	62,9	421,6
1965-66	81,2	70,4	24,3	77,3	103,3	10,6	25,0	0	5,4	0	0	8,0	405,5
1966-67	56,3	36,5	0	15,5	91,9	6,0	16,5	13,0	10,5	0	0	0	246,2
1967-68	39,6	117,3	22,1	0	165,5	42,0	11,5	6,0	0	0	0	0	404,0
1968-69	0	56,2	79,5	73,1	98,0	58,0	77,5	15,4	11,0	0	90,7	28,0	587,4
1969-70	81,5	109,0	41,0	266,6	0	63,8	38,2	5,0	28,0	0	0	0	633,1
1970-71	11,0	45,6	87,4	64,0	0	72,0	108,0	69,5	12,0	0	0	21,0	490,5
1971-72	0	36,6	50,2	81,1	63,4	84,2	20,5	9,1	20,0	0	0	49,0	414,1
1972-73	116,0	111,0	53,6	27,1	16,5	35,1	16,2	71,2	23,6	0	1,5	0	471,8
1973-74	7,8	25,4	85,3	19,7	37,6	32,5	57,6	21,6	60,6	3,1	0	0	351,2
1974-75	7,8	12,9	0	25,9	41,0	100,5	57,3	17,1	6,8	0	0	0	269,3
1975-76	0	8,1	74,6	34,1	89,2	44,1	79,4	30,7	0	3,8	3,2	20,3	388,5
1976-77	116,2	17,6	132,5	114,4	51,8	16,1	2,6	4,1	14,0	29,7	0	0	499,0
1977-78	52,6	55,2	79,1	8,3	104,1	69,6	62,2	17,1	25,6	0	0	0	473,8
1978-79													
1979-80	238,2	5,2	12,5	44,1	46,2	46,4	21,3	94,3	2,4	0	0	22,9	533,5
1980-81	64,2	95,5	0	0	5,1	22,0	210,2	23,1	8,0	0	12,8	18,0	458,9
1981-82	8,5	0	114,2	91,0	52,6	20,0	47,7	7,5	0	21,9	0	0,6	364,0
P. MEDIA	51,6	55,3	66,0	59,9	62,9	45,5	49,5	25,0	14,9	3,1	5,7	15,6	455,1



DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION A LO LARGO DEL AÑO DE LAS DISTINTAS ESTACIONES (Periodo 1962-1982)

Fig. 6

## 2.3.- TEMPERATURAS

### 2.3.1.- RED Y PERIODOS DE OBSERVACION

Entre las estaciones meteorológicas seleccionadas en la zona solamente tres de ellas están dotadas actualmente de termómetro (Bobadilla, La Roda y La Herriza).

La estación de Bobadilla es la que posee un periodo de observación más largo (desde 1951 a la actualidad).

La estación de La Roda no posee termómetro aunque sí una estación cercana a ella (Cortijo de Las Navas) de la cual se han tomado los datos que aquí se analizan. El periodo de observación en este caso comprende sólo los años 1977-1981.

El termómetro de la estación de La Herriza ha empezado a funcionar en 1982.

### 2.3.2.- TEMPERATURAS MEDIAS. VALORES REPRESENTATIVOS

El análisis de los datos de temperatura de la estación de Bobadilla se ha efectuado para un periodo de 30 años (1951 a 1982, excepto el año 1979-80 del que no se han conseguido datos).

En el cuadro 8 se recogen los valores medios mensuales a partir de los cuales se ha dibujado el diagrama de barras de la figura 7. En ellos puede observarse que el mes más frío es enero con  $9^{\circ}\text{C}$  de media seguido de diciembre ( $9,3^{\circ}\text{C}$ ) y febrero ( $10,1^{\circ}\text{C}$ ); el más caluroso es agosto con  $26,1^{\circ}\text{C}$  seguido de julio con  $25,7^{\circ}\text{C}$  y septiembre con  $22,6^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura media anual en el periodo considerado ha variado entre los  $12,7^{\circ}\text{C}$  (1974-75) y los  $18,9^{\circ}\text{C}$  (1976-77) - obteniéndose como valor representativo en esta estación el de  $16,6^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.3.- TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES EN EL PERIODO 1962-1982

Con el fin de homogeneizar el periodo de datos disponibles para los posteriores cálculos de la Evapotranspiración, se ha elegido el periodo 1962-1982.

A partir de los datos de la estación de Bobadilla se han completado, para este periodo, los de La Roda y La Herriza mediante correlación lineal.

Los valores de temperatura a utilizar en posteriores cálculos para la estación de Humilladero, serán los mismos que para la estación de La Herriza.

La correlación entre Bobadilla y La Roda se realiza a partir de 51 pares de valores obteniéndose un coeficiente de correlación de 0,95 que puede considerarse como muy bueno; la

## ESTACION DE BOBADILLA

Cuadro 8

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MEDIA ANUAL
1951-52	15,2	11,2	10,2	6,3	8,8	14,0	14,3	16,5	22,9	26,4	25,2	18,0	15,8
1952-53	18,0	12,1	7,3	6,2	10,5	10,8	15,0	20,4	22,9	26,9	27,1	22,5	16,6
1953-54	16,3	13,5	9,8	6,1	5,1	11,3	14,3	19,6	22,9	25,9	24,7	23,0	16,0
1954-55	18,6	14,2	9,1	10,7	9,5	10,9	15,7	19,1	19,9	25,6	25,2	23,2	16,7
1955-56	17,2	13,2	10,4	8,7	6,2	11,6	13,6	18,0	22,2	25,3	25,3	21,9	16,5
1956-57	17,3	10,0	5,1	5,9	11,2	14,6	14,0	17,1	20,8	26,7	28,2	24,8	16,3
1957-58	16,3	11,2	7,7	8,2	12,8	12,7	14,6	20,8	23,2	25,0	24,7	24,6	16,8
1958-59	18,1	12,6	10,1	10,5	9,7	12,8	15,6	17,5	23,6	27,4	26,7	22,8	17,3
1959-60	17,5	12,2	9,2	8,4	10,6	13,1	16,2	21,0	23,9	27,0	26,5	23,4	17,4
1960-61	15,5	13,2	7,5	7,6	12,1	14,4	16,9	21,2	22,9	24,7	26,4	23,7	17,3
1961-62	16,5	11,5	9,8	9,6	9,0	11,7	15,5	19,2	21,8	27,2	26,5	22,1	16,7
1962-63	14,3	12,0	5,6	7,5	5,7	10,4	11,5	16,0	21,0	25,8	25,6	19,4	14,6
1963-64	16,5	14,5	12,5	11,9	12,4	13,8	15,1	22,9	23,9	27,1	25,2	23,9	18,2
1964-65	14,6	10,5	7,9	8,9	9,5	12,0	13,8	17,8	23,2	23,6	25,7	18,0	15,5
1965-66	15,5	11,3	10,3	10,2	12,3	12,4	14,6	18,1	20,6	22,8	25,6	20,7	16,2
1966-67	16,3	10,0	8,6	8,3	9,3	12,7	13,3	15,8	19,7	24,2	26,7	22,1	15,7
1967-68	18,4	12,8	7,1	7,7	9,9	11,4	14,7	17,9	21,9	25,8	24,8	22,5	16,2
1968-69	19,7	13,6	10,0	10,7	9,2	12,8	15,1	18,0	21,0	26,7	26,7	21,6	17,1
1969-70	18,5	13,3	8,4	10,6	11,3	11,5	14,8	17,0	21,4	25,6	26,7	24,1	16,9
1970-71	17,5	14,8	9,2	8,6	12,6	11,9	13,3	16,3	20,0	26,6	27,4	23,8	16,8
1971-72	18,1	10,3	6,9	4,7	7,1	9,4	13,6	16,6	15,9	24,4	26,7	23,0	14,2
1972-73	17,1	14,5	10,7	10,2	9,9	11,4	15,4	19,2	23,7	26,7	27,7	23,9	17,6
1973-74	17,8	15,1	9,7	11,8	10,3	12,0	13,0	20,0	22,7	23,5	26,6	23,6	17,1
1974-75	16,3	12,2	10,9	11,5	8,9	11,0	14,5	16,6	22,3	27,5	27,5	22,1	12,7
1975-76	19,1	13,4	9,6	9,6	11,3	12,2	13,0	19,4	23,7	26,2	26,3	22,2	17,1
1976-77	16,5	15,3	11,9	10,3	11,9	14,2	17,0	18,4	21,1	24,1	23,7	23,3	18,9
1977-78	18,8	14,5	10,5	8,2	12,5	13,4	14,2	17,6	20,1	26,8	26,5	25,1	17,3
1978-79	18,7	14,1	12,5	11,7	11,1	12,6	14,7	21,5	23,9	25,7	27,2	22,8	18,0
1979-80													
1980-81	18,4	13,4	8,5	8,5	11,0	15,7	14,6	18,2	23,5	24,4	24,1	22,2	16,9
1981-82	18,5	15,5	12,4	11,5	11,8	14,1	15,3	19,3	24,2	25,6	26,1	23,1	18,1
T.MEDIA	17,2	12,9	9,3	9,0	10,1	12,4	14,6	18,6	22,0	25,7	26,1	22,6	16,6

ESTACION DE BOBADILLA  
Temperaturas medias mensuales  
(Periodo 1951-1982)

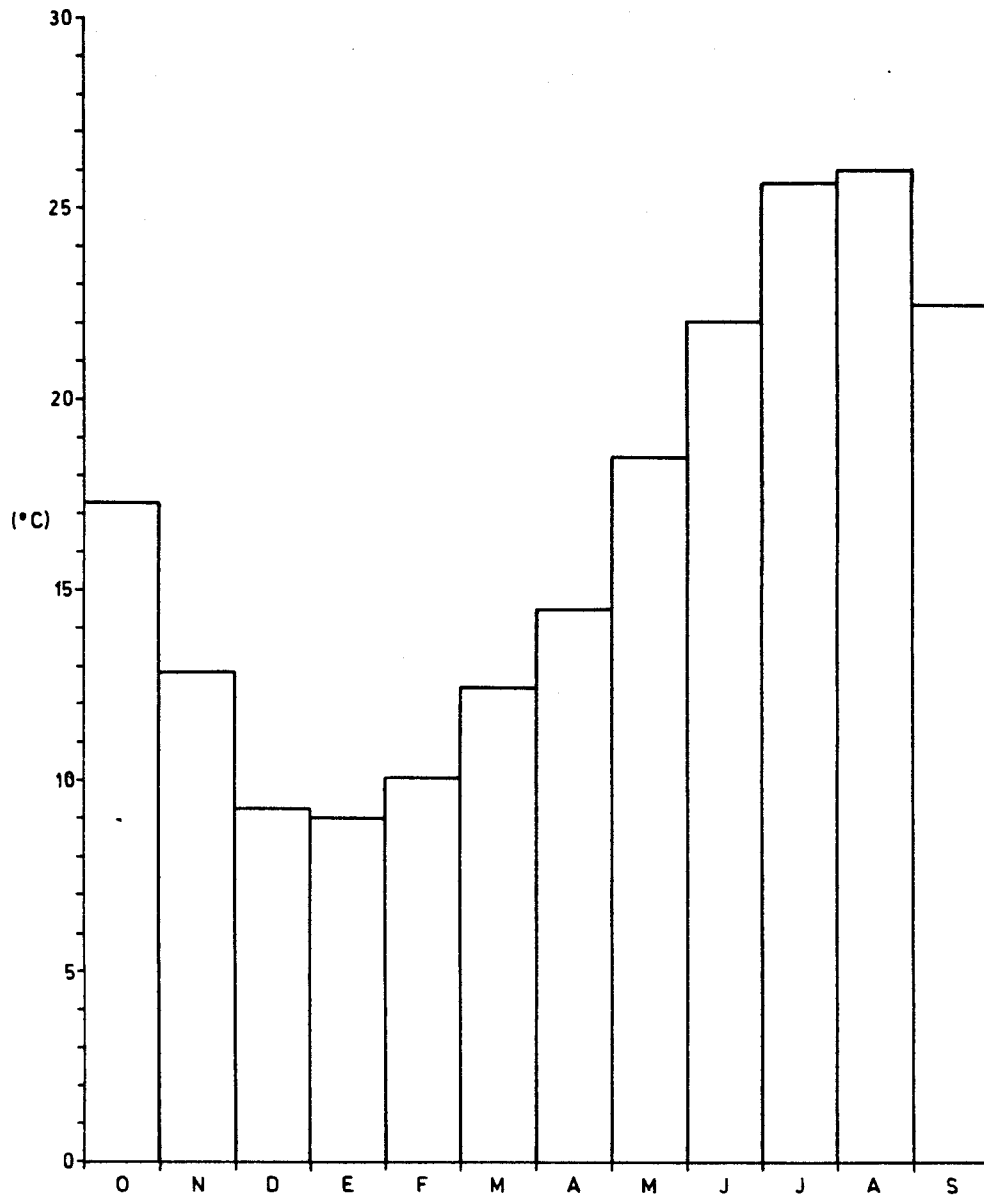


Fig. 7



ecuación de la correlación lineal establecida es:

$$y = 0,976 x - 0,54$$

Por su parte la correlación Bobadilla-La Herriza se -  
lleva a cabo partiendo de solo siete pares de valores obte -  
niéndose un coeficiente de correlación prácticamente igual a  
uno; la ecuación correspondiente es:

$$y = 1,07 x - 2,45$$

Los valores así obtenidos se reflejan en los cuadros -  
9, 10 y 11 en los que se diferencian los valores procedentes  
de medidas directas de aquellos que se han obtenido por correl  
lación.

ESTACION DE BOBADILLA

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C) Periodo 1962-1982

Cuadro 9

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1962-63	14,3	12,2	5,6	7,5	5,7	10,4	11,5	16,0	21,0	25,8	25,6	19,4
1963-64	16,5	14,5	12,5	11,9	12,4	13,8	15,1	22,9	23,9	27,1	25,2	23,9
1964-65	14,6	10,5	7,9	8,9	9,5	12,0	13,8	17,8	23,2	23,6	25,7	18,0
1965-66	15,5	11,3	10,3	10,2	12,3	12,4	14,6	18,1	20,6	22,8	25,6	20,7
1966-67	16,3	10,0	8,6	8,3	9,3	12,7	13,3	15,8	19,7	24,2	26,7	22,1
1967-68	18,4	12,8	7,1	7,7	9,9	11,4	14,7	17,9	21,9	25,8	24,8	22,5
1968-69	19,7	13,6	10,0	10,7	9,2	12,8	15,1	18,0	21,0	26,7	26,7	21,6
1969-70	18,5	13,3	8,4	10,6	11,3	11,5	14,8	17,6	21,4	25,6	26,7	24,1
1970-71	17,5	14,8	9,2	8,6	12,6	11,9	13,3	16,3	20,0	26,6	27,4	23,8
1971-72	18,1	10,3	6,9	4,7	7,1	9,4	13,6	16,6	15,9	24,4	26,7	23,0
1972-73	17,1	14,5	10,7	10,2	9,9	11,4	15,4	19,2	23,7	26,7	27,7	23,9
1973-74	17,8	15,1	9,7	11,8	10,3	12,0	13,0	20,0	22,7	23,5	26,6	23,6
1974-75	16,3	12,2	10,9	11,5	8,9	11,0	14,5	16,6	22,3	27,5	27,5	22,1
1975-76	19,1	13,4	9,6	9,6	11,3	12,2	13,0	19,4	23,7	26,2	26,3	22,2
1976-77	16,5	15,3	11,9	10,3	11,9	14,2	17,0	18,4	21,1	24,1	23,7	23,3
1977-78	18,8	14,5	10,5	8,2	12,5	13,4	14,2	17,6	20,1	26,8	26,5	25,1
1978-79	18,7	14,1	12,5	11,7	11,1	12,6	14,7	21,5	23,9	25,7	27,2	22,8
1979-80												
1980-81	18,4	13,4	8,5	8,5	11,0	15,7	14,6	18,2	23,5	24,4	24,1	22,2
1981-82	18,1	15,5	12,4	11,5	11,8	14,1	15,3	19,3	24,2	25,6	26,1	23,1

ESTACION DE LA RODA DE ANDALUCIA

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C) Periodo 1962-1982

Cuadro 10

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1962-63	13,4	11,2	4,9	6,8	5,0	9,6	10,7	15,1	20,0	24,7	24,5	18,4
1963-64	15,6	13,6	11,7	11,1	11,6	12,9	14,2	21,8	22,8	25,9	24,1	22,8
1964-65	13,7	9,7	7,2	8,2	8,7	11,2	12,9	16,8	22,1	22,5	24,6	17,0
1965-66	14,6	10,5	9,5	9,4	11,5	11,6	13,7	17,1	19,6	21,7	24,5	19,7
1966-67	15,4	9,2	7,9	7,6	8,5	11,9	12,5	14,9	18,7	23,1	25,5	21,0
1967-68	17,4	12,0	6,4	7,0	9,1	10,6	13,8	16,9	20,9	24,7	23,7	21,4
1968-69	18,7	12,7	9,2	9,9	8,4	12,0	14,2	17,0	20,0	25,5	25,5	20,6
1969-70	17,5	12,5	7,7	9,8	10,5	10,7	13,9	16,1	20,4	24,5	25,5	23,0
1970-71	16,6	13,9	8,4	7,9	11,8	11,1	12,5	15,4	19,0	25,4	26,2	22,7
1971-72	17,1	9,5	6,2	4,1	6,4	8,6	12,7	15,7	15,0	23,3	25,5	21,9
1972-73	16,2	13,6	9,9	9,4	9,1	10,6	14,5	18,2	22,6	25,5	26,5	22,8
1973-74	16,8	14,2	8,9	11,0	9,5	11,2	12,2	19,0	21,6	22,4	25,4	22,5
1974-75	15,4	11,4	10,1	10,7	8,2	10,2	13,6	15,7	21,2	26,3	26,3	21,0
1975-76	18,1	12,6	8,8	8,8	10,5	11,4	12,2	18,4	22,6	25,1	25,2	21,1
1976-77	15,6	14,4	11,1	9,5	11,1	13,3	16,1	17,4	20,1	22,2*	22,3*	21,9*
1977-78	17,2*	11,2*	12,2*	8,6*	11,0*	12,1*	12,8*	15,9*	18,4*	25,8*	25,2*	23,9*
1978-79	17,0*	12,4*	11,7*	10,3*	10,1*	10,6*	12,7*	15,5*	21,9*	24,7*	26,1*	21,5*
1979-80	15,8*	12,0*	9,9*	8,0*	10,7*	11,9*	14,9*	17,4*	21,7*	24,5*	27,3*	24,9*
1980-81	17,9*	12,6*	8,5*	8,6*	10,0*	15,0*	13,8*	17,6*	24,2*	25,5*	25,3*	22,7*
1981-82	20,1*	16,5*	11,3*	10,7	11,0	13,2	14,4	18,3	23,1	24,5	25,0	22,0

(\*) Datos reales. Los valores restantes son obtenidos por correlación con la estación de Bobadilla.

ESTACION DE LA HERRIZA

TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (°C) Periodo 1962-1982

Cuadro 11

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1962-63	12,9	10,4	3,6	5,6	3,7	8,7	9,9	14,7	20,1	25,3	25,1	18,4
1963-64	15,2	13,1	11,0	10,3	10,9	12,4	13,8	22,2	23,2	26,7	24,6	23,2
1964-65	13,2	8,8	6,1	7,1	7,8	10,4	12,4	16,7	22,5	22,9	25,2	16,9
1965-66	14,2	9,7	8,6	8,5	10,8	10,9	13,2	17,0	19,7	22,0	25,1	19,8
1966-67	15,0	8,3	6,8	6,5	7,5	11,2	11,8	14,5	18,7	23,6	26,2	21,3
1967-68	17,3	11,3	5,2	5,9	8,2	9,8	13,3	16,8	21,1	25,3	24,2	21,7
1968-69	18,7	12,1	8,3	9,1	7,4	11,3	13,8	16,9	20,1	26,2	26,2	20,8
1969-70	17,4	11,8	6,6	9,0	9,7	9,9	13,5	15,8	20,5	25,1	26,2	23,4
1970-71	16,3	13,4	7,5	6,8	11,1	10,3	11,8	15,1	19,0	26,1	27,0	23,1
1971-72	16,9	8,6	5,0	2,7	5,2	7,6	12,2	15,4	14,6	23,8	26,2	22,3
1972-73	15,9	13,1	9,1	8,5	8,2	9,8	14,1	18,2	23,0	26,2	27,3	23,2
1973-74	16,6	13,7	8,0	10,2	8,6	10,4	11,5	19,0	21,9	22,8	26,1	22,9
1974-75	15,0	10,7	9,3	9,9	7,1	9,4	13,1	15,4	21,5	27,1	27,1	21,3
1975-76	18,0	11,9	7,9	7,9	9,7	10,7	11,5	18,4	23,0	25,7	25,8	21,4
1976-77	15,2	14,0	10,3	8,6	10,3	12,8	15,8	17,3	20,2	23,4	23,0	22,6
1977-78	17,7	13,1	8,8	6,4	11,0	11,9	12,8	16,5	19,1	26,3	26,0	24,5
1978-79	17,6	12,7	11,0	10,1	9,5	11,1	13,3	20,7	23,2	25,2	26,8	22,0
1979-80												
1980-81	17,3	11,9	6,7	6,7	9,4	14,4	13,2	17,1	22,8	23,8	23,4	21,4
1981-82	17,4	14,2	10,9	9,9	10,2	12,7	14,0	18,3	23,6	25,1*	25,6*	22,1*

(\*) Valores reales. Los valores restantes son obtenidos por correlación con la estación de Bobadilla.

## 2.4.- EVAPOTRANSPIRACION

### 2.4.1.- EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

A partir de los valores de temperatura observados o calculados según la metodología expuesta en el capítulo anterior y aplicando el método de Thornthwaite se han determinado los valores manuales de evapotranspiración potencial (ETP). Su distribución mensual para el periodo 1962-1982 en cada una de las cuatro estaciones meteorológicas representativas se muestran en los cuadros 12, 13, 14 y 15. El cuadro 16 resume los datos de los anteriores y permite la comparación entre las distintas estaciones cuyos valores resultan ser muy similares.

El valor anual medio de la ETP en las cuatro estaciones es de 820 mm oscilando entre 813 mm (Humilladero) y 833 mm (Bobadilla). Los meses de julio y agosto son los que presentan mayor índice de ETP seguidos del de junio; los valores acumulados de estos tres meses representan prácticamente el 50% del total anual.

ESTACION DE BOBADILLA

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL MEDIA (Según Thornthwaite) Periodo 1962-1982

Cuadro 12

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	51,0	35,0	10,3	16,8	10,8	33,3	41,3	76,2	116,5	161,6	149,8	86,5	789,1
1963-64	52,1	35,4	25,8	24,4	25,8	39,1	49,6	124,0	135,9	140,3	116,3	113,8	882,5
1964-65	50,5	26,0	16,1	20,2	21,9	39,2	52,2	87,1	134,3	139,7	150,2	75,0	812,4
1965-66	53,6	27,7	23,1	23,6	31,5	39,3	54,9	87,2	109,2	130,9	148,9	92,2	822,1
1966-67	59,7	23,6	18,0	17,7	20,8	42,3	48,6	71,3	102,8	145,2	136,8	103,8	790,6
1967-68	70,5	33,2	11,9	14,2	21,2	33,2	54,4	84,5	120,1	160,6	140,9	105,3	850,0
1968-69	77,0	34,6	19,4	22,8	17,0	37,8	54,1	82,3	109,4	136,8	136,8	96,4	712,8
1969-70	69,2	33,7	14,5	20,6	24,9	31,6	52,7	74,9	113,6	158,1	136,8	117,5	848,1
1970-71	63,0	40,9	17,2	15,9	30,5	33,9	43,9	69,8	101,0	135,9	142,9	115,1	810,0
1971-72	72,6	26,5	13,8	7,9	14,7	27,9	52,7	79,8	75,3	148,1	136,8	111,8	767,9
1972-73	58,0	37,3	20,6	19,7	18,1	29,0	54,0	90,4	134,9	136,8	145,3	114,8	858,9
1973-74	64,0	41,6	18,3	27,1	20,7	33,5	41,1	99,2	125,7	135,4	135,9	112,9	855,4
1974-75	55,7	29,2	23,3	26,7	16,6	29,6	51,2	72,3	122,5	143,7	143,7	101,0	815,5
1975-76	72,5	32,5	17,8	18,5	24,3	34,3	40,9	93,7	135,7	164,6	155,5	101,0	891,3
1976-77	56,0	42,7	26,4	21,3	26,9	45,4	66,7	85,5	110,3	141,7	129,0	110,4	862,3
1977-78	70,0	38,0	20,5	13,6	28,6	40,0	47,4	75,4	100,2	137,7	135,0	126,0	832,4
1978-79													
1979-80													
1980-81	68,9	34,5	15,0	15,7	24,1	55,4	51,9	85,0	134,0	145,3	133,4	101,9	865,5
1981-82	63,3	41,1	26,1	23,6	24,2	41,8	51,9	89,9	139,6	157,4	153,2	107,1	919,2
MEDIA	62,6	30,7	16,9	19,5	21,8	37,0	50,5	84,9	117,8	145,5	140,4	105,1	832,6

ESTACION DE LA RODA DE ANDALUCIA

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL MEDIA (Según Thornthwaite) Periodo 1962-1982

Cuadro 13

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	49,2	33,2	9,8	16,4	10,3	32,3	40,2	73,5	111,0	152,3	141,2	82,5	751,9
1963-64	50,1	34,2	25,3	23,9	25,3	37,7	47,8	115,5	126,4	161,2	132,7	105,9	886,0
1964-65	48,7	25,3	15,7	19,9	21,3	38,2	50,3	83,2	126,6	131,7	141,3	71,5	773,7
1965-66	51,7	27,0	22,5	23,0	30,7	38,3	52,9	83,2	103,8	123,2	139,6	87,7	783,6
1966-67	57,6	23,0	17,7	17,4	20,2	41,3	47,4	68,8	98,0	136,7	149,0	97,9	775,0
1967-68	67,1	32,4	11,6	13,9	20,6	32,3	52,4	80,4	113,8	150,4	132,1	99,0	806,0
1968-69	73,1	33,4	18,9	22,3	16,5	36,9	52,1	78,3	103,7	157,6	147,9	91,3	832,0
1969-70	65,7	32,8	14,2	22,1	24,2	30,8	50,6	71,8	107,4	147,5	147,9	109,9	824,0
1970-71	60,5	39,4	16,7	15,7	29,7	33,1	42,8	67,2	95,9	156,8	154,8	107,8	820,4
1971-72	69,3	25,7	13,4	7,7	14,3	27,0	50,8	76,9	72,6	139,7	149,4	105,6	752,4
1972-73	55,8	36,0	20,2	19,2	17,7	28,4	52,0	85,8	126,0	157,2	135,0	107,2	840,5
1973-74	60,9	40,1	5,1	26,5	20,2	32,7	40,2	94,1	117,8	126,8	146,8	105,7	816,9
1974-75	53,6	28,5	22,7	26,0	16,4	28,9	49,4	69,5	115,0	166,1	155,8	94,9	826,8
1975-76	68,8	32,6	17,3	18,0	23,7	33,5	39,9	88,9	126,9	153,4	144,8	94,7	842,5
1976-77	54,3	41,6	26,2	21,1	26,6	44,3	64,7	81,9	104,9	125,3	118,4	101,4	810,7
1977-78	63,4	27,0	30,3	17,5	25,9	37,3	43,7	69,8	90,0	160,7	144,9	117,0	827,5
1978-79	62,2	32,0	28,2	23,7	22,4	29,9	43,1	66,9	120,6	149,4	153,7	97,9	830,0
1979-80	53,3	28,9	20,1	14,5	23,4	34,6	54,4	79,2	117,3	146,7	142,0	124,8	839,2
1980-81	65,5	30,8	15,0	15,9	20,2	50,9	46,8	79,9	141,4	157,0	145,2	105,8	874,4
1981-82	79,0	48,1	23,4	22,1	22,6	38,9	48,5	83,6	129,1	145,6	141,7	99,0	881,6
MEDIA	60,5	32,6	18,7	19,3	21,6	35,0	48,5	79,9	112,4	147,3	143,2	100,4	819,8

ESTACION DE HUMILLADERO

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL MEDIA (Según Thornthwaite) Período 1962-1982

Cuadro 14

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	47,6	30,7	6,7	13,0	7,0	29,0	37,0	71,9	112,8	158,0	146,5	83,4	743,6
1963-64	47,8	31,9	22,6	20,9	22,6	35,1	45,4	119,4	130,5	136,8	137,8	109,3	860,1
1964-65	46,9	22,5	12,7	16,6	18,6	35,0	48,3	83,4	130,7	135,8	146,7	71,7	768,9
1965-66	50,3	24,5	19,8	20,2	28,5	35,6	50,8	83,3	105,4	126,5	145,3	89,0	779,2
1966-67	56,1	20,3	14,6	14,3	17,2	38,5	44,4	67,1	98,9	141,7	155,3	100,6	769,0
1967-68	67,0	29,9	8,6	10,9	17,8	29,1	50,1	80,4	116,1	156,4	136,8	101,7	804,8
1968-69	67,8	26,1	12,4	15,4	10,2	27,8	105,4	70,4	98,5	164,5	154,3	88,1	840,9
1969-70	65,6	30,3	11,3	19,6	21,7	27,6	48,9	70,3	108,9	153,8	154,8	113,4	826,2
1970-71	59,2	37,6	14,2	12,6	27,3	29,7	39,5	65,7	96,5	164,0	139,5	111,2	797,0
1971-72	68,9	22,9	10,2	4,4	11,0	23,3	48,8	75,8	70,8	144,5	155,6	108,9	745,1
1972-73	52,2	33,9	17,6	16,3	14,9	25,0	49,8	86,1	130,0	164,0	142,0	110,6	844,4
1973-74	60,2	38,2	15,2	23,7	17,4	29,4	36,9	94,7	120,9	130,9	153,8	109,1	830,4
1974-75	51,8	26,1	20,2	23,3	13,2	25,7	46,9	67,9	118,1	140,3	140,3	97,4	771,2
1975-76	68,5	29,9	14,7	15,3	21,0	30,5	36,6	89,4	131,0	159,7	150,8	97,3	844,7
1976-77	52,1	39,7	23,2	17,9	23,6	41,6	62,8	81,2	105,9	136,8	124,7	106,8	816,3
1977-78	77,9	34,7	17,2	10,5	25,5	35,9	43,2	73,8	95,4	166,0	152,7	121,8	854,6
1978-79	61,5	31,0	23,4	21,0	18,3	29,7	43,6	106,2	131,1	153,7	137,7	100,0	857,2
1979-80													
1980-81	65,4	31,1	11,9	12,3	20,9	51,5	47,6	80,7	130,0	141,2	128,8	98,3	819,7
1981-82	62,0	37,8	23,0	20,2	20,7	37,7	47,7	85,3	135,1	152,6	148,2	100,7	871,0
MEDIA	59,4	30,5	15,8	16,2	18,8	32,5	49,1	81,7	114,0	148,8	144,8	101,0	812,9



ESTACION DE LA HERRIZA

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL MEDIA (Según Thornthwaite) Periodo 1962-1982

Cuadro 15

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	47,6	30,7	6,7	13,0	7,0	29,0	37,0	71,9	112,8	158,0	146,5	83,4	743,6
1963-64	47,9	32,0	27,7	21,0	22,7	35,2	45,5	119,5	130,5	136,8	137,8	109,4	861,0
1964-65	46,9	22,5	12,7	16,6	18,6	35,0	48,3	83,4	130,7	135,8	146,7	71,7	768,9
1965-66	50,3	24,5	19,8	20,2	28,5	35,6	50,8	83,3	105,4	126,5	145,3	89,0	779,2
1966-67	56,1	20,3	14,6	14,3	17,2	38,5	44,4	67,1	98,9	141,7	155,3	100,6	769,0
1967-68	67,0	29,9	8,6	10,9	17,8	29,1	50,1	80,4	116,1	156,4	136,8	101,7	804,8
1968-69	73,5	31,1	16,2	19,7	13,6	33,8	50,1	78,0	105,0	165,0	154,7	93,1	833,8
1969-70	65,6	30,3	11,3	19,6	21,7	27,6	48,9	70,3	108,9	153,8	154,8	113,4	826,2
1970-71	59,2	37,6	14,2	12,5	27,3	29,7	39,5	65,7	96,5	164,0	139,5	111,2	796,9
1971-72	68,9	22,9	10,2	4,4	11,0	23,3	48,8	75,8	70,8	144,5	155,6	108,9	745,1
1972-73	54,2	33,9	17,6	16,3	14,9	25,0	49,8	86,1	130,0	164,8	142,0	110,6	845,2
1973-74	60,2	38,2	15,2	23,7	17,4	29,4	36,9	94,7	120,9	130,9	153,8	109,1	830,4
1974-75	51,8	26,1	20,2	23,3	13,2	25,7	46,9	67,9	118,1	140,3	140,3	97,4	771,2
1975-76	68,5	29,9	14,7	15,3	21,0	30,5	36,6	89,4	131,0	159,7	150,8	97,3	844,7
1976-77	52,1	39,7	23,2	18,0	23,6	41,6	62,9	81,2	105,9	136,8	124,7	106,9	816,6
1977-78	66,2	34,7	17,2	10,5	25,5	35,9	43,2	73,8	95,4	166,0	152,7	121,8	842,9
1978-79	63,3	31,0	23,3	20,9	18,3	29,6	43,5	103,1	131,1	153,7	137,7	99,9	855,4
1979-80													
1980-81	65,4	31,1	11,9	12,3	20,9	51,5	47,6	80,7	130,0	141,2	128,8	98,3	819,7
1981-82	62,1	37,8	23,0	20,2	20,8	37,7	47,7	85,3	135,2	152,6	148,3	100,3	871,5
MEDIA	59,3	30,7	17,0	16,4	19,0	32,8	46,2	82,0	114,3	148,9	144,8	101,3	811,9

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MEDIA MENSUAL (Periodo 1962-1982)

Según Thornthwaite, en las distintas estaciones

Cuadro 16

ESTACION	Evapotranspiración potencial (m.m.)												ANUAL
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
Bobadilla	62,64	30,68	16,91	19,46	21,81	37,03	50,53	84,92	117,83	145,54	140,40	105,14	832,56
La Roda	60,49	32,60	18,72	19,34	21,61	35,02	48,50	79,92	112,41	147,27	143,21	100,38	819,76
Humilladero	59,41	30,48	15,76	16,23	18,81	32,51	49,14	81,74	114,03	148,80	144,82	101,02	812,86
La Herriza	59,30	30,70	17,00	16,40	19,00	32,80	46,20	82,00	114,30	148,90	144,80	101,30	811,90
MEDIA	60,46	31,12	17,09	17,86	20,31	34,34	48,59	82,14	114,64	147,63	143,31	101,95	819,27

Con los valores medios mensuales de precipitación y ETP del periodo 1962-1982 se han dibujado los gráficos que se incluyen en la figura 8 que permiten comparar su distribución mensual y definir los parámetros más significativos en cada estación.

#### 2.4.2.- EVAPOTRANSPIRACION REAL

##### 2.4.2.1.- CALCULOS BASADOS EN EL METODO DE THORNTHWAITE

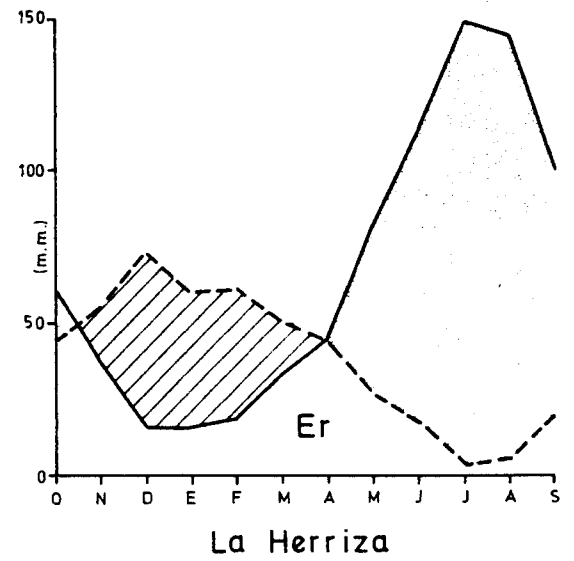
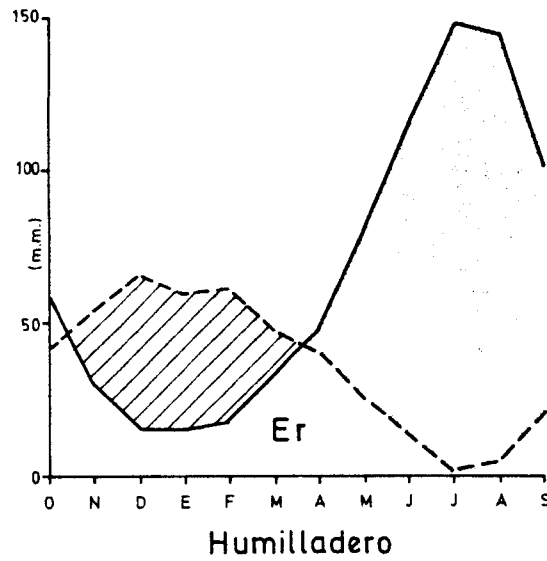
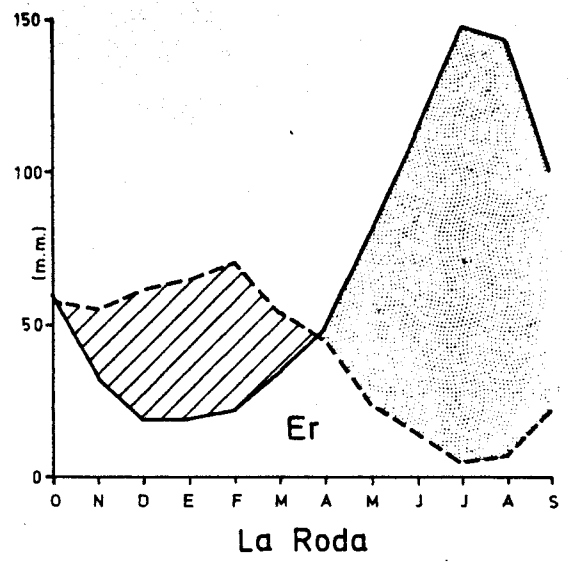
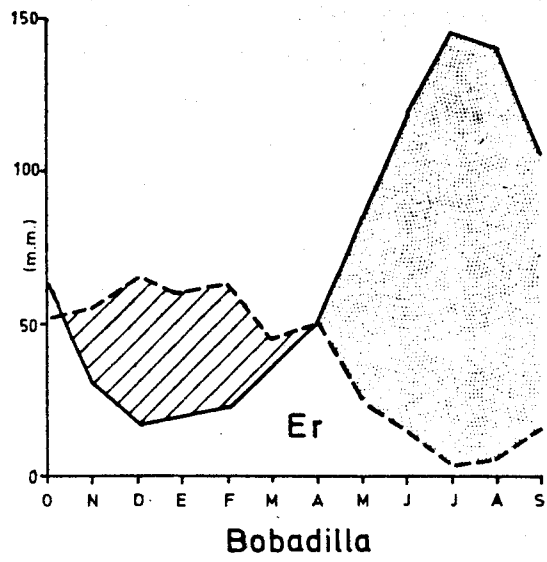
La evapotranspiración real (ETR) ha sido calculada por el método de Thornthwaite basado en determinaciones de un balance hídrico del suelo que tiene en cuenta la reserva de agua del suelo, la precipitación y la evapotranspiración potencial. En este caso se han realizado los cálculos con valores medios mensuales.

Con los datos de cada estación correspondientes al periodo 1962-1982 se han realizado las determinaciones para cuatro supuestos de reserva útil: 25, 50, 75 y 100 mm.

El valor de reserva útil de 25 mm puede ser representativo de materiales carbonatados karstificados con algo de relleno arcilloso y escaso desarrollo de la vegetación; una reserva de 50 a 75 mm puede ser representativa de materiales arenosos con matriz arcillosa poco a moderadamente abundante; finalmente un valor de 100 mm sería representativo de materiales con abundante matriz arcillosa.

Los valores de ETR han sido calculados mensualmente para cada estación. Estos datos, expresados en valores totales anuales, se sintetizan en los cuadros 17, 18, 19 y 20 (en ellos se incluyen también los valores de lluvia útil cuyo significado se comenta en el siguiente apartado). El cuadro 21, en el que se han resumido los da

# DISTRIBUCION MENSUAL MEDIA DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL POR ESTACIONES (Periodo 1962-1982)




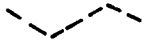
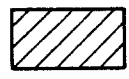

-  Evapotranspiración mensual media.
-  Precipitación media mensual.
-  Escorrentía total.
-  Necesidades de riego.
- Er** Evapotranspiración real.

Fig. 8

ESTACION DE BOBADILLA

EVAPOTRANSPIRACION REAL (THORNTHWAITE) VALORES ANUALES (Periodo 1962-1982)

Cuadro 17

AÑO HIDROLOGICO	RU = 25 m.m.		RU = 50 m.m.		RU = 75 m.m.		RU = 100 m.m.	
	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU
1962-63	373,4	311,7	398,4	286,7	423,4	261,7	448,4	236,7
1963-64	239,6	307,6	264,6	282,6	289,6	257,6	314,6	232,6
1964-65	238,0	183,0	263,0	158,6	288,0	133,6	313,0	108,6
1965-66	233,5	172,0	258,5	147,0	283,5	122,0	308,5	97,0
1966-67	200,1	46,1	225,1	21,1	246,2	0	246,2	0
1967-68	195,8	208,2	220,8	183,2	245,8	158,2	270,8	133,2
1968-69	355,8	231,6	308,8	206,6	241,2	181,6	266,2	156,6
1969-70	290,7	342,4	315,7	317,4	340,7	292,4	365,7	267,4
1970-71	315,3	174,8	345,8	144,7	370,8	119,7	385,1	94,7
1971-72	214,4	199,7	239,4	174,7	264,4	149,7	289,4	124,7
1972-73	320,2	151,6	345,2	126,6	370,2	101,6	395,2	76,6
1973-74	284,2	67,0	309,2	42,0	334,2	17,0	351,2	0
1974-75	192,9	76,4	217,9	51,4	242,9	26,4	267,9	1,4
1975-76	226,9	160,6	251,9	135,6	276,9	110,6	301,9	185,6
1976-77	264,7	153,2	233,8	209,2	314,8	184,2	339,8	159,2
1977-78	308,4	165,4	333,4	140,4	358,4	115,4	383,4	90,4
1978-79								
1979-80								
1980-81	289,6	169,3	339,3	119,3	375,3	83,3	400,3	58,3
1981-82	205,2	158,6	230,2	133,9	255,2	108,9	280,2	83,9
MEDIA	263,8	182,2	283,4	160,1	306,8	134,7	329,3	117,1

ESTACION DE LA RODA DE ANDALUCIA

EVAPOTRANSPIRACION REAL (THORNTHWAITTE) VALORES ANUALES (Periodo 1962-1982)

Cuadro 18

AÑO HIDROLOGICO	RU = 25 m.m.		RU = 50 m.m.		RU = 75 m.m.		RU = 100 m.m.	
	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU
1962-63	307,2	544,3	332,2	519,3	357,2	494,3	382,2	469,3
1963-64	295,7	227,5	320,7	202,5	345,7	177,5	370,7	153,1
1964-65	261,3	82,6	286,3	37,4	311,3	12,4	323,7	0
1965-66	251,1	308,2	276,1	283,2	301,1	258,2	326,1	243,2
1966-67	239,2	113,9	264,2	88,9	289,2	63,9	314,2	38,9
1967-68	260,3	280,7	285,3	255,7	310,3	230,7	335,3	205,7
1968-69	392,0	367,3	416,4	343,2	442,0	318,2	467,0	293,2
1969-70	268,8	272,6	293,8	247,6	318,8	222,6	343,8	197,6
1970-71	290,9	242,1	319,6	213,4	349,6	188,4	374,6	169,7
1971-72	273,1	186,9	298,1	161,9	323,1	118,6	348,1	111,9
1972-73	295,3	172,5	320,3	142,7	345,3	117,7	370,3	92,7
1973-74	263,9	94,3	288,9	75,8	313,9	50,8	205,1	19,3
1974-75	214,9	121,3	239,9	96,3	264,9	71,3	289,9	46,3
1975-76	291,6	142,1	316,6	122,8	341,6	92,1	366,6	67,1
1976-77	287,0	258,3	312,0	233,3	337,0	208,3	362,0	183,3
1977-78	308,1	135,4	333,1	110,4	358,1	85,4	383,1	60,4
1978-79	226,0	265,8	251,0	240,8	276,0	215,8	301,0	190,8
1979-80	252,8	69,2	277,8	44,2	302,8	19,2	322,0	0
1980-81	241,6	39,4	281,0	0	281,0	0	281,0	0
1981-82	217,8	163,0	242,8	138,0	267,8	113,0	292,8	88,0
MEDIA	271,9	201,4	297,8	177,9	321,8	152,9	338,0	131,5

ESTACION DE HUMILLADERO

EVAPOTRANSPIRACION REAL (THORNTHWAITE) VALORES ANUALES (Periodo 1962-1982)

Cuadro 19

AÑO HIDROLOGICO	RU = 25 m.m.		RU = 50 m.m.		RU = 75 m.m.		RU = 100 m.m.	
	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU
1962-63	302,4	457,2	327,4	432,2	352,4	407,2	377,4	382,2
1963-64	237,6	357,6	262,6	332,6	287,6	307,6	312,6	282,6
1964-65	201,5	136,2	226,5	111,2	251,5	86,2	276,5	61,2
1965-66	279,2	199,3	304,2	174,3	329,2	149,3	354,2	124,3
1966-67	229,5	103,5	254,5	78,5	279,5	53,5	304,5	28,5
1967-68	234,8	276,1	259,8	251,1	284,8	226,1	309,8	201,1
1968-69	360,5	318,4	385,5	293,4	410,5	268,4	435,5	243,4
1969-70	238,9	277,5	263,9	252,5	288,3	227,5	313,9	202,5
1970-71	271,6	229,9	296,6	202,6	321,6	177,5	346,6	152,5
1971-72	206,7	140,3	231,7	115,3	256,7	90,3	281,7	65,3
1972-73	313,3	111,6	338,3	86,6	363,3	61,6	388,3	36,6
1973-74	239,9	76,2	264,9	51,2	289,9	26,2	314,9	1,2
1974-75	170,1	67,5	195,1	42,5	220,1	17,5	237,6	0
1975-76	258,5	155,2	283,5	130,2	308,5	105,2	333,5	80,2
1976-77	245,0	233,5	270,0	208,5	295,0	183,5	320,0	158,5
1977-78	270,0	132,1	295,0	107,1	296,6	82,1	345,0	57,1
1978-79	203,5	237,5	228,5	212,5	253,5	187,5	278,5	203,5
1979-80								
1980-81	254,1	43,9	293,5	4,5	298,0	0	298,0	0
1981-82	192,7	154,3	217,7	129,3	242,7	104,3	267,7	79,3
MEDIA	247,9	195,1	273,6	169,3	296,3	145,3	320,9	124,2

ESTACION DE LA HERRIZA

EVAPOTRANSPIRACION REAL (THORNTHWAITE) VALORES ANUALES (Periodo 1962-1982)

Cuadro 20

AÑO HIDROLOGICO	RU = 25 m.m.		RU = 50 m.m.		RU = 75 m.m.		RU = 100 m.m.	
	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU	ETR	LU
1962-63	317,6	452,0	333,1	430,7	356,0	398,1	383,1	380,7
1963-64	247,9	355,0	272,9	330,0	297,9	305,0	322,9	280,0
1964-65	272,3	139,0	297,3	114,0	322,3	89,0	347,3	53,6
1965-66	288,3	219,6	313,3	194,6	338,3	169,6	363,3	144,6
1966-67	239,1	106,6	264,1	81,6	289,1	47,6	314,1	31,6
1967-68	244,7	276,2	268,8	251,2	293,8	226,2	318,8	201,2
1968-69	388,8	301,2	413,8	276,2	438,8	251,2	463,8	220,8
1969-70	248,2	277,4	273,2	252,4	298,2	227,4	323,2	202,4
1970-71	281,0	229,0	306,7	208,1	359,8	151,1	356,7	154,1
1971-72	215,9	143,7	240,9	118,7	265,9	93,7	290,9	68,7
1972-73	320,4	115,4	345,4	90,4	370,4	140,4	395,4	40,4
1973-74	232,8	102,5	257,8	77,5	282,8	52,5	307,8	27,5
1974-75	211,7	107,2	236,7	82,2	264,8	57,2	286,7	32,2
1975-76	334,5	203,6	259,5	178,6	262,0	153,6	309,5	128,6
1976-77	280,8	272,3	305,8	247,3	330,8	222,3	355,8	197,3
1977-78	286,8	203,8	311,8	178,8	336,8	153,8	361,8	128,8
1978-79	215,7	264,4	240,7	239,4	257,7	222,4	284,7	189,4
1979-80								
1980-81	269,5	44,6	314,0	0	314,0	0	365,9	0
1981-82	213,9	230,0	242,2	205,3	274,4	180,3	292,2	155,3
MEDIA	269,0	212,8	289,4	187,2	313,4	165,3	339,2	136,9



PRECIPITACION, ETP, ETR Y LLUVIA UTIL ANUALES (medias del periodo 1962-1982)

EN LAS DISTINTAS ESTACIONES

Cuadro 21

	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)				LLUVIA UTIL (mm)			
			RU 25 mm	RU 50 mm	RU 75 mm	RU 100 mm	RU 25 mm	RU 50 mm	RU 75 mm	RU 100 mm
Bobadilla	455,1	832,56	263,8	283,4	306,8	329,3	182,2	160,1	134,7	117,1
La Roda	477,5	819,76	271,9	297,8	321,8	338,0	204,4	177,9	152,9	131,5
Humilladero	441,1	812,86	247,9	273,6	296,3	320,9	195,1	169,3	145,3	124,2
La Herriza	470,9	811,90	269,2	289,4	313,4	339,2	212,8	187,2	165,3	136,9
MEDIA	461,15	819,27	263,2	286,1	309,6	331,9	198,6	173,7	149,5	127,5

tos de las cuatro estaciones representativas, permite comparar los datos de ETR (para los cuatro supuestos de re - serva útil) con la de ETP.

Los valores medios de ETR están comprendidos entre un mínimo de 263 mm (para una reserva útil de 25 mm) y un máximo de 332 mm (para una reserva útil de 100 mm). La - ETR representa en general entre un 30 y un 40% de la ETP a causa de la falta de disponibilidad de agua en los me - ses de estiaje.

#### 2.4.2.2.- CALCULOS BASADOS EN LAS FORMULAS DE COUTAGNE Y TURC

La ETR ha sido calculada también por las fórmulas de Coutagne y Turc que se basan en los valores anuales de precipitación y temperatura, hecho que supone ya de partida una importante limitación a la validez de los datos - así obtenidos, al no tener en cuenta la distribución - anual de las precipitaciones.

El cuadro 22 permite comparar, en la estación de - Bobadilla, los valores calculados para el periodo 1962- - 1982 aplicando los métodos de Coutagne y Turc con los que se obtienen de sumar los valores mensuales calculados por el método de Thornthwaite en los cuatro supuestos de RU - considerados.

Se observa que las cifras obtenidas por estos métodos son en general superiores a las correspondientes a - Thornthwaite (incluso en el supuesto de retención útil - más alto de las cuatro consideradas). Esta diferencia es tanto mayor cuanto más lluvioso sea el año que se considere, mostrando la gran influencia de la precipitación anual en estos métodos. Sin embargo los valores así obtenidos - pueden representar cifras excesivas ya que un incremento de la precipitación anual no tiene por qué condicionar un

aumento de la ETR especialmente si las lluvias se producen en invierno como ocurre en esta región.

EVAPOTRANSPIRACION REAL (según Thornthwaite, Coutagne  
y Turc) Periodo 1962-1982

ESTACION DE BOBADILLA

Cuadro 22

AÑO HIDROLOGICO	THORNTHWAITTE				COUTAGNE	TURC
	RU-25	RU-50	RU-75	RU-100		
1962-63	373,4	398,4	423,4	448,4	520,1	542,1
1963-64	239,6	264,6	289,6	314,6	457,8	506,3
1964-65	238,0	263,0	288,0	313,0	361,8	398,3
1965-66	233,5	258,5	283,5	308,5	351,9	387,5
1966-67	200,1	225,1	246,2	246,2	226,0	249,1
1967-68	195,8	220,8	245,8	270,8	350,8	386,3
1968-69	355,8	308,8	241,2	266,2	479,4	523,1
1969-70	290,7	315,7	340,7	365,7	506,5	548,7
1970-71	315,3	345,8	370,8	385,1	414,2	454,9
1971-72	214,4	239,4	264,4	289,4	352,6	383,0
1972-73	320,2	345,2	370,2	395,2	403,6	446,4
1973-74	284,2	309,2	334,2	351,2	312,6	346,2
1974-75	192,9	217,9	242,9	267,9	241,2	264,1
1975-76	226,9	251,9	276,9	301,9	341,2	377,7
1976-77	264,7	233,8	314,8	339,8	426,7	475,3
1977-78	308,4	333,4	358,4	383,4	404,1	446,0
1978-79						
1979-80						
1980-81	289,6	339,3	375,3	400,3	392,4	432,3
1981-82	205,2	230,2	255,2	280,2	324,3	360,3
MEDIA	263,8	283,4	306,8	329,3	381,5	418,2

## 2.5.- LLUVIA UTIL

Este parámetro representa el agua de las precipitaciones que no se evapotranspira y que se incorpora a la escorrentía superficial o se infiltra hasta alcanzar los acuíferos formando en conjunto lo que se denomina recursos potenciales totales.

La determinación de estos datos se ha realizado en las estaciones representativas, mes a mes y paralelamente al cálculo de la ETR por el método de Thornthwaite (para los cuatro supuestos de reserva útil). Los valores mensuales se recogen en las mismas fichas de ETR y los valores anuales en los cuadros 17, 18, 19 y 20. El cuadro 21 resume los datos de las cuatro estaciones (para los cuatro supuestos de reserva útil) y permite compararlos entre sí y con los valores de precipitación total.

La lluvia útil oscila entre mínimos alrededor de los 125 mm (para reserva útil de 100 mm) y máximos del orden de -

200 mm (para reserva útil de 25 mm). Estas cifras representan por término medio entre el 28% y el 43% respectivamente de la precipitación total.

## 2.6.- EVAPORACION

### 2.6.1.- INTRODUCCION

La determinación de la cantidad de agua que se evapora de la laguna es sin duda uno de los parámetros que interesa conocer con más precisión para establecer el balance hídrico de la unidad en la que se halla incluida.

Desgraciadamente no es posible llegar a determinarla con exactitud debido a que, en las proximidades de la laguna, no existe una estación meteorológica completa que aporte todos los parámetros necesarios para llevar a cabo el cálculo de la tasa de evaporación basado en las fórmulas habitualmente usadas. Por otra parte, los datos meteorológicos históricos existentes, si se exceptúan las medidas pluviométricas, corresponden a un periodo muy corto que en modo alguno puede considerarse como representativo.

En el cortijo de La Herriza, el ICONA ha instalado re -

cientemente un evaporímetro tipo Piché del cual sólo existen datos relativos a los dos últimos años. A pesar de ello, es bien conocido el hecho de que la exactitud que aporta este aparato no es lo suficientemente buena para una determinación precisa como la que sería deseable realizar en este caso.

Si en el futuro se pretende llevar a cabo un control riguroso del balance hídrico de la zona sería recomendable la dotación de una estación meteorológica completa que proporcione además de los parámetros más comunes (lluvia y temperatura), los de velocidad de viento, humedad, horas de insolación...etc necesarios para la determinación de la evaporación por medio de formulas y a ser posible la instalación de un evaporímetro de más precisión que el actual.

#### 2.6.2.- DETERMINACION DE LA EVAPORACION A PARTIR DE MEDIDAS DIRECTAS

Las estaciones meteorológicas más cercanas a la laguna que disponen de evaporímetro tipo Piché son las de Bobadilla, Embalse del Guadalhorce, La Roda (cortijo de Las Navas) y cortijo de La Herriza, en la propia laguna, aunque de esta última sólo se dispone de datos relativos a un año.

##### 2.6.2.1.- ESTACION DE BOBADILLA

Es la estación con periodo de observación más largo. Se dispone de datos desde el año 1950-51 hasta la actualidad con algún periodo intermedio sin datos (años 1964-66 y 1979 a 1980). Sin embargo las medidas realizadas desde 1950 hasta 1966 no merecen garantía suficiente. A nuestro juicio durante ese periodo la tasa de evaporación está sistemáticamente infravalorada y no debe ser considerada a efectos de determinación de valores medios mensuales.

Las medidas efectuadas a lo largo del periodo 1966-1982



son sin embargo mucho más correlacionables con las realizadas en otras estaciones meteorológicas.

En el cuadro 23 se recogen los valores de la tasa media de evaporación de cada mes expresada en mm/día, datos que se pueden expresar también resumidos en valores medios de evaporación total mensual del siguiente modo, para cada uno de los periodos comentados:

meses	Periodo	Periodo	Periodo
	<u>1950-51/1963-64</u>	<u>1950-51/1981-82</u>	<u>1966-67/1981-82</u>
OCT	36,27	62,21	86,49
NOV	21,30	38,40	54,60
DIC	15,50	28,52	40,61
ENE	16,43	28,52	39,99
FEB	19,04	29,68	39,76
MAR	30,07	47,74	64,17
ABR	36,30	49,80	62,70
MAY	55,49	76,57	96,41
JUN	62,70	96,62	116,70
JUL	84,01	119,66	152,83
AGO	83,08	118,42	151,59
SEP	68,10	95,40	120,60
TOTAL ANUAL	528,29mm	791,54mm	1026,45mm

#### 2.6.2.2.- ESTACION DEL EMBALSE DEL GUADALHORCE

El periodo de observación del evaporímetro instalado en esta estación es corto: sólo se ha podido disponer de los datos correspondientes a los años hidrológicos 1969-70 a 1975-1976. A pesar de ello, serán considerados ya que de este mismo periodo se dispone también del resto de los datos que permiten determinar la evaporación por medio de la fórmula de Penman. Será significativo comparar los datos del evaporímetro con los obtenidos por aplicación de dicha fórmula permi -

EVAPORACIONES MEDIAS (mm/día) Periodo 1950-1982

ESTACION DE BOBADILLA

Cuadro 23

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MEDIA
1950-51	0,6	0,7	0,3	0,4	0,3	0,3	1,3	1,4	2,3	1,6	1,4	1,1	0,9
1951-52	0,7	0,4	0,4	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6
1952-53	0,5	0,4	0,2	0,2	0,3	0,4	0,8	1,0	0,9	2,3	2,3	1,5	0,9
1953-54	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	1,1	1,7	2,2	2,5	2,1	2,3	1,3
1954-55	1,4	0,7	0,4	0,4	0,5	0,9	1,4	1,5	1,9	1,9	1,9	1,4	1,2
1955-56	1,1	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,7	2,9	2,4	2,1	1,8	1,3
1956-57	1,1	0,7	0,8	0,6	0,7	1,3	1,1	1,3	1,9	2,2	2,1	1,5	1,3
1957-58	0,9	0,7	0,5	0,6	0,9	1,0	1,2	1,7	1,7	2,4	1,9	1,9	1,2
1958-59	1,1	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	1,4	1,2	2,0	2,7	2,9	1,4	1,3
1959-60	1,0	0,6	0,3	0,5	0,6	1,1	1,6	2,3	3,3	4,7	4,4	4,6	1,8
1960-61	0,9	0,8	0,6	0,5	1,0	2,2	1,8	3,2	2,1	3,1	3,7	3,3	1,9
1961-62	0,8	0,6	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9	1,7	1,5	3,6	3,9	3,5	1,5
1962-63	2,1	1,0	0,9	0,6	0,9	1,4	1,0	1,9	2,2	3,9	3,7	2,4	1,8
1963-64	3,4	1,2	0,6	1,2	1,4	1,4	1,9	4,0	3,3	3,7	4,2	4,4	2,5
1964-65	2,8	1,1	0,4	0,4	1,1	2,0	2,6	4,3					
1965-66		0,5	0,9	0,9	1,4	2,2	2,3	4,0	4,0	4,9	5,4	3,9	
1966-67	2,2	1,5	1,2	1,2	1,6	2,6	2,6	2,5	3,2	3,5	4,0	3,9	2,5
1967-68	2,9	1,3	0,9	1,6	1,2	1,3	1,5	2,7	4,0	4,6	4,4	4,1	2,5
1968-69	3,1	1,3	0,9	0,9	0,7	1,0	1,4	2,2	2,8	4,5	4,8	4,3	2,3
1969-70	3,3	2,5	2,1	1,4	1,3	1,4	1,6	2,6	3,9	4,3	4,4	3,5	2,6
1970-71	2,8	2,0	1,3	1,3	1,5	2,0	1,6	2,6	3,6	4,6	4,6	4,5	2,7
1971-72	3,1	1,4	0,9	0,5	0,5	1,7	1,7	3,4	2,9	4,0	4,1	3,7	2,3
1972-73	2,0	2,6	2,1	1,7	2,1	2,4	3,9	4,0	4,3	5,4	6,2	5,2	3,5
1973-74	3,1	2,0	1,4	1,4	1,7	2,1	2,0	4,2	4,3	7,3	7,0	4,7	3,4
1974-75	3,4	2,4	2,1	1,7	2,1	2,0	2,5	3,1	4,8	7,2	6,6	4,2	3,5
1975-76	3,6	2,5	1,1	1,6	1,7	2,6	1,6	3,0	5,1	5,1	5,2	3,7	3,1
1976-77	1,8	1,3	1,0	0,9	0,5	2,6	3,3	3,6	4,6	4,4	5,0	3,6	2,7
1977-78	1,8	1,5	1,0	1,1	1,6	2,4	1,9	2,7	2,6	4,6	4,3	4,0	2,4
1978-79	2,4	1,7	0,8	1,2	1,2	1,7	2,1	3,1	3,4	3,9	4,5	3,7	2,5
1979-80													
1980-81	3,1	1,4	1,5	1,8	2,0	2,4	1,4	3,6	4,5	5,2	4,2	3,7	2,9
1981-82	2,9	1,9	1,3	1,1	1,6	2,8	2,2	3,3	4,3	5,3	4,3	3,5	2,9

tiendo, en cierto modo, determinar si existe coincidencia entre ambos valores y en el caso de que no exista, si la diferencia entre ambos es importante.

Los datos disponibles de este evaporímetro en el periodo 1969-70 a 1975-76, sintetizados y transformados en valores medios de evaporación total mensual son los siguientes:

OCT	111,60
NOV	72,90
DIC	53,14
ENE	48,27
FEB	64,12
MAR	76,17
ABR	92,57
MAY	132,41
JUN	156,43
JUL	211,24
AGO	201,06
SEP	144,00
<hr/>	
TOTAL ANUAL	1363,91 mm

#### 2.6.2.3.- ESTACION DE LA RODA

El evaporímetro instalado en esta estación funciona - desde 1977 disponiendo, por tanto, sólo de 5 años hidrogeológicos completos de medidas. Los valores medios de evaporación - total mensual de este periodo son los siguientes:

OCT	104,16
NOV	65,40
DIC	47,74
ENE	49,60
FEB	55,40
MAR	81,84
ABR	83,40
MAY	135,16

JUN	198,60
JUL	262,26
AGO	240,56
SEP	173,40
<hr/>	
TOTAL ANUAL	1497,52 mm

### 2.6.3.- DETERMINACION DE LA EVAPORACION POR EL METODO DE PENMAN

El método de Penman se considera uno de los más difundidos y menos inexactos para determinar la evaporación desde superficies de agua libre a partir de fórmulas semi-empíricas.

En la fórmula propuesta por este autor se relacionan los distintos factores que influyen en la evaporación con una serie de coeficientes y constantes que son propios de cada lugar y que nos vienen dados en tablas, relacionándolos con parámetros fáciles de conocer. En definitiva se trata de utilizar el mayor número posible de parámetros que influye en el fenómeno, aunque introduciéndolos con aproximación para que se pueda aplicar de un modo más general.

Según este método, la evaporación en superficie de agua libre expresada en mm/día viene dada por la fórmula:

$$E = \frac{\Delta R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

que también se puede expresar así:

$$E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} R_n + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

en esta última:

- $\frac{\Delta}{\delta}$  es el cociente entre la pendiente de la curva de tensión saturante para la temperatura del aire y la constante psicométrica ( $= 0,485$  mm de Hg/°C). Este cociente es un número adimensional que se obtiene en función de la temperatura del aire(\*).
- $R_n$  es la radiación neta traducida a mm/día que se obtiene de la fórmula:

$$R_n = \frac{R_N}{C_1} = \frac{R_i (1-r) - R_e}{C_1}$$

donde:

$$R_i = R_A (0,18 + 0,55 n/N)$$

$$R_e = 1440 \times 0,826 \times 10^{-10} T (0,56 - 0,92\sqrt{e_a}) (0,1 + 0,9n/N)$$

- $E_a$  es la evaporación expresada en mm/día que se obtiene de la fórmula:

$$E_a = 0,35 (0,5 + 0,54 V_2) (e_a - e_d)$$

El significado, unidades de expresión y procedencia de los datos de cada uno de los parámetros incluidos en las fórmulas anteriores son los siguientes:

- $R_A$  Radiación global incidente (cal/cm<sup>2</sup>.día)
- $N$  Número máximo diario de horas de sol (horas/día) (\*)
- $n$  Horas diarias de sol observadas (horas/día)
- $r$  Albedo (relación entre la radiación incidente y la radiación reflejada de onda corta. Es un número adi-

---

(\*) Valores que se obtienen a partir de tablas. Ver CUSTODIO, E. y LLAMAS, MR. (1976).- Hidrología subterránea. Epígrafe 5.3. pp 324-338.

- mensional (\*)
- $e_a$  Tensión de vapor saturante a la temperatura T (mm de Hg) (\*)
- T Temperatura del aire observada (media mensual) (°C)
- H Humedad relativa del aire observada (media mensual) (%)
- $e_d$  Tensión de vapor saturante en el aire (mm de Hg) -  
 $( e_d = \frac{e_a \times H}{100} )$
- $C_1$  Calor de vaporización necesario para evaporar 1 mm -  
 por  $cm^2$  a la temperatura T (calorías) (\*)
- $V_2$  Velocidad del viento a 2 metros de la superficie del  
 agua observada (media mensual) (m/seg)

A partir de esta fórmula y mediante un programa de cálculo automático se han determinado los valores medios mensuales de evaporación para los años hidrológicos en que ha sido posible disponer de datos en las estaciones del Embalse de Guadalhorce y La Herriza.

#### 2.6.3.1.- ESTACION DEL EMBALSE DEL GUADALHORCE

El Embalse del Guadalhorce está dotado de una estación meteorológica completa en la que, además de las medidas más comunes de precipitación y temperatura, se obtienen datos de evaporación, presión atmosférica, humedad relativa, horas de insolación y velocidad del viento.

Desgraciadamente la Comisaría de Aguas del Sur de España sólo ha podido suministrarnos datos de esa estación relati

---

(\*) Valores que se obtienen a partir de tablas. Ver CUSTODIO, E. y LLAMAS, MR. (1976).- Hidrología subterránea. Epígrafe 5.3. pp 324-338.

vos al periodo 1969-1975 y, dentro de él, únicamente existen datos completos de los años hidrológicos 1969-70, 1972-73, - 1973-74 y 1974-75; en el periodo 1970-71 a 1971-72 existen datos sólo de una parte del año.

Con las medias mensuales de esas medidas se ha deter-  
minado la evaporación por el método de Penman -  
obteniéndose los valores que se sintetizan en el cuadro 24.

Puede observarse que existe bastante analogía entre la tasa anual de evaporación obtenida por la aplicación de la - fórmula de Penman y la medida directamente en el evaporímetro (ver apartado 2.6.2.2.) siendo esta última ligeramente supe - rior.

Comparando los valores medios mensuales se observa sin embargo que desde agosto a febrero la evaporación medida por el evaporímetro es sistemáticamente superior a la calculada - según Penman, mientras que en los meses de marzo a julio ocu- rre al contrario. Esta observacion no obstante debe ser toma- da con reservas por tratarse de medias referidas a un periodo muy corto y sobre todo por que éste no es homogéneo.

#### 2.6.3.2.- ESTACION DE LA HERRIZA

Para determinar la tasa de evaporación potencial en el área de la laguna de Fuente de Piedra por el método de Pen- man se ha tomado como base la temperatura de la estación de - La Herriza. El resto de los parámetros necesarios para el cál- culo (horas de insolación, humedad relativa y velocidad del - viento) se supone que coinciden con las medidas en la esta - ción meteorológica del Embalse del Guadalhorce. Con estos da- tos se ha determinado la evaporación correspondiente al perio- do 1969-70 a 1974-75 cuyos valores mensuales se resumen en el cuadro 25.

EVAPORACION (mm/mes) (según PENMAN) Periodo 1969-1975

EMBALSE DEL GUADALHORCE

Cuadro 24

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL DEL PERIODO
1969-70	91,70	58,62	45,45	56,98	73,43	103,43	154,14	242,11	210,27	283,09	240,37	207,06	1768,65
1970-71	121,91	85,45	37,35	84,89	75,76								
1971-72								128,36	160,28	185,17	168,07	95,05	
1972-73	57,52	30,50	20,93	26,71	40,47	70,31	112,97	143,95	168,25	194,76	191,59	132,56	1190,42
1973-74	69,78	38,43	19,04	28,33	38,67	70,47	77,69	154,22	149,14	222,70	197,70	124,93	1191,10
1974-75	67,81	42,16	26,67	30,99	43,41	66,55	90,66	118,60	128,31	198,40	170,84	111,05	1095,45
TOTAL ANUAL	81,74	51,03	29,89	45,58	54,35	77,69	108,87	157,45	163,25	216,80	193,71	134,13	1311,41



EVAPORACION (mm/mes) (según PENMAN) Periodo 1969-1975

ESTACION DE LA HERRIZA

Cuadro 25

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL DEL PERIODO
1969-70	92,50	49,50	36,32	46,77	64,33	91,39	136,00	220,07	191,12	259,80	224,63	208,15	1620,58
1970-71	108,30	73,76	33,30	42,73	73,25								
1971-72								132,14	143,32	190,29	188,76	109,32	
1972-73	58,95	32,39	21,94	27,43	40,44	70,28	117,96	151,69	180,88	204,65	201,66	135,07	1243,34
1973-74	73,13	39,90	20,04	28,67	40,39	73,15	79,34	158,56	156,01	207,50	203,44	131,85	1211,98
1974-75	68,14	38,92	25,13	33,77	40,70	66,53	97,40	129,14	168,93	219,97	189,25	123,36	1201,24
TOTAL ANUAL	80,20	46,89	27,34	35,86	51,82	75,33	101,67	158,32	168,05	216,42	201,54	141,55	1310,99

#### 2.6.4.- DETERMINACION DE LA EVAPORACION POR CORRELACION CON OTROS PARAMETROS

Puesto que se pretende llevar a cabo el cálculo del balance hídrico de la Unidad a partir de los datos mensuales de un periodo de 20 años (1962-1982) y teniendo en cuenta que sólo se dispone de valores de evaporación mensual (calculados por la fórmula de Penman) del periodo comprendido entre 1969 y 1975, se han tratado de obtener los valores restantes por métodos indirectos de correlación con otros parámetros.

Se ha elegido la evapotranspiración potencial, calculada por el método de Thornthwaite, por ser el parámetro que se considera más comparable con la tasa de evaporación y por haberse obtenido de la comparación de los correspondientes pares de valores un coeficiente de correlación de 0,85 que se considera aceptablemente bueno.

También se ha intentado la correlación entre valores de evaporación y temperatura pero el coeficiente de correlación es más bajo.

Así pues, a partir de los valores medios mensuales de ETP de la estación de La Herriza, se ha obtenido la tasa de evaporación media de los distintos meses del periodo 1962-1982 al que habrá de referirse el balance.

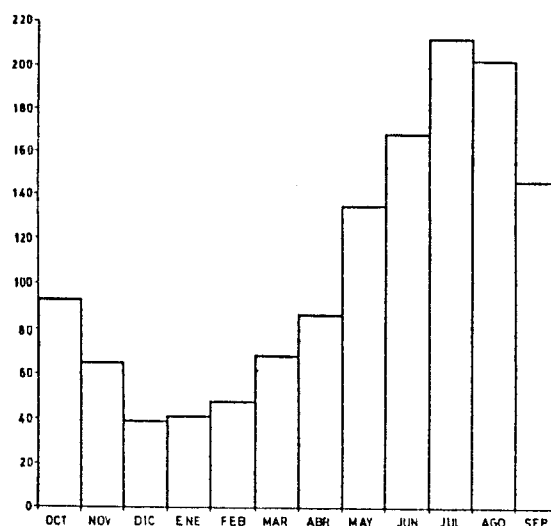
Se han correlacionado los 58 valores de Evaporación existentes (ver cuadro 25) con los valores de ETP correspondientes a esos mismos meses, obteniéndose una ecuación lineal del tipo

$$y = 23,28 + 1,26 x$$

Con un coeficiente de correlación de  $R = 0,85$

En base a esta ecuación se han deducido los valores

mensuales de evaporación a partir de los de ETP correspondientes (del cuadro n° 15). Las cifras obtenidas se recogen en el cuadro 26 habiéndose reflejado las medias mensuales del periodo en el diagrama de barras de la figura 9.



EVAPORACION MEDIA MENSUAL (m.m.)  
(Periodo 1962-1982)  
ESTACION DE LA HERRIZA

FIG. 9

La tasa media de evaporación del periodo 1952-1982 es de 1310 mm/año oscilando entre un mínimo de 1166 mm (el año 1971-72) y un máximo de 1620 mm (el año 1969-70). La variación a lo largo del año es importante, oscilando entre unos 40 mm en los meses de diciembre y enero y algo más de 200 mm en los de julio y agosto.

Si se comparan los valores obtenidos por medidas directas de los evaporímetros del Embalse del Guadalhorce y La Roda con las obtenidas por Penman y por correlación, en La Herriza (con las limitaciones que supone comparar periodos no homogéneos y estaciones distintas), se puede observar que la evaporación total anual medida en los evaporímetros es supe -

ESTACION DE LA HERRIZA

EVAPORACION (m.m./mes) Periodo 1962-1982

Cuadro 26

AÑO HIDROLOGICO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL ANUAL
1962-63	83,4	62,1	31,7	39,7	32,1	59,9	70,0	114,1	165,8	222,9	208,3	128,6	1218,6
1963-64	83,8	63,7	52,0	49,8	52,0	67,7	80,8	174,2	188,1	196,1	197,3	161,5	1367,0
1964-65	82,5	51,7	39,3	44,2	46,8	67,5	84,3	128,6	188,4	194,8	208,6	113,9	1250,6
1965-66	86,8	54,2	48,3	48,8	59,3	68,2	87,4	128,5	156,4	183,1	206,8	135,7	1263,5
1966-67	94,1	48,9	41,7	41,3	45,0	71,9	79,4	108,0	148,2	202,3	219,5	150,4	1250,7
1967-68	107,9	61,0	34,1	37,0	45,8	60,0	86,6	124,8	169,9	220,8	196,1	151,7	1295,7
1968-69	116,1	62,6	43,7	48,2	40,8	66,0	86,6	121,8	155,9	231,7	218,7	140,9	1333,0
1969-70	92,5*	49,5*	36,3*	46,8*	64,3*	91,4*	136,0*	220,1*	191,1*	259,8*	224,6*	208,1*	1620,5*
1970-71	108,3*	73,8*	33,3*	42,7*	73,3*	60,8	73,2	106,3	145,2	230,4	199,5	163,7	1310,5
1971-72	110,3	52,2	36,2	28,8	37,2	52,7	84,9	132,1*	143,3*	190,3*	188,8*	109,3*	1166,1
1972-73	58,9*	32,4*	21,9*	27,4*	40,4*	70,3*	118,0*	151,7*	180,9*	204,6*	201,7*	135,1*	1243,3*
1973-74	73,1*	39,9*	20,0*	28,7*	40,4*	73,1*	79,3*	158,6*	156,0*	207,5*	203,4*	131,8*	1211,8*
1974-75	68,1*	38,9*	25,1*	33,8*	40,7*	66,5*	97,4*	129,1*	168,9*	220,0*	189,2*	123,4*	1201,1*
1975-76	109,8	61,0	41,8	42,6	49,8	61,8	69,5	136,2	188,8	225,0	213,8	146,2	1346,3
1976-77	89,1	73,4	52,6	46,0	53,1	75,8	102,7	125,9	157,1	196,1	180,8	158,3	1310,9
1977-78	106,9	67,1	45,0	36,5	55,5	73,2	77,9	116,5	143,8	233,0	216,2	177,1	1348,7
1978-79	103,2	62,4	52,7	49,7	46,6	60,7	78,2	153,5	188,9	217,4	197,2	149,5	1359,8
1979-80													
1980-81	105,9	62,6	38,3	38,8	49,7	88,3	83,4	125,2	187,5	201,6	186,0	147,5	1314,8
1981-82	101,7	71,0	52,3	48,8	49,6	70,9	83,5	131,0	194,1	216,0	210,6	150,6	1380,1
MEDIA	93,8	57,3	39,2	41,1	48,5	68,7	87,3	136,1	169,4	213,4	203,5	146,5	1304,9

Valores obtenidos por correlación con los datos de E.T.P. de la misma estación (del cuadro n° 15)

(\*) Valores obtenidos por aplicación de la fórmula de Penman.

rior a la calculada por otros métodos entre un 4 y un 14%. Si la comparación se hace en base a los valores medios mensuales, en general también son superiores las correspondientes a los evaporímetros aunque en determinados meses (en su mayor parte coincidentes con la época estival de abril a septiembre) los valores calculados por otros métodos son ligeramente superiores a la del evaporímetro o aproximadamente coincidentes.

### 3.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL

### 3.1.- GENERALIDADES

El arroyo de Santillán es el curso superficial más importante de los incluidos en la cuenca. Tiene su origen en un manantial situado a unos 3,5 Km al NW de Mollina que en la actualidad se halla permanentemente seco debido a los bombeos que se realizan en sus proximidades. Tiene unos 7 Km de longitud. Afluyen a él los arroyos de La Serafina por la margen derecha y el "del Pueblo" por la izquierda. Se mantiene seco gran parte del año aunque en época de lluvias incrementa notablemente su caudal. Desemboca en el extremo norte de la laguna.

El arroyo de Humilladero ó del Charcón, sigue en importancia al de Santillán y desemboca al este de la laguna. Tiene su origen en Humilladero y una longitud de unos 4 Km. A través de él circulan con frecuencia alpechines y aguas ne

gras procedentes de Humilladero que, en parte, se infiltran a través del cauce antes de llegar a la laguna.

Los arroyos de los Arenales y Mari Fernández afluyen a la laguna por el oeste y, a pesar de que el recorrido de ambos supera los cinco kilómetros, la mayor parte del año permanecen secos.

En ninguno de estos cursos superficiales existen estaciones de aforo, que permitan llevar a cabo un estudio hidrológico de los mismos empleando la metodología clásica por medio de la cual se puedan determinar de modo preciso las aportaciones, su distribución a lo largo del año, escorrentías, separación de escorrentía superficial y subterránea...etc.

Solamente es posible indicar los valores medios totales de los parámetros más significativos que caracterizan la cuenca desde el punto de vista hidrológico. Estos valores, según el Plan Hidrológico Nacional - Cuenca Sur en su avance de 1980, son los siguientes:

Aportación total media: 11 Hm<sup>3</sup>/año.

Aportación específica : 78 mm.

Coefficiente de escorrentía: 0,15.

Puesto que los datos a que se ha hecho mención son de interés para un conocimiento detallado y profundo de los recursos hídricos disponibles en la cuenca y dado que se pretende llevar a cabo un estrecho control de todos los parámetros con ellos relacionados, se han realizado algunos cálculos para dimensionar y proyectar unas estaciones de aforo de bajo costo. Dichas estaciones en el futuro proporcionarán los datos de base necesarios para el estudio y control hidrológico de la cuenca.



Los cursos que se pretende controlar son el arroyo de Santillán y el arroyo de Humilladero, incluidos en la propia cuenca de Fuente de Piedra, y el arroyo de las Tinajas que vierte al Guadalhorce pero cuyo curso se halla muy próximo a la cuenca pudiendo ser utilizados sus caudales para cubrir el déficit de la laguna en determinadas épocas.

La situación de estos cursos, sus cuencas vertientes y la localización de las estaciones que se proponen quedan recogidas en el plano 6.

### 3.2.- APORTACIONES EN LAS ESTACIONES DE AFORO PROPUESTAS

Para el diseño y dimensionamiento de estas estaciones de aforo es necesario realizar previamente un estudio hidrológico elemental de las respectivas cuencas vertientes que permita conocer, aproximadamente al menos, los caudales medios que aportan dichas cuencas y los de máxima crecida. Ante la ausencia de datos previos, se ha recurrido a sencillos cálculos aplicando coeficientes de escorrentía representativos para determinar los caudales medios anuales -posteriormente transformados en caudal continuo equivalente- y a algunas de las fórmulas empíricas existentes para determinar los caudales de máxima crecida.

#### 3.2.1.- CAUDALES MEDIOS

El coeficiente de escorrentía utilizado ha sido de 0,15 considerado como representativo de la totalidad de la

cuenca de Fuente de Piedra en el Plan Hidrológico Nacional. Aplicando este coeficiente a los valores de pluviometría y superficie vertiente en cada uno de los tres casos considerados, se obtienen los valores que se reflejan en el cuadro 27.

### 3.2.2.- CAUDALES DE MAXIMA CRECIDA

Para su determinación se ha elegido entre las muchas fórmulas empíricas existentes la de MATH por considerar que entre ellas es la que tiene en cuenta el mayor número de factores que inciden en el fenómeno:

$$Q = C \cdot I \cdot i^{1/5} A^{4/5}$$

En ella:

Q = Caudal de máxima avenida (l/s).

C = Coeficiente de "frenado".

(para  $A \geq 200$  Ha,  $C = 0,2299$ ).

I = Intensidad de la lluvia.

(  $I = I' \cdot K$  ) (mm/hora).

I' = máxima precipitación en 24 horas.

( período  $> 10$  años ).

K = Coeficiente en función de la duración del chubasco (para 120',  $K = 0,14$ ).

i = Pendiente media de todo el curso del río o arroyo en ( mm/m ).

A = Superficie de la cuenca ( en hectáreas ).

Los valores obtenidos por aplicación de esta fórmula en las tres estaciones que se proponen son recogidas en el cuadro 28 en el cual además se expresan los valores de los distintos parámetros utilizados en el cálculo.

Cuadro 27

	ESTACION PLUVIOMETRICA CONSIDERADA	PLUVIOMETRIA MEDIA ANUAL (mm) PERIODO 1948-1982	SUPERFICIE DE LA CUENCA VERTIENTE (Km <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	APORTACION MEDIA EN LA ESTACION (Hm <sup>3</sup> /año)	CAUDAL (l/s) CONTINUO EQUIVALENTE	CAUDAL CONTINUO EQUIVALENTE (l/s) CONSIDERANDO SOLO 4 MESES DE ESCORRENTIA
Arroyo de Santillán	Alameda	484,4	63,3	0,15	4,6	146	444
Arroyo de Humilladero	Humilladero	412,3	17,0	0,15	1,0	33	101
Arroyo de Las Tinajas	Campillos	504,6	36,4	0,15	2,8	87	266

APORTACION MEDIA DE LOS ARROYOS DE SANTILLAN, HUMILLADERO Y LAS TINAJAS

Cuadro 28

CARAC- TERISTICAS	ESTACION DE AFOROS	ARROYO DE SANTILLAN	ARROYO DE HUMILLADERO	ARROYO DE LAS TINAJAS
ESTACION METEOROLOGICA MAS CERCANA		ALAMEDA	HUMILLADERO	CAMPILLOS
PRECIPITACION MAXIMA OBSERVADA EN 24 HORAS DURANTE UN PERIODO MAYOR DE 10 AÑOS		78 mm	80 mm	124,5 mm
VALORES DE K PARA $t = 120'$		0,14	0,14	0,14
VALORES DE I		10,92	11,20	17,43
SUPERFICIE DE LA CUENCA (en hectáreas)		6.333,3	1.705	3.645,5
VALORES DE C		0,2299	0,2299	0,2299
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (mm/m)		6,3	9,7	7,9
LONGITUD DEL ARROYO (m)		11.200	6.200	12.700
$i^{1/5}$		1,45	1,57	1,51
$A^{4/5}$		1.099,8	384,9	707,0
CAUDAL DE MAXIMA CRECIDA (l/s)		4.003	1.553	4.278

ESTIMACION DEL CAUDAL DE MAXIMA CRECIDA EN LAS ESTACIONES  
DE AFORO (según la fórmula de MATH)

### 3.2.3.- CONCLUSIONES

En base a los valores calculados, se ha decidido dimensionar las estaciones de aforo del arroyo de Santillán y del arroyo de las Tinajas para poder medir en cada una de ellas un caudal máximo de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  en condiciones óptimas, es decir en régimen de circulación lenta. La estación de aforos del arroyo de Santillán se ha proyectado para un caudal máximo de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Por otra parte en cada una de las estaciones se ha previsto la eventual instalación de un vertedero de pared delgada que permitirá determinar con mayor precisión los pequeños caudales que circulan por dichas estaciones la mayor parte del año.

### 3.3.- METODOLOGIA EMPLEADA EN EL DISEÑO DE LAS ESTACIONES DE AFORO

La forma y dimensiones de las estaciones de aforo a - construir debe adaptarse lo más exactamente posible a las del cauce natural del arroyo con objeto de no crear perturbacio - nes importantes en el régimen de circulación.

Por otra parte y debido a que las pendientes naturales de los cauces son en general superiores a las necesarias para que la circulación se produzca en régimen no turbulento, ha - sido necesario determinar la "pendiente crítica" para cada - uno de los caudales máximos que se pretende medir en cada es - tación. Una vez determinada ésta se ha propuesto, en los pro - yectos respectivos, una pendiente inferior a la "crítica" con objeto de garantizar que el régimen de circulación no sea tur - bulento.

Todos estos cálculos se basan en las fórmulas de CHEZY y BAZIN que permiten determinar con precisión el caudal - que circula a través de una sección determinada:

$$Q = S \cdot V$$

Siendo  $S$  la sección "mojada" y  $V$  la velocidad, que viene definida por la fórmula de CHEZY:

$$V = C i^{1/2} R^{1/2}$$

en la cual:  $i$  es la pendiente del canal,  $R$  el "radio hidraulico" (relación entre la sección y el perímetro "mojados") y  $C$  una constante definida por la fórmula de BAZIN:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{R^{1/2}}}$$

en la que  $R$  es el radio hidraulico y  $\gamma$  un coeficiente empírico de rugosidad de las paredes. que en el caso de que estas sean de cemento liso vale 0,06.

Una vez calculadas las características geométricas - que deben de tener las estaciones, se ha efectuado el ante - proyecto de construcción de cada una de ellas (figuras 10, - 12 y 13) y, a partir de las fórmulas de CHEZY y BAZIN, se ha - definido la tabla teórica de equivalencias caudal-altura de lámina de agua para cada caso, incluyendo también en estas - tablas la equivalencia con las medidas de la escalilla instalada en cada estación.

Ocurre sin embargo que en estos canales la precisión



con que pueden medirse los caudales pequeños no es grande debido a su anchura, habiéndose previsto para evitar este inconveniente, la eventual utilización de vertederos de pared delgada con contracción lateral los cuales permiten precisar los pequeños caudales.

La ecuación característica de cada uno de los vertederos instalados, ha servido de base para calcular las tablas de equivalencias teóricas de caudal -altura de lámina de agua- lectura de la escalilla, del mismo modo que se hizo para los canales en régimen de circulación libre sin vertederos instalados.

Hay que señalar que los vertederos sólo son utilizables para medir los caudales máximos siguientes:

Arroyo de Santillán.....	177,9 l/s
Arroyo de Humilladero.....	67,4 l/s
Arroyo de las Tinajas.....	590,8 l/s

Estos caudales máximos son, los que corresponden teóricamente a la altura máxima de lámina de agua que puede circular a través de la sección contraída de cada una de ellas de acuerdo con las dimensiones propuestas.

Para caudales cuya altura de lámina de agua equivalente sea superior a la altura máxima del vertedero, está previsto que la estación funcione como canal libre sin contracción lateral.

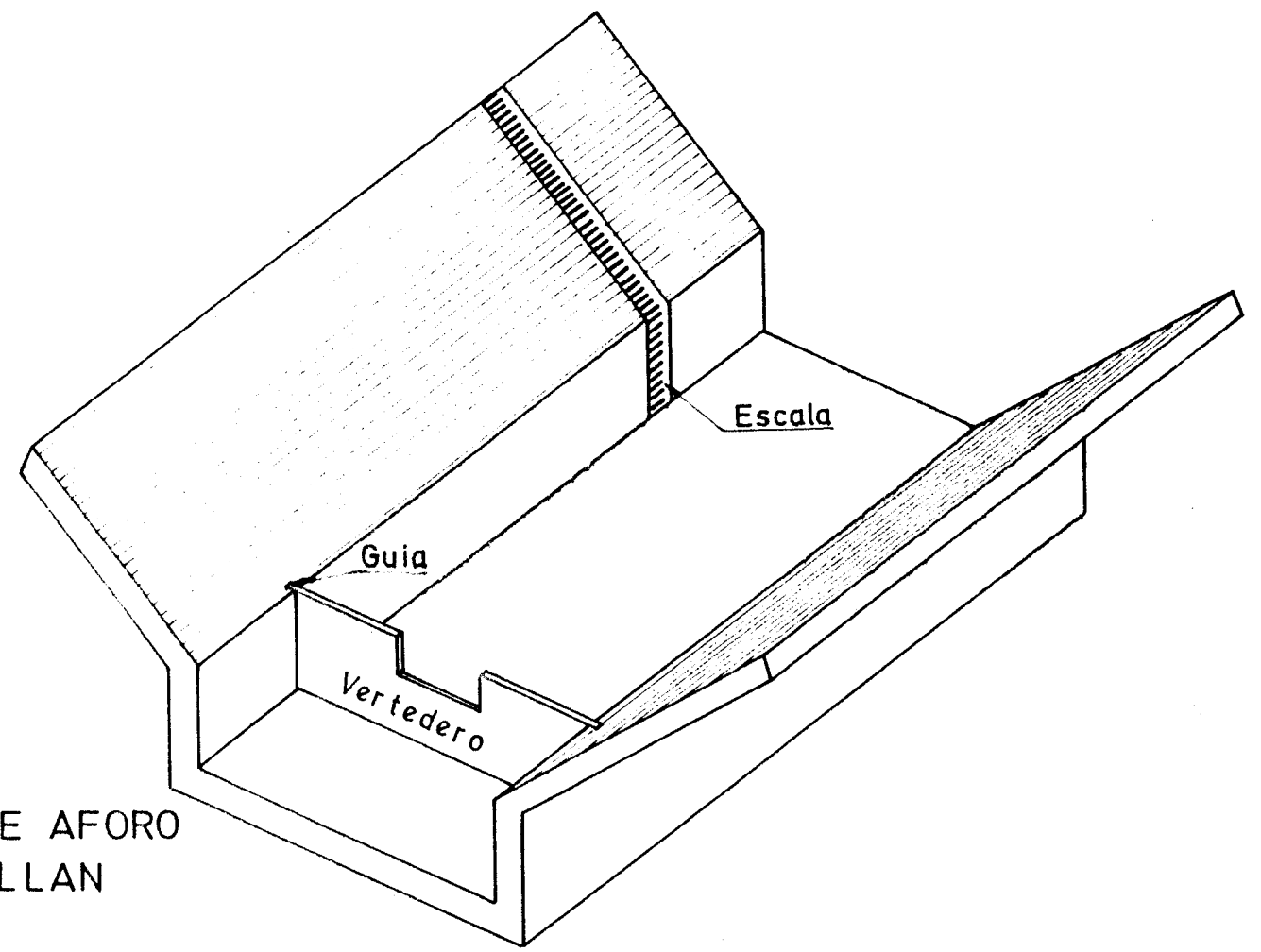
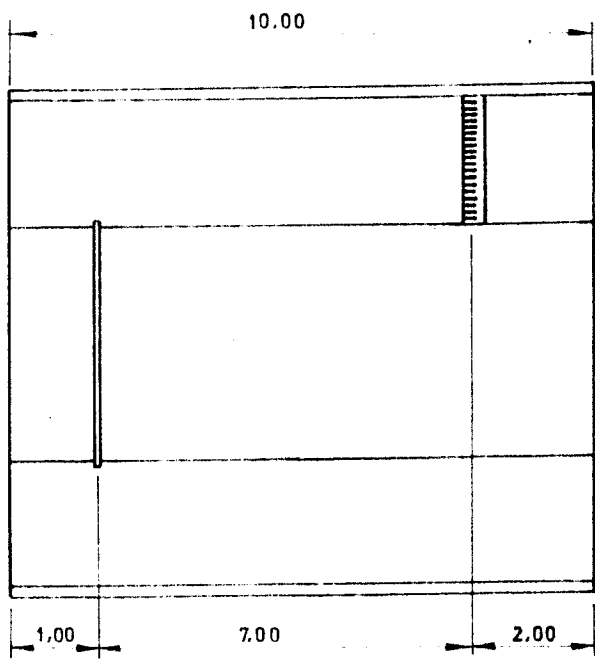
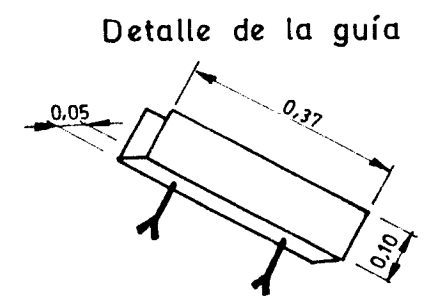
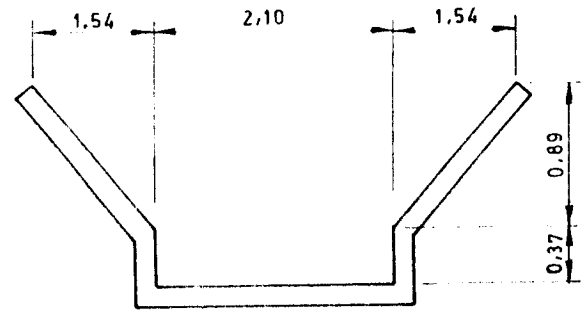
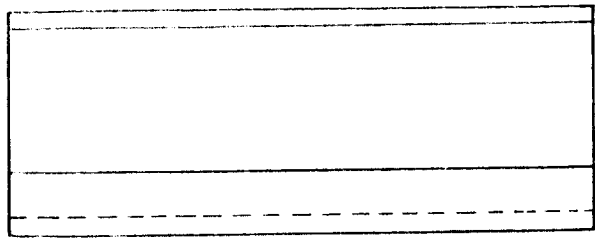
Es importante insistir en el hecho de que las tablas de equivalencia caudal-altura de lámina de agua que acompañan al proyecto de cada estación son las obtenidas de la aplicación de fórmulas teóricas, por lo que deben ser utilizados sólo de modo orientativo.

Los valores dados a los distintos parámetros y coeficientes incluidos en estas fórmulas son los que se indican en los respectivos proyectos y pueden no corresponder exactamente con la realidad una vez construidas las obras. Por este motivo será necesario establecer, cuando empiecen a funcionar las estaciones, las curvas reales de equivalencia entre medidas de escala y caudales a partir de un suficiente número de aforos en cada una de ellas.

#### 3.4.- ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE SANTILLAN

El emplazamiento de esta estación se sitúa, dentro de la propiedad de ICONA, en la proximidad del puente de la carretera de Fuente de Piedra a Sierra de Yeguas, a unos 45 metros aguas abajo de unas compuertas cuyo funcionamiento permite dirigir el agua hacia la laguna o hacia un canal lateral previsto para la decantación de alpechines cuando estos son vertidos en el arroyo. La sección propuesta es rectangular - hasta una altura de 0,37 m. y trapezoidal a partir de dicha altura hasta 1,23 m. La pendiente prevista es de 0,8 mm/m - ligeramente inferior a la pendiente crítica calculada (1 mm por metro).

La figura 10 corresponde al croquis con las dimensiones y características de la obra a construir.



CROQUIS DE LA ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE SANTILLAN

El cuadro 29 incluye la tabla de equivalencias teóricas entre el caudal, la altura de lámina de agua y la lectura de la escala instalada en régimen libre de circulación, (sin instalar el vertedero).

Para medir con precisión caudales pequeños se ha previsto la instalación de un vertedero de pared delgada rectangular con contracción lateral cuyas dimensiones se reflejan en la figura 11.

El caudal que circula por este vertedero viene determinado por la fórmula (COUTINHO DE LENCASTRE, 1962):

$$Q = \mu l \sqrt{2g} h^{3/2}$$

en la que:

$$\mu = \left[ 0,385 + 0,024 \left( \frac{l}{B} \right)^2 + \frac{2,410 - 2 \left( \frac{l}{B} \right)^2}{h + 1,6} \right] \times \left[ 1 + 0,5 \left( \frac{l}{B} \right)^4 \left( \frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$$

La equivalencia entre alturas de lámina de agua y caudales aplicando esta fórmula, se recoge en el cuadro 30 del que se deduce que el caudal máximo teórico que permite medir este vertedero es de 178 l/s.

Existen otras fórmulas menos complejas para el cálculo del caudal, obteniéndose de ellas valores sensiblemente diferentes. Se ha elegido ésta por considerar que es la que tiene en cuenta mayor número de factores que pueden condicionar el resultado a obtener.

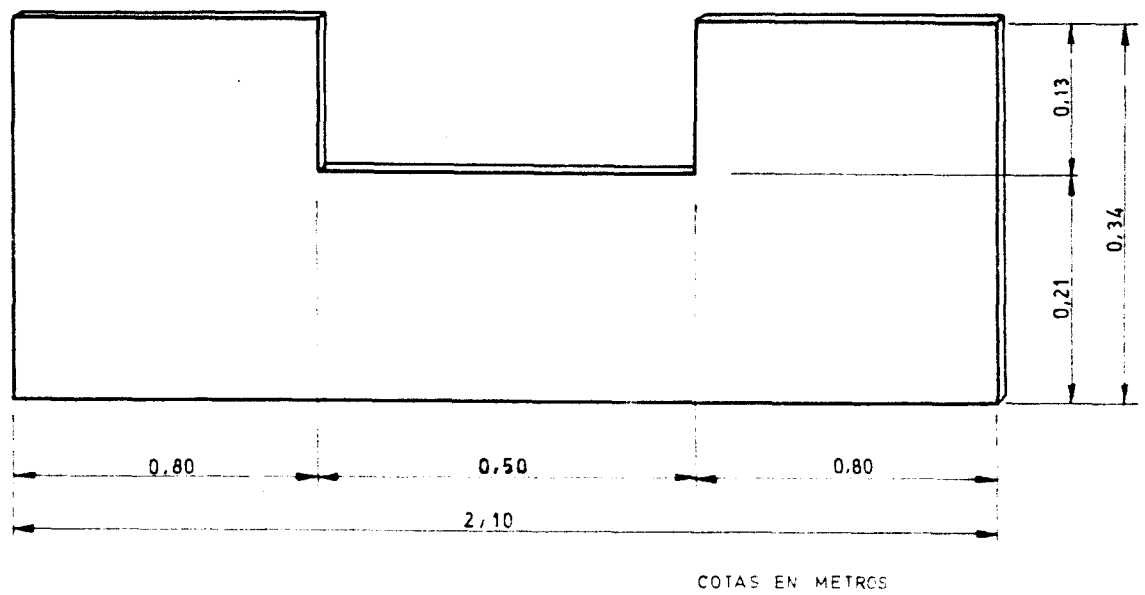
En este sentido hay que insistir en que el único modo de determinar con precisión la equivalencia altura-caudal, es establecer una curva de gasto experimental con valores reales medidos en la estación una vez construida.

Cuadro 29

LAMINA DE AGUA	LECTURA ESCALA	CAUDAL
H (m)	(m)	Q (l/s)
0,01	0,07	5
0,02	0,08	15
0,03	0,09	29
0,04	0,10	45
0,05	0,11	65
0,06	0,12	86
0,07	0,13	109
0,08	0,14	135
0,09	0,15	162
0,10	0,16	190
0,11	0,17	220
0,12	0,18	251
0,13	0,19	283
0,14	0,20	317
0,15	0,21	351
0,16	0,22	387
0,17	0,23	423
0,18	0,24	461
0,19	0,25	499
0,20	0,26	539
0,21	0,27	579
0,22	0,28	620
0,23	0,29	661
0,24	0,30	704
0,25	0,31	747
0,26	0,32	790
0,27	0,33	835
0,28	0,34	879
0,29	0,35	925
0,30	0,36	971
0,31	0,37	1018
0,32	0,38	1065
0,33	0,39	1112
0,34	0,40	1161
0,35	0,42	1787
0,36	0,44	1854
0,40	0,52	2133
0,45	0,62	2502
0,50	0,72	2891
0,60	0,92	3732
0,70	1,12	4654
0,80	1,32	5653
0,90	1,52	6728
1,00	1,72	7876

ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE SANTILLAN

TABLA DE EQUIVALENCIAS TEORICAS CAUDAL/ALTURA DE  
LAMINA DE AGUA (sin instalar vertedero)



CROQUIS DEL VERTEDERO  
DEL ARROYO DE SANTILLAN

Cuadro 30

LAMINA DE AGUA	LECTURA ESCALA	CAUDAL
H (m)	(m)	Q (l/s)
0,01	0,28	4,0
0,02	0,29	11,3
0,03	0,30	20,6
0,04	0,31	31,6
0,05	0,32	44,0
0,06	0,33	57,6
0,07	0,34	72,2
0,08	0,35	87,8
0,09	0,36	104,3
0,10	0,37	121,6
0,11	0,38	139,7
0,12	0,39	158,4
0,13	0,40	177,9

ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE SANTILLAN

TABLA DE EQUIVALENCIAS TEORICAS CAUDAL/ALTURA DE  
LAMINA DE AGUA EN EL VERTEDERO RECTANGULAR



ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE SANTILLAN



ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE SANTILLAN

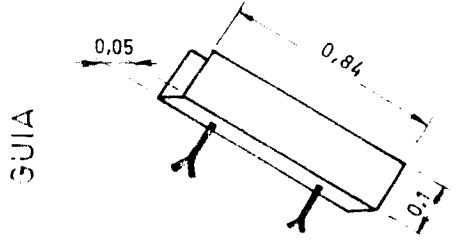
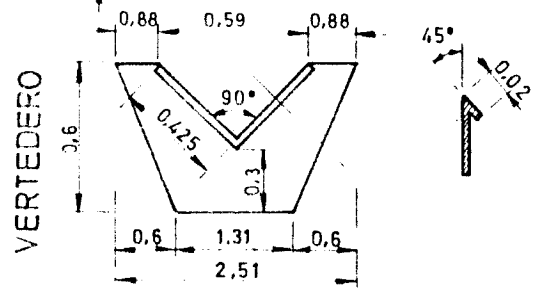
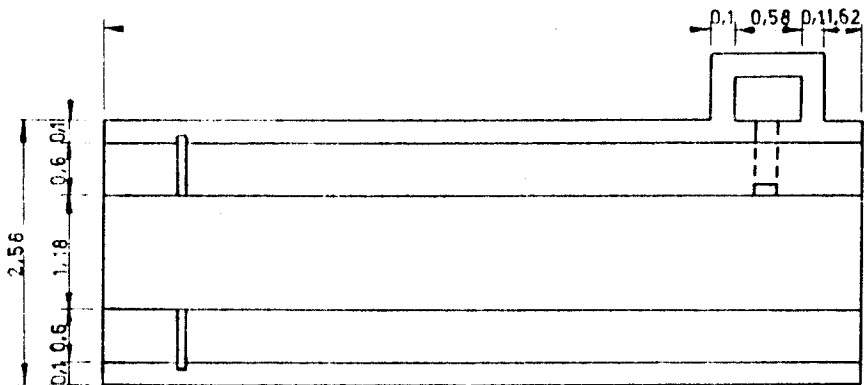
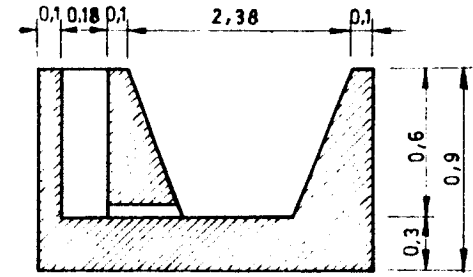
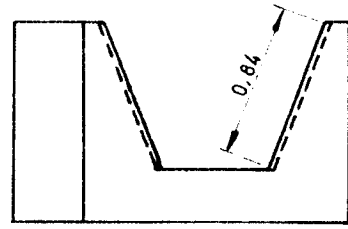
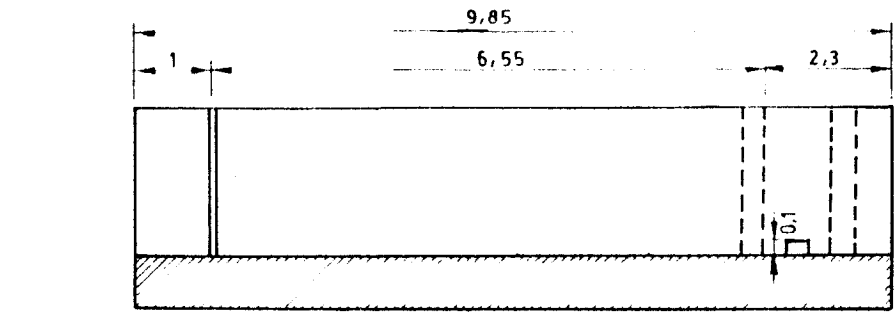


### 3.5.- ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE HUMILLADERO

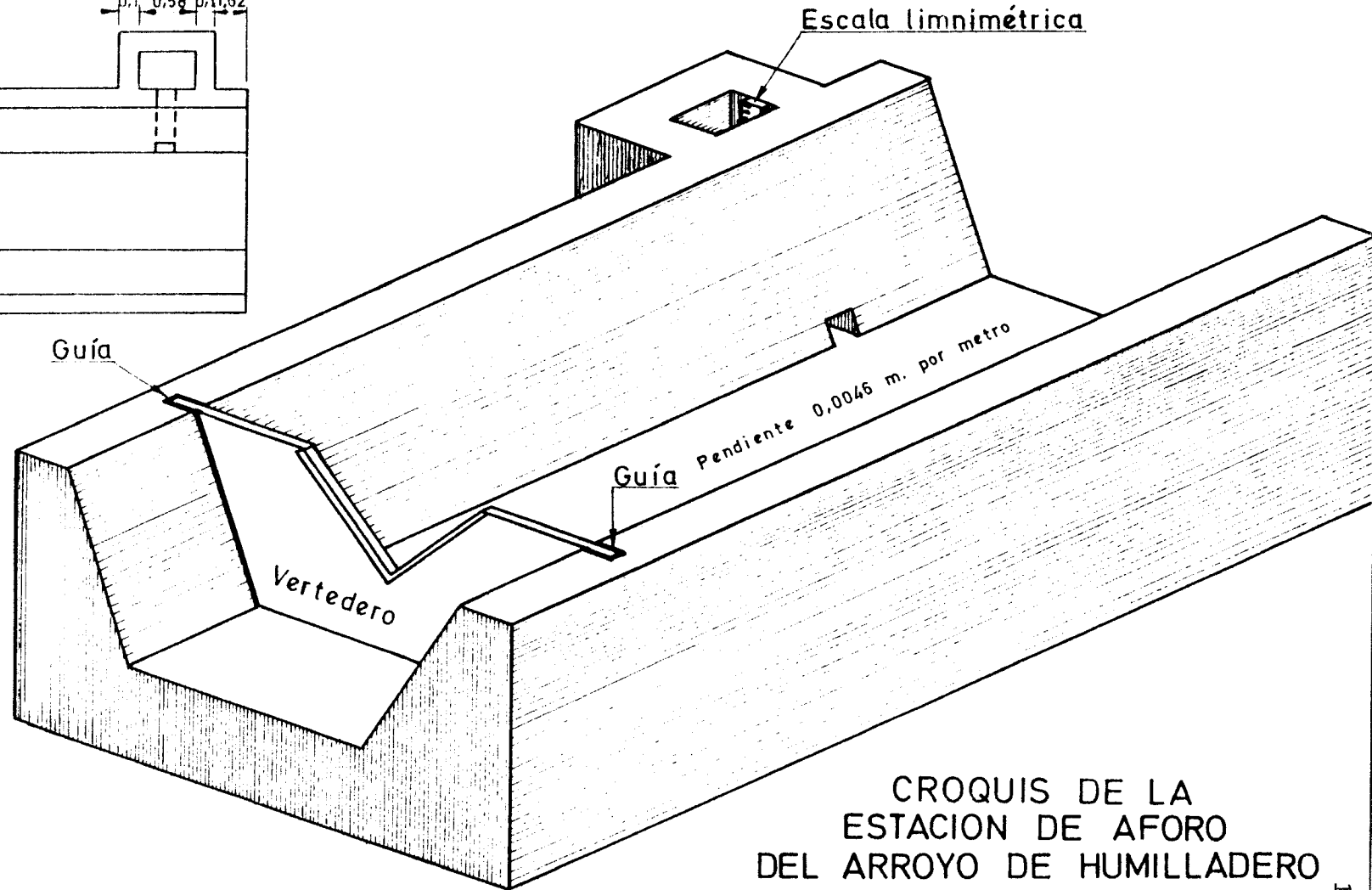
El emplazamiento de esta estación se sitúa aguas abajo del cruce del camino de Fuente de Piedra al Cortijo de la Plata, donde se reconoció el cauce del arroyo comprobando - que tiene una sección trapezoidal, calculándose una pendiente media de 4,6 mm/m.

Se propone la construcción de un canal trapezoidal cuyas dimensiones y características se indican en la figura 12 con una pendiente igual a la media calculada (4,6 mm/m).

En el cuadro 31 se recoge la equivalencia teórica entre caudales, alturas de lámina de agua y alturas de la escala instalada en régimen libre de circulación (sin instalar el vertedero). Esta tabla se ha obtenido aplicando las fórmulas de BAZIN y CHEZY (ver apartado 3.3.).



medidas en metros



CROQUIS DE LA ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE HUMILLADERO Fig. 12

Cuadro 31

LAMINA DE AGUA	CAUDAL
H (m)	Q (l/s)
0,01	4,3
0,02	13,8
0,03	26,8
0,04	42,7
0,05	61,2
0,06	82,0
0,07	105,0
0,08	129,9
0,09	156,8
0,10	185,4
0,11	215,8
0,12	247,9
0,13	281,7
0,14	317,0
0,15	353,9
0,16	392,3
0,17	432,2
0,18	473,6
0,19	516,4
0,20	560,7
0,21	606,5
0,22	653,6
0,23	702,2
0,24	752,2
0,25	803,5
0,26	856,3
0,27	910,4
0,28	965,9
0,29	1.022,7
0,30	1.080,9
0,31	1.140,5
0,32	1.201,5
0,33	1.263,8
0,34	1.327,5
0,35	1.392,5
0,36	1.458,9
0,37	1.526,6
0,38	1.595,7
0,39	1.666,2
0,40	1.738,0
0,50	2.531,5
0,60	3.453,8

ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE HUMILLADERO  
TABLA DE EQUIVALENCIAS TEORICAS CAUDAL/ALTURA DE  
LAMINA DE AGUA (sin instalar vertedero)

Para la medida de caudales pequeños se ha previsto la instalación de un vertedero de pared delgada triangular, de  $90^\circ$  de ángulo inferior y cuyas dimensiones se reflejan en la figura 12.

El caudal que circula por este vertedero viene determinado por la fórmula:

$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} h^{2,47}$$

En la que  $\alpha = 90^\circ$  y  $h$  es la altura de la lámina de agua.

En base a esta fórmula se ha construido la tabla de equivalencias teóricas caudales-alturas del cuadro 32.

De acuerdo con estos datos el caudal máximo teórico que puede circular por el vertedero es de 67,5 l/s aunque deberá tenerse en cuenta lo advertido en el caso anterior de que estos valores teóricos deben ser contrastados experimentalmente una vez construida la estación con medidas que permitan establecer una curva de gasto real.

Cuadro 32

LAMINA DE AGUA	LECTURA ESCALA	CAUDAL
H (m)	(m)	Q (l/s)
0,01	0,31	0,02
0,02	0,32	0,08
0,03	0,33	0,23
0,04	0,34	0,47
0,05	0,35	0,81
0,06	0,36	1,27
0,07	0,37	1,85
0,08	0,38	2,58
0,09	0,39	3,45
0,10	0,40	4,47
0,11	0,41	5,66
0,12	0,42	7,02
0,13	0,43	8,55
0,14	0,44	10,27
0,15	0,45	12,18
0,16	0,46	14,28
0,17	0,47	16,59
0,18	0,48	19,10
0,19	0,49	21,83
0,20	0,50	24,78
0,21	0,51	27,95
0,22	0,52	31,36
0,23	0,53	35,00
0,24	0,54	38,88
0,25	0,55	43,00
0,26	0,56	47,38
0,27	0,57	52,00
0,28	0,58	56,89
0,29	0,59	62,04
0,30	0,60	67,46

ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE HUMILLADERO

TABLA DE EQUIVALENCIAS TEORICAS CAUDAL/ALTURA DE

LAMINA DE AGUA CON EL VERTEDERO TRIANGULAR

ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE HUMILLADERO





ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE HUMILLADERO

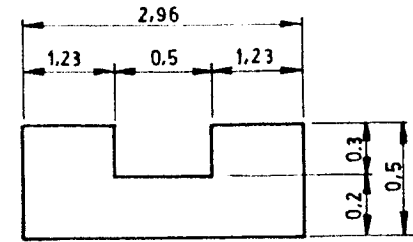
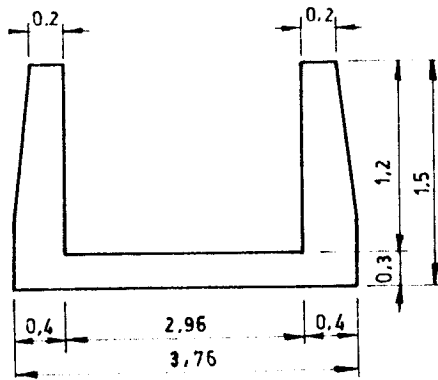
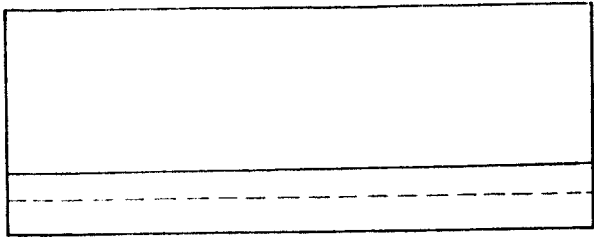


### 3.6.- ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE LAS TINAJAS

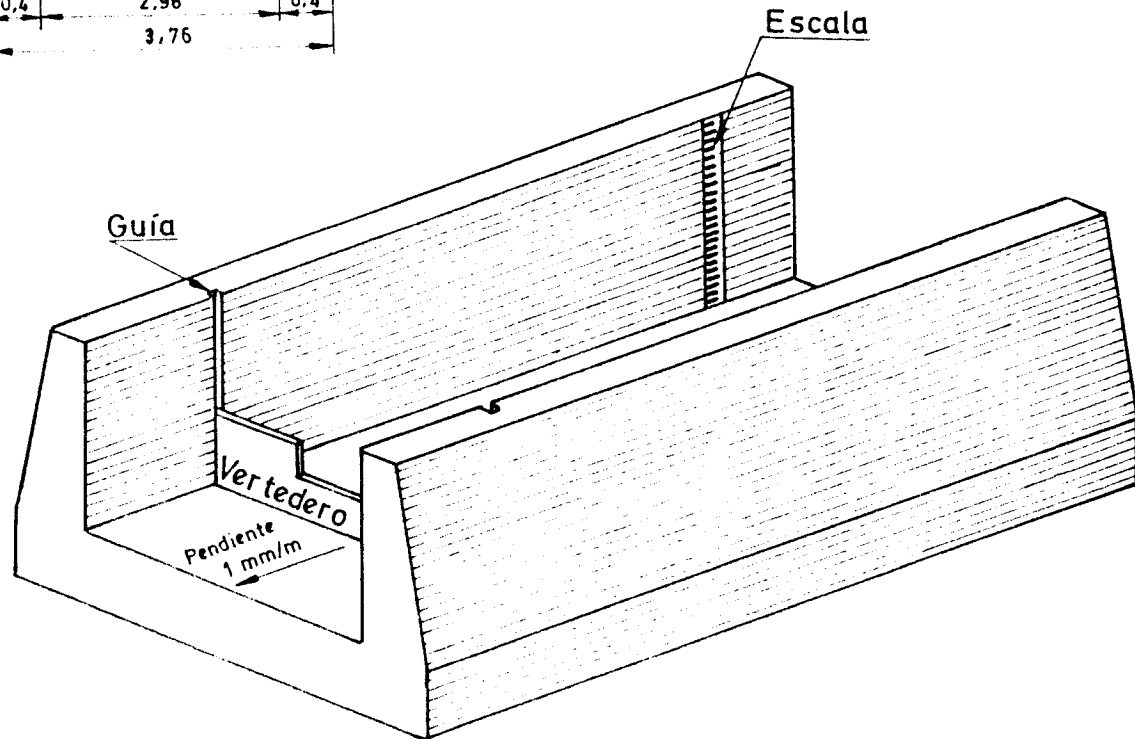
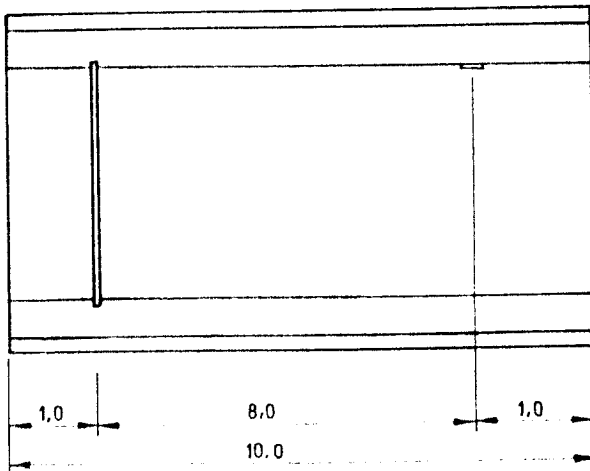
El lugar seleccionado para el emplazamiento de la estación se sitúa en las proximidades del cortijo de la Rábita a unos 200 metros aguas abajo del pozo existente junto al cauce en este paraje.

Se propone construir un canal rectangular de 3 metros de ancho por 1,20 metros de alto, dimensiones muy próximas a las del cauce natural. La pendiente deberá ser de 1 mm/m. Las características y medidas de la obra propuesta se recogen en el croquis de la figura 13.

En el cuadro 33 se ha incluido la tabla de equivalencias teóricas entre caudal y altura de lámina de agua obtenida aplicando la fórmula de BAZIN y CHEZY (ver apartado 3.3.) válidas para un canal en régimen de circulación libre (sin instalar el vertedero).



Croquis del vertedero



CROQUIS DE LA ESTACION DE AFORO DEL ARROYO DE LAS TINAJAS

Fig. 13

Cuadro 33

LAMINA DE AGUA	CAUDAL
H (m)	Q (l/s)
0,05	70,35
0,10	208,40
0,15	387,80
0,20	598,10
0,25	833,40
0,30	1.089,30
0,35	1.362,70
0,40	1.651,30
0,45	1.953,20
0,50	2.266,80
0,55	2.590,70
0,60	2.924,00
0,65	3.265,70
0,70	3.615,10
0,75	3.971,30
0,80	4.333,90
0,90	5.075,90
1,00	5.836,60

ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE LAS TINAJAS

TABLA DE EQUIVALENCIAS TEORICAS CAUDAL/ALTURA DE

LA LAMINA DE AGUA (sin instalar vertedero)

Para medir con precisión caudales pequeños se propone dotar al canal de un vertedero de pared delgada rectangular con contracción lateral que permite medir teóricamente un caudal máximo de 590 l/s y cuyas dimensiones se reflejan en la figura 13.

La tabla de equivalencias teóricas entre caudales y alturas de lámina de agua (cuadro 34) se ha construido aplicando la misma fórmula del vertedero del arroyo de Santillán, siendo válidas en este caso las mismas consideraciones que allí se han hecho (apartado 3.4.).

Cuadro 34

LAMINA DE AGUA	LECTURA ESCALA	CAUDAL
H (m)	(m)	Q (l/s)
0,01	0,21	4,09
0,02	0,22	11,51
0,03	0,23	21,04
0,04	0,24	32,24
0,05	0,25	44,84
0,06	0,26	58,66
0,07	0,27	73,58
0,08	0,28	89,47
0,09	0,29	106,27
0,10	0,30	123,89
0,11	0,31	142,28
0,12	0,32	161,38
0,13	0,33	181,14
0,14	0,34	201,54
0,15	0,35	222,52
0,16	0,36	244,06
0,17	0,37	266,12
0,18	0,38	288,68
0,19	0,39	311,72
0,20	0,40	335,21
0,21	0,41	359,12
0,22	0,42	383,45
0,23	0,43	408,16
0,24	0,44	433,25
0,25	0,45	458,70
0,26	0,46	484,49
0,27	0,47	510,61
0,28	0,48	537,04
0,29	0,49	563,78
0,30	0,50	590,81

ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE LAS TINAJAS

TABLA DE EQUIVALENCIAS TEORICAS CAUDAL/ALTURA DE  
LAMINA DE AGUA CON EL VERTEDERO RECTANGULAR

ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE LAS TINAJAS



ESTACION DE AFOROS DEL ARROYO DE LAS TINAJAS





4.- GEOLOGIA

#### 4.1.- ANTECEDENTES

La zona ha sido objeto de varios trabajos destacando entre ellos la tesis doctoral de Y. PEYRE (1974) "Geologie - d'Antequera et de sa région (Cordilleres bétiques, Espagne)".

Además de éste, por su carácter de estudios de ámbito regional, merecen destacarse también los que se deben a los siguientes investigadores:

J.J. CRUZ SANJULIAN (1974) que en su tesis doctoral - "Estudio geológico del sector Cañete la Real-Teba-Osuna", se centra sobre el borde occidental del área.

J. AZEMA y otros (1979) en "Las microfacies del Jurásico y Cretácico de las Zonas externas de las cordilleras Béticas" incluye una síntesis que permite obtener una visión de conjunto sobre las características de la cordillera a la luz

de las aportaciones más recientes.

J. BAENA y L. JEREZ (1982) por su parte, han recopilado y sintetizado las series estratigráficas de las zonas prebética y subbética, tratando de sistematizar y unificar las terminologías de los diversos autores anteriores en su trabajo "Síntesis para un ensayo paleogeográfico entre la Meseta y la zona Bética".

R. LHENAFF (1981) incluye en su tesis doctoral "Recherches geomorphologiques sur les cordilleres Bétiques Centro-occidentales (Espagne)" observaciones de interés sobre la evolución geomorfológica de la zona de la laguna.

Más recientemente, dentro del Plan MAGNA, el IGME ha abordado la cartografía detallada de la zona, sintetizando en las memorias de las hojas correspondientes la documentación anterior.

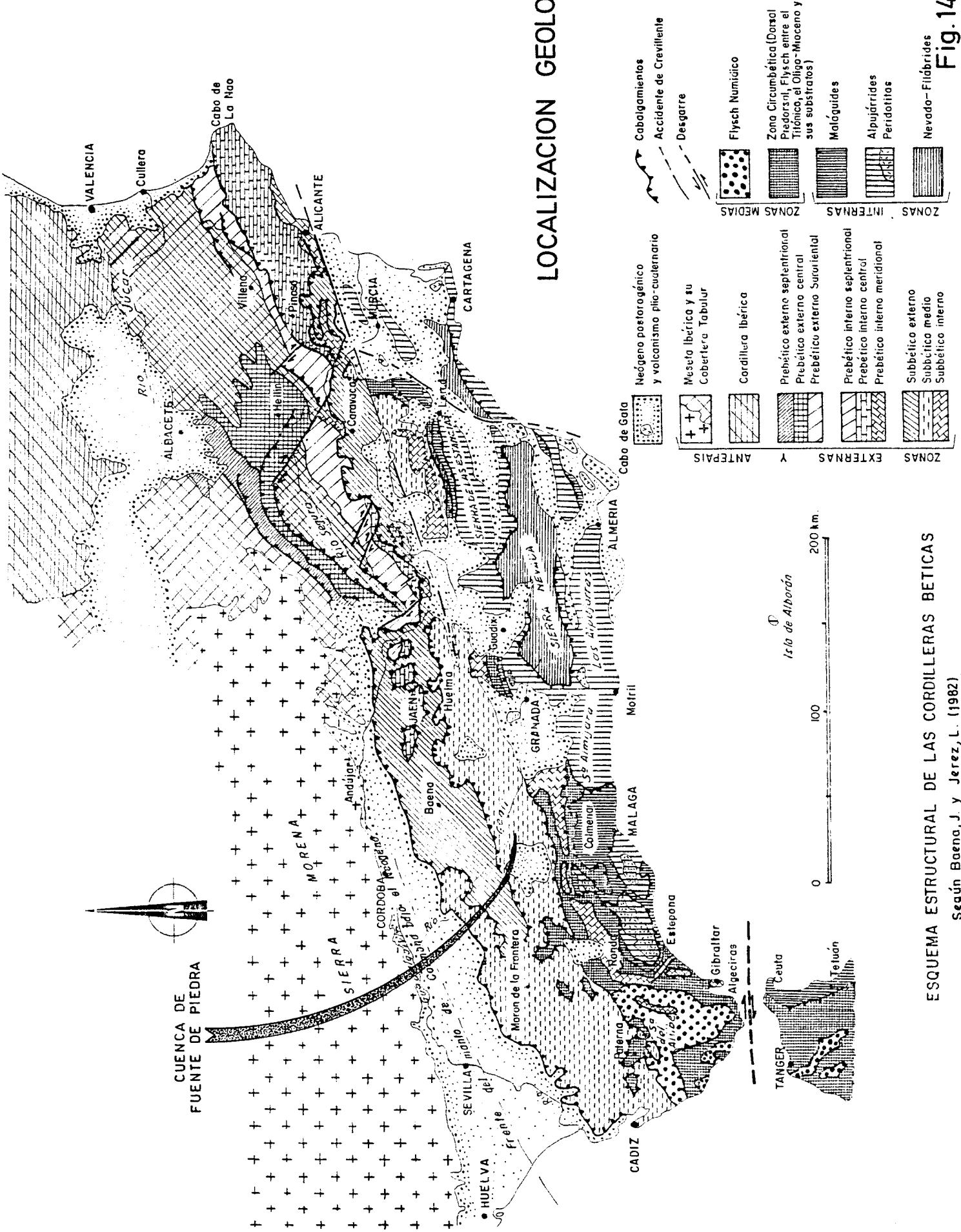
#### 4.2.- LOCALIZACION

La zona estudiada se asienta, dentro del ámbito de las cordilleras Béticas, sobre las denominadas Zonas Externas y más concretamente en el área ocupada por la zona Subbética. Afloran también, aunque con escasa extensión, en el sector próximo a Campillos, materiales de la zona Circumbética, incluida en las zonas Internas.

La zona Subbética, definida dentro del contexto de las cordilleras Béticas entre la zona Prebética que se sitúa al norte y las zonas Internas al sur, (Fig. 14) ha sido subdividida en tres dominios en base a las características de la sedimentación durante el Jurásico y parte del Cretácico: el Subbético Externo como dominio de transición a la plataforma del Prebético, el Subbético Medio que representa la parte más profunda de la cuenca y el Subbético Interno caracterizado por un umbral que constituye el límite meridional de las Zonas Externas.

LOCALIZACION GEOLOGICA

Fig. 14



CUENCA DE FUENTE DE PIEDRA

MORENA

TANGER Ceuta Te lucán

ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LAS CORDILLERAS BÉTICAS  
 Según Baena, J. y Jerez, L. (1982)

La zona Circumbética recibe este nombre porque los materiales incluidos en ella rodean, con mayor o menor extensión, la zona Bética. Incluye unidades, formaciones y complejos que han recibido muy diversas denominaciones según los autores.

#### 4.3.- ESTRATIGRAFIA

##### 4.3.1.- EL SUBSTRATO TRIASICO

Los materiales más representativos y abundantes de esta zona corresponden al Trías que forma el substrato sobre el cual se apoyan el resto de las formaciones que incluyen los acuíferos de mayor interés.

Dentro del Trías de esta zona se han separado tradicionalmente dos grandes formaciones cuya diferenciación se basa en criterios tectónicos: "Trías de Antequera" y "Trías Subbético". Sin embargo, las similitudes litológicas que ambos presentan y el carácter hidrogeológico homogéneo e indiferenciado de ambos aconseja describirlo y considerarlo como un solo conjunto litológico.

El Trías, por motivo de su posición tectónica, se pre

senta de manera totalmente caótica lo que impide establecer en el detalle su estratigrafía. Por otra parte, la transformación de anhidrita en yeso que posiblemente ha tenido lugar en su seno y los efectos de disolución de los materiales evaporíticos que contiene han contribuido a la complejidad de estos materiales.

En conjunto se puede decir que está constituido por una masa de arcillas, más o menos margosas, de colores abigarrados entre las que aparecen niveles de areniscas rojas, verdes o grisáceas y, sobre todo, de yesos como materiales más significativos. Incluye niveles de sal común que no son visibles en superficie por la disolución que sufren. Localmente aparecen englobados en la masa que forman estos materiales, dolomías, generalmente brechoides, calizas y mármoles, en afloramientos de pequeñas dimensiones y que deben corresponder a antiguas intercalaciones. También de pequeñas dimensiones, se encuentran afloramientos de rocas volcánicas (ofitas) dispersos en la masa triásica.

#### 4.3.2.- LA COBERTERA MESOZOICA

Los afloramientos de la cobertura mesozoica posttriásica se presentan dispersos y aislados en su mayor parte formando masas carbonatadas constituidas por materiales del Jurásico, que destacan por su relieve en medio de la llanura que forman los materiales más deleznable del substrato triásico y de la cobertura neógeno-cuaternaria.

En el área del estudio existen tres de estos relieves dando lugar a las sierras de Los Caballos, Mollina-La Camorra y Humilladero y otro de menores dimensiones en las proximidades del Cortijo de La Herriza.

Las series estratigráficas de estos afloramientos pre



sentan características que permiten asimilarlas al dominio Subbético medio y dentro de él al más septentrional de sus subdominios.

También existen otros afloramientos mesozoicos constituidos exclusivamente por materiales cretácicos y paleocenos que destacan menos en el relieve y que se sitúan al oeste de la laguna de Fuente de Piedra, en las proximidades de Campillos.

De un modo general, se puede decir que la base de la serie jurásica está constituida por una formación dolomítica cuya potencia visible debe ser superior a los 200 metros y su edad Lías Inferior.

Sobre las dolomías y con un contacto irregular condicionado por el frente de la dolomitización que ha originado aquellas, se sitúa una formación caliza de aspecto masivo y a veces tableado, de colores más claros que la precedente, cuya potencia mínima es de 200 metros y que es atribuida al Lías Inferior y Medio.

El resto del Jurásico, es decir, el techo del Lías, el Dogger y el Malm es una potente y heterogénea formación constituida fundamentalmente por alternancias de calizas y margocalizas con sílex y margas verdosas o blanquecinas. El Cretácico está constituido fundamentalmente por una potente e irregularmente distribuida formación de margas y margocalizas blancas.

#### 4.3.2.1.- SERIE DE LA SIERRA DE LOS CABALLOS

La formación basal del Jurásico constituye la mayor parte del afloramiento. Incluye un tramo de dolomías brechoides generalmente masivas cuya potencia debe ser aquí supe -

rior a los 500 metros y que es atribuida al Lías Inferior. -  
 Sobre él y por medio de un contacto gradual descansa otro -  
 tramo de calizas con intercalaciones dolomíticas que puede -  
 alcanzar los 200 metros de potencia; es atribuido al Lías In -  
 ferior-Medio.

Sigue un tramo de margocalizas grises-amarillentas -  
 con "pistas" de gusanos atribuidos al Lías Medio-Superior y  
 cuya potencia estimada es de 200 metros.

Una intercalación de unos 50 metros de calizas atri -  
 buidas a la base del Dogger, separa el tramo margoso ante -  
 rior de otro de margocalizas grises con silex de unos 100 a  
 150 metros de espesor.

Los afloramientos de estos tramos margosos son esca -  
 sos y las condiciones de observación malas, por lo que las po -  
 tencias que se les atribuyen son sólo orientativas.

El Cretácico Inferior aflora ampliamente en el extre -  
 mo suroeste de la sierra y está constituido por la típica fa -  
 cies de margocalizas y margas blancas con una potencia esti -  
 mada superior a los 200 metros.

#### 4.3.2.2.- SERIE DE LA SIERRA MOLLINA-LA CAMORRA

Las condiciones de observación son bastante deficien -  
 tes lo cual impide describir con detalle la serie stratigrá -  
 fica. Puede decirse de modo general que el relieve está cons -  
 tituido exclusivamente por materiales del Jurásico, en su ma -  
 yor parte pertenecientes a la base liásica, y constituidos -  
 por dolomías muy fracturadas. En el sector noroeste de la -  
 sierra afloran también algunos enclaves calcáreos pero siem -  
 pre con una extensión más reducida que los dolomíticos. Es -

difícil establecer el espesor aunque sin duda es superior a los 200-300 metros. El Cretácico no está representado en la zona.

#### 4.3.2.3.- SERIE DE LA SIERRA DE HUMILLADERO

El relieve de la Sierra de Humilladero lo constituyen exclusivamente materiales jurásicos cuya base es una formación de dolomías grises fuertemente brechificadas; su espesor oscila entre 100 y 250 metros y son atribuidos al Lías Inferior.

Sobre ellas, y separada por un contacto irregular que viene definido por el frente de colonización, descansa un paquete calizo de aspecto masivo y colores claros que alcanza los 200 metros de espesor y es atribuido al Lías Inferior-Medio.

Sigue un paquete de 50 metros de potencia visible constituido por una alternancia de calizas y margocalizas con sílex con margas verdes; perteneciente al Toarcense.

Culmina la serie jurásica otro paquete de calizas con sílex y margas blancas cuyos afloramientos rodean el relieve de la sierra y cuya potencia es difícil de establecer por sus malas condiciones de observación; se atribuye al Dogger-Malm.

Sobre estos materiales jurásicos y sin que sea visible en las proximidades de la sierra el Cretácico, se sitúan las formaciones del Terciario y Cuaternario.

#### 4.3.2.4.- AFLORAMIENTOS CRETACICOS Y PALEOCENOS DE CAMPILLOS

Al oeste de la laguna de Fuente de Piedra existen diversos afloramientos de materiales del Cretácico y Paleoceno que se presentan aislados y sin continuidad entre ellos. Están constituidos por margas y margocalizas gris-verdosas los que son atribuidos al Cretácico Inferior, margas y margocalizas blancas y rosadas con niveles de sílex los que corresponden al Cretácico Superior-Paleoceno y por bancos detríticos de carácter turbídico los que se atribuyen únicamente al Paleoceno.

Se presentan aislados y con una disposición similar a la de los relieves descritos anteriormente, aunque por su litología no destacan visiblemente en el relieve.

#### 4.3.3.- UNIDADES DE LA ZONA CIRCUMBETICA ("CALIZAS DE CAMPILLOS")

Se trata de un conjunto de materiales alóctonos que en la actualidad descansa sobre el Trías en una franja alargada situada al este de Campillos y al sur de la laguna de Fuente de Piedra.

Las condiciones de observación son malas, aunque no cabe duda de su carácter flyschoides, por lo que son asimiladas a las Unidades Neomédicas de la zona Circumbética.

En el conjunto margo-arcilloso oscuro pardo-verdoso que caracteriza esta formación, destacan bancos de calizas detríticas de aspecto turbídico que se supone alternan con el resto de los materiales.

#### 4.3.4.- FORMACIONES POSTOROGENICAS

##### 4.3.4.1.- MIOCENO

Estas formaciones reposan discordantes, sobre las mas

antiguas, del Trías y Jurásico fundamentalmente, fosilizando un paleorrelieve precedente.

Presentan malas condiciones de observación lo que dificulta su descripción estratigráfica. Por lo general se encuentran afectados de encostramientos, y recubiertos por sue los rojos y otras formaciones superficiales.

Son sedimentos molásicos semejantes a los que afloran hacia el oeste rellenando, entre otras, la Depresión de Ronda. Las areniscas constituyen el elemento litológico fundamental aunque existen intercalaciones de margas grises, poco visibles en la mayoría de los casos, arenas y materiales con glomeráticos que afloran ocasionalmente.

Las areniscas son calcáreas y en general de grano grueso; contienen frecuentemente lamelibranquios, restos de algas incrustantes y briozoos.

PEYRE (1974) atribuye a estos depósitos molásicos una edad Tortoniense Superior, aunque la fauna que contienen no es muy característica.

El espesor del Mioceno es muy variable por tratarse de sedimentos que se depositan sobre un relieve preexistente. Por medio de sondeos, (ya que las condiciones de observación no permiten hacerlo sobre los afloramientos) se ha determinado que la potencia máxima no alcanza los 100 metros. En el sector situado al oeste de la laguna, entre ésta y la sierra de Los Caballos se han determinado espesores comprendidos en tre 50 y 75 metros; mientras que al este de Fuente de Piedra los espesores son del orden de 30-40 metros aunque en algunos sondeos parece haberse detectado excepcionalmente potencias mayores.

Por otra parte la campaña de geofísica realizada no -  
permite la diferenciación clara de los niveles terciarios y  
triásicos debido al escaso contraste de resistividades entre  
ambos. La salinización de los materiales contribuye también  
a enmascarar el contraste de resistividad entre estas forma-  
ciones.

#### 4.3.4.2.- CUATERNARIO

Los depósitos del Cuaternario son los más heterogé -  
neos de la zona considerandose fuera de lugar una descrip -  
ción prolija y detallada para la que se remite a las memo -  
rias que acompañan a la cartografía geológica del IGME de -  
las hojas correspondientes de la serie MAGNA.

La mayor parte de las formaciones cuaternarias son -  
glacis de ladera, depósitos aluviales de fondo de valle y re -  
lentos arcillosos de depresiones. Todos ellos presentan un -  
espesor reducido y una litología muy variada. En general son  
conjuntos heterogéneos de arcillas, arenas y gravas sueltas  
que ocasionalmente, y sobre todo en las laderas de los relie -  
ves importantes, pueden hallarse cementados; destacan en -  
ese sentido los depósitos que se apoyan en el borde oriental  
de la sierra de los Caballos.

En el área de la laguna son abundantes los depósitos  
de caracter arcilloso-arenoso (de un color oscuro que pone -  
de manifiesto su alto contenido en materia orgánica) en cuyo  
techo aparece una delgada corteza salina que constituye el -  
nivel más reciente de la sedimentación de la zona.

#### 4.4.- TECTONICA

##### 4.4.1.- EL SUBSTRATO TRIASICO

La tectónica de la zona está condicionada fundamentalmente por la presencia del Trías, dentro del cual y siguiendo criterios estructurales se pueden diferenciar el "Trías de Antequera", situado en el sector más meridional, y el "Trías Subbético" que ocupa la mayor parte de la zona incluida en la cuenca de Fuente de Piedra, aunque es muy difícil separar ambos elementos tectónicos.

Como elementos diferenciales del "Trías de Antequera" respecto al resto del Trías Subbético, hay que mencionar la presencia en aquél de elementos extraños al propio Subbético (bloques metamórficos "exóticos") y la ausencia prácticamente total de la cobertera jurásico-cretácica.

PEYRE (1974) supone que el Trías de Antequera se halla cabalgando hacia el norte y se superpone tectónicamente al Subbético, aunque localmente las relaciones entre ambos pueden ser confusas.

La estructura interna de ambos conjuntos es compleja - pues a los desplazamientos tectónicos que han sufrido se añaden las deformaciones debidas a la transformación yeso-anhidrita, disolución de materiales evaporíticos y movimientos halocinéticos, que originan una disposición actual totalmente caótica.

#### 4.4.2.- LA COBERTERA MESOZOICA

Los materiales de la cobertera mesozoica que se apoya sobre el Trías Subbético se presentan en los afloramientos aislados que han sido descritos anteriormente.

Parece claro que la relación entre el Trías y su cobertera se produce siempre mediante contacto mecánico. La hipótesis de PEYRE (1974) es que estos afloramientos son una especie de isleos que "flotan" sobre el Trías y que representan los restos de una cobertera primitiva continua, despegada de su substrato, que ha sido erosionada luego parcialmente. Los despegues internos dentro de la propia cobertera explicarían la presencia de Cretácico descansando directamente sobre el Trías.

Es compatible con esta hipótesis, y por tanto posible, el enraizamiento en profundidad de alguno de estos afloramientos e incluso la presencia de estos materiales en el interior de la masa triásica en lugares no detectados por no ser visibles en superficie.

La estructura interna de los afloramientos mesozoicos



es muy compleja como consecuencia de lo expuesto y de los posibles movimientos halocinéticos que modifican mas aún su estructura originaria.

La sierra de Los Caballos desde el punto de vista estructural es un anticlinal de dirección N 45° E, vergente al norte, cuyo flanco meridional prácticamente ha desaparecido como consecuencia de una falla de borde que lo hunde hallándose oculta por los materiales recientes. La terminación occidental de la sierra presenta complejidades tectónicas difícilmente precisables a causa de las malas condiciones de observación.

La sierra de Mollina se presenta como un domo que se prolonga hacia el norte en dirección a Alameda. Hasta qué profundidad se halla enraizado es una incognita difícilmente soluble mediante reconocimientos de campo; sólo por medio de sondeos sería posible establecer este extremo de un modo más preciso.

PEYRE menciona la presencia de un afloramiento triásico en el puerto que separa la sierra de Mollina de la de Alameda, que hemos intentado localizar sin éxito. Si de hecho existiese el Trías en superficie, en medio de estas dos grandes masas carbonatadas liásicas, el enraizamiento de las mismas sería de poca magnitud.

De cualquier modo la distribución y forma de estos dos grandes afloramientos permite "intuir" la existencia de algún accidente, previsiblemente alguna fractura, separándolas y localizado precisamente en el estrecho "cuello" por el que entran en contacto y no sería difícil que el Trías hubiese encontrado una vía de salida a través de dicho accidente.

Otras fracturas afectan al macizo liásico especialmen-

te en su extremo septentrional, pero éstas son de pequeña entidad y sólo afectan a la parte más cortical de la masa carbonatada.

La sierra de Humilladero y todo el conjunto de afloramientos del Jurásico Subbético asociados a ella, se ha interpretado esencialmente como un anticlinal complejo del que sólo se conserva su flanco meridional quedando reducido en consecuencia a una estructura monoclinas de orientación general N 180° O. Sin embargo la estructura es en detalle algo más compleja. La alineación principal, constituida por calizas del Lías Inferior-Medio se presenta con un buzamiento casi vertical, unas veces se inclina al norte y otras al sur, pero con vergencia general al sur, circunstancia que ocasiona la inversión de la serie.

Tanto al norte como al sur de la sierra existen suaves alineaciones de afloramientos subbéticos, también con disposición subvertical o invertida, manteniéndose al mismo tiempo la polaridad de la serie hacia el SO.

Otros afloramientos de la cobertera Subbética postríasica son los del Cretácico y Paleoceno que se sitúan al oeste de la laguna. Se trata, al igual que los descritos, de elementos englobados en el Trías que no presenta una disposición estructural definida, siendo su característica más sobresaliente su desorganización estructural.

El afloramiento Jurásico del cortijo de la Herriza es de reducidas dimensiones y no constituye elevación montañosa como las otras del Jurásico. Se encuentra englobado en la masa triásica y se presenta como una serie monoclinas de dirección N 45° E y vergencia SE.

#### 4.4.3.- UNIDADES DE LA ZONA CIRCUMBETICA (Calizas de Campillos)

El reducido afloramiento de estos materiales situado al este de Campillos y al sur de la laguna representa una Unidad alóctona que descansa sobre el Trías. En relación con su estructura interna poco se puede decir debido a las malas condiciones de observación. Su característica estructural más significativa es su desorganización.

#### 4.4.4.- FORMACIONES POSTOROGENICAS

Las formaciones postorogénicas del Mioceno se depositaron en una cuenca ya estructurada en sus rasgos fundamentales y en la que, muy probablemente, al menos la sierra de Los Caballos, la Camorra y Humilladero se hallarían ya emergidas. Este hecho condicionará la distribución de sus sedimentos y las variaciones de espesor de los mismos que ya han sido comentadas.

Los depósitos del Mioceno se hallan en su mayor parte en disposición horizontal aunque parece que se encuentran afectados por movimientos correspondientes a una etapa postorogénica que da lugar a algunas megaestructuras relacionadas con la Neotectónica.

Son destacables las deformaciones de estos materiales en las proximidades del Trías de Antequera, donde en ocasiones llega incluso a disponerse verticalmente poniendo de manifiesto movimientos halocinéticos del Trías después del Tortonense. Las estructuras de la sierra de La Camorra y Humilladero podrían ser estructuras halocinéticas o al menos retocadas por fenómenos de este origen.

#### 4.5.- GEOMORFOLOGIA

El caracter geomorfológico más significativo de esta zona es su endorreismo.

El área situada en el interfluvio de las cuencas del Genil y del Guadalhorce presenta un relieve que apenas ha experimentado degradación, manifestándose un drenaje incierto, de débil energía, que se traduce en los fenómenos de endorreismo que existen no sólo en Fuente de Piedra sino también en las áreas cercanas de la divisoria (Campillos, La Herrera La Ratosa....etc).

LHENAFF (1981) relaciona las lagunas de esta zona con procesos de disolución karstica que tienen lugar en el substrato triásico existente a escasa profundidad:

".....las lagunas están todas situadas sobre el Trías mar-go-yesífero a veces enmascarado por una delgada capa de molasa tortoniense. Su origen karstico no ofrece apenas duda: la disolución del yeso origina hundimientos que atraen las aguas; pero la abundancia del residuo arcilloso insoluble, tapa los conductos abiertos por la disolución y permite el estancamiento de las aguas. En verano, estas lagunas tienden a secarse por evaporación y ponen al descubierto un sedimento dolomítico de una blancura resplandeciente y rico en yeso.

Tales lagunas son frecuentes en todos los afloramientos triásicos de facies evaporíticas a través de toda la Cordillera. Alcanzan raramente grandes dimensiones. Comparativamente la laguna de Fuente de Piedra, es de un tamaño excepcionalmente grande puesto que mide no menos de 6,75 Km de largo por 2,5 Km de ancho. Yo pienso que su situación en una zona de divisoria de aguas con relieve muy suavemente ondulado no es extraña a este hecho: mientras que en cualquier lugar la divisoria de aguas origina rápidamente la formación de dolinas y las relega a interfluvios estrechos donde la circulación del agua es rápida, aquí, la laguna no ha encontrado emisario para evacuar las aguas en superficie mientras que en profundidad la circulación subterránea permanece probablemente lenta".

5.- DEFINICION DE ACUIFEROS Y FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO

### 5.1.- GENERALIDADES

El Trías se ha considerado tradicionalmente como el -  
substrato impermeable sobre el cual se apoyan los acuíferos -  
que existen en la región. Sin embargo, aunque esta afirma -  
ción puede ser válida desde un punto de vista regional, el -  
Trías puede comportarse localmente como permeable a causa de  
los procesos karsticos que han modificado su caracter primitiv  
vo.

De los materiales que descansan sobre el Trías y que -  
han sido descritos en el capítulo de geología son permeables  
y por tanto constituyen acuíferos, las formaciones calizo-do-  
lomíticas de la base del Jurásico que aflora en las sierras -  
de Mollina, Humilladero y Los Caballos, por una parte, y las -  
calcarenitas miocenas por otra. También los derrubios y rellen  
os cuaternarios son acuíferos, aunque de menor entidad que -

los anteriores pues su importancia está siempre ligada a la -  
relación hidrogeológica que con ellos mantienen.

El resto de las formaciones del Jurásico Medio y Superior, del Cretácico y del Paleógeno, en conjunto, pueden considerarse como impermeables, aunque ocasionalmente incluyen niveles permeables que pueden ser acuíferos de interés estricta  
mente local.



## 5.2.- TRIAS

Los niveles evaporíticos, singularmente yesos y sal, - que incluyen en su seno las formaciones triásicas son materiales cuya elevada solubilidad ha dado lugar en algunos sectores de la región de Antequera a diversos fenómenos típicos de una morfología karstica: dolinas, sumideros, simas, conductos subterráneos.....etc. (1 y 2).

La propia cuenca endorreica de Fuente de Piedra podría incluso corresponder a una depresión originada por procesos karsticos desarrollados en el Trías que subyace a todos los -

---

(1).- MOLINA MUÑOZ, J.A. (1982).- "Los karst en yesos de la provincia de Málaga. Avance".

(2).- PEZZI, M.C. (1977).- "Morfología karstica del sector central de la zona Subbética".

materiales de la zona (1). (ver apartado 4.5.).

Por otra parte la existencia de manantiales salinos de relativa importancia coincidiendo con el ambito de estos materiales triásicos, confirma que existe una circulación subterránea en dichos materiales cuya disolución condiciona las elevadas concentraciones salinas de estos manantiales.

En la cuenca de Fuente de Piedra parece que al menos la zona más superficial del Trías podría estar afectada actualmente por estos fenómenos y producirse, a través de ella, circulación subterránea. Sin embargo, la zona más profunda, por debajo del nivel de la laguna, actuaría como nivel de baja permeabilidad donde o no existe karstificación o los conductos karsticos se han rellenado con residuos arcillosos insolubles permitiendo el estancamiento de las aguas por encima de un determinado nivel. Según esta teoría, que coincide con las tesis expuestas por LHENAFF (1981), es difícil que a través del Trías tenga lugar un flujo subterráneo hacia sectores ajenos al sistema hidrogeológico que coincide con la cuenca de Fuente de Piedra.

---

(1).- LHENAFF, R. (1981).- "Recherches geomorphologiques sur les Cordilleres Betiques centro-occidentales (Espagne)".

### 5.3.- JURASICO

Las sierras jurásicas de Mollina, Humilladero y Los Caballos constituyen pequeñas estructuras aisladas que flotan sobre el Trías incluyendo acuíferos carbonatados intensamente karstificados. En la sierra de Mollina son conocidas numerosas manifestaciones karsticas superficiales y subterráneas (1 y 2) y en la de Humilladero, el sondeo realizado por el IGME para abastecimiento de la población puso de manifiesto igualmente la presencia de cavidades subterráneas (ver apartado 7.8. Bombeo de ensayo en el sondeo de Humilladero).

---

(1).- MENGIBAR, J.L. y QUIROS, R. (1976).- "La Cueva de los Organos".

(2).- MOLINA, J.A.; CORCELLES, J. y DURAN, J.J. (1982).- "El complejo karstico de la sierra de La Camorra. Informe preliminar".

### 5.3.1.- SIERRA DE MOLLINA

Es una estructura de unos 12 Km<sup>2</sup> de superficie que se alimenta exclusivamente por lluvia, mientras que su descarga se produce fundamentalmente a través de los manantiales que se sitúan en su extremo meridional (Santillán) y en el sector de Alameda y también, de forma no visible, por la alimentación lateral subterránea que tiene lugar hacia los acuíferos terciarios y cuaternarios que lo bordean sobre todo en el sector meridional de Fuente de Piedra.

El descenso de nivel que ha tenido lugar en el acuífero en estos últimos años ha condicionado, por otra parte, la desaparición del manantial de Santillán, "rebosadero" natural del sistema antes de producirse dicho descenso.

### 5.3.2.- SIERRA DE HUMILLADERO

Las formaciones dolomíticas y calizas basales del Jurásico constituyen el acuífero de esta estructura, que totaliza unos 6 Km<sup>2</sup> de superficie, en relación directa con la cual no existe ninguna surgencia.

Su alimentación procede exclusivamente de la lluvia y el nivel piezométrico del acuífero se sitúa a una cota aproximada de 450 m.s.n.m. siendo difícil establecer con detalle el sentido del flujo en el interior de la sierra al no existir suficientes puntos de control.

La descarga del sistema parece producirse de modo no visible hacia los acuíferos mioceno-cuaternarios que rodean la estructura y se apoyan sobre ella.

Es evidente que por el norte y oeste, hacia la laguna

de Fuente de Piedra, se produce flujo subterráneo, hecho que se pone de manifiesto por la continuidad que existe entre las cotas del nivel piezométrico en la estructura de la sierra de Humilladero y en el Mioceno de Fuente de Piedra.

Los afloramientos de Mioceno y Cuaternario detríticos que se apoyan sobre el extremo oriental de la estructura también deben recibir alimentación subterránea de ésta; en relación con ellos existen dos manantiales (fuente de Mollina y del Los Huertos) de pequeño caudal, aunque de régimen bastante constante, cuya cota de emergencia es similar a la del nivel piezométrico del acuífero de la sierra de Humilladero, hechos que apoyan la hipótesis de la relación hidrogeológica entre ambos.

### 5.3.3.- SIERRA DE LOS CABALLOS

La estructura carbonatada de la sierra de los Caballos, de unos 18 Km<sup>2</sup> de superficie, no puede considerarse desde el punto de vista hidrogeológico separando de ella los depósitos de pie de monte que la limitan en su borde sur-oriental puesto que este conglomerado cementado (que incluso se puede observar karstificado) tiene continuidad hidrogeológica con la formación calizo-dolomítica de la base del Jurásico sobre la cual se apoya y que constituye el acuífero fundamental del sistema.

El sistema hidrogeológico parece bien definido por el borde occidental donde los materiales impermeables infrayacentes al acuífero y aflorantes a cotas elevadas impide la descarga de la estructura por dicho borde. En consecuencia, el drenaje tiene lugar en su mayor parte por el borde sur-oriental de la sierra hacia los depósitos aluviales que ocupan el sector topográficamente deprimido del arroyo de la Albina.

La cota del nivel piezométrico del acuífero se sitúa ligeramente por encima de los 400 m.s.n.m. En el área en que se hallan concentradas la explotaciones, se ha observado un descenso generalizado de niveles, cuya magnitud se puede establecer en 11 metros para la mayor parte de las captaciones, comparando las medidas realizadas en diciembre de 1973 y en julio de 1983. Este descenso se ha producido de modo progresivo puesto que en noviembre de 1976 ya se puso de manifiesto un descenso general cifrado entonces en una media de 4 metros.

Es evidente, como se pondrá de manifiesto más adelante, que esta estructura jurásica y los acuíferos neógeno-cuaternarios con ella relacionados están hidrogeológicamente desconectados del sistema hidrogeológico de Fuente de Piedra.

#### 5.4.- MIOCENO-CUATERNARIO

El acuífero que ocupa mayor extensión en la zona es el que está constituido conjuntamente por las calcarenitas del Mioceno y los materiales de relleno cuaternarios de escasa entidad relacionados con ellos.

Se trata, al contrario de lo que ocurre con los acuíferos descritos anteriormente, de una formación permeable por porosidad intergranular que rellena las áreas topográficamente más deprimidas de la cuenca y que en la mayor parte de su extensión descansa sobre el Trías.

Los cambios de fácies que en ella se producen, tanto en sentido horizontal como vertical, condicionan también importantes variaciones de permeabilidad y, consecuentemente, irregularidades en los rendimientos de las captaciones.

Por medio de geofísica (S.E.V.) se pretendió conocer - tanto el espesor como la litología de estas formaciones Neóge - no-cuaternarias, no habiéndolo conseguido por el escaso con - traste de resistividades que presentan los distintos niveles y por el enmascaramiento que produce en ellos la salinización.

Las columnas de sondeo que se han podido obtener parecen indicar que el área donde existe una mayor proporción de niveles detríticos gruesos y por tanto una mayor permeabilidad es la que se sitúa en los alrededores de Fuente de Piedra y al norte de Humilladero.

Este hecho podría relacionarse con la proximidad de - los relieves de las sierras de Humilladero y Mollina, probablemente emergidas durante el depósito del Mioceno, que aportarían elementos detríticos más gruesos a éste. Aquí la mayor parte de los espesores controlados oscilan alrededor de los - 30-40 metros, alcanzándose excepcionalmente potencias superiores.

Al oeste de la laguna los espesores son mayores pero - los niveles detríticos gruesos incluidos en la serie miocena son proporcionalmente mucho más escasos y por tanto aquí el - acuífero es de peor calidad.



#### 5.5.- LIMITES Y FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA

Los acuíferos descritos en los apartados precedentes - (a excepción del de la sierra de Los Caballos) se hallan en - la cuenca de Fuente de Piedra hidráulicamente conectados y - formando un único conjunto que puede considerarse como un sistema hidrogeológico aislado de los que existen en la región.

Los límites de este sistema hidrogeológico coinciden - sensiblemente con los de la cuenca superficial y en su mayor parte están constituidos por divisorias subterráneas que dan lugar a umbrales hidráulicos.

Estas divisorias subterráneas son analizadas detalladamente al describir la piezometría del sistema en el capítulo siguiente. Están especialmente bien definidos en el ambito - del acuífero mioceno y con menos precisión cuando se sitúan - sobre los acuíferos liásicos de las sierras de Mollina y Humiu

lladero, donde el número de puntos de control piezométrico es menor.

El Trías, cuyo ambiguo papel hidrogeológico ya se ha comentado, sin duda actúa en algunos sectores como impermeable constituyendo una barrera física para el sistema hidrogeológico. En esta situación podrían considerarse los extensos afloramientos que se localizan inmediatamente al sur de la laguna, coincidiendo con la divisoria superficial, y en el extremo oriental de la cuenca, entre Mollina y la sierra del mismo nombre.

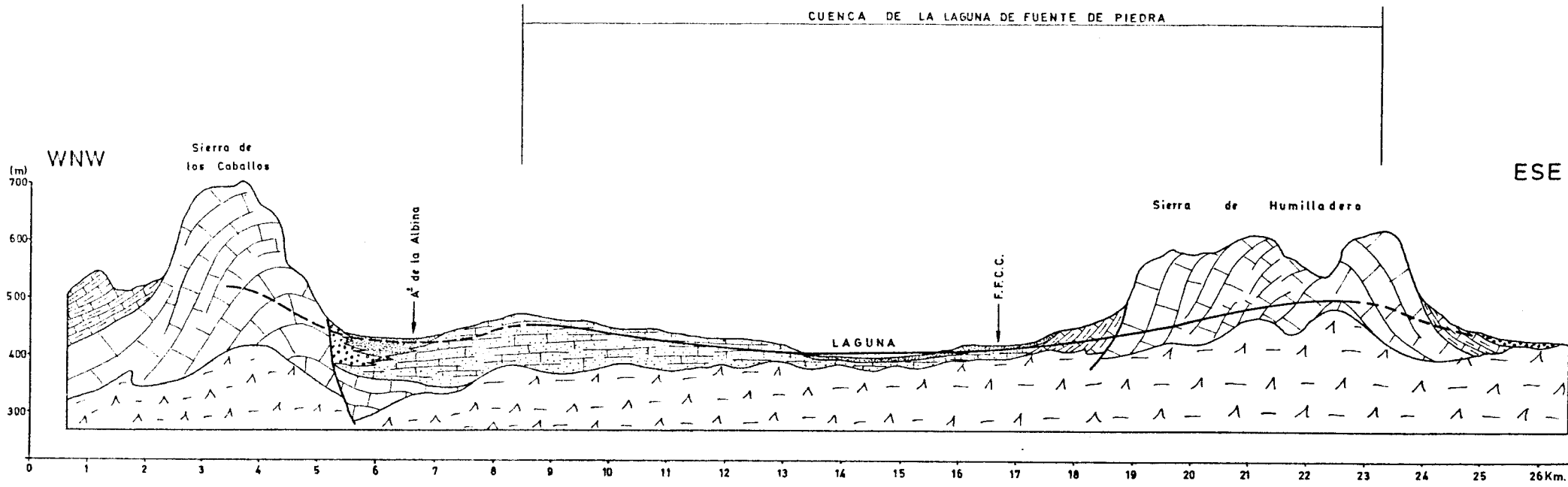
Por el contrario los afloramientos que se sitúan en las proximidades del arroyo de Santillán y el núcleo de Los Carvajales no parecen interrumpir la conexión hidráulica de los acuíferos que se hallan en contacto con ellos, posiblemente debido a la existencia de formaciones superficiales de escasa entidad y al desarrollo de una capa de alteración superficial que facilita dicha conexión.





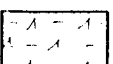
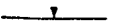
La circulación subterránea en este conjunto de acuíferos, (cuyo análisis detallado se realiza en el capítulo de piezometría) tiene lugar desde los límites del sistema -es decir las áreas de las divisorias- hacia el centro de la cuenca, donde la laguna constituye el nivel de base del sistema, produciéndose en ella la descarga de los acuíferos. La intensa evaporación que tiene lugar en la laguna durante la mayor parte del año favorece un continuo flujo subterráneo hacia ella.

Hay que mencionar, finalmente, la posibilidad de que a través del Trías se produzca flujo subterráneo hacia fuera de la cuenca, aunque esta hipótesis en nuestra opinión es poco probable y en caso de que tuviera lugar, el caudal circulante sería de infima magnitud en relación con los recursos de la misma. La presencia de manantiales salinos en las proximida -

des de la zona podría apoyar esta hipótesis, pero hay que señalar que el caudal medio de la mayoría de estos manantiales es pequeño y que estos no tienen que proceder necesariamente de la cuenca de Fuente de Piedra.

La posibilidad contraria de que la cuenca reciba alimentación a través de un karst profundo desarrollado en el Trías parece mucho más remota ya que para explicar su existencia sería necesario acudir a mecanismos y esquemas hidrogeológicos ciertamente complejos que estarían en contradicción con la presencia de divisorias hidrogeológicas establecidas por piezometría.



-  MATERIALES DE RELLENO. CUATERNARIO.
-  MOLASAS MARGAS Y ARENAS. MIOCENO.
-  CALIZAS. DOGGER MALM.
-  DOLOMIAS Y CALIZAS. LIAS.
-  ARCILLAS Y EVAPORITAS. TRIAS.
-  NIVEL PIEZOMETRICO.

CORTE HIDROGEOLOGICO ESQUEMATICO  
DE LA CUENCA  
DE FUENTE DE PIEDRA

6.- PIEZOMETRIA

#### 6.1.- OBSERVACIONES REALIZADAS

La piezometría de la zona ha sido definida a partir de los datos obtenidos de 129 puntos de agua (pozos ó sondeos) - que fueron nivelados topográficamente (52) o con altímetro de precisión (77), cuya situación se expresa en el plano 8. En - tre estos 129 puntos y atendiendo a diversos criterios se se- leccionaron 85 en los cuales se midió el nivel piezométrico - durante el mes de junio de 1983 dibujándose con esas medidas las isopiezas que son representativas del acuífero en una épo- ca de extracciones.

Entre los días 15 y 18 de mayo de 1984 se ha efectuado una nueva campaña de medidas en 65 de los puntos de la red, - habiéndose construido a partir de ellas las isopiezas que son representativas del estado del acuífero después de un largo - periodo sin explotaciones ( 8 ó 9 meses) y de un invierno al- go más húmedo que los anteriores.

Por otra parte las medidas de nivel tomadas durante el inventario que se realizó en 1973 han sido utilizadas para determinar las variaciones que se han producido en la superficie piezométrica en el último decenio, comparando las medidas de 60 puntos.

Finalmente durante el último año se ha controlado detalladamente la evolución piezométrica mediante la instalación de dos limnigrafos de registro continuo que permiten definir la dinámica del acuífero en relación con las precipitaciones y las explotaciones.

## 6.2.- MORFOLOGIA DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Los planos de isopiezas correspondientes a 1973 (plano 9), junio de 1983 (plano 10) -época de explotaciones intensas tras una prolongada sequía- y a mayo de 1984 (plano 11) -época de máxima recarga, después de 8 ó 9 meses sin explotaciones- muestran una serie de rasgos generales y comunes que permiten establecer la morfología de la superficie piezométrica y el funcionamiento del acuífero.

En ellos se pone de manifiesto que existe un flujo general hacia el centro de la cuenca observándose claramente que la laguna constituye el nivel de base del acuífero que descarga en ella de modo natural.

La divisoria superficial de la cuenca endorreica de Fuente de Piedra se corresponde sensiblemente con umbrales hi



drogeológicos, permitiendo establecer que a grandes rasgos - coinciden las divisorias superficial y subterránea. Sólo lo - calmente en algunos puntos existen pequeñas diferencias.

Se puede observar también una absoluta continuidad entre la piezometría de los macizos carbonatados jurásicos de las sierras de Mollina y Humilladero y del Mioceno cercano a los mismos confirmando la conexión hidrogeológica existente - entre ambos acuíferos que se pueden considerar por tanto inte - grados en un único sistema hidrogeológico. Se pone de mani - fiesto, por otra parte, que en ambos casos el flujo tiene lugar desde los macizos jurásicos hacia el Mioceno.

Por el contrario, el macizo jurásico de la sierra de - Los Caballos queda desconectado hidrogeológicamente de la - cuenca de Fuente de Piedra y separado de ella por el umbral - hidrogeológico coincidente con la divisoria que delimita la - cuenca por el NW. Este macizo jurásico está conectado hidrau - licamente con la depresión de Navahermosa, con un flujo subte - rráneo hacia los acuíferos detríticos que la rellenan, mien - tras que éstos drenan hacia el norte siguiendo el curso del - arroyo de la Albina, perteneciente ya a la cuenca del Guadal - quivir.

Los gradientes hidráulicos más fuertes son los del sec - tor situado al oeste de la laguna donde oscilan alrededor del 1,3 % y los más débiles coinciden con el borde oriental de la laguna donde oscilan entre el 8 y el 9°/∞∞. Como valor medio representativo del conjunto del acuífero se puede considerar un valor de 1,1%

Las isopiezas correspondientes a mayo de 1984 (plano - 11) son las que representan, del modo más próximo a la reali - dad, el estado natural del acuífero en la actualidad sin la in

fluencia de explotaciones inmediatas. Se han dibujado, como ya se ha indicado, con medidas tomadas tras un periodo de lluvias importantes (al menos en relación con los años anteriores) y habiendo transcurrido 8 ó 9 meses desde que interrumpieron los bombeos en la zona.

En ellas puede observarse con claridad los mínimos piezométricos coincidiendo con la laguna, poniendo de manifiesto el flujo natural del acuífero hacia ella.

Las isopiezas de junio de 1983 (plano 10), por el contrario, muestran la morfología de la superficie piezométrica durante una época de intensa explotación después de una prolongada sequía y ponen de manifiesto que los mínimos piezométricos coinciden con el área de concentración de bombeos al norte de Fuente de Piedra con mínimos que se sitúan incluso por debajo del nivel de la laguna. Es evidente que este dispositivo piezométrico puede favorecer la salinización del acuífero al producirse un flujo de la laguna hacia él.

Otro sector en el que se observan diferencias entre la piezometría de junio de 1983 y mayo de 1984 es el situado al norte de Humilladero, donde también tienen lugar explotaciones importantes durante el estiaje.

En este caso y si se comparan únicamente las isopiezas de 1983 y 1984 podría parecer que los efectos de los bombeos durante el estiaje sólo se manifiesta en una ligera modificación de los gradientes hidráulicos del sector. Sin embargo esta zona es la que presenta los descensos de mayor magnitud cuando se comparan las medidas de 1973 y 1983 (ver plano 12). Este hecho parece poner de relieve que se trata de un sector que está sufriendo un descenso piezométrico lento pero progresivo, hecho que estaría condicionado no sólo por la concentra

ción de bombeos sino también por ser un área que tiene una alimentación deficiente desde otros sectores del acuífero, al hallarse próxima a la divisoria hidrogeológica.

Resumiendo podría decirse que las zonas que presentan diferencias estacionales desde el punto de vista de la piezometría son las que se sitúan al norte de Fuente de Piedra y al norte de Humilladero. En la primera el nivel del acuífero llega a situarse por debajo del de la laguna al final de la época de estiaje y de intensa explotación, existiendo un evidente peligro de salinización del acuífero en este momento; sin embargo, tras un periodo de lluvias y al interrumpirse las extracciones, el acuífero, que se halla muy bien alimentado en esta zona por tratarse del área piezométricamente más baja, tiende a recuperar su estado natural.

En la zona de Humilladero, las variaciones estacionales no son muy importantes y no parece existir por el momento el peligro de salinización que amenaza estacionalmente al sector norte de Fuente de Piedra. Por el contrario, se está produciendo un descenso lento pero progresivo que, en el futuro puede poner en peligro de inutilización numerosos pozos de la zona en los que el nivel podría descender hasta dejarlos secos.

### 6.3.- EVOLUCION PIEZOMETRICA DESDE 1974

La evolución temporal de la piezometría se estudia a partir de las medidas que realiza el IGME en una amplia red de observación de la cual se han seleccionado 9 de los puntos más representativos de la cuenca situados en el área más intensamente explotada de la misma; dichos puntos se vienen midiendo con regularidad desde 1979 aunque de la mayor parte de ellos se poseen datos relativos a 1974 y 1975.

Los gráficos de evolución piezométrica de estos puntos, que se han recogido en el plano 13, permiten establecer la dinámica del acuífero a lo largo de los últimos años: en general se observa que durante los años que se viene controlando la evolución piezométrica en las zonas próximas a las explotaciones tiene lugar una tendencia al descenso del nivel del acuífero.

En la zona próxima a Fuente de Piedra (ver piezómetros 1642-2-092, 1642-2-163 y 1642-2-255) tienen lugar oscilaciones estacionales tanto más importantes cuanto más cerca de puntos de explotación. Hasta 1981 ó 1982 existe una tendencia al descenso generalizada aunque a partir de ese momento se inicia una ligera recuperación que se hace mucho más patente en las últimas medidas de 1984 realizadas después de un periodo de lluvias más intensas que las de los últimos años. La infiltración procedente del Arroyo de Santillán debe jugar también un importante papel en la recuperación piezométrica de esta zona.

Excepcionalmente el piezómetro 1642-2-130 muestra un descenso continuo que se puede cuantificar en 1 metro aproximadamente desde 1979, aunque si se compara la medida de 1974 con la más reciente, el descenso total en los 10 últimos años es superior a los 5 metros. En las cercanías de éste se encuentran varios puntos de explotación intensa y continua, entre ellos el sondeo de abastecimiento a Fuente de Piedra, que justificaría este comportamiento; concretamente en el sondeo de abastecimiento el nivel ha descendido 17,8 metros desde diciembre de 1973 a mayo de 1984.

En la zona situada al norte de Humilladero, de la cual son representativos los piezómetros 1642-2-121, 1642-2-136, 1642-2-151 y 1642-2-209, se observa un descenso continuo desde que son controlados; este descenso oscila entre 1,5 y 2,5 metros desde 1979 a 1984 y alrededor de 5 metros si se comparan las medidas de 1974 con las de 1984.

A lo largo de este periodo de control, entre 1981 y 1982, coincidiendo con un periodo ligeramente más húmedo, se produjo una estabilización e incluso en algún caso una débil tendencia a la recuperación pero tan ligera que no puede considerarse significativa en el conjunto del comportamiento del acuífero.

El piezómetro 1642-2-154 situado al NE de Humilladero,

próximo a la divisoria y alejado de la zona donde se concentran las explotaciones, no presenta tendencia al descenso - aunque sí fuertes oscilaciones debido al bombeo que se realiza en el propio pozo.

Sintetizando los datos expuestos anteriormente puede decirse que en el área del acuífero en que se concentran las explotaciones existe una tendencia al descenso general en - los diez últimos años, aunque se pueden diferenciar dos zonas de acuerdo con la evolución piezométrica que presentan:

Por una parte en la zona situada al norte de Fuente de Piedra tras periodos húmedos el acuífero manifiesta una rápida respuesta con tendencia a la recuperación que sólo deja - de producirse en la proximidad inmediata de las fuertes y - continuas explotaciones. Por el contrario la zona situada al norte de Humilladero responde con mucha mayor dificultad a - esos mismos periodos de precipitaciones más intensas que - prácticamente sólo suponen una ligera interrupción de un - generalizado proceso de descenso; también la magnitud de los descensos acumulados desde 1974 es mucho más importante en - la zona de Humilladero.

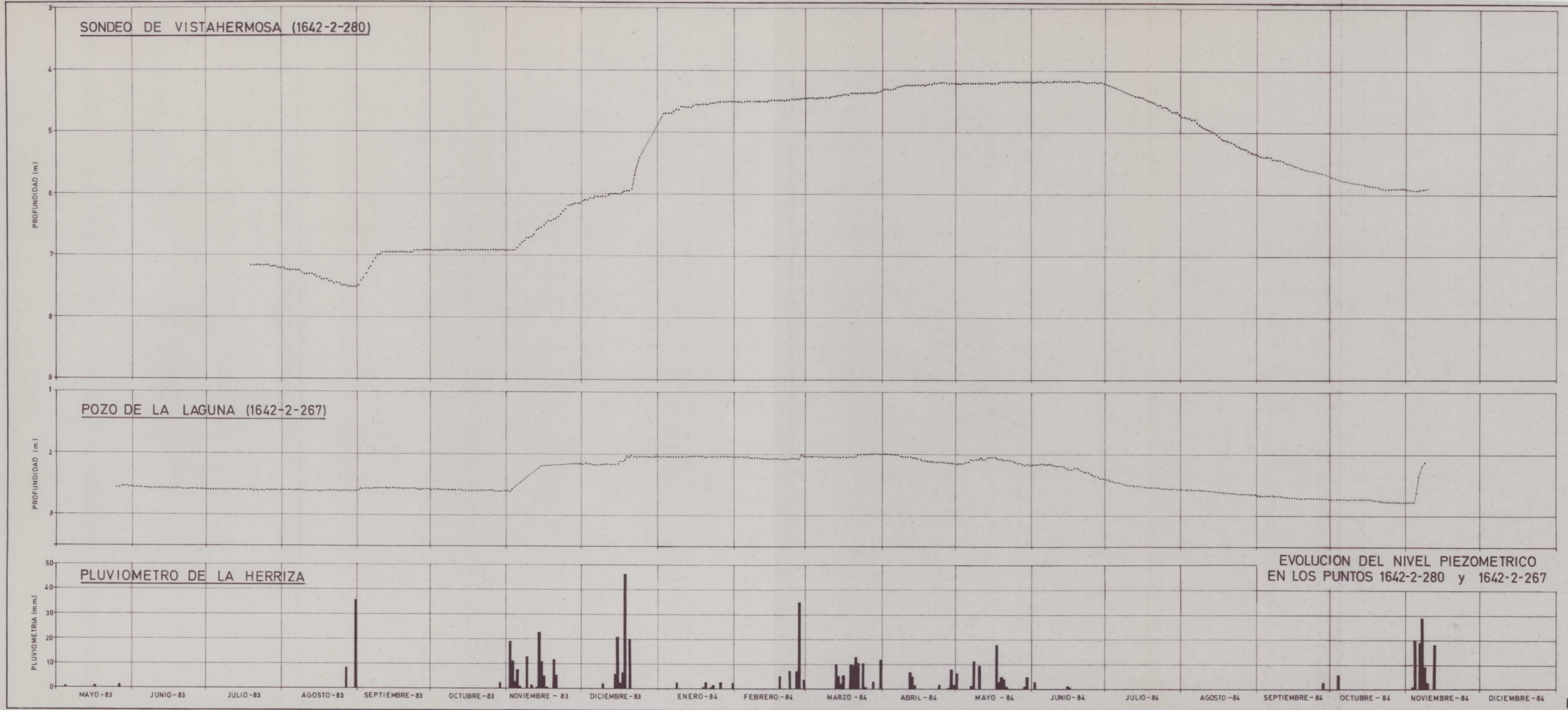
El plano 12 muestra los descensos producidos en los últimos 10 años, habiéndose dibujado a partir de las medidas - de nivel efectuadas en noviembre de 1973 y mayo de 1983. Este plano de isodescensos corrobora las observaciones que se han expuesto, tanto en este apartado como en el anterior sobre la morfología de la superficie piezométrica.

#### 6.4.- EVOLUCION DE LA PIEZOMETRIA EN EL ULTIMO AÑO

A lo largo del último año se viene observando la evolución piezométrica de un modo más detallado a partir de medidas continuas de nivel llevados a cabo con limnógrafos que han sido instalados en dos puntos significativos de la cuenca, uno en la propia laguna y otro a unos 2 kilómetros al norte de ésta, en un sector suficientemente alejado del área en que se concentran las explotaciones (ver situación en el plano 13).

Por medio de estas observaciones puntuales más detalladas se pretende establecer la dinámica del acuífero tratando de correlacionar las oscilaciones piezométricas con las precipitaciones y los bombeos que tienen lugar en la zona.

En la figura 15 se han recogido, de modo que puedan



EVOLUCION DEL NIVEL PIEZOMETRICO EN LOS PUNTOS 1642-2-280 y 1642-2-267

Fig. 15



ser correlacionados, la evolución de estos dos piezómetros y la pluviometría diaria (pluviómetro de La Herriza).

En este gráfico el primer detalle que destaca es la magnitud de las variaciones, mucho más importantes en el área alejada de la laguna (sondeo de Vistahermosa) que en el pozo existente en la misma, cuyo nivel prácticamente se puede considerar coincidente con la superficie libre del agua y por tanto con el nivel de base del acuífero.

El primer periodo, hasta los últimos días de agosto de 1983 en que se producen las primeras lluvias, corresponde al final de una prolongada sequía tras la cual se alcanzan los mínimos de nivel en el sondeo de Vistahermosa y en la propia laguna. Hasta ese momento el descenso en el sondeo se produce, de un modo continuo y regular, a un ritmo medio de 3 centímetros diarios. Los gráficos reflejan, en este primer tramo, la descarga que se produce en el acuífero, no sólo por su evolución natural sino también por las explotaciones que tienen lugar en él.

Inmediatamente después de producirse la primera precipitación importante, y una vez se han interrumpido las explotaciones, el nivel del acuífero en el sondeo comienza rápidamente a recuperarse hasta alcanzar prácticamente la estabilización; la laguna con estas lluvias sufre un ligerísimo aumento de nivel inmediatamente después de la precipitación y luego un descenso lento pero progresivo para alcanzar de nuevo su nivel mínimo.

A partir de los primeros días de noviembre y prácticamente a lo largo de todo ese mes se generalizan las lluvias de otoño y el sondeo manifiesta rápidamente la recuperación del acuífero. Con estas lluvias de otoño la laguna recupera unos 40 centímetros, siendo éste el aumento más significati-

vo y rápido que se produce en ella a lo largo del periodo observado.

Las intensas lluvias de diciembre provocan un nuevo, rápido e importante ascenso del nivel en el acuífero; la laguna por el contrario registra un ascenso comparativamente - mucho más reducido.

Después de éste rápido ascenso, directamente influido por las precipitaciones, el nivel en el sondeo asciende a un ritmo mucho más lento hasta alcanzar el máximo a mediados de junio en que se interrumpen definitivamente las precipitaciones. El pozo de la laguna, durante el periodo invernal se muestra invariable o asciende de modo casi imperceptible hasta alcanzar su máximo a finales de marzo, iniciándose el descenso a partir de ese momento con pequeñas oscilaciones estrechamente relacionadas con las precipitaciones.

El descenso de estiaje, se manifiesta claramente y de un modo continuo en el sondeo de Vistahermosa a partir de primeros de julio, en que cesan las lluvias y se inician los bombeos. La magnitud de este descenso adquiere valores medios diarios de 1,7 cm, 2 cm, 1,1 cm y 0,6 cm en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre respectivamente, siendo lógicamente mayores en julio y agosto en que la explotación es más intensa.

El descenso estival en el pozo de la laguna se manifiesta claramente y de un modo continuado con anterioridad; aunque, como ocurría con el ascenso, las magnitudes son mucho menos importantes.

Finalmente, las lluvias de principio de noviembre tienen una rápida respuesta en el acuífero y en la laguna que inician la recuperación correspondiente a un nuevo año hidrológico.

Recopilando y sintetizando las observaciones descritas se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Las variaciones del nivel piezométrico en las áreas alejadas de la laguna, donde se produce la alimentación del acuífero, son de mayor magnitud que en la propia laguna donde tiene lugar su descarga.

La diferencia máxima de nivel en el sondeo, entre el mínimo del último estiaje y el máximo de la época de lluvias, se cifra en este punto en 3,3 metros. En la laguna la diferencia máxima es de 80 centímetros.

Las precipitaciones, sobre todo las primeras que se producen después del estiaje, unidas al cese de las explotaciones, tienen una respuesta inmediata en el acuífero que comienza a recargarse rápidamente, a la vez que la laguna acusa también estas precipitaciones con rapidez.

El periodo de recuperación durante la época invernal es mucho más largo en el acuífero que en la laguna, iniciándose el descenso estival de ésta mucho antes (a primeros de abril) que el del acuífero (a mediados de junio). Este desfase tan importante, a pesar de la estrecha relación que existe entre acuífero y laguna, debe estar condicionado por el aumento de la evaporación al llegar la primavera y por la lentitud con que se produce el flujo de agua subterránea desde las áreas de recarga del acuífero hacia la laguna(\*).

Es recomendable no interrumpir la observación continua de las variaciones de nivel en el acuífero y en la laguna ya que el estudio detallado de estas variaciones y su interpretación, en un periodo suficientemente amplio, puede aportar nuevos datos sobre las características hidráulicas

---

(\*) Ver consideraciones al respecto en el apartado 10.3.6.

del acuífero y contribuir a conocer el funcionamiento hidrodinámico del sistema en que se halla integrada la laguna.

7.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA Y EXPLOTACIONES

#### 7.1.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA

Con el fin de tener una información exacta y actual, tanto de los puntos de agua existentes en la cuenca de Fuente de Piedra y sus alrededores y del volumen de agua extraída en dichos puntos, se ha llevado a cabo el inventario de la totalidad de los mismos.

Sobre esta zona ya se había realizado, en el año 1974, un inventario exhaustivo de las captaciones existentes, que ha servido de base de partida para este nuevo trabajo, así como de punto de comparación para analizar la evolución de niveles piezométricos y explotaciones en los diez últimos años.

El inventario de puntos de agua se ha llevado a cabo durante los meses de mayo y junio de 1983, periodo en que, debido a la sequía de los últimos años, las captaciones dot

das con equipo de bombeo se encontraban en funcionamiento, - bien para sacar adelante los cultivos de invierno (generalmente cereales) o para iniciar el desarrollo de los cultivos de verano.

El objetivo principal del inventario ha sido conocer - con la mayor exactitud posible el volumen de agua extraída - del acuífero, además de obtener otros datos complementarios - que contribuyen a un mejor conocimiento de la zona estudiada.

La metodología empleada ha consistido en el reconoci - miento de las captaciones dotándolas de un número de identifi - cación. De cada una de ellas se ha cumplimentado una ficha-en - cuesta con los datos técnicos de la obra, nivel piezométrico, diámetro, profundidad, revestimiento, columna litológica, cau - dal, columna de agua, variaciones estacionales, característi - cas del equipo de bombeo, calidad, etc.

Para el cálculo de las explotaciones se han seguido dos métodos distintos. El primero, utilizado en el inventario que se realizó en 1974, consistió en determinar el volumen de - agua extraído de cada pozo en función del caudal y el número de horas de funcionamiento al año. Ambos parámetros resultan difíciles de cuantificar pues el propietario de la captación en la mayoría de los casos desconoce el caudal real que se ex - trae y tampoco lleva un control exacto del número de horas de funcionamiento por lo que este método puede introducir erro - res del 30 ó 40%.

El segundo método, utilizado en la actualización del - inventario de 1983, se basa en la superficie cultivada, tipo de cultivo y número de riegos realizados al año. Como el sis - tema de riego utilizado actualmente en casi la totalidad de - la zona es la aspersión, según la encuesta realizada, cada -

riego equivale a una precipitación de 50 mm por lo que para regar una hectárea son necesarios 500 m<sup>3</sup> de agua. El número de hectáreas regadas por cada pozo así como el número de riegos realizados al año son datos conocidos y fáciles de recordar y permiten, en definitiva, determinar la cifra total de las explotaciones.



## 7.2.- CARACTERISTICAS DE LAS CAPTACIONES

El número total de captaciones existentes en la cuenca de Fuente de Piedra es de 408 que, por términos municipales, se distribuyen del siguiente modo:

Fuente de Piedra.....	265 puntos
Humilladero.....	84 puntos
Mollina.....	42 puntos
Sierra de Yeguas.....	17 puntos

Fuera de la cuenca, aunque incluidos en estos municipios, ha sido necesario inventariar o revisar otros puntos para conocer la hidrogeología de la región y para definir con precisión el sistema hidrogeológico. Esta labor de inventario fuera de la cuenca se desarrolló esencialmente en los municipios de Mollina y Sierra de Yeguas donde se hallan inventariados

dos además de los contabilizados anteriormente 80 y 55 puntos respectivamente.

De los 408 puntos incluidos en la cuenca, los 200 más interesantes se han revisado y actualizado sus datos y se han incorporado al archivo 52 nuevos puntos que son los realizados en el periodo 1973-1983 (plano 14).

Según su naturaleza, los puntos se distribuyen así:

- 280 pozos
- 80 sondeos
- 26 pozos con galería horizontal
- 19 pozos con sondeo vertical
- 2 galerías
- 1 manantial

La profundidad media de los pozos es de 9,98 metros y la de los sondeos de 63,76 metros, siendo la media conjunta de 20,98 metros. La profundidad del nivel piezométrico medio medido en 308 puntos es de 9,80 metros por lo que no resulta extraño que 52 pozos de poca profundidad se hayan secado y 32 hayan sido anulados (enterrados) en los 10 últimos años.

El revestimiento de las obras de captación ha sido realizado principalmente con mampostería de ladrillo en 143 puntos; 102 puntos no tienen revestimiento, 77 puntos (sondeos) tienen tubería de hierro, 45 puntos están revestidos de piedra y 8 puntos están revestidos de anillos de hormigón.

El diámetro medio de los pozos es de 2,47 metros y el de los sondeos está comprendido generalmente entre 300 y 400 mm.

Entre los 408 puntos existentes en la cuenca, sólo

207 poseen equipo de extracción. El accionamiento se realiza mediante motor de explosión en 137 puntos, 60 tienen motor eléctrico y en 10 puntos la extracción se realiza manualmente.

Del total inventariado, 97 puntos están equipados con bomba aspirante de eje horizontal, 83 con bomba vertical, 17 con bomba sumergida y en los diez que tienen equipo manual, la extracción se realiza mediante polea.

La potencia de los motores instalados en los puntos de agua es menor de 5 CV en 17 puntos, de 5 a 10 CV en 83 puntos, de 10 a 20 CV en 35 puntos, de 20 a 30 CV en 11 puntos, de 30 a 50 CV en 20 puntos, de 50 a 100 CV en 23 puntos y de 100 a 110 CV en un punto.

El caudal de explotación coincide generalmente con el caudal óptimo de la captación aunque hay puntos que se explotan hasta el agotamiento. A pesar de la dificultad que entraña precisar el caudal exacto de cada punto se ha llegado a la conclusión que entre los puntos instalados 69 tienen un caudal inferior a 5 l/s, 67 tienen un caudal comprendido entre 5 y 10 l/s, 33 entre 10 y 20 l/s, 9 entre 20 y 30 l/s, 2 entre 30 y 50 l/s, 4 entre 50 y 100, 2 entre 100 y 120 l/s y en 11 puntos no se ha podido precisar el caudal. Los puntos que proporcionan mayor caudal son los que están ubicados en los afloramientos carbonatados de las sierras de Molina y Humilladero.

Respecto al uso o utilización del agua de los 207 puntos dotados de equipo de extracción, 137 se utilizan para riego, 32 para abastecimiento, y 38 no se han utilizado en los últimos años.

### 7.3.- EXPLOTACIONES Y DISTRIBUCION DE LA DEMANDA

A pesar de que los datos del volumen anual de explotaciones en la cuenca, obtenidos a partir del inventario realizado en el año 1974 (11,4 Hm<sup>3</sup>) deben de estar sobreestimados en un 30 ó 40%, la explotación en dicho año no debía ser inferior a 7 Hm<sup>3</sup>.

En el año 1983 se ha obtenido un volumen de explotación de 3 Hm<sup>3</sup>. La comparación de ambos datos muestra un considerable descenso de las explotaciones que, aunque se ha incrementado la superficie regada, se puede justificar por un mejor aprovechamiento del agua al cambiar el método tradicional de riego a pie por el de aspersión, así como en el cambio experimentado en el tipo de cultivos que han evolucionado a otros con menores necesidades de agua.

La explotación total de la cuenca se distribuye así -

por municipios:

Fuente de Piedra.....	1,3 Hm <sup>3</sup>
Mollina.....	1,0 Hm <sup>3</sup>
Humilladero.....	0,7 Hm <sup>3</sup>

De estos 3 Hm<sup>3</sup>, la mayor parte (2,4) se destinan a uso agrícola y el resto (0,6) para abastecimiento de los núcleos urbanos.

La demanda industrial es mínima ya que en la cuenca sólo hay dos alazaras, una orujera y una industria de aderezo de aceitunas, abasteciéndose dos de ellas de la red municipal por lo que la demanda industrial queda incluida en las cifras de abastecimiento.

La demanda urbana prácticamente permanece invariable a lo largo del año debido a que el censo de población de los tres municipios ubicados en la cuenca apenas varía a lo largo del mismo.

La distribución de la demanda agrícola varía en función de la pluviometría de cada año. En un año seco como ha sido 1983 fue necesario darle a los cereales entre 1 y 3 riegos y a los cultivos de verano (girasoles) hasta 5 riegos, siendo los meses de máxima explotación los comprendidos entre marzo y septiembre. En un año de pluviometría media no es necesario regar los cereales o a lo sumo se le da un riego en el mes de abril o mayo, siendo junio, julio y agosto los meses de mayor demanda de agua.

En el plano 15 se han situado los puntos en que se realizan explotaciones, cuantificando éstas en Dm<sup>3</sup>/año, con objeto de reflejar de modo gráfico la concentración que exis

te de las mismas. Se puede observar que la mayor parte de -  
las extracciones se hallan concentradas en una superficie de  
unos 28 Km<sup>2</sup> situada al NE de la laguna y que comprende los -  
parajes de La Albina, los Llanos de Málaga y La Coneja.

#### 7.4.- SUPERFICIE EN REGADIO. EVOLUCION

Según nuestras encuestas, en el año 1974 se regaban en la cuenca 985,33 Ha y en el año 1983 1.047,08 Ha.

Según los datos recopilados en el "Plan Hidrológico", referidos al año 1979, la explotación fue de 3,29 Hm<sup>3</sup> con una extensión cultivada por regadío de 1420 Ha. Esta última cifra, superior a la obtenida en los inventarios y encuestas realizadas en los años 1974 y 1983, se supone que ha sido obtenida teniendo en cuenta cifras de superficies regadas en la totalidad de cada municipio de los que forman parte de la cuenca.

Las cifras obtenidas de las encuestas que realizan las Cámaras Agrarias locales, teniendo en cuenta que incluyen la totalidad de la superficie regada en cada municipio, se recoge en el cuadro 35.

Cuadro n° 35

HECTAREAS REGADAS POR MUNICIPIO				
AÑO	FUENTE DE PIEDRA	HUMILLADERO	MOLLINA	TOTAL
1.970	785	421	245	1.451
1.971	785	468	237	1.490
1.972	785	409	237	1.431
1.973	785	409	286	1.480
1.974	785	506	286	1.577
1.975	785	409	286	1.480
1.976	785	409	286	1.480
1.977	785	409	286	1.480
1.978	786	409	286	1.481
1.979	785	524	582	1.891
1.980	785	592	545	1.922
1.981	785	570	527	1.882
1.982	785	478	367	1.630

SUPERFICIE DE REGADIO POR MUNICIPIOS

(Fuente: Cámaras Agrarias)



A lo largo de los últimos nueve años la superficie regada en la cuenca ha experimentado un incremento del 5% aunque la naturaleza de los cultivos ha cambiado substancialmente pasando a otros que precisan una menor dotación de agua o que incluso pueden prescindir de ella aunque el rendimiento de la cosecha disminuya (ver cuadro 36).

En concreto los cereales de regadío han pasado de 218,75 Ha. en 1974 a 562,48 Ha. en 1983. El cultivo del girasol ha aumentado ligeramente dado que se adapta también a terrenos de secano. El cultivo del maíz y el sorgo han descendido notablemente de 173,61 Ha. a 38,33 Ha., al igual que el cultivo de la alfalfa que ha pasado de 93,85 Ha. a 12,69 Ha. y los cultivos de huerta (patatas, nabos y hortalizas) de 114,47 Ha. en 1974 han pasado a 26,43 Ha. en 1.983.

Las dotaciones de riego medias calculadas a partir de las cifras de explotación y superficies regadas obtenidas en nuestras encuestas eran de unos 7100 m<sup>3</sup>/ha en 1974 habiendo pasado a 2865 m<sup>3</sup>/ha en 1983.

Cuadro n° 36

H E C T A R E A S    R E G A D A S						
AÑO	Cereales	Girasol	Maíz y Sorgo	Alfalfa	Huerta	Total
1.974	218,75	384,65	173,61	93,85	114,47	985,33
1.983	562,48	407,15	38,33	12,69	26,43	1047,08

EVOLUCION DE LA SUPERFICIE REGADA  
EN LA CUENCA DE FUENTE DE PIEDRA ENTRE 1.974 y 1.983

8.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

### 8.1.- INTRODUCCION

Con el fin de determinar las características hidráulicas de los acuíferos incluidos en la zona se han llevado a cabo cinco pruebas de bombeo sobre otras tantas captaciones situadas en el acuífero Mioceno de Fuente de Piedra.

La selección de los puntos se ha condicionado a una distribución espacial homogénea con objeto de conocer, si quiera sea de modo aproximado, las variaciones espaciales de transmisividad que posteriormente serán utilizadas en la determinación del flujo subterráneo en los distintos sectores del acuífero.

No se han realizado dentro del marco concreto de este estudio bombeos de ensayo sobre los acuíferos jurásicos puesto que de ellos se disponía de datos anteriores que permiten conocer con aproximación las características hidráulicas ge-

nerales (bombeos de ensayo en el sondeo de abastecimiento a Humilladero y en un sondeo del cortijo de Santillán). Se incluye sin embargo el resumen de dichos ensayos.

Los bombeos realizados en sondeos situados sobre el Mioceno se han llevado a cabo entre los meses de julio a diciembre de 1983. Por tratarse de captaciones particulares ha sido preciso en algún caso adaptarse a los periodos de bombeo durante la época de riego.

En la figura 16 se indica la localización y números de identificación de las captaciones en las que se han realizado los ensayos incluidos en este informe.

LOCALIZACION  
DE LAS CAPTACIONES  
EN QUE SE HAN REALIZADO  
BOMBEO DE ENSAYO

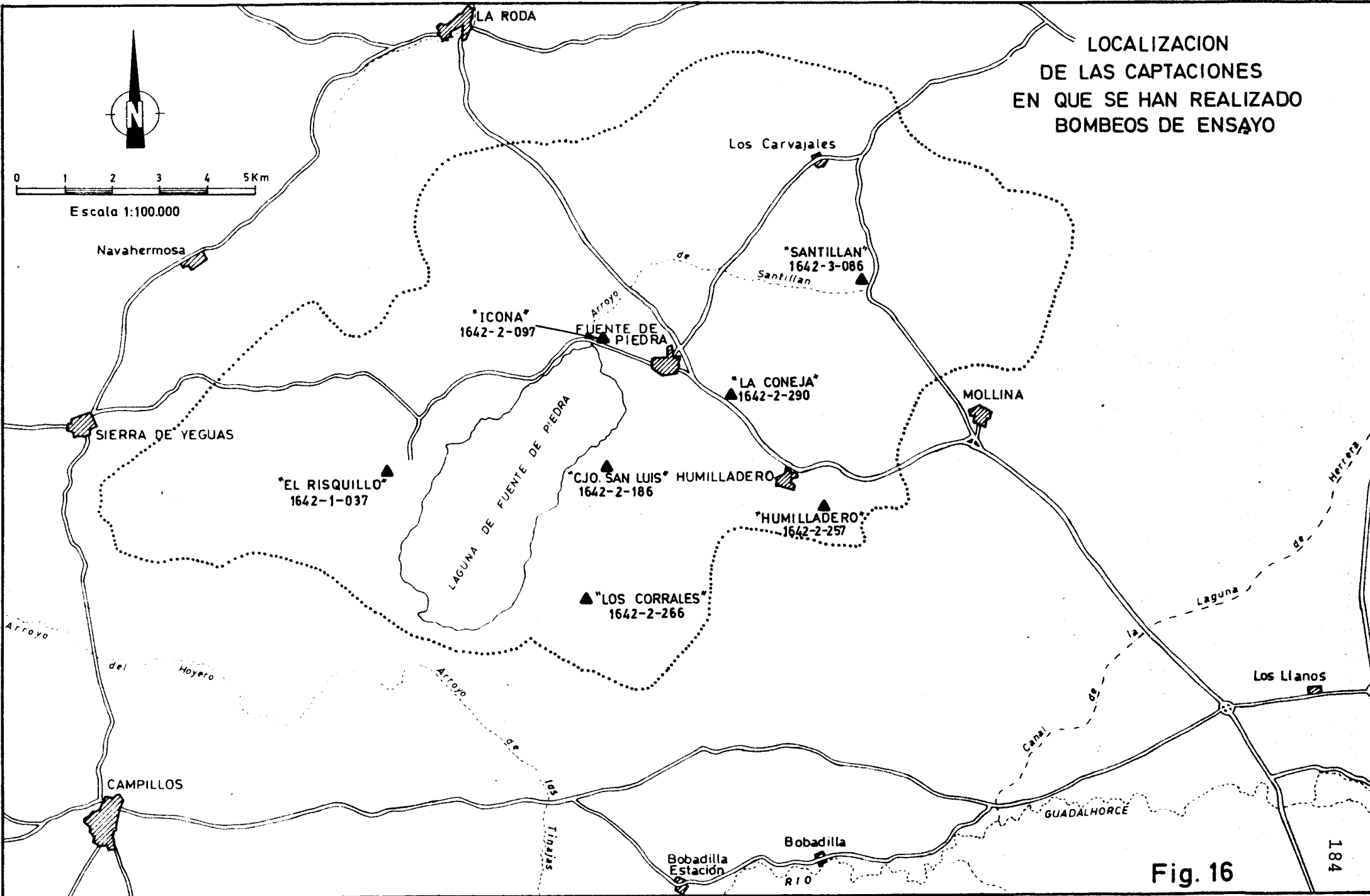


Fig. 16

## 8.2.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO "LA CONEJA" (1642-2-290)

### 8.2.1.- DATOS GENERALES

El día 30 de junio de 1983 se realizó un bombeo de ensayo en el paraje denominado La Coneja, sobre el sondeo número 1642-2-290, (número de campo 275 de Fuente de Piedra).

Como piezómetro se utilizó el pozo número 1642-2-147, (número de campo, el 25 de Fuente de Piedra). La distancia - entre ambos es de 190 metros.

El acuífero captado por ambos puntos lo constituyen - las calcarenitas del Mioceno.

La duración del bombeo fue de 320 minutos, alcanzándo se una depresión total de 24,67 metros en el pozo de bombeo. La depresión en el piezómetro, sólo se observó hasta el minuto

to 190, alcanzando un valor de 0,087 metros.

El horario de arranque y parada, así como el caudal de bombeo hubo de adaptarse a las necesidades del riego, impuestas por el propietario de la finca. El caudal de bombeo se estima en unos 23,5 l/s, teniendo en cuenta que la instalación está conectada directamente a 47 aspersores con un caudal de 0,5 l/s cada uno.

Hay que señalar que existen tres pozos bombeando en las inmediaciones que casi con seguridad han debido afectar a las depresiones medidas tanto durante el descenso como durante la recuperación.

El piezómetro comienza a recuperar su nivel a partir del minuto 190 de la prueba, a pesar de que se continua bombeando en el pozo, lo que pone de manifiesto una respuesta a la interrupción de otro bombeo cercano.

#### 8.2.2.- CARACTERISTICAS DE LAS CAPTACIONES

El pozo de bombeo tiene una profundidad total de 99 metros y un diámetro de perforación de 400 mm; se halla revestido con tubería de hierro de 350 mm. de diámetro y ranurada con soplete. Los materiales atravesados fueron 99 metros de arcillas y arenas.

El piezómetro tiene una profundidad total de 35 metros de los cuales 25 son de pozo de 2 metros de diámetro y los 10 restantes de sondeo; no tiene ningún tipo de revestimiento y los materiales atravesados fueron en su totalidad calcarenitas del Mioceno.

El sondeo está equipado con una bomba vertical de



90 c.v. de potencia, cuya rejilla está colocada a 75 metros de profundidad, dicha bomba está accionada por un motor de gas-oil.

### 8.2.3.- COMENTARIOS E INTERPRETACION DEL DESCENSO

Para la interpretación de las medidas se utiliza el método de Jacob - Cooper.

Las medidas durante el descenso presentan una falta de alineamiento en los primeros momentos hasta el minuto 7 de bombeo. Desde el minuto 7 al 32 los puntos se alinean perfectamente según una recta que permite determinar una transmisividad de  $3,36 \text{ m}^2/\text{hora}$ .

Desde el minuto 32 al 90 existe una zona de transición, dividida en dos tramos: el primero desde el minuto 32 al 60 en el cual la pendiente de la recta disminuye con relación al primer tramo; en el segundo tramo, comprendido entre el minuto 60 y el 90, de nuevo se incrementa la pendiente (tal vez debido a variación del caudal de bombeo o comienzo de un bombeo próximo).

Por último vuelve a producirse una perfecta alineación de los puntos así como una disminución de la pendiente, entre los minutos 90 al 320. La transmisividad calculada es de  $12,9 \text{ m}^2/\text{hora}$ .

En el piezómetro (cuyas medidas se interpretan por el mismo método de Jacob-Cooper) comienza a apreciarse afección a partir del minuto 24. El gráfico de descenso ofrece un primer tramo desde el minuto 24 al 110 cuyos puntos se alinean en una recta de la que se deducen los parámetros siguientes:

$$\begin{aligned}t_o &= 24 \text{ minutos} \\T &= 234,57 \text{ m}^2/\text{hora} \\S &= 6 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

A partir del minuto 110 y hasta el 190 se produce una nueva alineación de los puntos con un aumento de la pendiente, posiblemente como reajuste a un nuevo bombeo próximo. Los parámetros hidráulicos deducidos en este caso son:

$$\begin{aligned}t_o &= 70 \text{ minutos} \\T &= 77,79 \text{ m}^2/\text{hora} \\S &= 6 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

Desde el minuto 190 hasta el 320 en que finaliza el bombeo, el gráfico de descenso experimenta una progresiva disminución de las depresiones, sin haber parado de bombear en el pozo de bombeo. Se atribuye a la interrupción de otro bombeo próximo.

#### 8.2.4.- INTERPRETACION DE LA RECUPERACION

En el gráfico correspondiente al pozo de bombeo puede verse que se produce un buen alineamiento de los puntos entre los tiempos  $\left[ (t_b/t') + 1 \right]$  107,7 y 36,6. A partir de este momento se produce un incremento de la depresión residual, (posible respuesta a un bombeo próximo) y los puntos se alinean de nuevo en una recta entre los valores de  $\left[ (t_b/t') + 1 \right]$  de 36,6 y 9; su pendiente es casi similar a la primera. Los valores de transmisividad deducidos son de 2,15 y 2,08 m<sup>2</sup>/hora respectivamente.

A partir del valor 9 (equivalente a un tiempo de 40 minutos desde la parada) y después de producirse un brusco de pendiente, tiene lugar el último alineamiento de

los puntos del gráfico, observándose un leve incremento en la depresión residual, que se interpreta como debido al inicio de un bombeo en las proximidades.

En el piezómetro las medidas de la recuperación son absolutamente anómalas hallándose muy influenciado por los bombeos cercanos.

#### 8.2.5.- CONCLUSIONES

Los valores de transmisividad obtenidos en el pozo de bombeo oscilan entre 3,3 y 13 m<sup>2</sup>/hora durante el descenso y en la recuperación son del orden de 2,1 m<sup>2</sup>/hora.

Las transmisividades obtenidas durante el descenso y recuperación en el piezómetro presentan valores que oscilan entre los 77 y los 234 m<sup>2</sup>/hora, que se consideran demasiado altos y no representativos del acuífero, teniendo en cuenta la influencia más que probable de otros bombeos cercanos y simultáneos a la prueba.

El coeficiente de almacenamiento, calculado en las medidas del descenso y también deducido en estas condiciones es de  $6 \times 10^{-3}$ , valor que también debe considerarse con reservas por los motivos aludidos.

BOMBEO DE ENSAYO EN "LA CONEJA"  
DESCENSO EN EL PUNTO DE BOMBEO  
(SONDEO n° 1642-2-290)

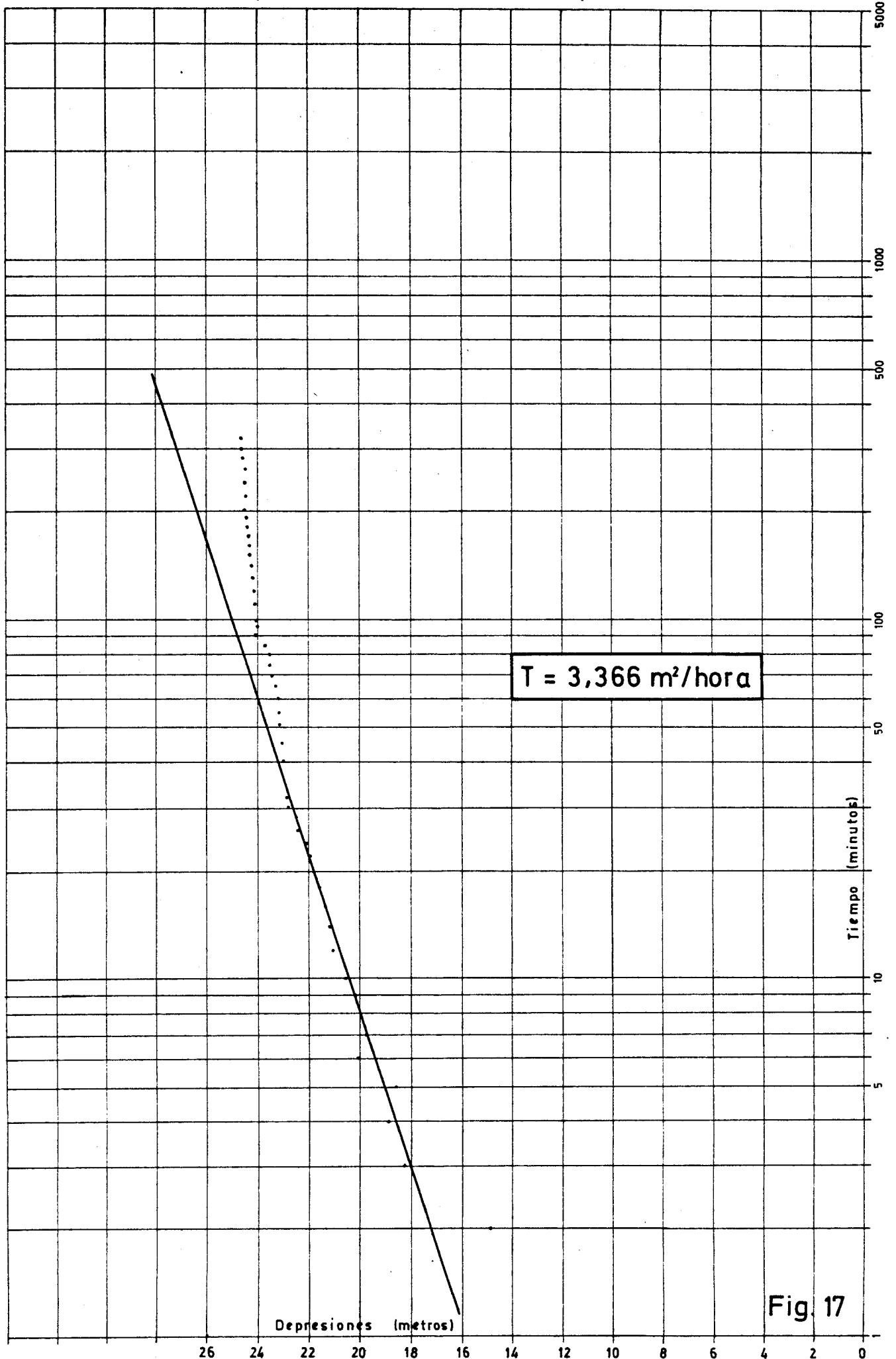


Fig. 17

BOMBEO DE ENSAYO EN "LA CONEJA"  
 DESCENSO EN EL PIEZOMETRO  
 (POZO n° 1642-2-147)

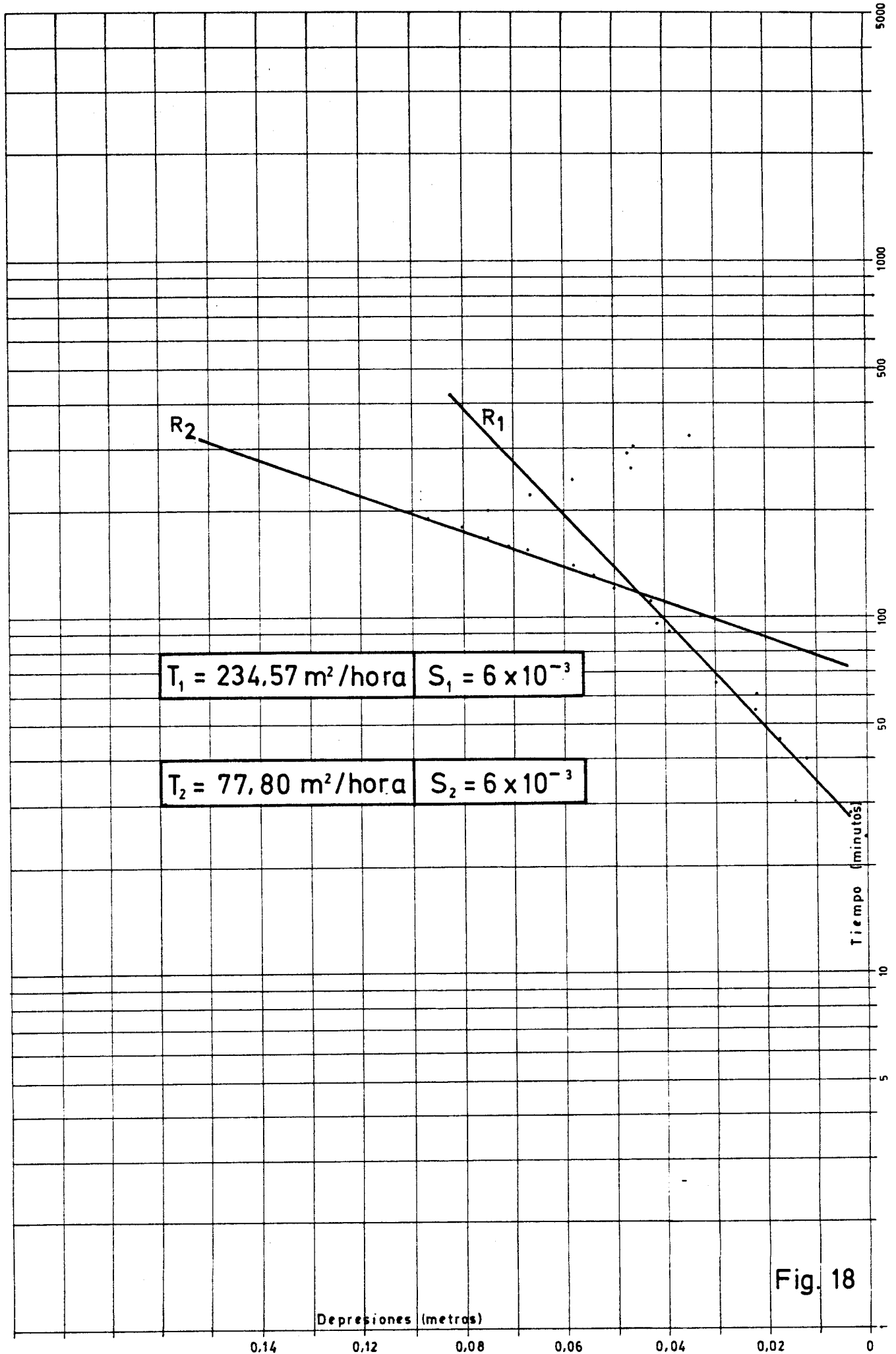


Fig. 18

BOMBEO DE ENSAYO EN "LA CONEJA"  
RECUPERACION EN EL PUNTO DE BOMBEO  
(SONDEO n° 1642-2-290)

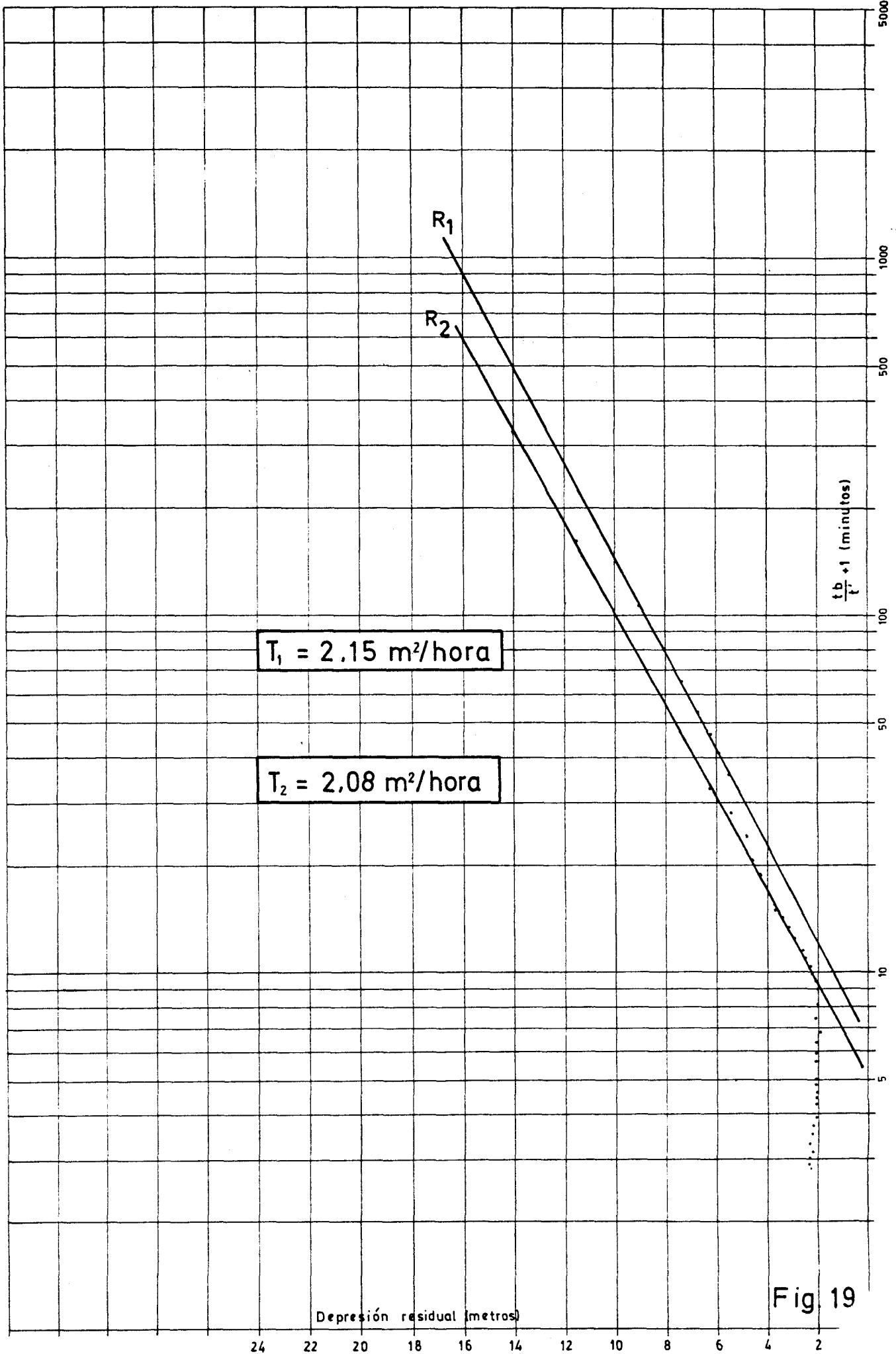


Fig 19

8.3.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "CORTIJO DE SAN LUIS"  
(1642-2-186)

8.3.1.- DATOS GENERALES

El día 4 de julio de 1983, se realizó un ensayo, en el pozo número 1642-2-186, aprovechando el bombeo que se realiza en esta época, para el riego de la finca en que se encuentra enclavado.

Junto al pozo de bombeo existe otro a una distancia de 12,2 metros, que está comunicado con el primero mediante una galería, que fue utilizado como piezómetro en el ensayo.

Se realiza una prueba de 305 minutos (se inicia a las 10 horas 47 minutos y finaliza por paro automático a las 15 horas 52 minutos), duración que viene impuesta por las necesidades del propietario del pozo. La depresión total alcanza

da fue de 0,375 metros. El caudal de bombeo fue de unos 13 l/s, calculados teniendo en cuenta que abastece a una instalación de riego por aspersión, con 22 aspersores y un caudal de 0,6 l/s por cada aspersor aproximadamente, lo que totaliza 13,2 l/s. Este caudal permaneció constante a lo largo del ensayo.

Antes de que se llevara a cabo el bombeo definitivo se producen dos intentos previos que hubieron de interrumpirse por que la bomba no estaba cebada. El primer intento de iniciar el bombeo se produce a las 10 horas y 14 minutos, duró 8 minutos al cabo de los cuales el nivel había descendido unos 5 centímetros. El segundo intento tiene lugar a las 10 horas y 34 minutos faltando por recuperar aún 2 centímetros del nivel inicial; duró tres minutos y se produjo un descenso de otros dos centímetros adicionales a los primeros; finalmente se consigue cebar la bomba e iniciar el bombeo definitivo a las 10 horas 47 minutos.

### 8.3.2.- CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION

Se trata de un pozo, de 3,5 metros de diámetro, revestido de ladrillo hasta el fondo, con una profundidad de 6,67 metros; dispone además de 2 galerías de 12 metros de longitud, que conectan con dos pozos, revestidos también con el ladrillo.

Los materiales atravesados al excavar el pozo fueron arcillas y margas arenosas del Mioceno en su totalidad.

El espesor del acuífero captado en los días del ensayo es de solo un metro debido al descenso generalizado de niveles que sufre la zona en época de intensa explotación y recarga nula. En condiciones no influenciadas por estos factores el nivel se encuentra 1,3 metros más alto que en el momento de la prueba.



La potencia del acuífero en esta zona, según datos de dos sondeos próximos es de unos 30 metros, a partir de los cuales se alcanza el substrato impermeable, posiblemente Triásico.

El pozo está equipado con un motor eléctrico marca SIEMENS y una bomba centrífuga horizontal marca BRUGG de 30 CV de potencia, 2900 rpm y con capacidad para extraer un caudal de 30,3 l/s; la tubería de aspiración es de 125 mm de diámetro y 6 metros de longitud y la tubería de impulsión de 100 mm de diámetro y una longitud aproximada de 250 metros. A dicha tubería están conectados 22 aspersores.

### 8.3.3.- INTERPRETACION DEL DESCENSO

El método utilizado para la interpretación del ensayo fue el de Jacob-Cooper.

El gráfico de descenso muestra una buena alineación de los puntos desde el minuto 32 del comienzo del bombeo, hasta el final del mismo, (minuto 305). La transmisividad encontrada por este método es de 35,93 m<sup>2</sup>/hora.

En el piezómetro, distante 12,2 metros y conectado directamente con el pozo de bombeo mediante una galería, también se observa un alineamiento de los puntos, desde el minuto 40 hasta el 140. A partir de este minuto hasta el final del bombeo (minuto 305) se produce un mal ajuste o más bien un cambio brusco de pendiente. El corto periodo de observación realizado no permite aventurar una interpretación de este fenómeno.

La transmisividad obtenida de las medidas del piezómetro es similar a la obtenida en el pozo de bombeo pues su valor es de  $T = 36,85 \text{ m}^2/\text{hora}$ . El valor del coeficiente de almacenamiento calculado es de  $8,9 \times 10^{-2}$ .

#### 8.3.4.- INTERPRETACION DE LA RECUPERACION

Según el modelo interpretativo de Jacob-Cooper los gráficos correspondientes tanto al pozo de bombeo como al piezómetro, muestran una buena alineación de los puntos a partir de los minutos 20 y 22 respectivamente desde la parada del bombeo. Los valores de transmisividad obtenidos son muy similares en ambos casos y también a los calculados durante el descenso, obteniéndose valores de  $36,2 \text{ m}^2/\text{hora}$  para el pozo de bombeo y de  $34,6 \text{ m}^2/\text{hora}$  en el caso del piezómetro.

A pesar de que no se pudo observar la recuperación total a causa de ser necesario un nuevo ciclo de bombeo, de los gráficos de recuperación, parece mostrar una buena alineación del acuífero hacia la captación, fenómeno que podría estar favorecido por la proximidad de la Sierra de Humilladero.

#### 8.3.5.- CONCLUSIONES

Los valores de transmisividad obtenidos tanto en el pozo de bombeo como en el que fue utilizado de piezómetro y también indistintamente en el descenso y en la recuperación son muy similares oscilando entre  $34,6$  y  $36,8 \text{ m}^2/\text{hora}$ .

La similitud de los valores obtenidos en el pozo y en el piezómetro puede estar condicionada, aparte de por la homogeneidad del acuífero, por el hecho de que el piezómetro no es rigurosamente tal, ya que se halla comunicado con el pozo de bombeo por medio de una galería. En este sentido cabe indicar que el valor del coeficiente de almacenamiento ( $S = 8,9 \times 10^{-2}$ ), extraordinariamente alto, no debe considerarse como representativo por los mismos motivos.

BOMBEO DE ENSAYO EN EL CJO. SAN LUIS  
DESCENSO EN EL POZO DE BOMBEO  
(POZO n° 1642-2-186)

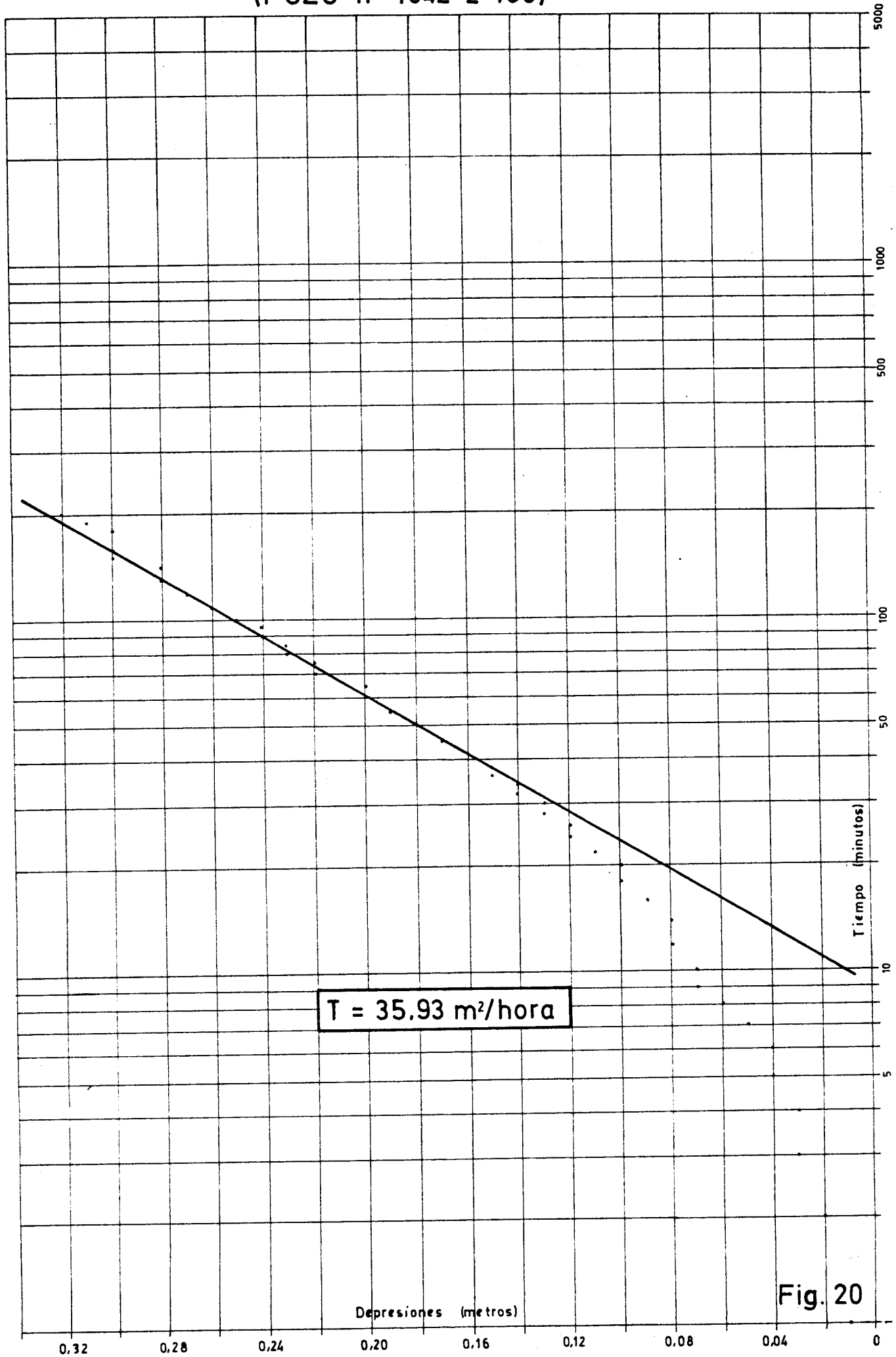


Fig. 20

# BOMBEO DE ENSAYO EN EL CJO. SAN LUIS DESCENSO EN EL PIEZOMETRO

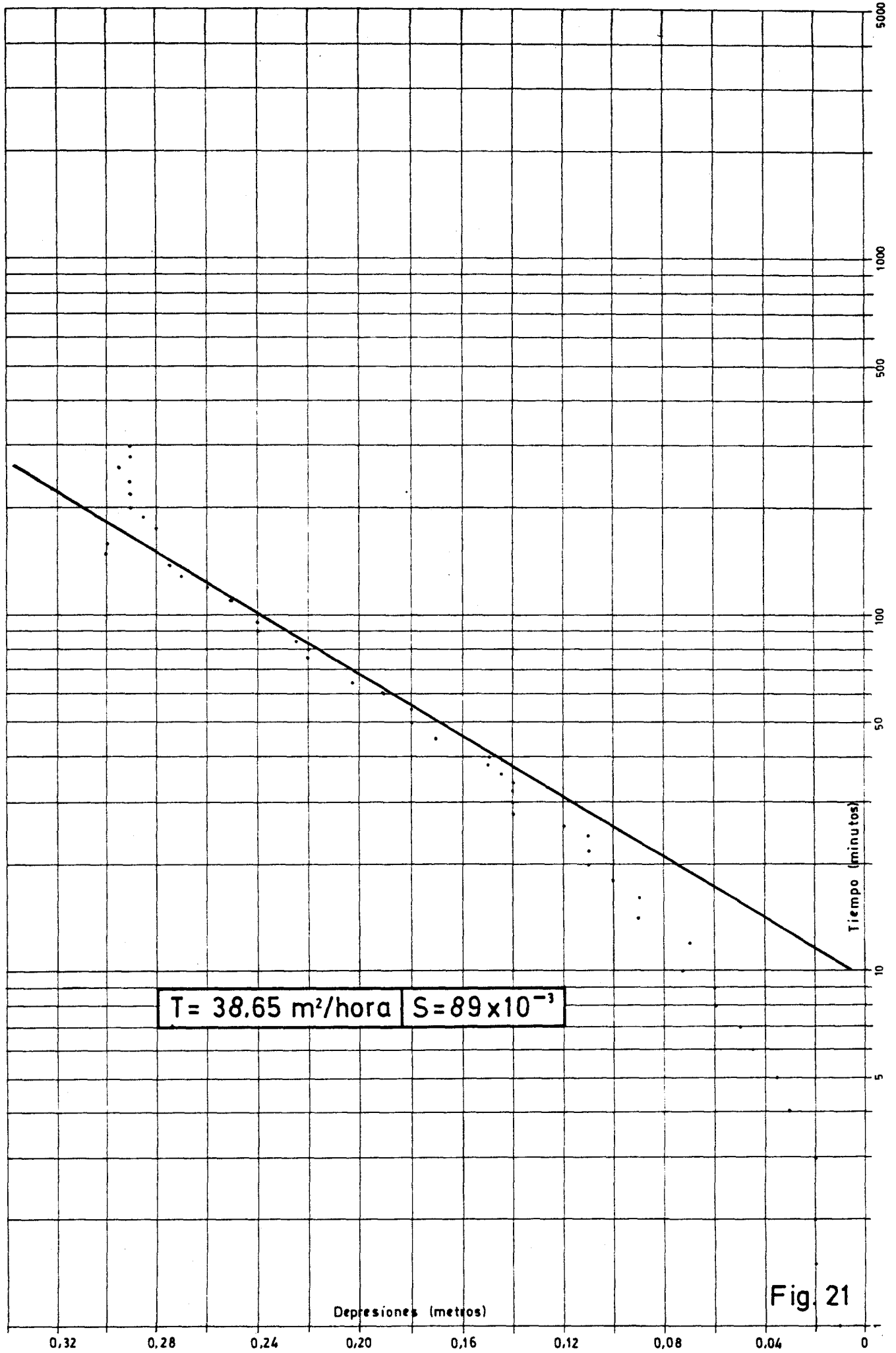


Fig. 21

BOMBEO DE ENSAYO EN EL CJO. SAN LUIS  
RECUPERACION EL POZO DE BOMBEO  
(POZO n° 1642-2-186)

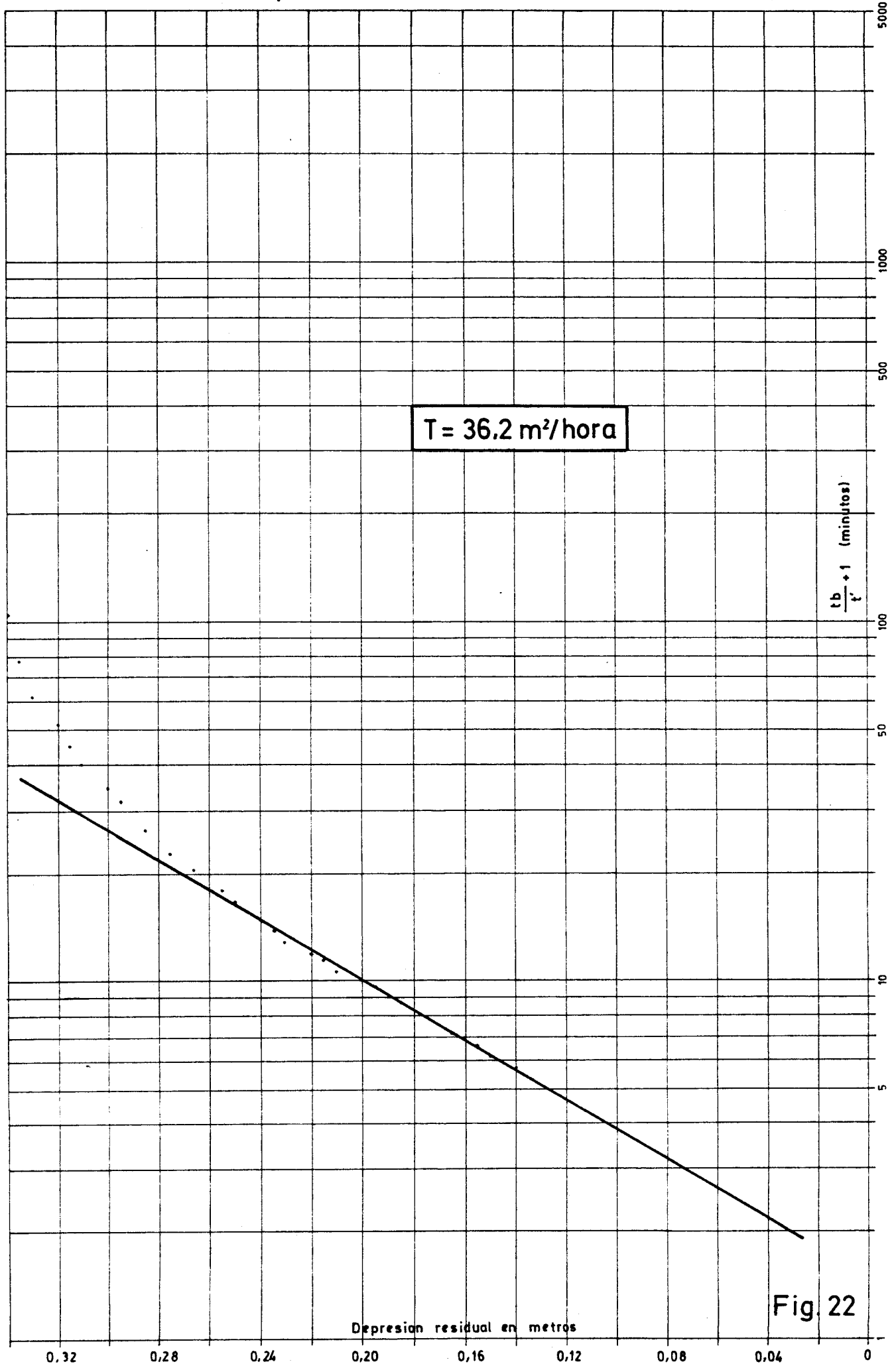


Fig. 22

# BOMBEO DE ENSAYO EN EL CJO. SAN LUIS RECUPERACION EL PIEZOMETRO

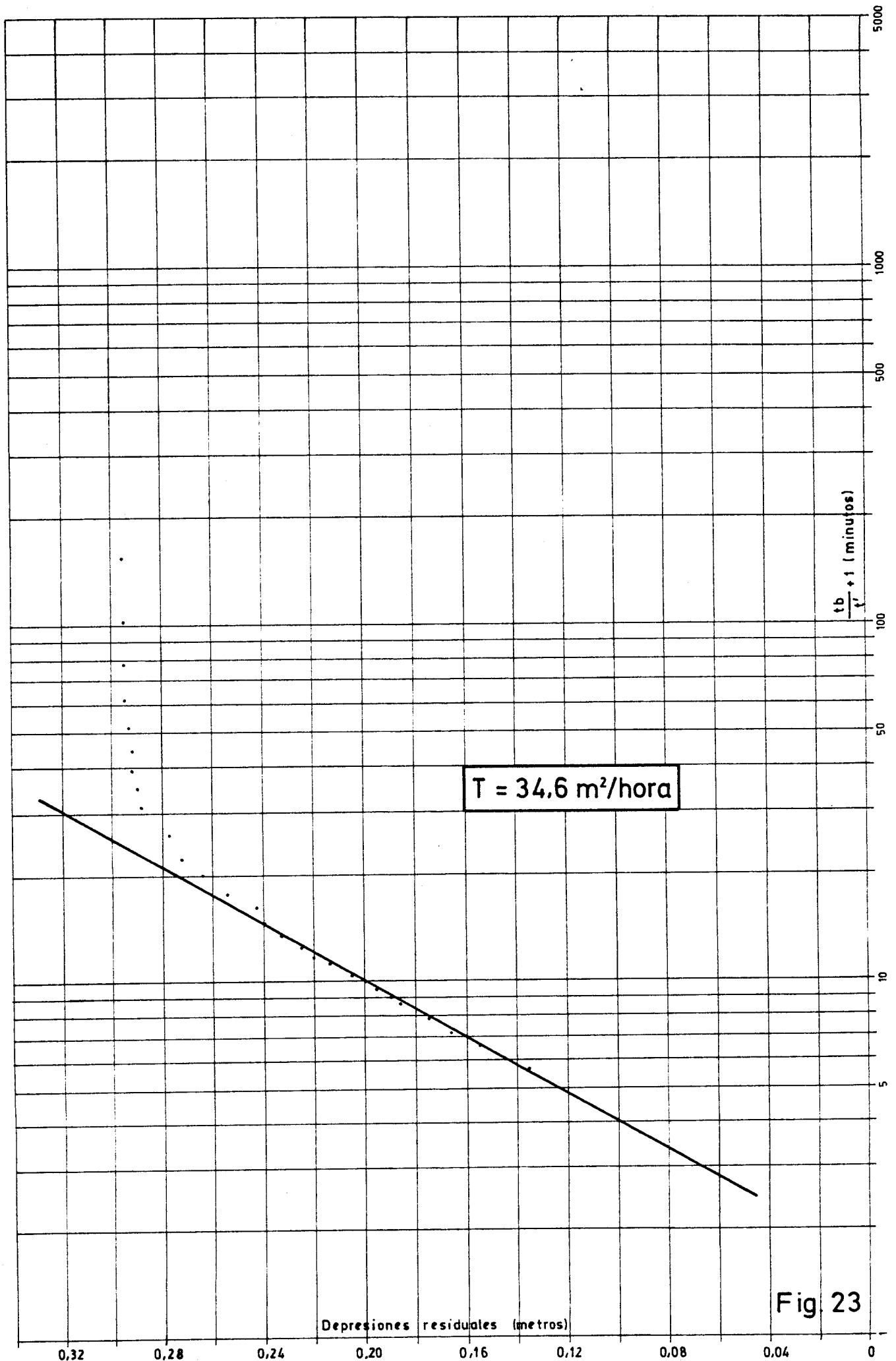


Fig. 23

#### 8.4.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "ICONA" (1642-2-097)

##### 8.4.1.- DATOS GENERALES

Esta prueba de bombeo se realizó en el pozo número - 1642-2-097, propiedad de ICONA que se utiliza ocasionalmente para paliar la falta de agua en la laguna de Fuente de Piedra en épocas de extrema sequía.

El ensayo se llevó a cabo el día 26 de octubre de - 1.983. En esta época del año, no existen extracciones del - acuífero con fines de riego; por otra parte, el periodo precedente se ha caracterizado por una larga ausencia de precipitaciones.

Según los informes recibidos el agua que se extrae - del pozo es salobre desde que fue reprofundizado de 11,56 a 13,6 metros.

El pozo número 1642-2-083, situado a 113 metros de distancia fue utilizado como piezómetro durante la prueba.

El día anterior al día de la prueba se puso en marcha el sondeo para medir el caudal que suministra, operación un tanto ardua ya que el agua es impulsada a la laguna por medio de una conducción de 5.500 metros de longitud que termina en diez desagües cada uno de los cuales suministra un caudal diferente. El aforo volumétrico de dichos desagües permite establecer que el caudal total es de 3,52 l/s.

Según los informes recibidos el pozo suministraba, antes de una reparación del motor recientemente efectuada, entre 18 y 13 l/s. La disminución del caudal puede ser debida a un ajuste diferente del propio motor o a las pérdidas de carga que se producen ahora a lo largo de la conducción hasta la laguna. Otra posibilidad a considerar es que se produzcan fugas no controladas en la conducción subterránea hasta la laguna, aunque esto último no parece muy probable debido a lo reciente de esta instalación.

El ensayo se inició a las 10 horas y 24 minutos del referido día 26 de octubre de 1983 y después de bombear ininterrumpidamente durante 300 minutos, la depresión total provocada en el pozo fue de 0,74 metros y de 0,20 metros en el piezómetro. Se tomaron medidas de recuperación durante 200 minutos después de los cuales existían aún unas depresiones residuales de 0,07 metros en el pozo de bombeo y de 0,01 metros en el piezómetro.

#### 8.4.2.- CARACTERISTICAS DE LAS CAPTACIONES

El pozo de bombeo es un pozo excavado a mano, de dos metros de diámetro y 13,6 metros de profundidad revestido de



ladrillo. Los materiales atravesados fueron: de 0 a 4 metros tierra de labor y de 4 a 13,6 metros, calcarenitas del Mioceno.

El piezómetro es un pozo excavado a mano de 2,3 me - tros de diámetro y 9,77 de profundidad; tiene 4 sondeos horizontales de unos 30 metros de longitud cada uno situados en - el fondo del mismo.

El pozo de bombeo tiene instalada una bomba centrífuga vertical marca IDEAL conectada a un motor de gas-oil de - 20 CV de potencia, el agua es impulsada hasta la laguna por una conducción, enterrada en todo su recorrido, hasta una - balsa construida alrededor del espigón central de la laguna, con 10 bocas de riego de tubería de PVC.

La tubería instalada tiene tres tramos:

- 1250 metros de longitud y 140 mm de diámetro.
- 3419 metros de longitud y 120 mm de diámetro.
- 830 metros de longitud y 50 mm de diámetro.

#### 8,4.3.- INTERPRETACION DEL DESCENSO

El método utilizado es el Jacob-Cooper.

Las medidas de descenso en el pozo de bombeo dan lu - gar a un alineamiento de los puntos entre los minutos 6 y 30 que permite calcular un valor de trasmisividad de 5,49 m<sup>2</sup>/hora; una aparente estabilización del nivel tiene lugar entre los minutos 45 y 55 que se hace más efectiva entre los minu - tos 150 y 300.

En el piezómetro la influencia del bombeo, comienza a

observarse a los 60 minutos; sin embargo desde este momento hasta el minuto 300 muestra una tendencia bien definida, sin llegar a producirse la estabilización del nivel observado en el pozo de bombeo.

La transmisividad calculada con los datos de descenso del piezómetro es de  $79,51 \text{ m}^2/\text{hora}$  y el coeficiente de almacenamiento de  $1,33 \times 10^{-2}$ .

#### 8.4.4.- INTERPRETACION DE LA RECUPERACION

La recuperación observada tanto en el pozo de bombeo como en el piezómetro indican claramente que existe una buena alimentación del acuífero hacia esa zona.

La recuperación del nivel en el pozo de bombeo es buena y las medidas muestran un alineamiento entre los valores de  $[(t_b/t') + 1]$  comprendidos entre 11 y 4,8 que permiten calcular un valor de  $T = 4,91 \text{ m}^2/\text{hora}$  similar al calculado para el descenso.

En el piezómetro al igual que ocurrió al principio del bombeo, la recuperación manifiesta un desfase con respecto al momento de parada. Los efectos de la recuperación no son claros hasta alcanzar el valor de  $[(t_b/t') + 1]$  de 4,5. Entre este valor y 2,5 las medidas representadas en el gráfico permiten deducir una transmisividad de  $67,03 \text{ m}^2/\text{hora}$  ligeramente inferior al calculado en el descenso.

#### 8.4.5.- CONCLUSIONES

Las transmisividades calculadas en el pozo de bombeo tanto en el descenso como en la recuperación del mismo dan valores alrededor de  $5 \text{ m}^2/\text{hora}$ . (entre  $4,91$  y  $5,49 \text{ m}^2/\text{hora}$ ).

Teniendo en cuenta las medidas del piezómetro, las -  
trasmisividades son substancialmente mas altas, oscilando -  
entre 67 y 79,5 m<sup>2</sup>/hora.

Posiblemente el ensayo hubiese sido más eficaz, en lo  
que se refiere al cálculo de parámetros hidraulicos, con un  
caudal de bombeo más elevado que hubiera permitido unas de -  
terminaciones mas precisas.

El coeficiente de almacenamiento determinado de -  
1,33 x 10<sup>-2</sup> está dentro de los límites comunmente admitidos  
como válidos para un acuífero detrítico libre como el aquí -  
presente.

BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO DE 'ICONA'  
DESCENSO EN EL POZO DE BOMBEO  
(POZO n° 1642-2-097)

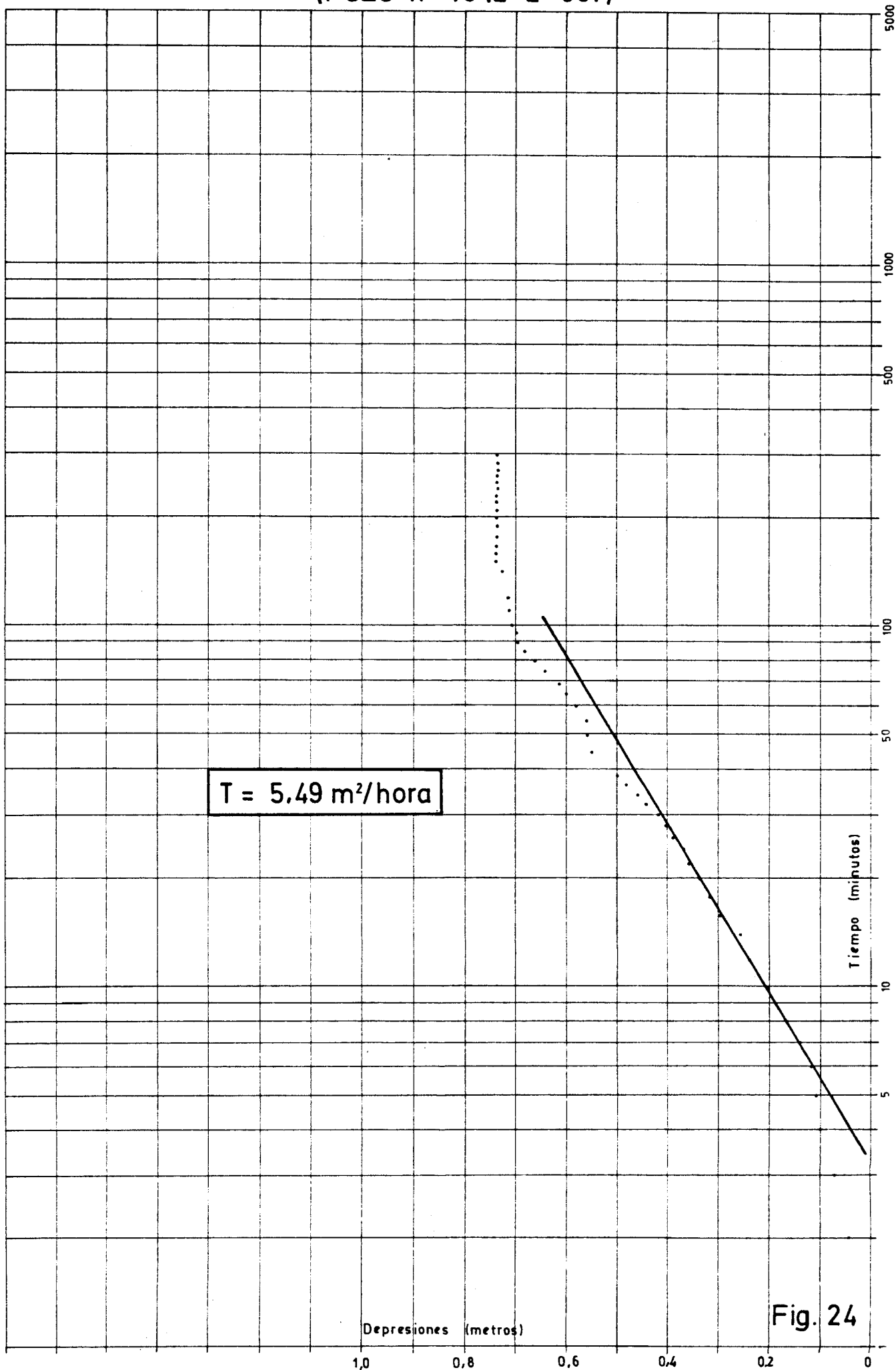


Fig. 24

BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO DE "ICONA"  
DESCENSO EN EL PIEZOMETRO  
(POZO n° 1642-2-083)

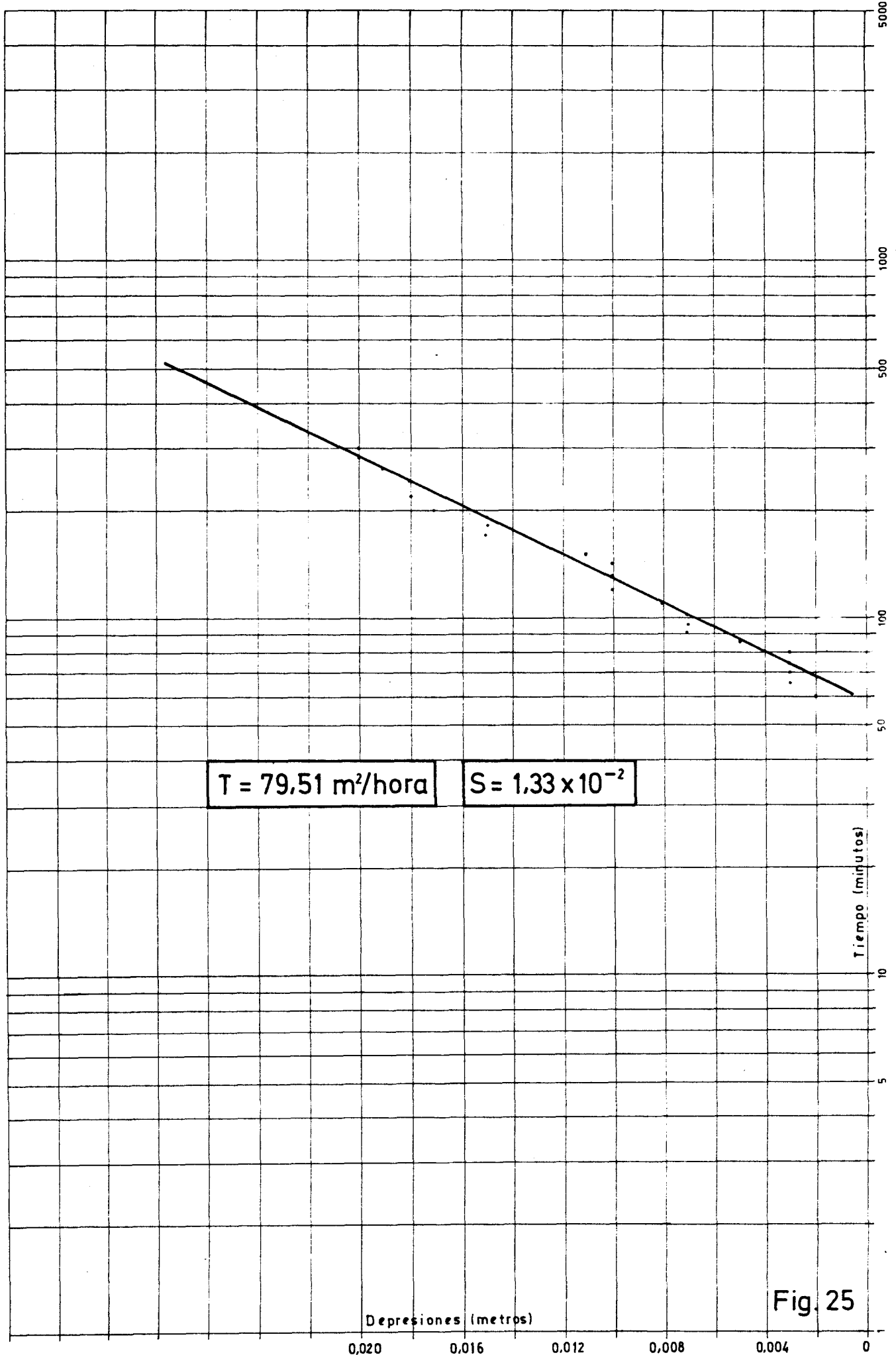


Fig. 25

BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO DE "ICONA"  
RECUPERACION EN EL POZO DE BOMBEO  
(POZO n° 1642-2-097)

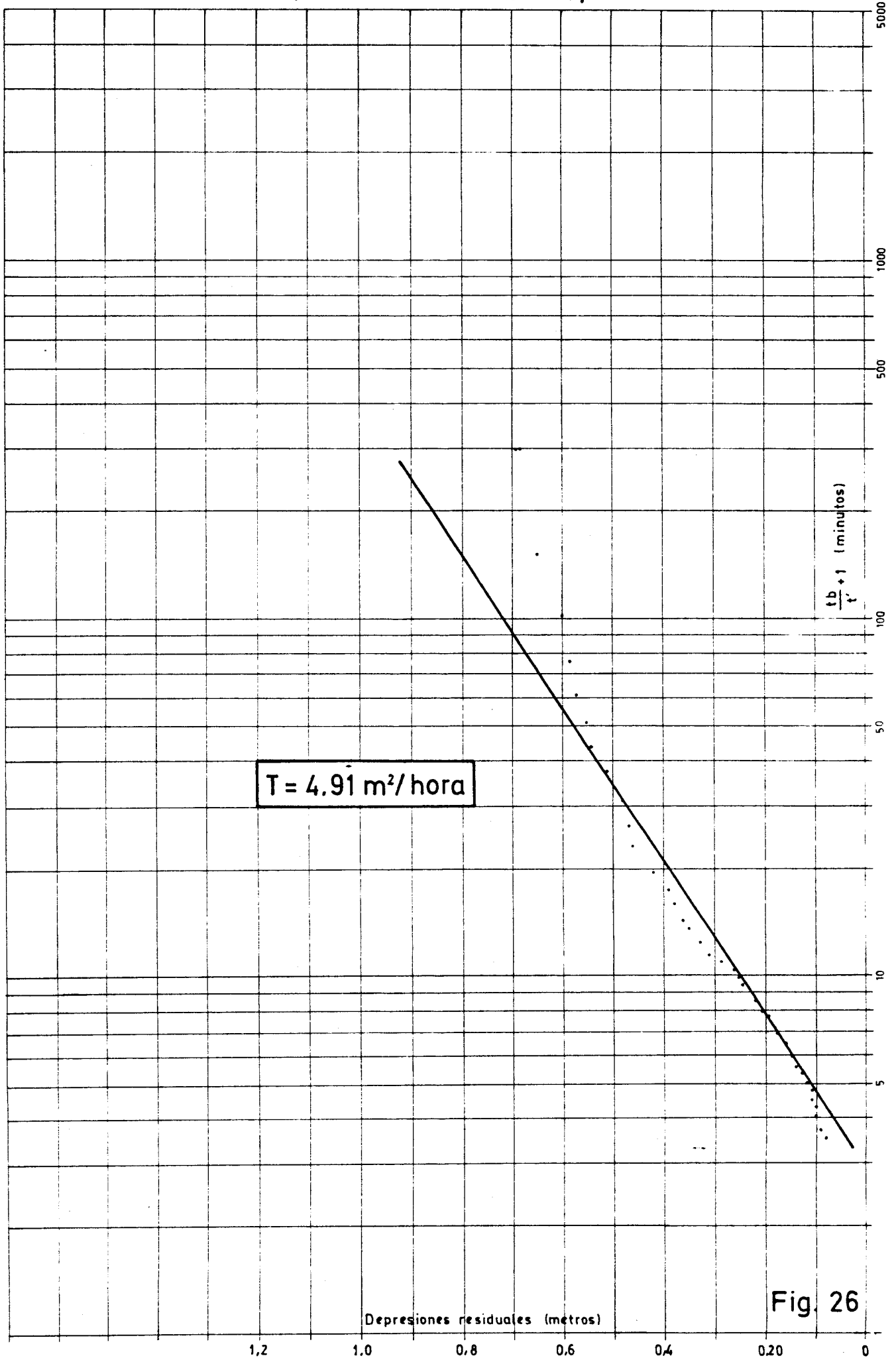


Fig. 26

BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO DE "ICONA"  
RECUPERACION EN EL PIEZOMETRO  
(POZO nº 1642-2-083)

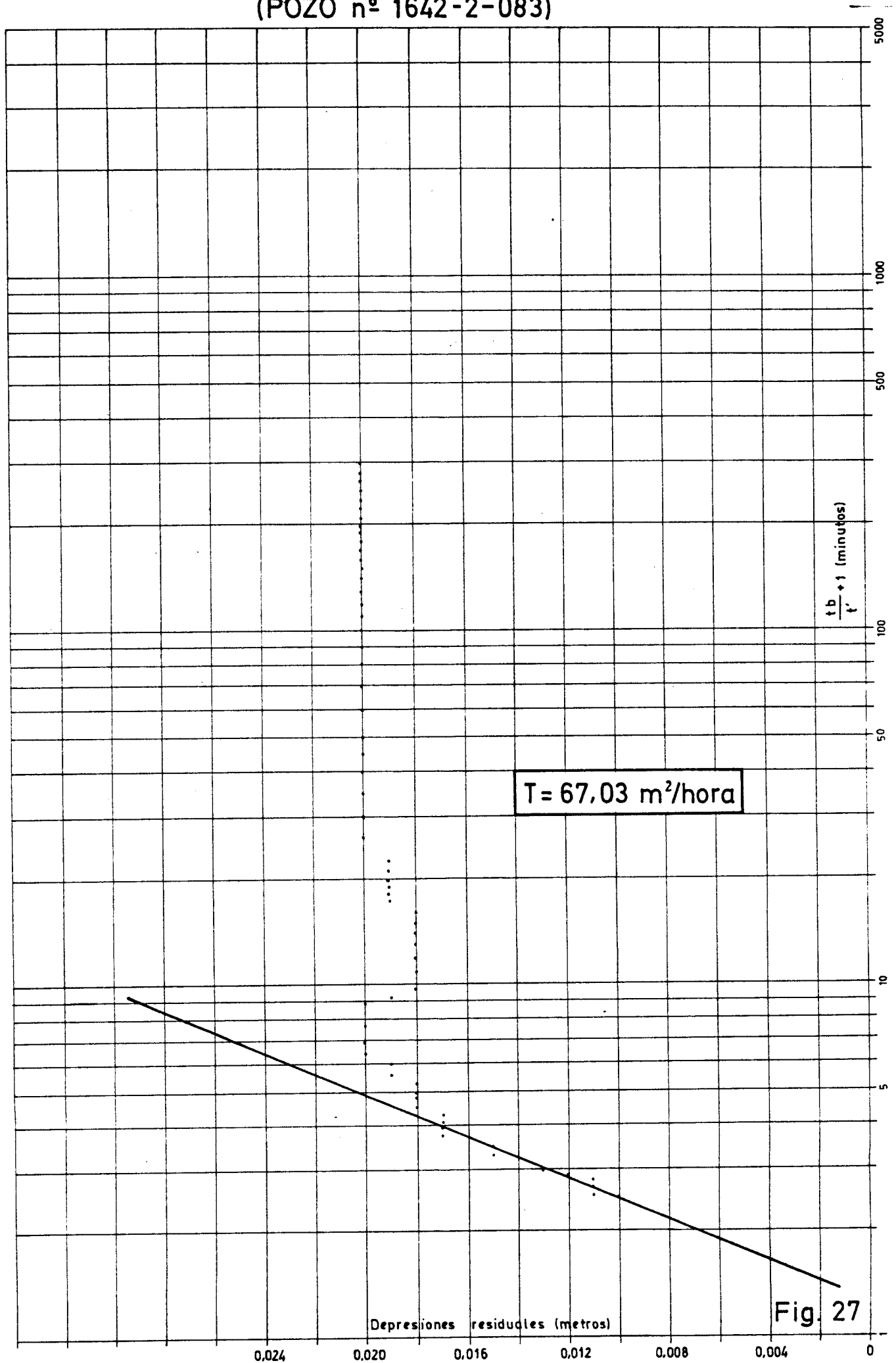


Fig. 27

8.5.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO DEL CORTIJO "EL RISQUILLO"  
(1642-1-037)

8.5.1.- DATOS GENERALES

Los días 2 y 3 de noviembre de 1983 se realizó un bombeo de ensayo en el pozo número 1642-1-037 situado al oeste de la laguna de Fuente de Piedra en el paraje denominado "Cortijo el Risquillo".

En la prueba se utiliza el equipo que tiene instalado el pozo para su explotación habitual.

El ensayo se lleva a cabo unos dos meses después de haber finalizado la campaña de bombeos para riego de la zona y tras una prolongada sequía. Durante la realización de las pruebas tuvieron lugar precipitaciones cuya cuantía se estima en unos 20 mm/día.



El complejo sistema de tuberías que tiene instalada la bomba, la gran distancia entre el punto de vaciado y el pozo y el mal estado de la válvula de regulación hacen casi imposible mantener un caudal de bombeo constante. Por este motivo se ha intentado en tres ocasiones realizar un ensayo a caudal variable, no habiéndolo conseguido tampoco. En las tres ocasiones, solamente una parte de las medidas son utilizables, por lo que se decidió llevar a cabo la interpretación del bombeo basada sólo en las medidas que fueron tomadas durante cada uno de los periodos del bombeo en que se mantuvo constante el caudal. A unos 211 metros de distancia del pozo de bombeo está la captación más próxima que fue controlada durante la prueba no observándose afección alguna en la misma.

El control de las variaciones de caudal se llevó a cabo mediante aforos volumétricos realizados con la ayuda de un depósito metálico de 202 litros de capacidad y un cronómetro digital.

#### 8.5.2.- CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION

Se trata de un pozo excavado a mano con 2 metros de diámetro interior y 13,87 metros de profundidad total. No está revestido interiormente salvo en la emboquilladura (1,5 m) parte de la cual constituye el brocal de ladrillo. Los materiales atravesados son calcarenitas del Mioceno.

El pozo está equipado con una bomba centrífuga vertical, marca IDEAL; conectada por transmisión de correas a un motor de gas-oil marca DITER de 55 CV de potencia. La rejilla de la bomba está situada a 12,67 metros de profundidad, desde el brocal.

La tubería de impulsión es de 125 mm de diámetro inte

rior hasta la boca del pozo; a partir de este punto se desconoce la longitud real y diámetro de la misma, puesto que está enterrada; según las explicaciones del propietario de la finca la longitud total de la tubería debe ser próxima a los 1000 metros. El tubo de salida es de 70 mm de diámetro interior y se halla a una distancia del pozo de bombeo de unos 500 metros.

### 8.5.3.- COMENTARIOS E INTERPRETACION DEL BOMBEO

Como se ha indicado, la prueba se desarrolló en tres fases debido a que en cada una de ellas se intentó mantener constante el caudal o al menos controlar sus variaciones para que los datos fueran interpretables, no habiéndolo conseguido en ningún caso. En consecuencia se ha tratado de sacar el mayor partido posible a las medidas efectuadas, utilizando el método de Jacob-Cooper.

#### Primera fase

Se inicia a las 15 horas del día 2 de noviembre de 1983. La duración total de la prueba es de 95 minutos al cabo de los cuales la depresión fue de 3,16 metros, habiendo llegado el nivel a la aspiración de la bomba.

Hasta el minuto 65 de bombeo se mantiene el caudal constante a 18 l/s, pero al llegar a este momento, el nivel alcanza la rejilla y el caudal desciende bruscamente a 8,6 l/s, manteniéndose así hasta los 95 minutos. Sólo son interpretables las medidas de los primeros 65 minutos que permite determinar valores de trasmisividad comprendidos entre 4 y 4,2 m<sup>2</sup>/hora.

### Segunda fase

Se inicia a las 11 horas y 46 minutos del día 3 de noviembre de 1983. En el momento de iniciar la prueba, en el pozo existe una depresión residual del bombeo anterior de 0,052 metros.

Se bombea un total de 220 minutos, al cabo de los cuales la depresión provocada desde el comienzo de la prueba es de 2,58 metros. En los primeros 14 minutos no se pueden controlar las variaciones de nivel puesto que las atenciones del equipo se centran en regular el caudal; con dificultades se consigue fijar este en unos 11 l/s observándose ligeras variaciones en los distintos aforos que se efectúan.

Las variaciones de nivel son controladas hasta el minuto 100 en que se vuelve a modificar el caudal de bombeo; en consecuencia sólo estas medidas son utilizadas para la interpretación obteniéndose valores de transmisividad comprendidas entre 2,6 y 4,1 m<sup>2</sup>/hora.

### Tercera fase

Se inicia a las 15 horas y 2 minutos del mismo día, es decir 57 minutos después de haber interrumpido la fase anterior. En el momento de comenzar la prueba existe una depresión residual de 0,94 metros respecto al nivel medido al iniciar la segunda fase.

A pesar de haber dejado regulada la válvula para extraer un caudal de unos 6 l/s, el caudal real es de 12 l/s. A los 55 minutos de bombeo se intenta reducir y mantener el caudal a 6,5 l/s lo que no se consigue, pues en la próxima medida (a los 100 minutos) ya ha descendido a 4,9 l/s.

En vista de que después de este tercer intento es imposible mantener un caudal constante o medir las variaciones que se producen y puesto que estas son frecuentes e incontroles, se decide dar por finalizado el ensayo.

La representación en un gráfico de las medidas de los primeros 55 minutos de bombeo permite obtener una alineación de los puntos peor que en las fases anteriores por lo que los valores de transmisividad obtenidos (entre 6,6 y 14,8  $m^2$ /hora) deben considerarse menos representativas que las calculadas en aquellas.

#### 8.5.4.- CONCLUSIONES

Debido al complicado sistema de tuberías de que está dotado el pozo, a la gran distancia del pozo a la que se produce el vaciado del agua bombeada y al mal estado de la válvula de regulación, los resultados de esta prueba no pueden considerarse como buenos.

Con estas limitaciones se han determinado valores de transmisividad entre 2,6 y 4,2  $m^2$ /hora que pueden considerarse representativos del acuífero.

La depresión residual observada 19 horas después de haber interrumpido la primera fase de la prueba y habiendo extraído en ella sólo un volumen de agua de 100  $m^3$ , indica que el acuífero en esta zona presenta una dificultad importante a la transmisión de influencias.

# BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "EL RISQUILLO"

## DESCENSO EN EL POZO DE BOMBEO

215

(POZO n° 1642-1-037)

(1ª Fase)

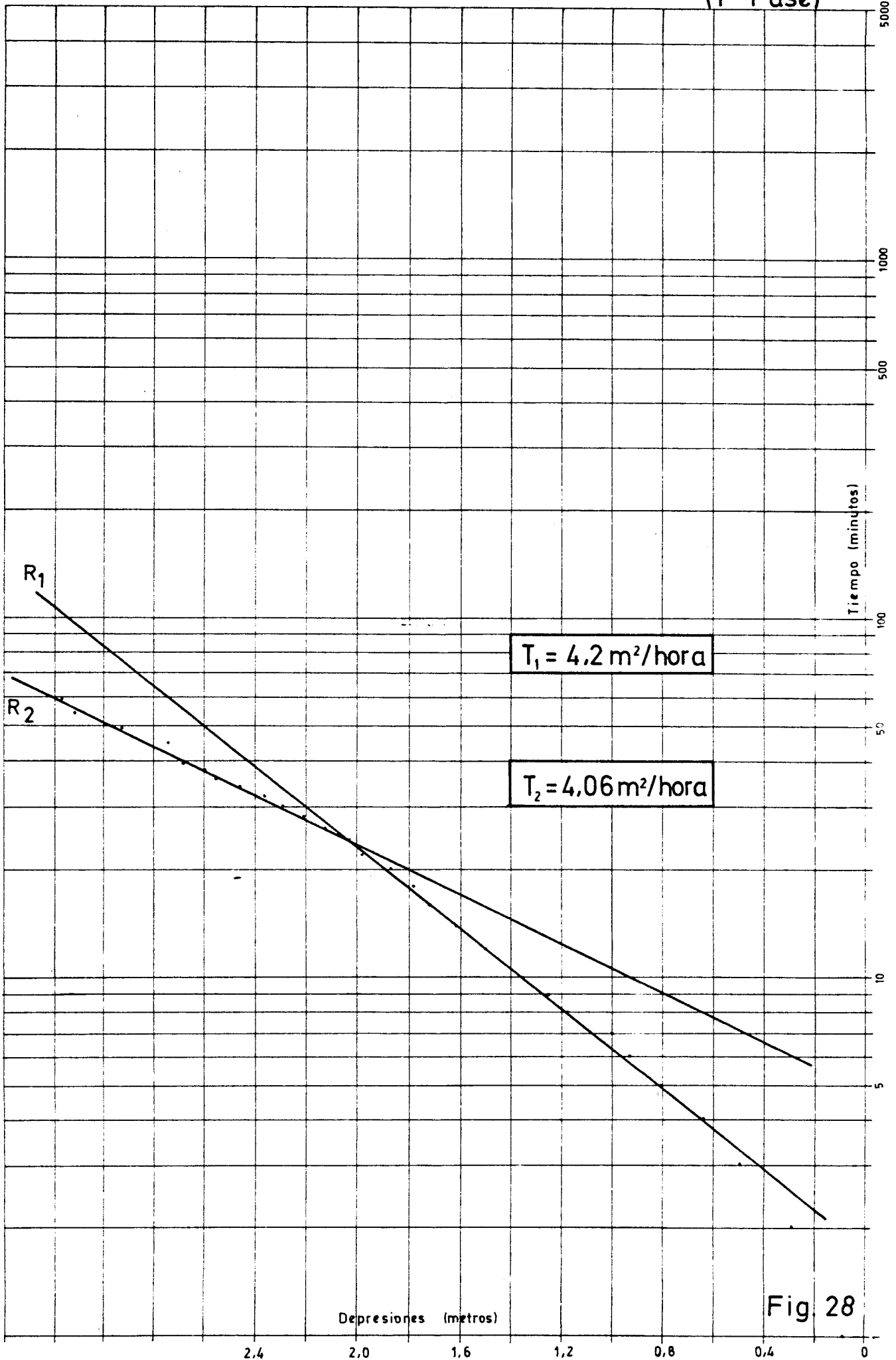


Fig 28

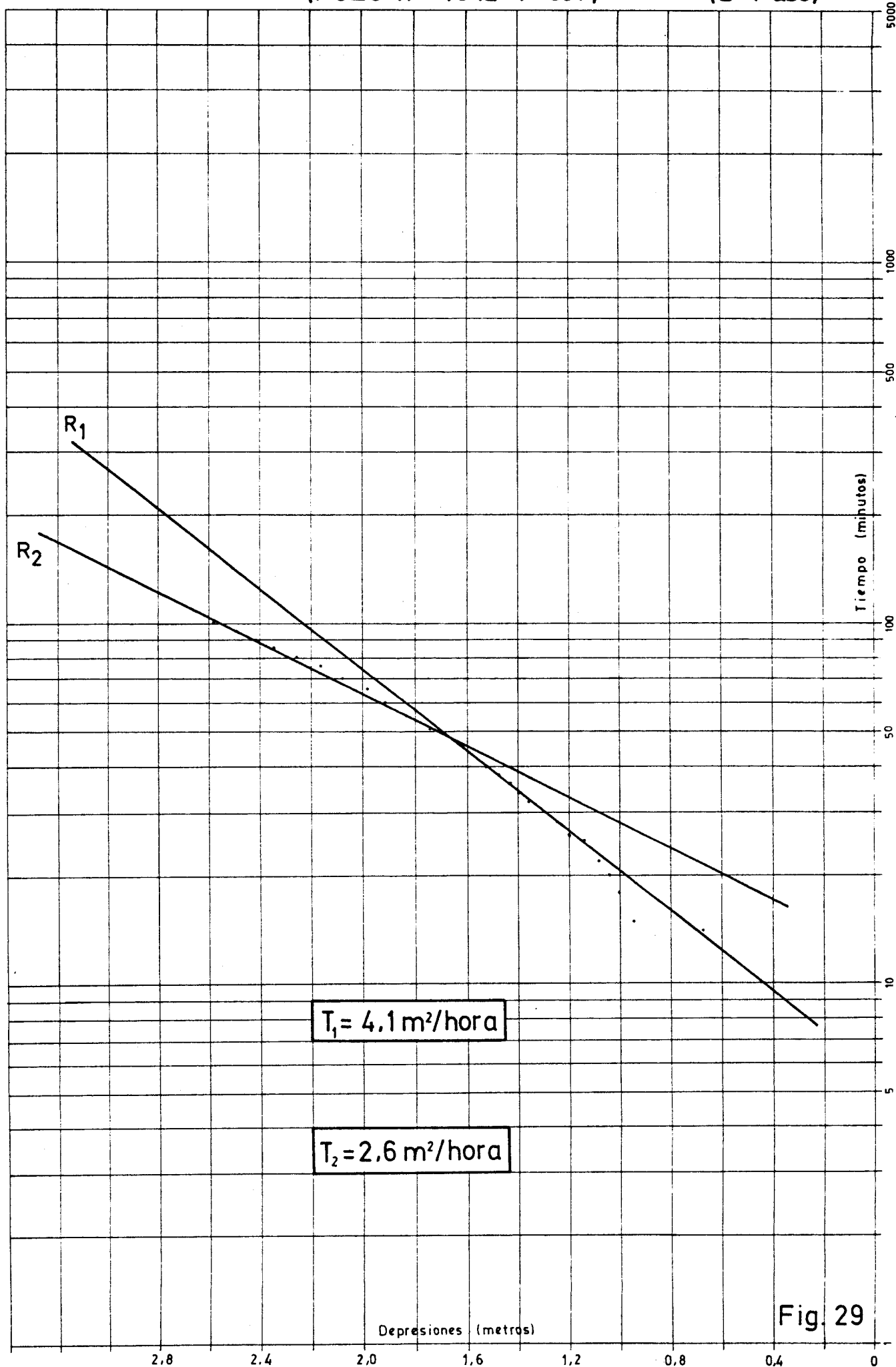


Fig. 29

8.6.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO DEL CORTIJO "LOS CORRALES"  
(1642-2-266)

8.6.1.- DATOS GENERALES

El presente bombeo se llevó a cabo en el pozo-sondeo número 1642-2-266 situado al SE de la laguna de Fuente de Piedra en el paraje denominado "Cortijo de los Corrales".

La prueba se realizó el día 3 de diciembre de 1983 en una época en la que no existen regadíos en la zona y después de un corto periodo de lluvias intensas que sin duda han favorecido la recarga de los acuíferos después de un largo periodo de estiaje en el cual han sido sometidos a una fuerte explotación.

Se controló durante la prueba, para ser utilizado como piezómetro el punto número 1642-2-265 distante unos 200 -

metros; sin embargo su nivel no sufrió variaciones.

La prueba se inició a las 10 horas y 20 minutos del referido día 3 de diciembre de 1983 y finalizó a las 15 horas y 50 minutos, es decir duró 340 minutos, después de los cuales el descenso máximo observado fue de 0,225 metros. Posteriormente se controló la recuperación del nivel durante 130 minutos.

El caudal del bombeo no pudo determinarse con exactitud por hallarse conectada la salida del agua a 15 aspersores. Estimando un caudal de 0,6 l/s para cada uno de ellos, resulta un caudal total de 8,3 l/s, valor que será tenido en cuenta en los cálculos posteriores. Hay que mencionar el mal funcionamiento de la valvula de regulación y pequeñas fugas incontroladas existentes en la tubería de distribución.

Por otra parte las medidas de nivel no pueden realizarse en el sondeo en que está introducida la bomba sino en la pared opuesta del pozo a unos 2,5 metros de distancia del eje del sondeo en que se bombeó. Todos estos factores limitan la validez de los cálculos realizados en base a las medidas del ensayo.

#### 8.6.2.- CARACTERISTICAS DE LAS CAPTACIONES

El pozo de bombeo (número 1642-2-266) era un antiguo pozo excavado a mano, de 14,42 metros de profundidad y 2,90 metros de diámetro, revestido de ladrillo. A 12,80 metros de profundidad tiene perforados dos sondeos horizontales de 80 metros de longitud y en su fondo tiene al menos una galería horizontal de longitud desconocida. Más recientemente junto a la pared del pozo se ha perforado un sondeo vertical, comunicado con el pozo por un agujero lateral y cuya profundidad no se ha podido comprobar, aunque debe ser próxima a los 80



ó 100 metros; su diámetro es de 350 mm y los materiales at ra vesados son calcarenitas del Mioceno.

El piezómetro elegido es el número 1642-2-265 y está situado a 200 metros del pozo de bombeo. Es un pozo de 12,40 metros de profundidad y 2,9 de diámetro, revestido de ladri- llo.

El pozo de bombeo está equipado con un motor de explo sión de un antiguo tractor de 60 CV de potencia, unido por - transmisión de correa a una bomba vertical marca IDEAL de - una capacidad de extracción de unos 17,5 l/s y 1945 r.p.m.

La tubería de impulsión está conectada a una red de - tuberías de distribución móviles para riego por aspersión, - utilizándose un total de 15 aspersores el día en que se rea- liza el ensayo.

#### 8.6.3.- INTERPRETACION DEL DESCENSO

Durante los 4 primeros minutos del ensayo se produje- ron irregularidades en el mismo, siendo necesario manipular la válvula de regulación hasta conseguir un correcto funcio- namiento del bombeo. A pesar de ello, hasta el minuto 100 - las medidas muestran una evolución absolutamente anarquica. La causa más probable de este fenómeno debe atribuirse al - efecto que produce la descarga del agua contenida en el pro- pio pozo y en las galerías y sondeos horizontales (efecto de "capacidad de pozo"). Posiblemente también influya un inco - rrecto funcionamiento de la válvula de regulación y del régi - men del motor.

A partir del minuto 100 y hasta el minuto 340 (final del bombeo), los descensos evolucionan ya en función del - tiempo de bombeo aunque existe aún una falta de alineación,

posiblemente por que el tiempo transcurrido no es suficiente para que desaparezca el "efecto de capacidad" del pozo.

La depresión alcanzada al cabo de los 340 minutos es de 0,225 metros y el valor de la transmisividad calculada por el método de Jacob-Cooper es de 41,42 m<sup>2</sup>/hora. Este valor debe considerarse con reservas ya que probablemente al finalizar la prueba aún no habría desaparecido el efecto de "capacidad de pozo".

En el piezómetro, como se ha indicado, no se observa depresión alguna durante el ensayo.

#### 8.6.4.- INTERPRETACION DE LA RECUPERACION

Las medidas de recuperación del pozo de bombeo tomadas durante 130 minutos muestran una evolución algo mejor que las correspondientes al descenso, aunque tampoco son idóneas para determinar la transmisividad con suficientes garantías de fiabilidad. Los primeros puntos hasta el valor de  $[(t_b+t')+1]$  aproximadamente se ajustan a una recta cuya pendiente permite deducir un valor de transmisividad de 69,2 m<sup>2</sup>/hora, más fiable que el obtenido en el descenso aunque no de absoluta garantía.

El último tramo del gráfico muestra la dificultad de recuperar el nivel inicial como consecuencia posiblemente de una mala alimentación del acuífero en esta zona.

En el piezómetro no se observa ninguna variación durante las medidas de recuperación.

#### 8.6.5.- CONCLUSIONES

Los valores de transmisividad calculados entre 41,4 y

69,2 m<sup>2</sup>/hora sólo deben ser tenidos en cuenta como orientativos puesto que el ensayo se realiza en unas condiciones en - las que se producen diversas irregularidades que pueden alterar sensiblemente la evolución normal del nivel piezométrico del pozo.

La ausencia de afección en la captación más cercana al pozo de bombeo, elegida como piezómetro, impide el calculo - del coeficiente de almacenamiento.

Se observa una dificultad para la alimentación del - acuífero en esta zona.

BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "LOS CORRALES"  
DESCENSO EN EL POZO DE BOMBEO  
(POZO n° 1642-2-266)

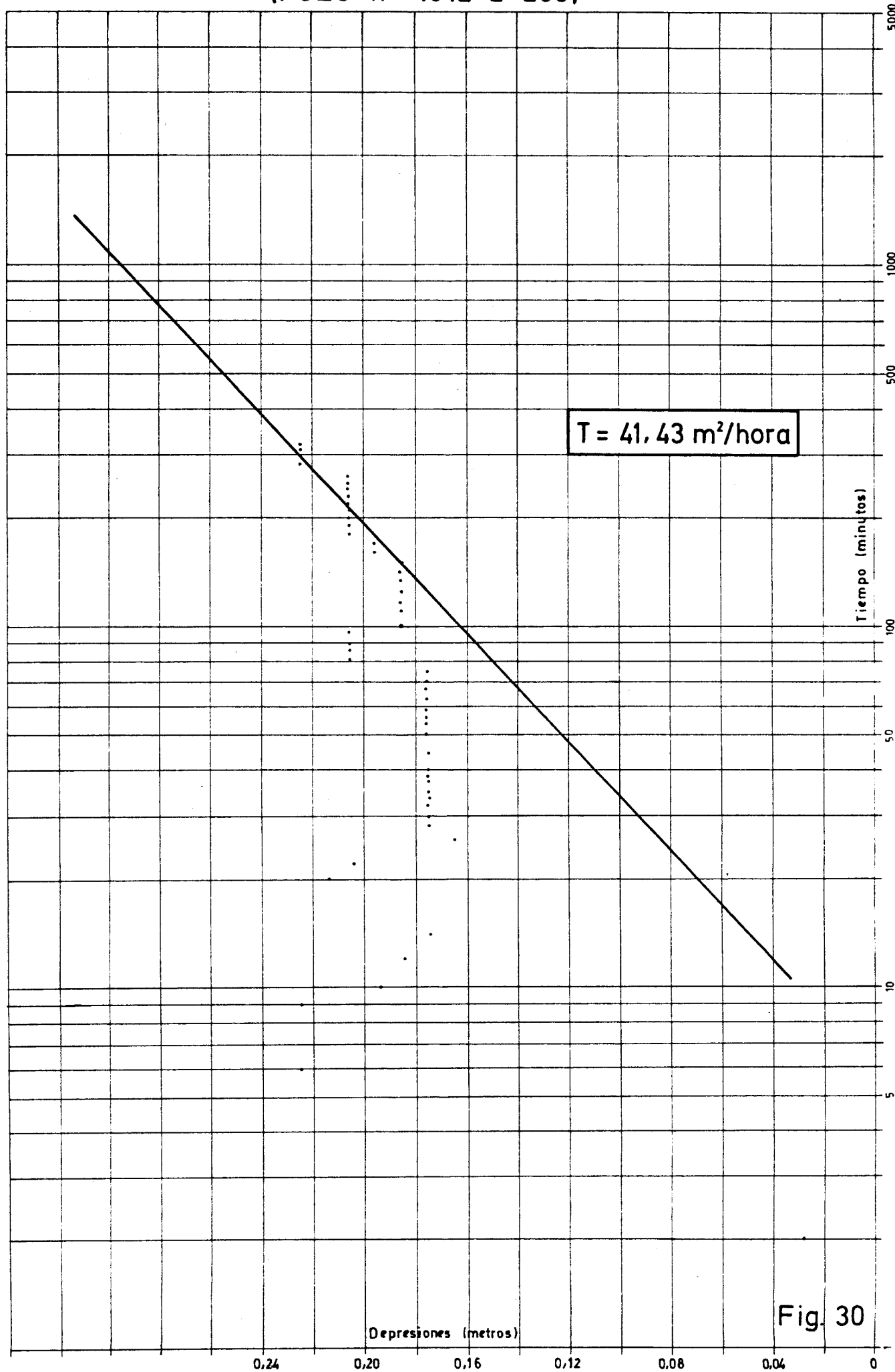


Fig. 30

BOMBEO DE ENSAYO EN EL POZO "LOS CORRALES"  
RECUPERACION EN EL POZO DE BOMBEO  
(POZO n° 1642-2-266)

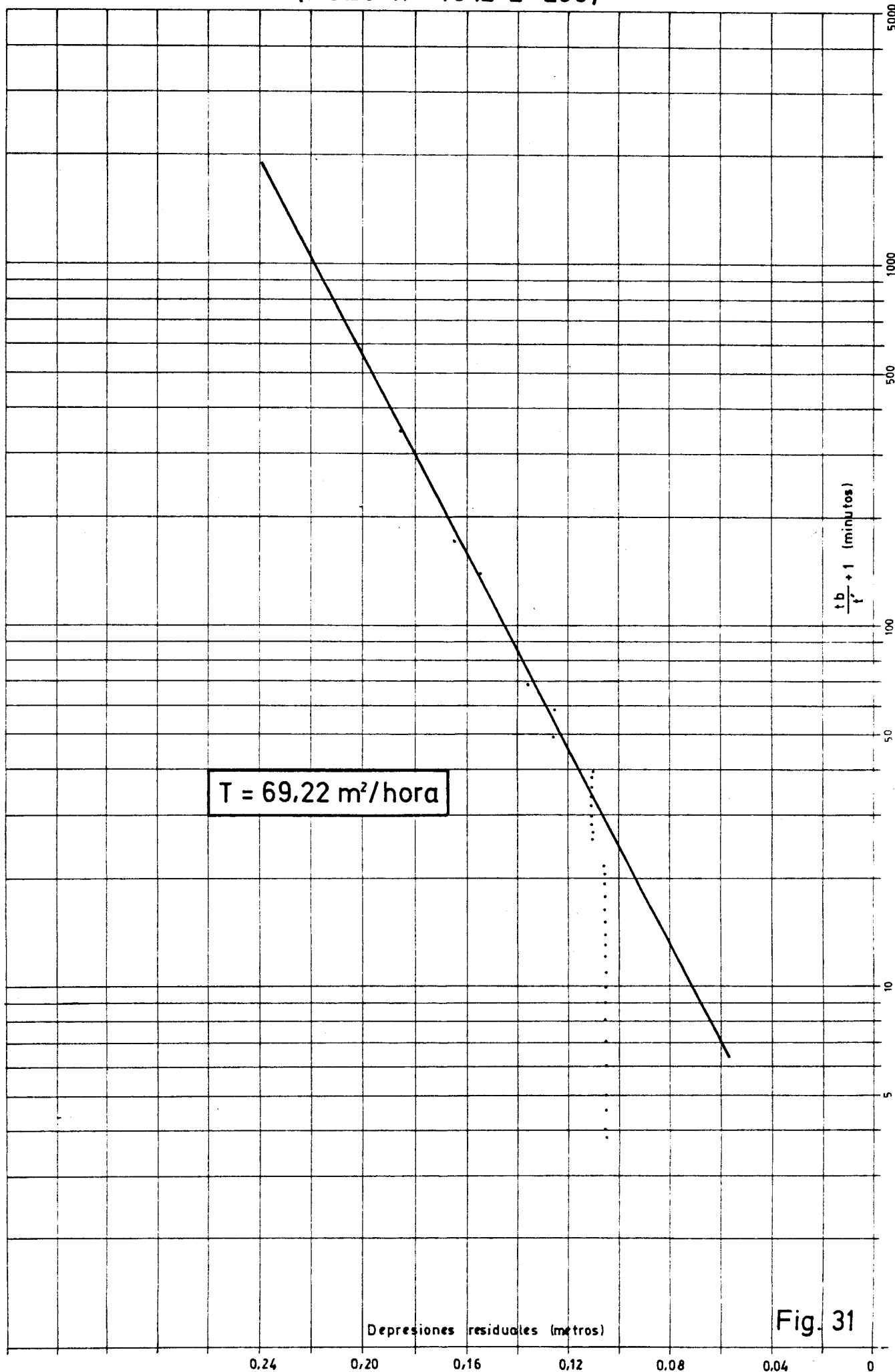


Fig. 31

8.7.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO "CORTIJO DE SANTILLAN"  
( 1642-3-086)

8.7.1.- DATOS GENERALES

El día 27 de noviembre de 1979 y por motivos ajenos - al presente estudio se llevó a cabo un bombeo de ensayo en - el sondeo número 1642-3-086 situado en la finca denominada - "Cortijo de Santillán". Sus resultados se han resumido aquí por ser orientativos de las características hidráulicas del acuífero jurásico de la sierra de Mollina.

La duración del ensayo fue de 24 horas al cabo de las cuales la depresión provocada fue de 5,44 metros, bombeando con un caudal de 45 l/s; este caudal fue controlado en la acequia de desagüe mediante tres aforos con micromolinete - realizados a lo largo de la prueba.

En el punto acuífero más próximo (1642-3-009) situado

a 300 metros de distancia, se instaló un limnógrafo para tener un registro continuo de la evolución piezométrica, no habiéndose observado variación alguna a lo largo del ensayo.

#### 8.7.2.- CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION

El sondeo fue realizado en el año 1974 por el sistema de percusión. Los materiales atravesados fueron: de 0 a 20 metros arcillas del cuaternario y hasta el metro 33 en que se dió por terminado el sondeo calizas dolomíticas. El nivel del agua que se puso de manifiesto al cortar los materiales jurásicos subió a los tres metros de profundidad.

El ensayo de bombeo se ha realizado con la instalación propia del sondeo, consistente en:

- Una bomba centrífuga vertical de 200 mm de diámetro con aspiración a 30 metros de profundidad.
- Un tractor de 40 CV con tambor para toma de fuerza y correas trapezoidales para accionar la bomba.

#### 8.7.3.- INTERPRETACION DEL BOMBEO

Representadas las medidas del descenso en un gráfico semilogarítmico para su interpretación por el método de Jacob-Cooper se observa que existen dos rectas. La primera, de pendiente  $i=0,5$  válida para los 120 primeros minutos de bombeo y otra, de pendiente  $i=0,25$ , desde el minuto 120 y hasta el 1200.

A partir de estos gráficos se calculan dos valores de transmisividad:

$$T_1 = 59,3 \text{ m}^2/\text{hora} \quad \text{y} \quad T_2 = 118,6 \text{ m}^2/\text{hora}$$

Ambos valores se consideran demasiado bajos para estos materiales carbonatados por lo que se interpreta como debido a defectos de construcción del sondeo (ranurado de la tubería), a no haber atravesado el sondeo todo el acuífero o a la proximidad de una barrera impermeable.

La recuperación del nivel se midió durante 240 minutos aunque a partir del minuto 30 el nivel alcanzó su cota inicial. Al producirse la recuperación total del nivel en tan corto espacio de tiempo, la pendiente de la recta obtenida es casi nula, por lo que la trasmisividad para la recuperación es muy elevada.

Como no se ha conseguido afectar al piezómetro no se puede valorar el coeficiente de almacenamiento del acuífero.

El caudal específico del sondeo calculado mediante este bombeo es de  $30 \text{ m}^3/\text{hora}$  por metro de descenso.



Bombeo de ensayo  
en el sondeo del "Cortijo de Santillán"

DESCENSO EN EL POZO DE BOMBEO

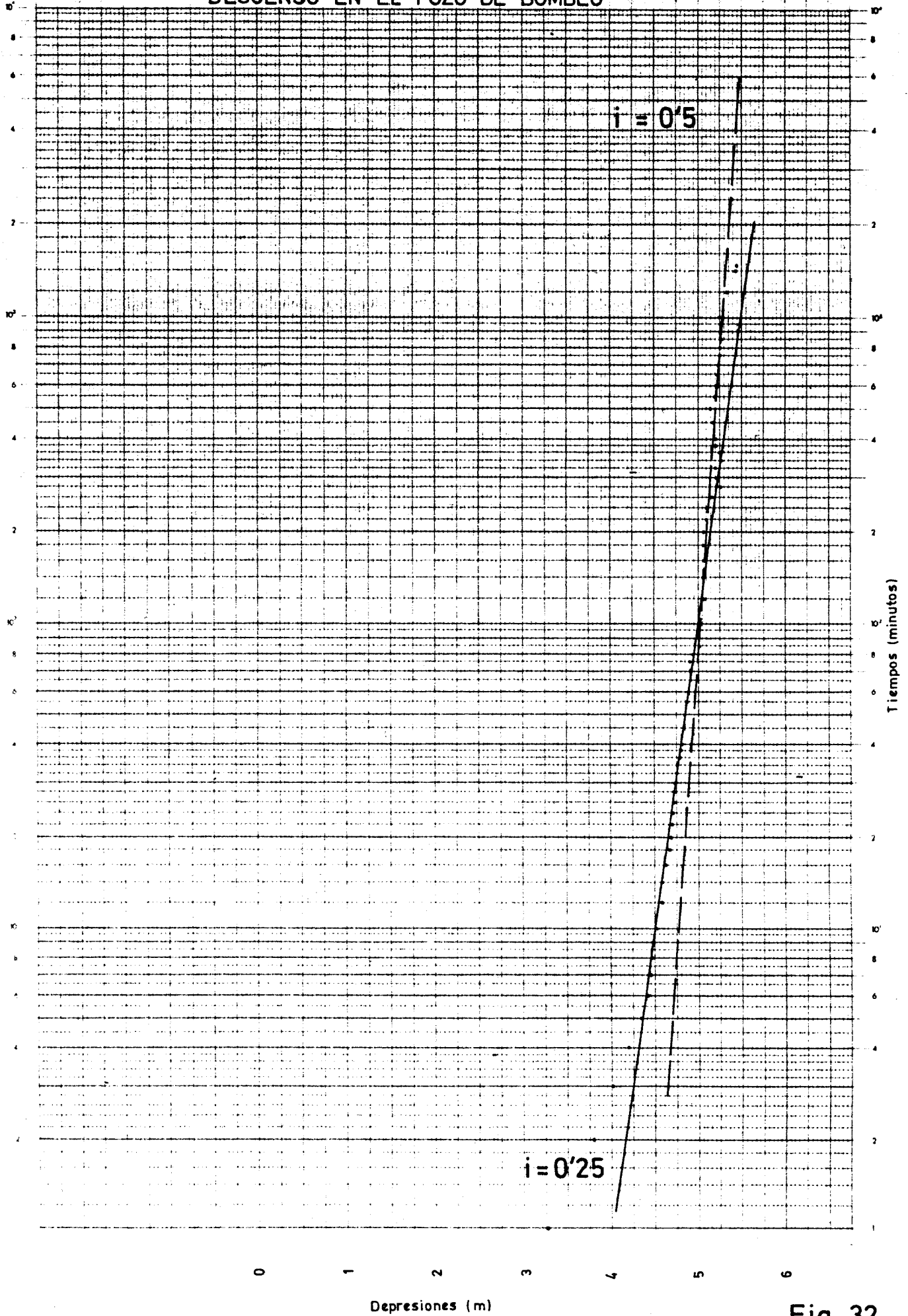


Fig. 32

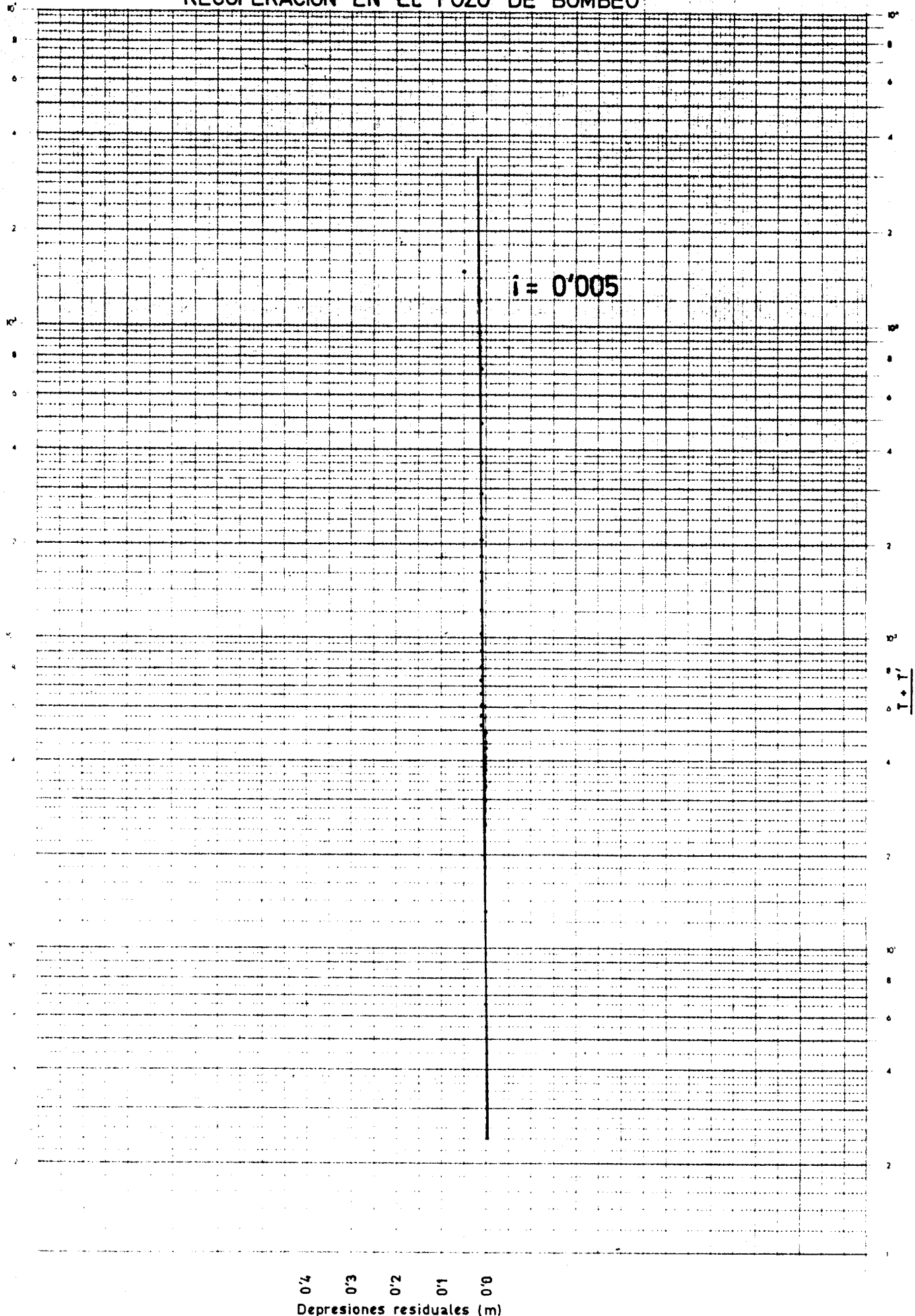
Ref. 208

centum

Legar phénix paper 4 marqués 2 145 divisions  
ons  
4 (pé) x 195  
centum

# Bombeo de ensayo en el sondeo del "Cortijo de Santillán"

## RECUPERACION EN EL POZO DE BOMBEO



centum Ref. 208

0.4  
0.3  
0.2  
0.1  
0.0  
Depresiones residuales (m)

Fig. 33

## 8.8.- BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO DE HUMILLADERO (1642-2-257)

### 8.8.1.- INTRODUCCION

Se resumen en este capítulo los resultados del bombeo de ensayo realizado los días 22 a 24 de septiembre de 1980 - en el sondeo número 1642-2-257 que realizó el IGME para abastecimiento de la población de Humilladero.

La prueba tuvo una duración de 48 horas al cabo de - las cuales, con un caudal de 120 l/s, se obtuvo una depre - sión total de 0,33 metros.

Los días anteriores al ensayo de larga duración se - llevaron a cabo bombeos escalonados para desarrollo del pozo y para determinar el caudal óptimo de explotación.

Se utilizó como piezómetro el sondeo (1642-2-296) si-

tuado a unos 80 metros al NW del pozo de bombeo.

#### 8.8.2.- CARACTERISTICAS DE LA CAPTACION

El sondeo tiene una profundidad total de 116 metros y fue perforado con 600 mm de diámetro. Se halla entubado con tubería de 400 mm rajada desde el metro 33 y dotado de empaque de gravas de 20 mm.

Los materiales perforados son en su totalidad las calizas y dolomías liásicas que afloran en las proximidades del sondeo.

El nivel piezométrico del acuífero se sitúa a 33 metros desde la emboquilladura.

El bombeo se realiza con una instalación provisional de las siguientes características:

- Grupo electrógeno marca INDAR de 300 K.V.A. - 380 V.
- Bomba eléctrica sumergida marca BRUGG de 125 CV.
- Tubería de impulsión de 200 mm de diámetro.
- Rejilla de aspiración de la bomba instalada a 73m. de profundidad medidos desde el suelo de cemento.
- Para las medidas se dispuso de un "Tubo de Pitot".

#### 8.8.3.- INTERPRETACION DEL DESCENSO

El ensayo de bombeo a caudal constante de 120 l/s de 48 horas de duración se inicia el día 22 de septiembre de 1980 a las 16 horas y 15 minutos.

El nivel inicial antes de empezar la prueba se situaba a 32,36 metros y en el piezómetro a 24,62 metros.

En el minuto 2.880 se interrumpe el ensayo con una de presión total de 0,33 metros en el pozo de bombeo y 0,185 metros en el piezómetro.

Las curvas de descenso correspondientes al pozo de bombeo y al piezómetro ponen de manifiesto la anisotropía del acuífero.

Durante los primeros 200 minutos aparecen, tanto en un gráfico como en el otro, varios tramos perfectamente alineados con una pendiente muy baja, casi próxima a la horizontal, que podrían dar lugar al cálculo de valores de transmisividad demasiado elevados, pero que no son reales. Se interpretan como "estabilizaciones aparentes" del nivel piezométrico producido durante el vaciado de grandes cavidades karsíticas próximas al sondeo y cercanas a la cota del nivel piezométrico inicial del acuífero.

A partir del minuto 200 en el pozo de bombeo y del 100 en el piezómetro la evolución del nivel muestra ya una tendencia que se considera significativa de las características del acuífero.

De todas formas puede verse como a partir del minuto 200 en el pozo de bombeo existen algunos puntos mal alineados mientras que en el piezómetro aparece una mejor alineación.

Dicho fenómeno se atribuye a la anisotropía del acuífero carbonatado y también a las perturbaciones de nivel que tienen lugar en el pozo y sus inmediaciones debido a un caudal de bombeo elevado.

Los valores de transmisividad encontrados son de 449,2

m<sup>2</sup>/hora para el pozo de bombeo y de 806,7 m<sup>2</sup>/hora para el piezómetro.

El valor obtenido para el coeficiente de almacenamiento es de  $7 \times 10^{-1}$ , excesivamente alto para considerarlo como significativo del acuífero. Este valor tan elevado puede ser debido a que durante el bombeo se produce el "vaciado" de grandes cavidades karsticas. Un bombeo más prolongado quizás hubiera puesto de manifiesto valores más bajos y posiblemente más ajustados a la realidad.

#### 8.8.4.- INTERPRETACIÓN DE LA RECUPERACION

El día 24 de septiembre de 1980 a las 16 horas y 15 minutos (exactamente a las 48 horas de comenzar) se interrumpe el bombeo y comienza a observarse las medidas de recuperación.

El nivel piezométrico en ese momento en el pozo de bombeo se sitúa a 32,29 metros y a 24,805 en el piezómetro.

Las medidas de recuperación se toman hasta el minuto 5.576 y 5.563 (a partir de la parada) en el pozo de bombeo y en el piezómetro respectivamente.

La depresión residual en ambos puntos fue de 0,11 y 0,135 metros respectivamente después del tiempo indicado.

Los gráficos de recuperación del pozo de bombeo y del piezómetro muestran una mejor alineación de los puntos, que es lógica al eliminarse la turbulencia provocada por efecto del bombeo.

Los valores de transmisividad (1.000 m<sup>2</sup>/hora en el po-

zo de bombeo y 1.129,4 m<sup>2</sup>/hora en el piezómetro) son casi idénticos entre sí y algo más elevados que en el descenso, confirmando su validez.

También es importante indicar que estos gráficos muestran la mencionada turbulencia en el pozo de bombeo debido a un caudal excesivo y una dificultad de alimentación del acuífero con la depresión provocada durante el bombeo y además, que las dimensiones del sistema no son grandes. Estos fenómenos, previsibles, según la disposición geométrica del sistema, se ponen de manifiesto por la ausencia de recuperación total del nivel piezométrico hasta la cota original anterior al bombeo.

#### 8.8.5.- CONCLUSIONES

Los parámetros hidráulicos obtenidos ponen de manifiesto que se trata de un acuífero libre y anisótropo, cuyos valores de transmisividad son elevados (están comprendidos entre 450 y 1.000 m<sup>2</sup>/hora).

El coeficiente de almacenamiento obtenido es demasiado elevado  $7 \times 10^{-1}$  como para ser considerado significativo de la totalidad del acuífero.

El sondeo afecta a un sistema hidrogeológico de reducidas dimensiones cuya alimentación es debida exclusivamente a la lluvia.

# BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO DE HUMILLADERO GRAFICO DE DESCENSO EN EL POZO BOMBEO

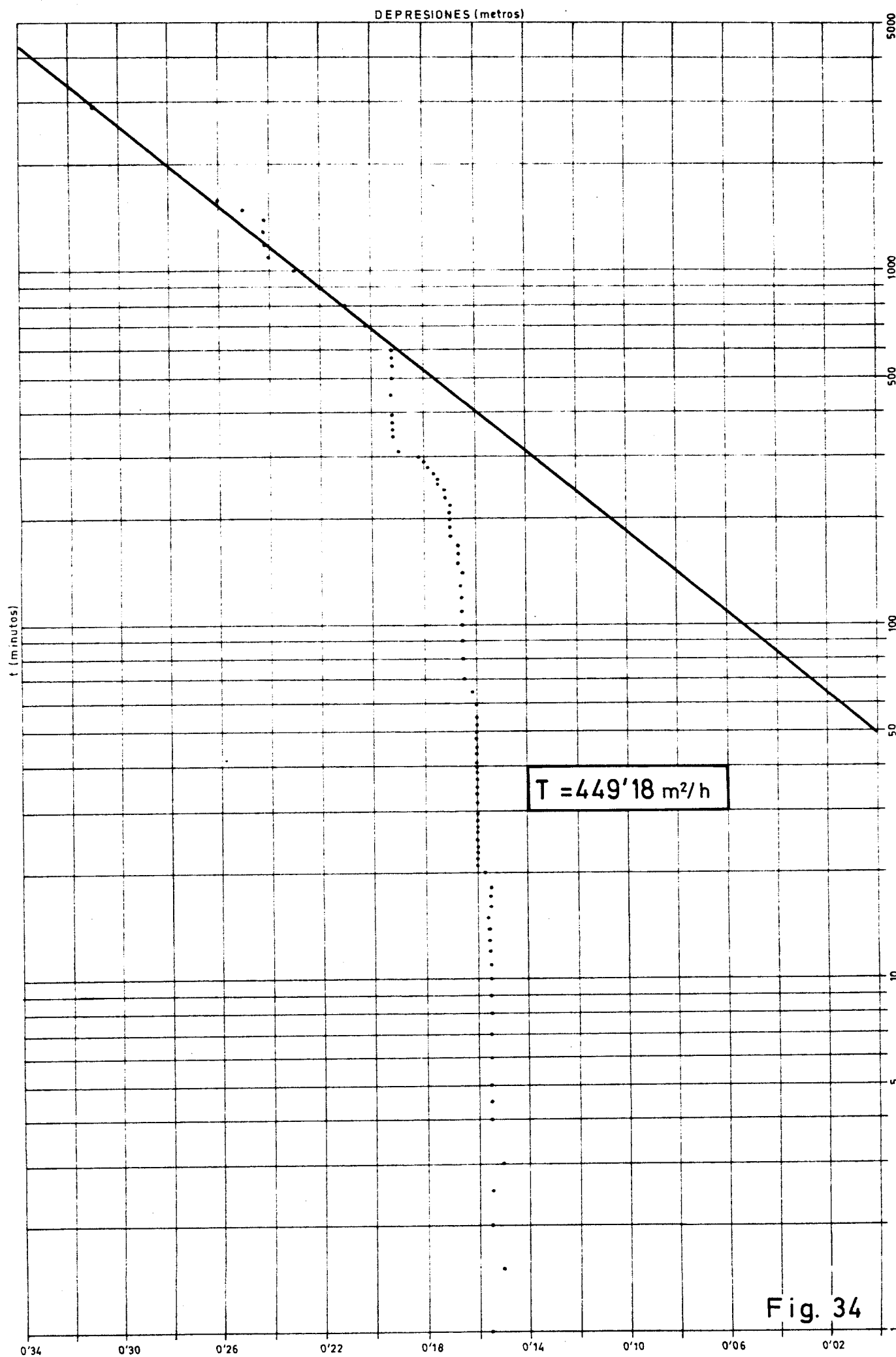


Fig. 34



# BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO DE HUMILLADERO GRAFICO DE DESCENSO EN EL PIEZOMETRO

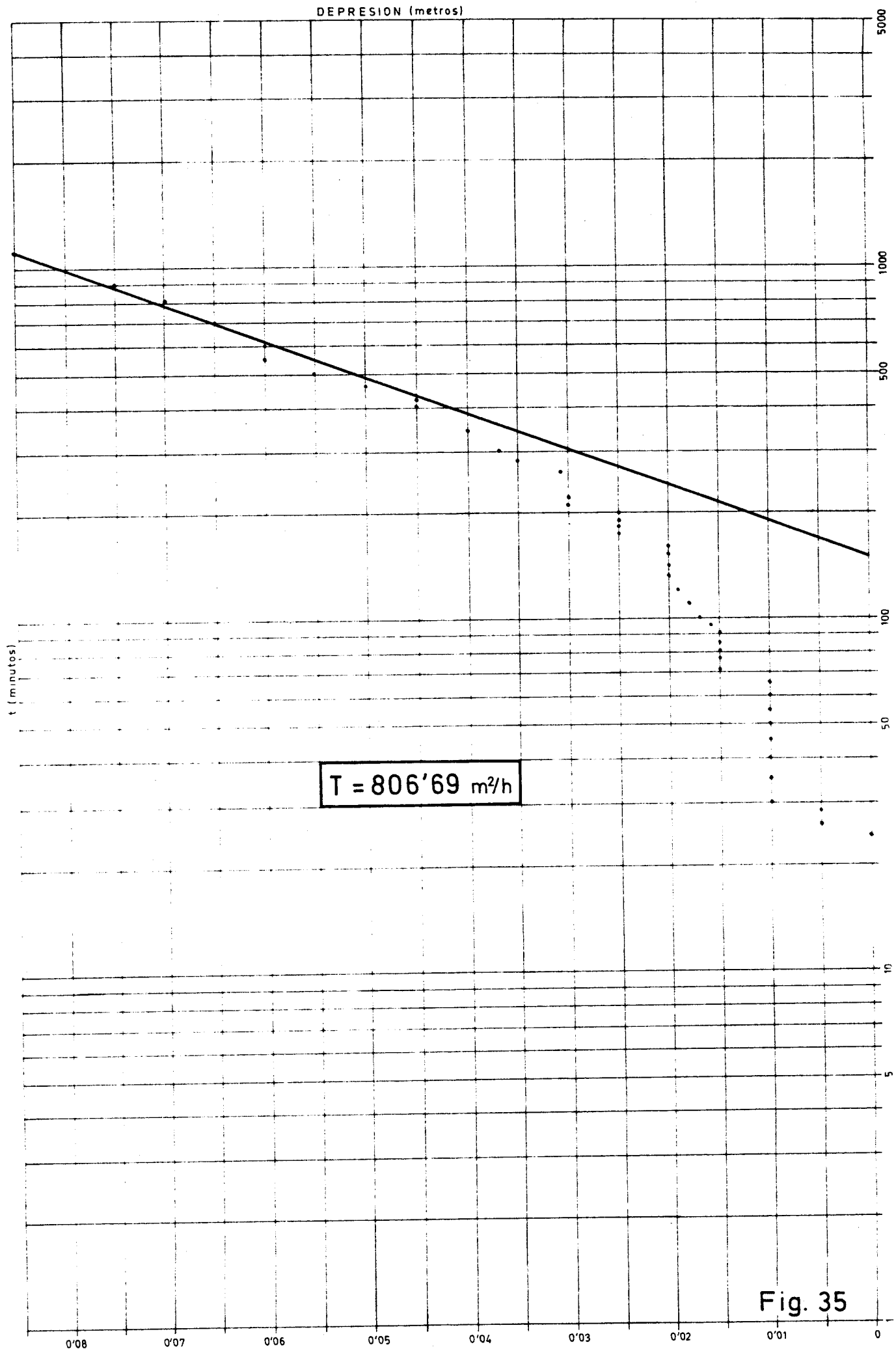


Fig. 35

# BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO DE HUMILLADERO GRAFICO DE RECUPERACION EN EL POZO DE BOMBEO

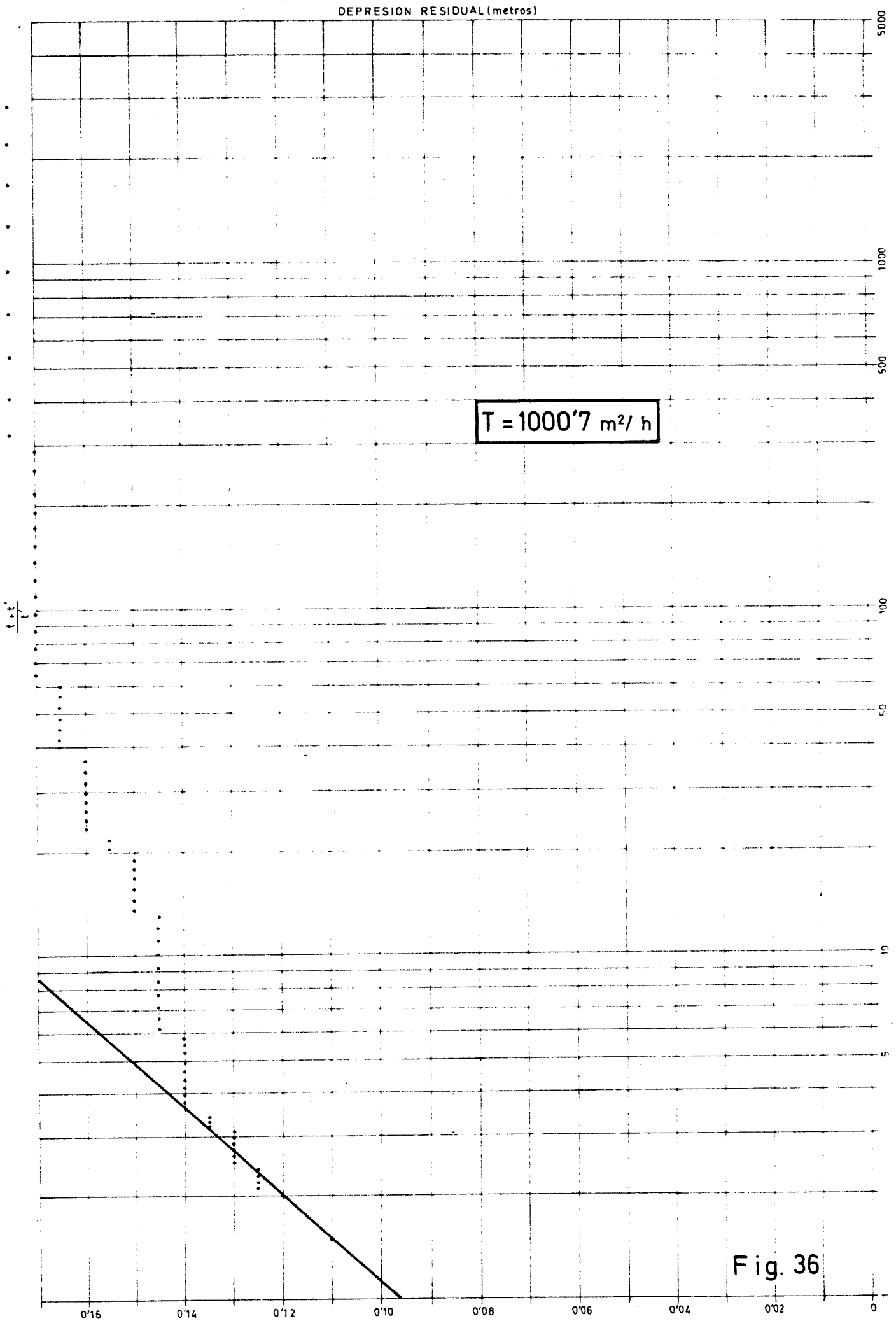


Fig. 36

# BOMBEO DE ENSAYO EN EL SONDEO DE HUMILLADERO GRAFICO DE RECUPERACION EN EL PIEZOMETRO

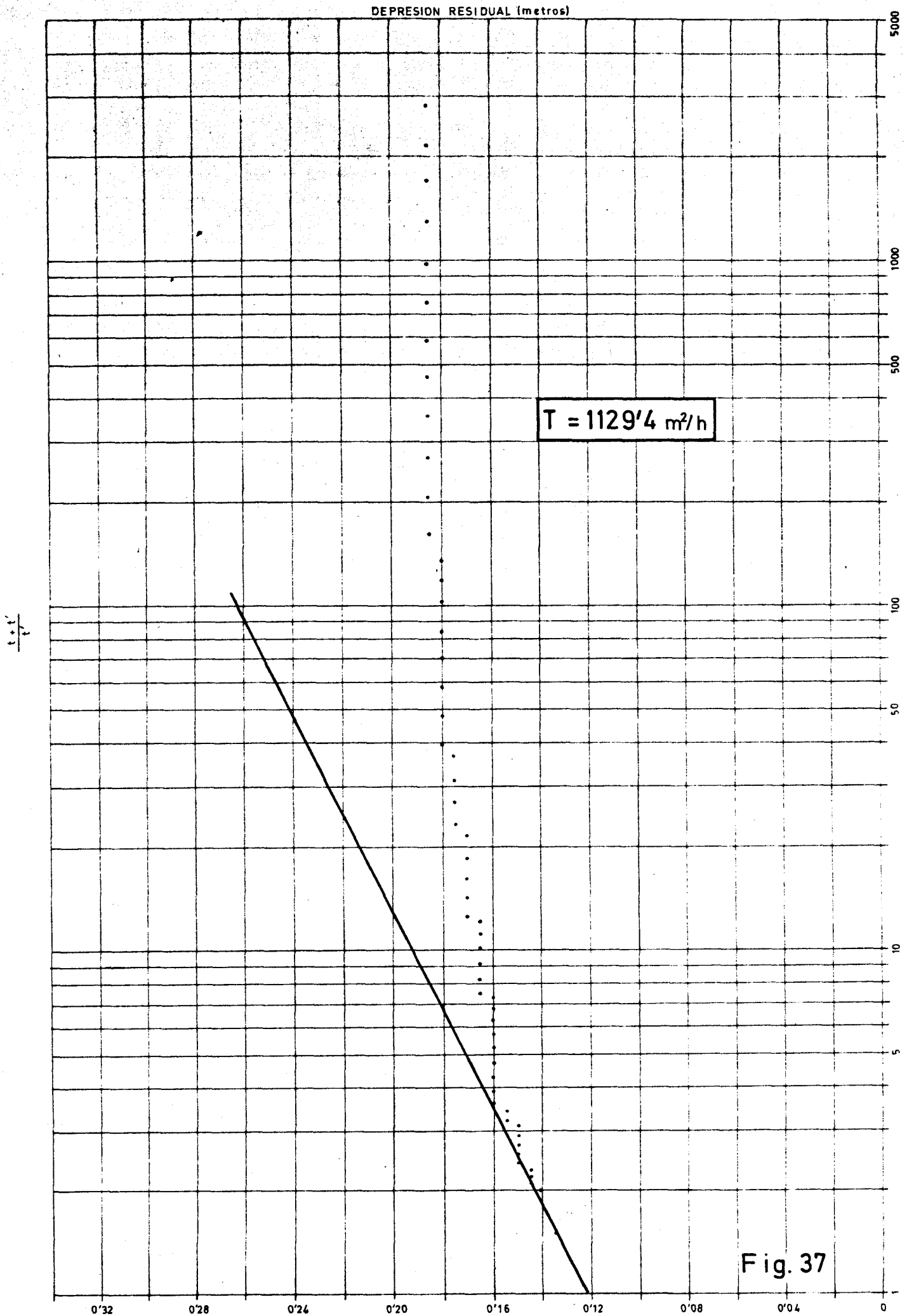


Fig. 37

#### 8.9.- CONCLUSIONES

Los resultados que aportan los bombeos de ensayo realizados en la zona, tanto en los acuíferos detríticos Mioce-no-Cuaternarios como en los carbonatados del Jurásico, se han resumido en el cuadro 37 que permite compararlos entre sí.

Destacan en primer lugar los valores de transmisividad anormalmente altos del bombeo de Humilladero; lo elevado de estos valores sin duda se debe a la presencia de grandes cavidades karsticas en la zona de influencia del pozo ensayado. El valor obtenido para el coeficiente de almacenamiento tampoco debe considerarse como representativo por los mismos motivos.

Por el contrario los valores de transmisividad deducidos del bombeo del cortijo de Santillán son bajos para este

Pozo de bombeo	D A T O S   D E L   B O M B E O				C A R A C T E R I S T I C A S   H I D R A U L I C A S		
	Fecha	Duración (minutos)	Caudal (l/s)	Depresión máxima (m)	Trasmisividad en el pozo de bombeo min-max (m <sup>2</sup> /h)	Trasmisividad en el piezómetro min-max (m <sup>2</sup> /h)	Coefficiente de almacenamiento (S)
LA CONEJA (1642-2-290)	30-06-83	320	23,5	24,600	2,08-12,9	77- 234 (?) (*)	6 x 10 <sup>-3</sup> (?) (*)
CORTIJO SAN LUIS (1642-2-186)	4-07-83	305	13,0	0,375	34,6 - 36,2	34,6 - 36,8	8,9 x 10 <sup>-2</sup> (?) (**)
ICONA (1642-2-097)	26-10-83	300	3,5	0,740	4,91 - 5,49	67 - 79,5	1,3 x 10 <sup>-2</sup>
CORTIJO RISQUILLO (1642-1-037)	2-11-83	95	18,0	3,160	4 - 4,2	---	---
	3-11-83	220	11,0	2,580	2,6 - 4,1	---	---
	3-11-83	220	12,0	2,710	6,6 -14,8 (?)	---	---
CORTIJO CORRALES (1642-2-266)	3-12-83	340	8,3	0,225	41,4 -69,2 (?)	---	---
CORTIJO SANTILLAN (1642-3-086)	27-11-79	1.440	45,0	5,440	59,3 - 118,6	---	---
	28-11-79						
HUMILLADERO (1642-2-257)	22-09-80 a 24-09-80	2.880	120,0	0,330	449,2 - 806,7	1000 - 1124	7 x 10 <sup>-1</sup> (***)

(\*) Valores poco representativos por probable afección de bombes cercanos y simultáneos.

(\*\*) Valores poco representativos por la comunicación de pozo-piezómetro por medio de una galería.

(\*\*\*) Valor poco representativo probablemente debido a vaciado de cavidades.

Cuadro 37

C A R A C T E R I S T I C A S   H I D R A U L I C A S   D E   L O S   A C U I F E R O S  
S E G U N   L O S   B O M B E O S   D E   E N S A Y O   R E A L I Z A D O S

tipo de acuíferos, posiblemente debido a causas imputables a la construcción del pozo. En otros sondeos cercanos a éste, perforados por IRYDA en estos mismos materiales jurásicos, se observan unos comportamientos hidraulicos propios de acuíferos karstificados. Se puede pues concluir que las características hidraulicas de los acuíferos jurásicos son muy variables debido a las heterogeneidades que presenta como consecuencia del desarrollo de fenómenos karsticos. La presencia de estos fenómenos subterráneos es frecuente y conocida en las sierras carbonatadas jurásicas de la zona sobre todo en la de Mollina-La Camorra.

En el acuífero Mioceno sin embargo las transmisividades son más homogéneas. Si se desprecian los valores anómalos, posiblemente debidos a influencias extrañas durante los bombeos, se obtienen transmisividades comprendidas entre 2 y 80 m<sup>2</sup>/hora.

En los tres casos en que se ha podido controlar un piezómetro durante los ensayos, los valores de transmisividad obtenidos en base a medidas en el piezómetro son superiores a las deducidas en el mismo pozo de bombeo, sin duda debido a la ausencia en aquellos de los efectos perturbadores del propio bombeo.

Las transmisividades más elevadas (entre 34 y 70 m<sup>2</sup>/hora determinadas en el propio pozo de bombeo) se presentan en el sector situado al este de la laguna, en el cual también la piezometría muestra gradientes más bajos, indicativos de mejores características hidraulicas. Por el contrario, en los bombeos de "El Risquillo" y "La Coneja" se determinan valores de transmisividad mucho más bajos (entre 2 y 14 m<sup>2</sup>/hora en el propio pozo de bombeo), que también coinciden con áreas de gradientes hidraulicos más elevados (ver planos de

isopiezas).

De los tres bombeos en que se ha podido determinar el coeficiente de almacenamiento, en dos de ellos no se debe tener en cuenta por anomalías producidas durante el bombeo o de la propia construcción del pozo. Solamente puede considerarse como bueno el valor de  $1,3 \times 10^{-2}$  obtenido en el bombeo del pozo "ICONA", valor que, por otra parte, se considera común en este tipo de materiales en condiciones de acuífero libre.

Por otra parte, el cálculo de la desaturación producida en el acuífero durante el periodo 1973-1984, determinada por comparación de las isopiezas al principio y al final de dicho periodo, ha proporcionado valores de porosidad eficaz comprendidos entre 3,8 y 5,1% (ver apartado 10.3.1.).

9.- HIDROQUIMICA



### 9.1.- INTRODUCCION

Con el fin de conocer con detalle la calidad química de las aguas subterráneas de los acuíferos incluidos en la Cuenca de Fuente de Piedra se han muestreado y analizado 32 puntos, distribuidos del modo mas homogéneo que ha sido posible, para poder determinar las variaciones espaciales. La distribución de los puntos muestreados ha estado también condicionada por la distribución de las explotaciones.

El muestreo se realizó en mayo y junio de 1983 simultáneamente con el inventario de puntos de agua, que se llevó a cabo y procurando que coincidiera con los meses de mayor explotación.

En cada muestra de agua se han determinado las concentraciones de los iones cloruro, sulfato, bicarbonato, carbo-

atos, nitratos, nitritos, sodio, magnesio, calcio, potasio, litio, boro, fluor y amonio. También se ha determinado el contenido en anhídrido fosfórico, la conductividad eléctrica, el total de sólidos disueltos, el pH y la dureza en grados franceses.

La totalidad de los análisis realizados se han representado de modo sintético en el plano n° 16 mediante diagramas tipo Stiff que permiten comparar las características químicas generales de los distintos puntos analizados en la zona.

## 9.2.- CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS

### 9.2.1.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (Plano n° 17)

Los valores de la conductividad eléctrica son en general elevados, con unos valores extremos muy amplios, entre un mínimo de 635  $\mu$ mhos/cm y un máximo de 225.000  $\mu$ mhos/cm. Sin embargo la mayor parte de la zona presenta unos valores por encima de los 2.000  $\mu$ mhos/cm; sólo en el sector oriental algunos puntos dan valores más bajos. El área más próxima a la laguna presenta las conductividades más elevadas con valores por encima de los 5.000  $\mu$ mhos/cm, alcanzando excepcionalmente en el pozo de la laguna los 225.000  $\mu$ mhos/cm. Dentro del sector de valores más elevados queda incluido el punto - 1642-2-039, anómalo, que no se ha considerado para la construcción de isolíneas.

El total de sólidos disueltos presenta valores -

que guardan estrecha relación con la conductividad (coeficiente de correlación comprobado del orden de 1, considerando los 32 pares de valores de otros tantos análisis).

#### 9.2.2.- CLORUROS (Plano n° 18)

Las concentraciones de cloruros varían notablemente entre un mínimo de 53 mg/l y un máximo de 1.789 mg/l (exceptuando el pozo de la laguna que presenta 88.040 mg/l). El sector central de la cuenca presenta concentraciones superiores a los 500 mg/l con los máximos coincidiendo con el área más próxima a la laguna. Las concentraciones disminuyen hacia los sectores marginales de la cuenca presentando mínimos el área situada al este de Fuente de Piedra, entre Humilladero y Mollina y el borde norte de la cuenca, en las proximidades de la divisoria.

#### 9.2.3.- SULFATOS (Plano n° 19)

Las concentraciones de sulfatos oscilan entre un mínimo de 15 mg/l a un máximo de 1.100 mg/l (exceptuando el pozo de la laguna que presenta 10.000 mg/l). La mayor parte de la cuenca presenta concentraciones superiores a los 100 mg/l situándose los máximos coincidiendo con el área de la laguna, donde se superan los 500 mg/l, al igual que en un sector situado al NE de la misma.

Las concentraciones más bajas comprenden el área próxima a la divisoria noroccidental, el sector situado al este de Fuente de Piedra y las proximidades del borde norte de la cuenca, en el sector próximo a la divisoria.

#### 9.2.4.- NITRATOS (Plano n° 20)

El plano de isocontenidos en nitratos es, junto con -

los anteriores, uno de los más significativos de la zona. Se observan en él dos grandes zonas: una coincidiendo con la laguna y otra situada al NE de ésta, en las que las concentraciones del ión nitrato son inferiores a los 40 mg/l. Separando ambas zonas y al noroeste de la primera, las concentraciones aumentan hasta superar los 100 mg/l y alcanzar en algún caso más de 220 mg/l. Se puede observar que las áreas de mayores concentraciones coinciden aproximadamente con las zonas de cultivos más intensos y en los que también se sitúan los núcleos de población.

#### 9.2.5.- OTROS PARAMETROS QUIMICOS

Entre el resto de los parámetros analizados, el ión sodio presenta también variaciones significativas (plano número 21), con valores máximos que llegan a 775 mg/l (exceptuando el pozo de la laguna que alcanza los 45.000 mg/l) y mínimos inferiores a los 10 mg/l. La distribución de las concentraciones presenta un evidente paralelismo con las del ión cloruro.

Las concentraciones de bicarbonatos son moderadas, variando entre 55 mg/l y 421 mg/l, localizándose los mínimos (valores por debajo de 200 mg/l) en el área situada al este de la laguna.

Las concentraciones de calcio oscilan entre 28 mg/l y 420 mg/l (el pozo de la laguna alcanza excepcionalmente los 980 mg/l). Los máximos coinciden con el área de la laguna y su prolongación nororiental. Los mínimos se sitúan al este de la laguna.

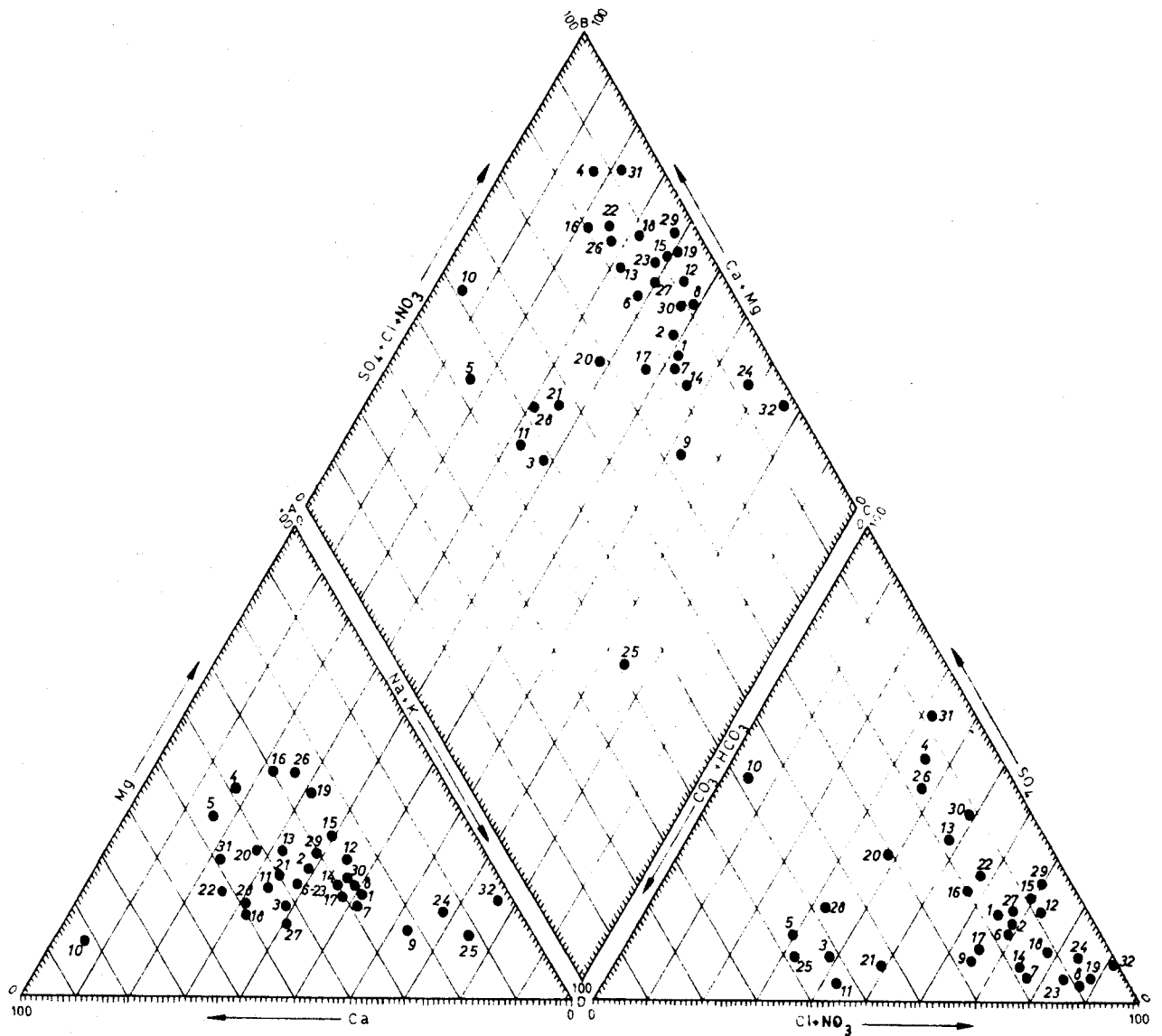
### 9.3.- FACIES QUIMICAS

La totalidad de los análisis realizados se han pasado a un gráfico de PIPER (figura 38) en el cual se representan para cada análisis los miliequivalentes por litro de cada ión expresado en % sobre el total de los aniones o cationes respectivamente, permitiendo observar el predominio de los distintos iones y en consecuencia las facies químicas más abundantes. También los diagramas de Stiff del plano 16 permiten observar las distintas facies químicas presentes y su distribución espacial.

Entre los aniones predominan el cloruro en 23 puntos, el bicarbonato en 6 y el sulfato en 3. Entre los cationes el más abundante es el sodio que predomina en 16 puntos, seguido del calcio (12 puntos) y el magnesio (4 puntos).

La facies predominante es clorurada sódica (15 puntos).

Fuente de Piedra	Diagrama de análisis de agua (Según PIPER)	
------------------	---	--



(13) NUMERO DE ORDEN A IDENTIFICAR EN LA HOJA POSTERIOR

Fig. 38

IDENTIFICACION DE PUNTOS (Fig. 38)

<u>N° en la figura</u>	<u>N° IGME</u>
1	1641-6-009
2	1641-6-013
3	1641-6-015
4	1641-6-017
5	1641-7-005
6	1642-1-021
7	1642-1-023
8	1642-1-030
9	1642-1-034
10	1642-1-047
11	1642-1-051
12	1642-1-056
13	1642-2-023
14	1642-2-026
15	1642-2-066
16	1642-2-071
17	1642-2-075
18	1642-2-092
19	1642-2-097
20	1642-2-121
21	1642-2-184
22	1642-2-219
23	1642-2-230
24	1642-2-236
25	1642-2-239
26	1642-2-256
27	1642-2-290
28	1642-3-038
29	1642-5-003
30	1642-5-008
31	1642-6-002
32	1642-2-267



equivalentes al 47% de las muestras analizadas) seguida de la bicarbonatada cálcica (5 puntos). El resto de las muestras analizadas presentan facies más variadas

#### 9.4.- CALIDAD DEL AGUA

##### 9.4.1.- CALIDAD PARA ABASTECIMIENTO

La calidad de las aguas subterráneas de esta zona en general no es buena para el consumo humano por tratarse de aguas muy mineralizadas.

Según la clasificación usada en el diagrama de G. Water Ltd. (Fig. 39) ningún punto de los analizados presenta potabilidad buena o pasable, seis presentan una mediana potabilidad y los restantes tienen mala potabilidad.

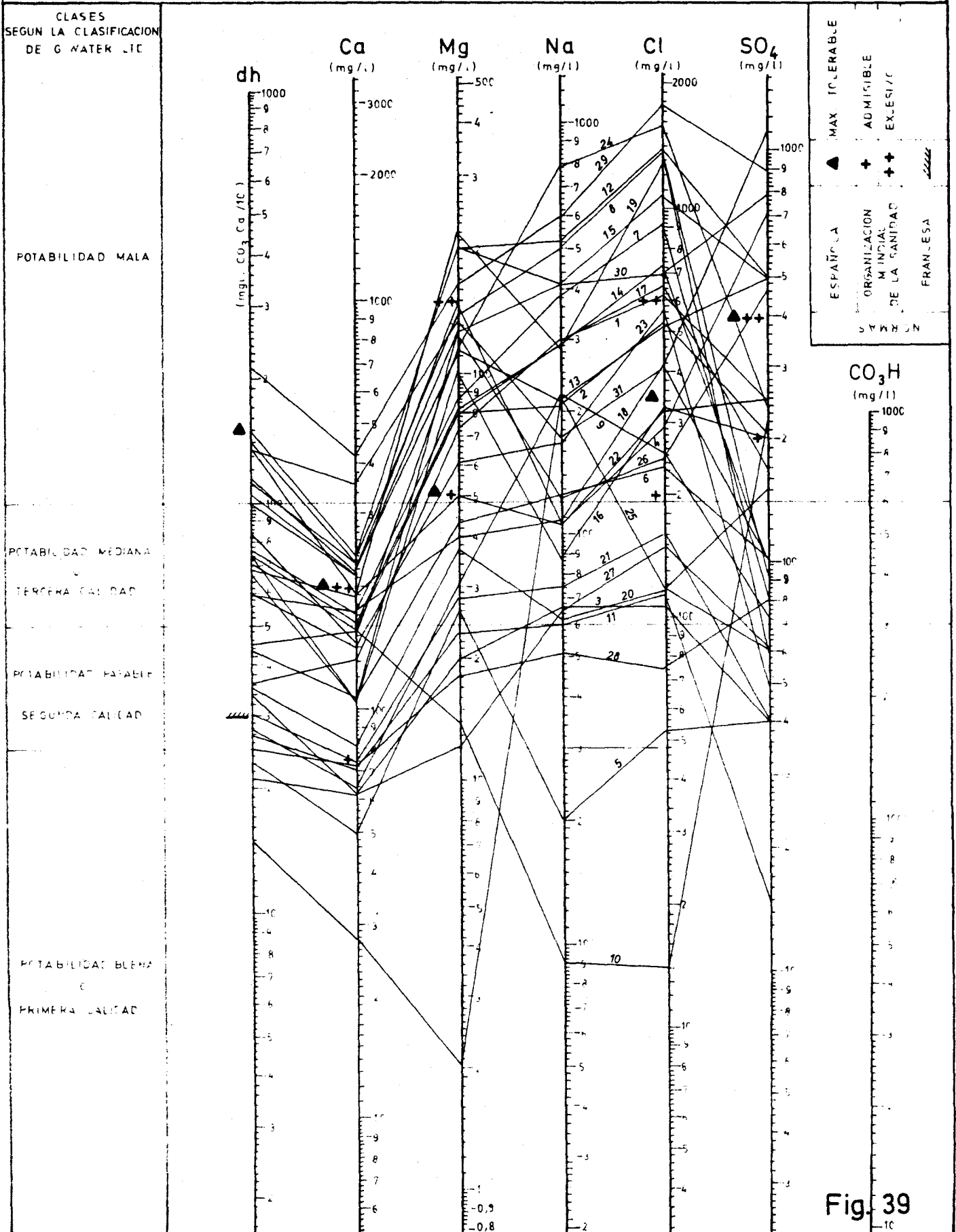
Según las normas españolas vigentes referentes a potabilidad de aguas para abastecimiento humano, sólo 12 puntos serían aptos para el consumo.

Los iones que condicionan la mala calidad para consu-

Fuente de Piedra

Diagrama de Potabilidad

(13) NUMERO DE ORDEN A IDENTIFICAR EN LA HOJA POSTERIOR



IDENTIFICACION DE PUNTOS (fig. 39)

<u>N° en la figura</u>	<u>N° IGME</u>
1	1641-6-009
2	1641-6-013
3	1641-6-015
4	1641-6-017
5	1641-7-005
6	1642-1-021
7	1642-1-023
8	1642-1-030
9	1642-1-034
10	1642-1-047
11	1642-1-051
12	1642-1-056
13	1642-2-023
14	1642-2-026
15	1642-2-066
16	1642-2-071
17	1642-2-075
18	1642-2-092
19	1642-2-097
20	1642-2-121
21	1642-2-184
22	1642-2-219
23	1642-2-230
24	1642-2-236
25	1642-2-239
26	1642-2-256
27	1642-2-290
28	1642-3-038
29	1642-5-003
30	1642-5-008
31	1642-6-002
32	1642-2-267

mo humano son, sobre todo, el cloruro, el sulfato, el sodio y el magnesio.

#### 9.4.2.- CALIDAD PARA USOS AGRICOLAS

Los análisis realizados se han representado en un diagrama de Wilcox-Thorne-Peterson (Fig. 40) en el que cada punto se define en función de la conductividad eléctrica y del SAR (relación de absorción de sodio) que viene dado por la fórmula:

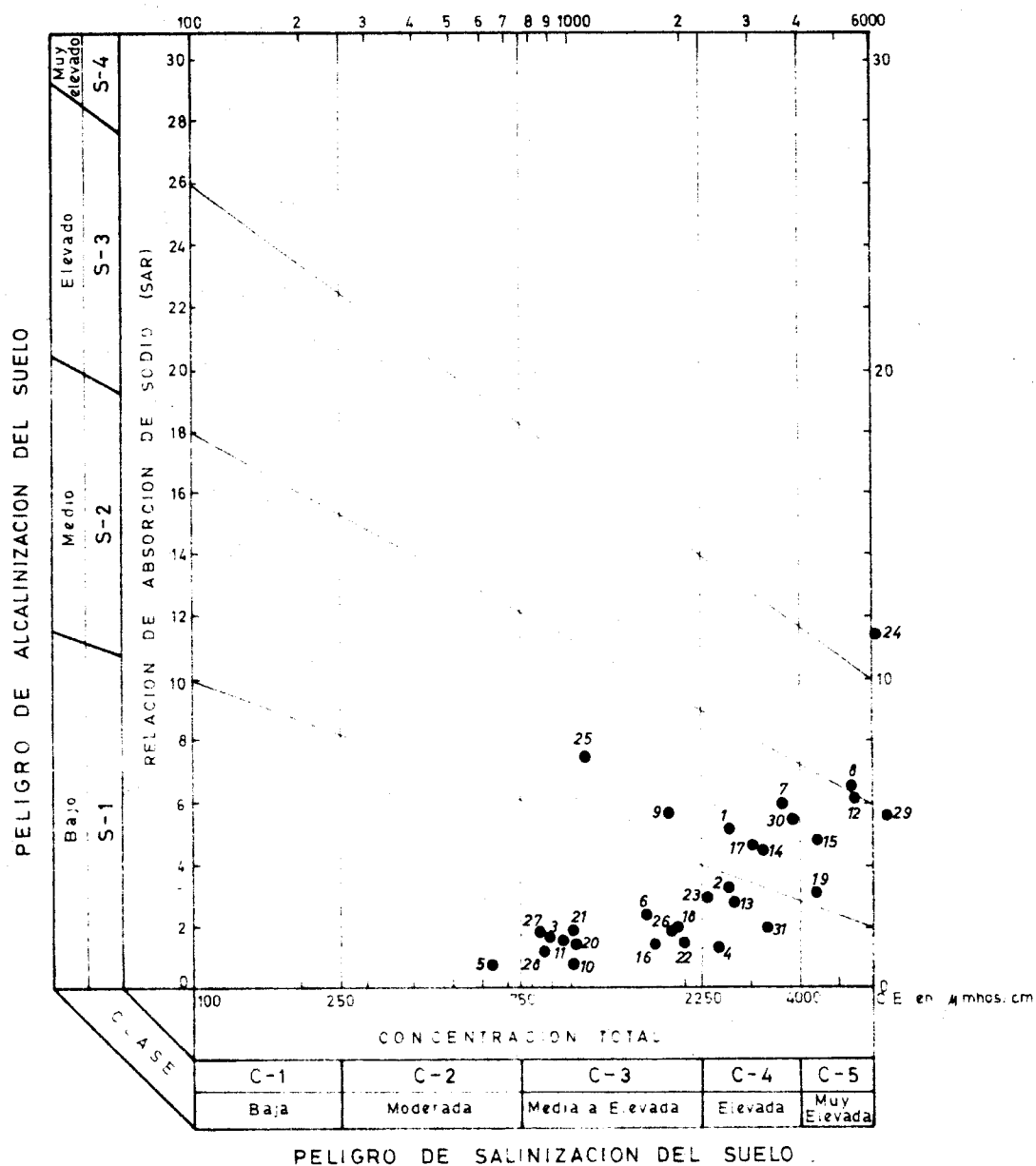
$$\text{SAR} = \frac{r \text{ Na}}{\sqrt{1/2 (r \text{ Ca} + r \text{ Mg})}}$$

Este diagrama permite determinar el peligro de salinización y alcalinización del suelo.

La mayor parte de las muestras (12) pertenece al tipo C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> (bajo peligro de alcalinización del suelo y medio a elevado peligro de salinización del suelo).

Siguen en abundancia los tipos C<sub>4</sub>-S<sub>1</sub> (5 muestras) con bajo peligro de alcalinización y elevado de salinización, y C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub> (5 muestras) con mediano peligro de alcalinización y elevado de salinización. El resto de las muestras tienen en general índices más peligrosos

Fuente de Piedra	DIAGRAMA DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO (segun Wilcox-Thorne-Peterson)	
------------------	---	--



(13) NUMERO DE ORDEN A IDENTIFICAR EN LA HOJA POSTERIOR

Fig. 40

IDENTIFICACION DE PUNTOS (Fig. 40)

<u>N° en la figura</u>	<u>N° IGME</u>
1	1641-6-009
2	1641-6-013
3	1641-6-015
4	1641-6-017
5	1641-7-005
6	1642-1-021
7	1642-1-023
8	1642-1-030
9	1642-1-034
10	1642-1-047
11	1642-1-051
12	1642-1-056
13	1642-2-023
14	1642-2-026
15	1642-2-066
16	1642-2-071
17	1642-2-075
18	1642-2-092
19	1642-2-097
20	1642-2-121
21	1642-2-184
22	1642-2-219
23	1642-2-230
24	1642-2-236
25	1642-2-239
26	1642-2-256
27	1642-2-290
28	1642-3-038
29	1642-5-003
30	1642-5-008
31	1642-6-002
32	1642-2-267

#### 9.5.- CONCLUSIONES

Los apartados precedentes ponen de manifiesto que las aguas subterráneas de la zona se hallan en general bastante mineralizadas.

Se observa que las mayores concentraciones de todos los iones significativos se localizan en la zona de la laguna y su prolongación nororiental, coincidiendo a grandes rasgos con los afloramientos triásicos más extensos de la cuenca.

Las concentraciones más bajas se presentan al este de Fuente de Piedra en la depresión existente entre las sierras de La Camorra y Humilladero, ocupada por un extenso afloramiento de materiales miocenos. Otros sectores, donde las concentraciones iónicas son más bajas, coinciden también en gene



ral con los sectores marginales de la cuenca en las proximidades de su divisoria.

Las concentraciones más altas de nitratos coinciden con las áreas de cultivos más intensos y en las que existen núcleos de población. Sin duda se hallan relacionadas con las actividades agrícolas (uso de abonos nitrogenados) y con los vertidos de las poblaciones.

Parece ser que existe una cierta relación entre las altas concentraciones iónicas y la profundidad de las captaciones, habiéndose observado en algunas de ellas un incremento de la salinidad al ser profundizadas, por lo que no parece recomendable la realización de perforaciones de excesiva profundidad.

Este hecho podría ser debido a la diferenciación dentro del mismo acuífero de dos zonas: una profunda, localizada en la inmediata proximidad del substrato triásico en contacto con el cual el agua circula y se va cargando en sales progresivamente, y otra superficial más influida por el agua de infiltración de las precipitaciones. La separación se mantendría (favorecida por la diferencia de densidad) por un fenómeno similar al que ocurre en los acuíferos costeros.

Esta hipótesis viene apoyada por el hecho de que las mayores concentraciones se encuentran en el área del centro de la cuenca hacia el cual tiene lugar el gradiente subterráneo del acuífero: un contacto más prolongado con el acuífero condicionará un mayor contenido en sales.

La campaña de geofísica realizada en la zona ha puesto de manifiesto una disminución progresiva y generalizada de las resistividades con la profundidad, fenómeno que se hacen especialmente patente en las proximidades de la laguna y que se atribuye a la salinización de las zonas profundas.

No debe descartarse sin embargo la hipótesis de una - circulación profunda localizada íntegramente en el Trías a - través de una red karstica excavada en sus materiales evapo- ríticos. El pozo de la laguna, cuya agua presenta concentra - ciones iónicas muy superiores a las del resto, podría alcan - zar alguno de estos conductos.

En apoyo de estas hipótesis está la existencia de va - rios manantiales en la cuenca detrítica de Antequera cuyas - aguas son auténticas salmueras (Meliones y Cañaveralejo entre los más conocidos) y la presencia de numerosos indicios mor - fológicos superficiales y subterráneos de fenómenos de kars - tificación en el Trías. La propia cuenca endorreica de Fuen - te de Piedra podría responder a una gran depresión de origen karstico.

Por otra parte las dos hipótesis pueden ser perfecta - mente compatibles y proporcionar la explicación al hecho de que las concentraciones iónicas del agua subterránea aumen - ten con la profundidad, aunque convendría estudiar más deta - lladamente el origen de este fenómeno.

Finalmente, hay que señalar un hecho que merece ser - destacado y es que la comparación de la campaña de geofísica realizada recientemente -1983- con la que se llevó a cabo en 1975, permite observar que el espesor de la zona de bajas re - sistividades ha aumentado considerablemente, hecho que se in - terpreta como debido a un aumento de la salinización con el tiempo. Sin duda la creciente utilización para regadío de - aguas procedentes de las zonas más profundas del acuífero (y consecuentemente más salinas) podría estar provocando un pro - gresivo deterioro de la calidad del mismo incluso en su zona más cercana a la superficie al recibir en ella la infiltra - ción de aguas fuertemente salinas.

En este sentido parece recomendable continuar contro - lando de forma sistemática y periódica la evolución de la ca - lidad química del acuífero.

10.- BALANCES HIDRICOS DE LA CUENCA, ACUIFERO Y LAGUNA

#### 10.1.- MODELO DE CIRCULACION HIDRICA

La circulación del agua en la cuenca de la laguna de Fuente de Piedra se caracteriza por la presencia de tres sistemas de almacenamiento y regulación de agua (el suelo, el acuífero y la propia laguna), intercomunicados entre sí en la forma que muestra el esquema de la figura 41. Los elementos de la recarga de estos sistemas son las precipitaciones, bien directamente o a través de la escorrentía superficial. Los elementos de la descarga son la extracción por bombeo en el acuífero, la evapotranspiración en la cuenca vertiente a la laguna y la evaporación directa desde la laguna.

Por el efecto regulador de los sistemas citados los intercambios entre los mismos no son constantes ni guardan una relación fija con las precipitaciones, por lo que, para conocer cuantitativamente su funcionamiento, es necesario definir las capacidades de almacenamiento del suelo y del acuífero.

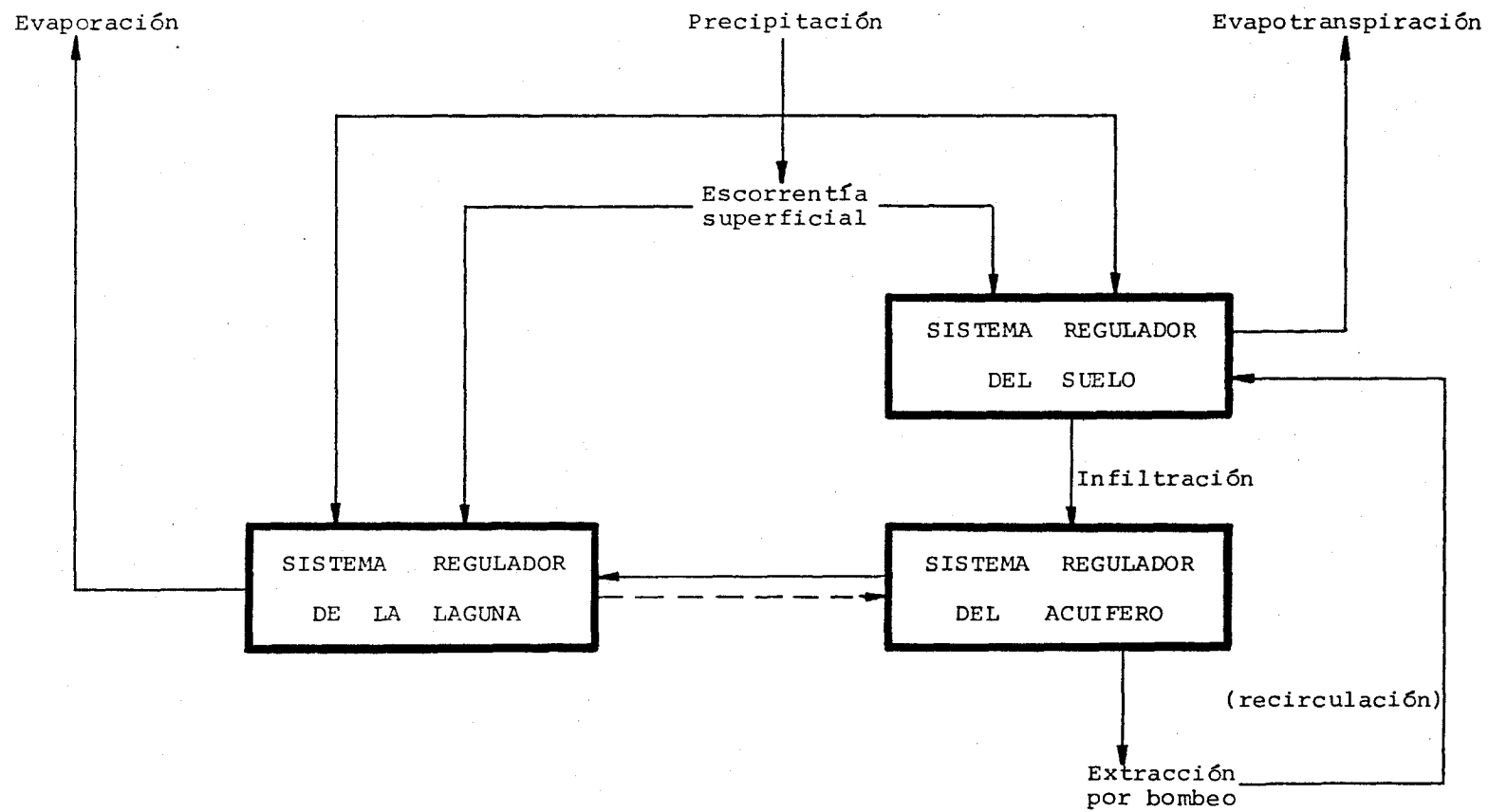


Fig. 41.- ESQUEMA DE LA CIRCULACION HIDRICA EN LA CUENCA DE FUENTE DE PIEDRA

#### 10.2.- PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

El objetivo perseguido es definir y ajustar el modelo cuantitativo de las entradas y salidas de agua en el sistema hídrico de la cuenca, así como de los intercambios entre los tres elementos reguladores que lo componen. Una vez ajustado el modelo, alterando las entradas y salidas o haciendo variar las reservas almacenadas, será posible realizar proyecciones de los distintos estados del sistema.

Las fases a realizar son las siguientes:

- Planteamiento de un balance hídrico del acuífero para los periodos octubre 1973-mayo 1983 y junio 1983 -mayo 1984, que deberán permitir la determinación de la recarga por infiltración, así como la capacidad de almacenamiento del acuífero.
- Con la recarga ya determinada para el periodo octubre 1973-mayo 1984 y por comparación con la lluvia útil determinada para el mismo periodo por el méto-

do de Thornthwaite, se selecciona la Reserva Util - Máxima del suelo. Este parámetro permitirá reconstruir a nivel mensual los valores de lluvia util para el periodo 1962-1982, de características pluviométricas cercanas a la media.

- Reconstrucción del balance anual del acuífero para el periodo 1962-1982 y determinación de los flujos subterráneos anuales del acuífero a la laguna.
- Reconstrucción del balance mensual de la laguna para los años en los que se dispone de datos de precipitación y evaporación, y ajuste de los resultados.
- Evaluación de supuestos y proyecciones.

### 10.3.- BALANCE HIDRICO PARA LOS SISTEMAS SUELO Y ACUIFERO

#### 10.3.1.- DETERMINACION DE LOS VALORES DE INFILTRACION (perio- do octubre 1973-mayo 1984) Y POROSIDAD EFICAZ DEL - ACUIFERO

##### 10.3.1.1.- DATOS DE PARTIDA

En el cuadro 38 se relacionan pluviometrías, bombeos, así como la desaturación medida durante el periodo octubre de 1973 a mayo de 1984.

Respecto a las precipitaciones cabe indicar que el pe-  
riodo octubre 1973-mayo 1984 es un 15% inferior a la media -  
del periodo 1948-1982 (393 mm/a frente a 453 mm/a), con sólo  
tres años con pluviometrías superiores a dicha media.

Las pluviometrías anuales indicadas son medias anua -  
les de toda la cuenca, teniendo una mayor influencia en di -  
chas cifras las lluvias registradas en las estaciones de Humi



Cuadro 38

Periodo	Pluviometría (**) (mm)	Desaturación (Hm <sup>3</sup> )	Bombes (Hm <sup>3</sup> /año)
1973-1974 (*)	327		7
1974-1975 (*)	287		7 - 5
1975-1976 (*)	426		6 - 4
1976-1977 (*)	516		6 - 4
1977-1978 (*)	438		5 - 3
1978-1979 (*)	461		4 - 3
1979-1980 (*)	341		3
1980-1981 (*)	304		3
1981-1982 (*)	392		3
octubre 1982-mayo 1983	258		1,5
junio 1983-mayo 1984	470	-88,03	1,5

(\*) Año hidrológico: octubre-septiembre

(\*\*) Valores medios representativos de la totalidad de la cuenca.

VALORES DE PLUVIOMETRIA  
DESATURACION Y BOMBES  
EN EL PERIODO 1973-1984

lladeroy de Cortijo de La Herriza y en menor grado la de La -  
Roda (cuadros 4, 5 y 6).

A efectos de los cálculos que se realizan, se considera  
que la totalidad de la cuenca vertiente a la laguna (140 -  
Km<sup>2</sup>) puede recibir recarga por infiltración, puesto que el -  
porcentaje de superficie ocupada por formaciones no permea -  
bles es muy bajo, reduciéndose a ciertos afloramientos triásicos  
que no se hallan alterados superficialmente o recubiertos  
por formaciones recientes. Por otra parte cabe recordar que -  
existe un flujo subterráneo convergente a la laguna, única -  
descarga natural del sistema.

El porcentaje de infiltración sobre las precipitaciones  
que más adelante se calcula, incluye tanto la infiltra -  
ción directa de las lluvias, como la infiltración de la escorr  
rentía superficial; equivale a una infiltración media de los  
terrenos que afloran en la cuenca.

Por otra parte, dicho porcentaje de infiltración se -  
refiere al periodo 1973 - 1984, por lo que cualquier extrapolación  
a otros periodos debe efectuarse con reservas; en todo  
caso debe aplicarse a periodos representativos de forma global  
y no a la infiltración sobre valores anuales de pluviometría.

La desaturación se ha estimado para los periodos octubre  
1973-mayo 1983 (150,7 Hm<sup>3</sup>), y junio 1983-mayo 1984 (-88,03  
Hm<sup>3</sup>), en base a los planos de isopiezas disponibles de octubre  
de 1973, junio de 1983 y mayo de 1984 (planos 9, 10, 11 y  
12).

En cuanto a la extracción por bombeo, se ha estimado  
en 1,5 Hm<sup>3</sup> para el periodo junio 1983-mayo 1984, en 1,5 Hm<sup>3</sup> duran  
te el periodo octubre 1982-mayo 1983 y, en distintos intervalos,  
entre 3 y 7 Hm<sup>3</sup> para los años 1973 a 1979, al no exis -

tir datos más precisos (apartado 7).

Las salidas de agua del acuífero a la laguna se han estimado por la fórmula de Darcy (\*) para las tres épocas de las que se dispone de isopiezas: octubre-1973, junio-1983 y mayo-1984; para cada uno de los dos periodos considerados se ha tomado un valor medio entre los valores estimados a partir de las isopiezas, al principio y fin de cada periodo, ponderados en función de la distribución de pluviometría del periodo.

La transmisividad del acuífero en los alrededores de la laguna no está bien definida ya que es reducido el número de puntos del que se dispone de alguna estimación y, por otra parte, por las dificultades halladas en la interpretación de los ensayos de bombeo realizados. En función de las estimaciones obtenidas, del contexto hidrogeológico y del análisis de las isopiezas, se admite que entre los bordes occidental y nororiental de la laguna la transmisividad es del orden de 5 m<sup>2</sup>/h, y de 35 m<sup>2</sup>/h en el borde oriental.

En consecuencia, los flujos de salida del acuífero a la laguna en cada una de las épocas para las que se dispone de isopiezas serán las siguientes:

Octubre-1973:

$$\text{borde occidental: } 5 \text{ m}^2/\text{h} \times 5,5 \times 10^{-3} \times 7000 \text{ m} = 192 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{borde nororiental: } 5 \text{ m}^2/\text{h} \times 2 \times 10^{-3} \times 1000 \text{ m} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{borde oriental: } 35 \text{ m}^2/\text{h} \times 3,3 \times 10^{-3} \times 5200 \text{ m} = 601 \text{ m}^3/\text{h}$$

---


$$\text{Total} = 803 \text{ m}^3/\text{h}$$

---

(\*) Flujo subterráneo = Transmisividad x gradiente hidraulico x anchura del acuífero.

Junio-1983:

$$\text{borde occidental: } 5 \text{ m}^2/\text{h} \times 5,5 \times 10^{-3} \times 7000 \text{ m} = 192 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{borde nororiental: } 5 \text{ m}^2/\text{h} \times 1 \times 10^{-2} \times 1000 \text{ m} = 50 \text{ m}^3/\text{h} (-)$$

$$\text{borde oriental: } 35 \text{ m}^2/\text{h} \times 3,3 \times 10^{-3} \times 5000 \text{ m} = 601 \text{ m}^3/\text{h}$$

---


$$\text{Total} = 743 \text{ m}^3/\text{h}$$

Mayo-1984:

Al ser los gradientes hidraulicos similares a los de octubre de 1973:

$$\text{Total} = 803 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los flujos medios a la laguna en el periodo octubre - 1973-mayo 1983, atendiendo a la distribución de pluviometrías,\* se evalúan de la siguiente forma:

$$(803 \times 6 + 743 \times 3,75) \times 24 \times 365 = 66,6 \text{ Hm}^3$$

Así mismo, los flujos medios a la laguna en el periodo junio 1983-mayo 1984 se estiman de la siguiente forma:

$$(743 \times 3,5 + 803 \times 8,5) \times 24 \times 30,4 = 6,9 \text{ Hm}^3$$

La reinfiltración de riegos se ha estimado entre un 5 y un 15% de las aguas extraídas para regadío.

## 10.3.1.2.- PROCEDIMIENTO DE EVALUACION

Comparando el periodo octubre 1973-mayo 1983 con el junio 1983-mayo 1984 se pueden establecer dos ecuaciones de balance hídrico del acuífero de la forma:

$$D_{73-83} + P_{73-83} i = (1-r) B_{73-83} + SL_{73-83}$$

$$D_{83-84} + P_{83-84} i = (1-r) B_{83-84} + SL_{83-84}$$

---

(\*) Esta distribución se hace en función de n° de años o meses húmedos y secos que existen en cada uno de los periodos.

siendo:

r	= coeficiente de recirculación de riegos que puede tomar los valores 0,05 y 0,15.	
D73-83	= desaturación periodo oct 1973-may 1983	= 150,7 Hm <sup>3</sup> .
D83-84	= desaturación periodo jun 1983-may 1984	= -88,03 Hm <sup>3</sup> .
P73-83	= precipitaciones periodo oct 1973-may 1983 sobre la cuenca vertiente de la laguna	= 525 Hm <sup>3</sup> .
P83-84	= precipitaciones periodo jun 1983-may 1984 sobre la cuenca vertiente de la laguna	= 65,8 Hm <sup>3</sup> .
B73-83	= extracción por bombeo periodo oct 1973-may 1983	= 36,5-45,5 Hm <sup>3</sup> .
B83-84	= extracción por bombeo periodo jun 1983-may 1984	= 1,5 Hm <sup>3</sup> .
SL73-83	= salidas subterráneas a la laguna periodo oct 1973-may 1983	= 66,6 Hm <sup>3</sup> .
SL83-84	= salidas subterráneas a la laguna periodo jun 1983-may 1984	= 6,9 Hm <sup>3</sup> .

Incognitas:

$\alpha$	= porosidad eficaz.
i	= coeficiente de infiltración.

Los resultados que se obtienen para los cuatro sistemas de ecuaciones alternativas que se plantean varían entre una porosidad eficaz del 5,1% e infiltración del 19,5%, y una porosidad eficaz del 3,8% e infiltración del 17,5%.

#### 10.3.2.- SELECCION DE LA RESERVA UTIL MAXIMA DEL SUELO Y ESTIMACION DE LLUVIA UTIL PARA UN PERIODO MEDIO.

A partir de los datos de precipitación (cuadro 38) y de los porcentajes de infiltración del 17,5 al 19,5% puede estimarse la infiltración en el periodo 1973-1982 comprendida entre 68 y 76 mm/a.

El carácter permeable de la cuenca y la escasa pen -

diente de sus vertientes permiten asumir que la escorrentía superficial directa a la laguna será inferior a la escorrentía subterránea. Lamentablemente no se dispone de series de aforos que permitan estimaciones fiables, aunque en el transcurso de este estudio se han instalado estaciones que permitirán definir en un futuro inmediato este parámetro; en su defecto la escorrentía superficial podría estimarse orientativamente, teniendo en cuenta el carácter seco del periodo, en un 10-20% de la lluvia útil.

Sumando las escorrentías subterránea y superficial se obtendrá una estimación de lluvia útil para el periodo 1973-1982 en una cifra del orden de 75 a 95 mm/a.

En el apartado 2.5, se definía la lluvia útil para diversos valores de la reserva útil del suelo en distintas estaciones termopluviométricas. Interpolando en los cálculos de La Roda, La Herriza y Humilladero para el periodo 1973-1982, se podría estimar que:

para RUM = 100 mm	Llu = 76 mm
para RUM = 75 mm	Llu = 97 mm
para RUM = 50 mm	Llu = 120 mm
para RUM = 25 mm	Llu = 147 mm

y por tanto se concluye que la RUM debe ser del orden de 75-100 mm. Estos valores representan una media entre los distintos suelos de la cuenca.

Ampliando el periodo de observación a 1962-1982 (cuadros 18, 19 y 20) puede estimarse la lluvia útil sobre la cuenca vertiente a la laguna del orden de 130-154 mm/año, lo que representa un 29-34% de las precipitaciones; al aumentar el coeficiente de lluvia útil, aumentará la escorrentía superficial pudiendo estimarse ésta preliminarmente en unos 40-54 mm al año (9-12% de las precipitaciones) y la infiltración media en unos 90-100 mm/a (20-22% de las precipitaciones).

Hay que insistir en que los coeficientes de escorrentía aludidos sólo pueden aplicarse a periodos suficientemente representativos, en que la media de precipitaciones está cercana al valor medio de 453 mm/a. En cuanto a los datos disponibles del periodo 1973-1982, muestran que para precipitaciones inferiores a 350 mm/a la lluvia util es escasa o nula, creciendo el porcentaje sobre las precipitaciones, al aumentar la magnitud de éstas, habiéndose estimado porcentajes del 35 al 40% para lluvias de 450 a 500 mm/a. Por tanto, para estimar la lluvia util de un año aislado, el método más adecuado es mediante el procedimiento de Thornthwaite con valor de RUM de 75 a 100 mm.

#### 10.3.3.- ESTIMACION Y CONSUMO DE RESERVAS

El volumen de acuífero saturado se ha estimado a partir de datos de columnas de sondeos mecánicos, de datos de interpretación geofísica, de cortes estructurales y de planos de isopiezas, en unos 4000 Hm<sup>3</sup>. Las reservas totales de agua almacenadas en el acuífero se estiman entre 100 y 160 Hm<sup>3</sup>, según sea la porosidad eficaz que se adopte (\*).

Esta capacidad de almacenamiento de agua permite regular las variaciones de recarga y descarga del acuífero. En el periodo octubre 1973-mayo 1983 y a partir de los cálculos de desaturación, se ha estimado un consumo de reservas comprendido entre 5,7 y 7,7 Hm<sup>3</sup> (0,6 - 0,8 Hm<sup>3</sup>/a). Debido a las lluvias del segundo semestre de 1983, en mayo de 1984 se había experimentado una recuperación de reservas comprendida entre 3,3 y 4,5 Hm<sup>3</sup>, respecto al mínimo observado en junio de 1983.

Se ha estimado que la capacidad de embalse puesta en operación de forma natural por el acuífero durante el periodo

---

(\*) En el apartado 10.3.1. se determinó la porosidad eficaz en la parte superior del acuífero entre 3,8 y 5,1%; sin embargo se desconoce la evolución de este parámetro en la parte inferior del acuífero.

1962-1982 fue de unos 65 Hm<sup>3</sup> (cuadro 39).

10.3.4.- BALANCE HIDRICO DEL ACUIFERO PARA EL PERIODO OCTUBRE  
1973-MAYO 1984

Recarga:

- Infiltración de la lluvia o percolación de aguas superficiales

393 mm/a x (0,175 a 0,195) x 140 Km<sup>2</sup>      9,6 - 10,7 Hm<sup>3</sup>/a

- Recirculación de riegos

(0,05 a 0,15 sobre los bombeos)      0,2 - 0,5 Hm<sup>3</sup>/a

TOTAL

9,8 - 11,2 Hm<sup>3</sup>/a

Descarga:

- Extracción por bombeo

3,5 - 4,4 Hm<sup>3</sup>/a

- Descarga a la laguna

6,8 Hm<sup>3</sup>/a

TOTAL

10,3 - 11,2 Hm<sup>3</sup>/a

Extracción reservas:

0,2 - 0,3 Hm<sup>3</sup>/a

10.3.5.- BALANCE HIDRICO DEL ACUIFERO PARA EL PERIODO MEDIO

Recarga:

- Infiltración de la lluvia o percolación de aguas superficiales

453 mm/a x (0,20 a 0,22) x 140 Km<sup>2</sup>      12,7 - 13,9 Hm<sup>3</sup>/a

- Recirculación de riegos

0,1 - 0,5 Hm<sup>3</sup>/a



Descarga:

- Extracción por bombeos (*)	3	Hm <sup>3</sup> /a
- Salidas a la laguna	9,8 - 11,4	Hm <sup>3</sup> /a

Variación de reservas

0

En el cuadro 39 se ha realizado un balance hídrico - del acuífero para cada uno de los años del periodo 1962-1982. Para ello se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se ha considerado lalluvia util correspondiente a - una Reserva Util Máxima del Suelo de 80 mm, en las estaciones pluviométricas de Humilladero, La Herri-za y La Roda.
- La distribución de lluvia util entre escorrentía - subterránea y superficial se ha realizado atendien- do al baremo siguiente; establecido de forma preli- minar, en base a la experiencia regional:

Lluvia util (mm/a)	Escorrentía superficial (%)	Escorrentía subterránea (%)
< 50	0	100
80	2,5	97,5
100	5	95
120	7,5	92,5
140	10	90
160	15	85
180	20	80
200	27,5	72,5
> 205	resto	150 mm/a

(\*) Supuesta la extracción por bombeo en 1983.

- La recirculación de riegos se ha estimado en un 10% de la extracción por bombeo.
- Los flujos subterráneos anuales a la laguna se han evaluado a partir de establecer una relación de proporcionalidad entre variación de flujo y variación de reservas, a partir de los datos existentes del periodo 1973-1984; esta relación es de:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\Delta \text{ flujo (periodo oct 1973-jun 1983)}}{\Delta \text{ volumen acuífero saturado x porosidad eficaz}} = \\
 & = \frac{60 \times 10^{-6} \text{ Hm}^3/\text{h} \times 8760 \text{ h/a}}{150,7 \text{ Hm}^3 \times 4,4\%} = 0,079 \text{ a}^{-1}
 \end{aligned}$$

Se ha partido de los flujos ya conocidos de octubre de 1973, junio-1983 y mayo-1984 para ajustar el conjunto.

- La variación anual de reservas se ha calculado a partir de los balances anuales por diferencia entre entradas y salidas del acuífero.

Debe anotarse que mientras que los balances de los años del periodo 1973-1982 pueden estar bastante cercanos a la realidad, los supuestos de partida, especialmente en lo relativo a bombeos en el periodo 1962-1972 confieren a los balances de estos años un caracter orientativo y, en cualquier caso, demostrativo del funcionamiento del acuífero.

#### 10.3.6.- CONSIDERACIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO

El cuadro 39 pone de manifiesto que frente a unas variaciones poco acusadas en las descargas del acuífero (entre 9 y 15 Hm<sup>3</sup>/a), la recarga puede variar entre 0 y 22 Hm<sup>3</sup>/a.

Estas variaciones son reguladas por la capacidad de almacenamiento del acuífero que acusa oscilaciones de hasta 13 Hm<sup>3</sup> entre uno y otro año, que se traducen en fuertes oscilaciones de niveles piezométricos.

Por el contrario la baja transmisividad del acuífero amortigua la variación de los flujos subterráneos a la laguna, que oscila proporcionalmente a la variación de reservas, pero de forma amortiguada; los valores absolutos del flujo subterráneo varían entre 3,2 y 7,7 Hm<sup>3</sup>/a.

Cuadro 39

Año hidrológico	Lluvia útil (mm/a)	Recarga por infiltración		Recirculación por riegos (Hm <sup>3</sup> /a)	Total entradas (Hm <sup>3</sup> /a)	Bombeos (Hm <sup>3</sup> /a)	Flujo subterráneo a la laguna (Hm <sup>3</sup> /a)	Total salidas (Hm <sup>3</sup> /a)	Variación reservas (Hm <sup>3</sup> /a)
		(mm/a)	(Hm <sup>3</sup> /a)						
1962-1963	408	150	21,00	0,55	21,55	5,5	3,23	8,73	+12,82
1963-1964	292	150	21,00	0,60	21,60	6,0	4,19	10,19	+11,41
1964-1965	77	75	10,50	0,60	11,10	6,0	4,66	10,66	+ 0,44
1965-1966	161	135	18,90	0,65	19,55	6,5	5,00	11,50	+ 8,05
1966-1967	51	51	7,14	0,65	7,79	6,5	5,16	11,66	- 3,87
1967-1968	221	150	21,00	0,70	21,70	7,0	5,38	12,38	+ 9,32
1968-1969	258	150	21,00	0,70	21,70	7,0	6,09	13,09	+ 8,61
1969-1970	222	150	21,00	0,70	21,70	7,0	6,74	13,74	+ 7,96
1970-1971	174	142	19,88	0,70	20,58	7,0	7,31	14,31	+ 6,27
1971-1972	90	86	12,04	0,70	12,74	7,0	7,49	14,49	- 1,75
1972-1973	62	62	8,68	0,70	9,38	7,0	7,22	14,22	- 4,84
1973-1974	35	35	4,90	0,70	5,60	7,0	6,71	13,71	- 8,11
1974-1975	34	34	4,76	0,60	5,26	6,0	6,12	12,12	- 6,86
1975-1976	122	112	15,68	0,50	16,18	5,0	6,05	11,05	+ 5,13
1976-1977	197	146	20,44	0,50	20,94	5,0	6,62	11,62	+ 9,32
1977-1978	102	96	13,44	0,40	13,84	4,0	7,10	11,10	+ 2,74
1978-1979	196	145	20,30	0,35	20,65	3,5	7,59	11,09	+ 9,56
1979-1980	12	12	1,68	0,30	1,98	3,0	7,62	10,62	- 8,64
1980-1981	0	0	0,00	0,30	0,30	3,0	6,90	9,90	- 9,60
1981-1982	134	121	16,94	0,30	17,24	3,0	6,81	9,81	+ 7,43

BALANCES HIDRICOS ANUALES DEL ACUIFERO DE FUENTE DE PIEDRA (periodo 1962-1982)

#### 10.4.- BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA

##### 10.4.1.- DATOS DE PARTIDA

En los cuadros 40 a 59 se ha efectuado una estimación mensual del volumen de agua almacenado en la laguna durante el periodo 1962-1982, mediante un balance de entradas y salidas de agua a la misma.

Se han considerado las entradas siguientes:

- Precipitación directa sobre los 13 Km<sup>2</sup> de superficie de la laguna.
- Escorrentía superficial directa desde la cuenca ver tiente a la laguna (escorrentía superficial no infiltrada en el acuífero).
- Flujo subterráneo del acuífero a la laguna.

La única salida es la evaporación desde la lámina libre de agua, o desde el acuífero en la zona en que, por existir un nivel freático somero, sea posible un acceso del agua a la superficie del terreno por capilaridad; a estos efectos la zona sometida al efecto de la evaporación se circunscribe a la de la actual laguna, de 13 Km<sup>2</sup>.

La precipitación mensual corresponde a la estación pluviométrica de Humilladero, estación cercana a la laguna con un mayor número de datos medidos, no estimados.

La escorrentía superficial se ha estimado a partir de la lluvia anual, mediante el baremo indicado en el apartado 10.3.5., y posterior reparto proporcional entre los meses en que la lluvia mensual superase los 50 mm.

El flujo subterráneo a la laguna corresponde al anual indicado en el cuadro 39, repartido en valores mensuales. Se asume que la recarga por infiltración hasta marzo modifica el flujo subterráneo a partir de abril, permaneciendo éste igual hasta marzo del año siguiente. Esto introduce un cierto error ya que cualquier modificación de las reservas del acuífero, por recarga o por extracción, incide en el flujo subterráneo. Sin embargo, el sistema acuífero muestra una gran inercia y las variaciones estacionales del flujo subterráneo son realmente de algunas centésimas de Hm<sup>3</sup>, es decir, poco relevantes frente a las variaciones de aportación pluviométrica o de la evaporación, del orden de la décimas o incluso del orden del Hm<sup>3</sup>.

Respecto a la evaporación se han utilizado los valores del cuadro 26 obtenidos del modo que se expone en los apartados 2.6.4 y 2.6.3.2., partiendo de la fórmula de PENMAN, considerando parámetros que han sido medidos en el embalse del Guadalhorce y aplicando finalmente correlaciones para completar la serie de datos necesaria para el cálculo. En una primera pasada se ha comprobado que los valores de evapora

ción potencial, estimados en el cuadro 26 no equilibraban el balance de forma satisfactoria, posiblemente al haberse evaluado por defecto; en realidad las condiciones termodinámicas de la masa de agua del embalse no son las mismas que las de una laguna con sólo unos decímetros de lámina de agua, ni son idénticos el régimen y la humedad de los vientos en ambas zonas. Se ha comprobado que dichos valores, aumentados en un 25%, se ajustan más fielmente a las variaciones del sistema de la laguna.

El cálculo se ha realizado de la forma siguiente (cuadros 40 a 59):

El total entradas es la suma de la precipitación sobre la laguna, la escorrentía superficial y el flujo subterráneo. Este volumen de agua, más el excedente del mes anterior en la laguna (total aportación), se comparan con la evaporación potencial. Si la diferencia es positiva, la evaporación potencial iguala a la real, y la diferencia es el volumen de agua que queda en la laguna; si la diferencia es negativa, la evaporación real coincide con el total aportación y no queda agua en la laguna. En el caso de que el volumen de agua resultante en la laguna superase los 39 Hm<sup>3</sup>, máxima capacidad de almacenaje de aquella, la laguna rebosa; parte de este excedente se evapora directamente, parte se almacena en el suelo y se evapotranspira, y parte se infiltra en el acuífero aumentando temporalmente el flujo subterráneo a la laguna; la incidencia de este supuesto se reduce a los años 1962-1963 y 1963-1964.

Los flujos subterráneos a la laguna se han ajustado con mayor confianza para el periodo 1973-1982, y estimado de forma más orientativa para el periodo 1962-1972; la escorrentía superficial se ha estimado de una forma menos precisa, debido a la inexistencia de datos, basándose en la experiencia regional.

Tampoco se dispone de medidas directas de evaporación, que ha habido que ajustar a partir de series de datos estima-

dos por procedimientos indirectos. El ajuste se ha realizado comparando los volúmenes de agua resultantes en la laguna - con los datos históricos ocasionales que se poseen sobre existencia o no de agua en la laguna, e incluso con las referencias históricas sobre presencia o ausencia de flamencos en la misma.

A pesar de las dificultades en obtener datos fiables, particularmente en lo que se refiere a evaporación y escorrentía superficial, los resultados se adaptan bastante bien a las variaciones de volumen conocidas en la laguna, por lo que puede asumirse que se ha establecido el modelo cuantitativo de funcionamiento hidrológico de la cuenca en su pauta general, que ha permitido avanzar en los siguientes objetivos:

- Conocer las incidencias relativas de los distintos parámetros hidrológicos en las variaciones del agua almacenada en la laguna.
- Establecer previsiones de evolución, a partir de una situación climática dada y de almacenamiento de agua en la laguna.
- Estudiar la influencia en la evolución de la laguna de la modificación de cualquiera de los elementos hidrológicos representativos.

Para poder cubrir estos objetivos -sobre todo los dos últimos- de forma más precisa, se requerirá mejorar la serie de controles hidrológicos de la cuenca (de explotación, con controles piezométricos, parámetros hidráulicos del acuífero, escorrentía superficial, evaporación y niveles de agua en la laguna) durante un periodo de tiempo suficientemente representativo, con un tratamiento automatizado de los datos que permita establecer y ajustar un modelo matemático de la cuenca, instrumento idóneo para su gestión.



BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1962-1963) Cuadro 40

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	112,8	57,1	168,9	121,6	121,2	31,9	30,2	81,4	0,0	0,0	0,0	34,5	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,5	0,7	2,2	1,6	1,6	0,4	0,4	1,1	0,0	0,0	0,0	0,4	9,9
E. superficial (mm)	38,7	0,0	64,5	64,5	64,5	0,0	0,0	25,8	0,0	0,0	0,0	0,0	258,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	5,4	0,0	9,1	9,1	9,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	36,3
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	1,23	1,31	1,31	0,80	0,80	0,31	0,31	7,2
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	7,1	1,0	11,5	10,9	10,9	1,5	1,7	6,0	0,8	0,8	0,3	0,8	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )	10,0	15,7	15,7	26,7	36,9	3,9	3,9	3,9	3,9	37,1	34,3	31,2	
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	17,1	16,7	27,2	37,6	47,8	41,5	40,7	4,5	39,8	37,9	34,6	32,0	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	104,0	78,0	40,0	50,0	40,0	75,0	87,0	143,0	207,0	279,0	260,0	101,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,4	1,0	0,5	0,7	0,5	1,0	1,1	1,9	2,7	3,6	3,4	2,1	19,9
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,4	1,0	0,5	0,7	0,5	1,0	1,1	1,9	2,7	3,6	3,4	2,1	19,9
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	15,7	15,7	26,7	36,9	39,0	39,0	39,0	39,0	37,1	34,3	31,2	29,9	32,0 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1963-1964) Cuadro 41

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	0,0	148,2	187,0	19,6	93,2	67,7	32,2	17,1	23,9	0,0	0,0	5,3	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	1,9	2,4	0,3	1,2	0,9	0,4	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	7,7
E. superficial (mm)	0,0	42,6	71,0	0,0	24,1	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	142,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	6,0	10,0	0,0	3,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,31	0,31	0,31	1,60	1,60	1,30	1,00	1,00	0,39	0,39	0,39	0,39	9,0
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,3	8,2	12,7	1,9	6,2	2,8	1,4	1,2	0,7	0,4	0,4	0,5	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )	29,9	28,8	36,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	37,3	34,9			
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	30,2	37,0	48,7	40,9	45,2	41,8	40,4	40,2	38,0	35,3	32,5	29,7	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	105,0	80,0	65,0	62,0	65,0	83,0	101,0	218,0	235,0	245,0	247,0	202,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,4	1,0	0,8	0,8	0,8	1,1	1,3	2,9	3,1	3,2	3,3	2,7	22,4
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,4	1,0	0,8	0,8	0,8	1,1	1,3	2,9	3,1	3,2	3,3	2,7	22,4
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> ) <sup>(3)</sup>	28,8	36,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	37,3	34,9	32,1	29,2	26,9	35,0

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1964-1965) Cuadro 42

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	4,0	51,8	58,9	57,6	53,6	44,7	39,0	6,8	11,9	0,0	0,0	91,4	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,1	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,1	0,2	0,0	0,0	1,2	5,6
E. superficial (mm)	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	4,7
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,4	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,5	0,5	0,4	0,4	1,7	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )	26,9	26,0	26,1	26,6	27,1	27,4	27,3	26,8	25,2	22,7	20,0	16,8	
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	27,3	27,1	27,3	27,8	28,2	28,4	28,2	27,3	25,7	23,1	20,4	18,5	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	103,0	65,0	49,0	55,0	58,0	84,0	105,0	161,0	235,0	243,0	261,0	142,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,3	0,9	0,7	0,7	0,8	1,1	1,4	2,1	3,1	3,2	3,5	1,9	20,7
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,3	0,9	0,7	0,7	0,8	1,1	1,4	2,1	3,1	3,2	3,5	1,9	20,7
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	26,0	26,1	26,6	27,1	27,4	27,3	26,8	25,2	22,7	20,0	16,8	16,6	24,0 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1965-1966) Cuadro 43

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	60,9	68,2	50,6	96,3	91,6	0,0	36,4	7,2	24,5	0,0	2,2	40,6	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,8	0,9	0,7	1,3	1,2		0,5	0,1	0,3	0,0	0,0	0,5	6,3
E. superficial (mm)	5,2	5,2	0,0	7,8	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,7	0,7	0,0	1,1	1,1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	5,0
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,9	2,0	1,0	2,7	2,7	0,4	0,9	0,5	0,8	0,4	0,5	1,0	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )	16,6	17,1	18,2	18,5	20,5	22,2	21,5	21,0	19,4	17,6	15,0	12,1	
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	18,5	19,1	19,2	21,2	23,2	22,6	22,4	21,5	20,2	18,0	15,5	13,1	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	108,0	68,0	60,0	61,0	74,0	85,0	109,0	161,0	195,0	229,0	258,0	170,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,4	0,9	0,8	0,8	1,0	1,1	1,4	2,1	2,6	3,0	3,4	2,2	20,7
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,4	0,9	0,8	0,8	1,0	1,1	1,4	2,1	2,6	3,0	3,4	2,2	20,7
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> ) <sup>(3)</sup>	17,1	18,2	18,5	20,5	22,2	21,5	21,0	19,4	17,6	15,0	12,1	10,9	17,8

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1966-1967) Cuadro 44

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	69,8	38,6	4,5	41,4	96,7	15,1	24,3	15,1	27,5	0,0	0,0	0,0	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,9	0,5	0,1	0,5	1,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	4,4
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	5,2
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,3	0,9	0,5	1,0	1,7	0,6	0,7	0,6	0,8	0,4	0,4	0,4	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	12,2	11,5	11,3	11,6	12,6	12,4	12,0	11,3	10,4	8,3	5,5	2,3	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	124,0	61,0	52,0	52,0	56,0	90,0	99,0	135,0	185,0	253,0	274,0	188,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,6	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,3	1,8	2,4	3,3	3,6	2,4	20,6
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,6	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,3	1,8	2,4	3,3	3,6	2,3	20,5
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	10,6	10,8	10,6	10,9	11,8	11,3	10,7	9,6	7,9	5,1	1,9	0,0	8,4 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1967-1968) Cuadrc 45

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	50,1	146,7	24,3	2,7	109,2	114,5	21,1	23,7	6,0	0,0	9,6	0,0	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,7	1,9	0,3	0,0	1,4	1,5	0,3	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	6,6
E. superficial (mm)	0,0	28,7	0,0	0,0	20,6	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	4,0	0,0	0,0	2,9	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	5,4
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,1	6,3	0,7	0,5	4,7	5,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,5	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )	0,0												
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	1,1	6,3	6,1	7,0	10,1	14,4	14,2	13,6	12,1	9,8	6,9	4,2	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	135,0	76,0	43,0	46,0	57,0	75,0	108,0	156,0	212,0	276,0	245,0	190,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,8	1,0	0,6	0,6	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	3,6	3,2	2,5	21,2
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,1	1,0	0,6	0,6	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	3,6	3,2	2,5	20,5
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	5,3	5,5	5,4	9,4	13,4	12,8	1,6	9,4	6,3	3,7	1,7	7,0 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1968-1969) Cuadro 46

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	0,0	79,9	81,8	83,9	103,0	83,7	50,1	15,1	21,2	0,0	80,0	77,2	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	1,0	1,1	1,1	1,3	1,1	0,7	0,2	0,3	0,0	1,0	1,0	8,8
E. superficial (mm)	0,0	15,0	15,0	15,0	18,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	15,0	108,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	2,1	2,1	2,1	2,5	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	2,1	15,1
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	6,1
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,5	3,6	3,7	3,7	4,3	3,7	1,2	0,7	0,8	0,5	3,7	3,6	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	2,2	3,9	6,6	9,5	13,1	16,1	16,3	15,6	14,4	12,4	12,3	12,4	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	145,0	78,0	55,0	60,0	51,0	82,0	108,0	162,0	195,0	290,0	273,0	176,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,9	1,0	0,7	0,8	0,7	1,1	1,4	2,0	2,5	3,8	3,5	2,3	21,7
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,9	1,0	0,7	0,8	0,7	1,1	1,4	2,0	2,5	3,8	3,5	2,3	21,7
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,3	2,9	5,9	8,8	12,4	15,1	14,8	13,6	11,9	8,7	8,8	10,2	9,4 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1969-1970) Cuadro 47

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	3,9	111,2	45,8	199,5	8,2	48,3	17,1	27,7	18,7	0,0	0,0	0,9	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,5	1,4	0,6	2,6	0,1	0,6	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	6,6
E. superficial (mm)	0,0	28,8	0,0	43,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	4,0	0,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	6,7
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,0	6,0	1,1	9,2	0,6	1,2	0,8	1,0	0,8	0,6	0,6	0,6	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	11,2	15,7	16,1	24,7	24,6	24,7	24,0	22,8	20,0	17,5	13,9	10,8	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	116,0	62,0	45,0	58,5	80,0	114,0	170,0	275,0	239,0	325,0	281,0	260,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,5	0,8	0,6	0,8	1,0	1,5	2,2	3,6	3,1	4,2	3,7	3,4	26,4
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,5	0,8	0,6	0,8	1,0	1,5	2,2	3,6	3,1	4,2	3,7	3,4	26,4
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	9,7	14,9	15,5	23,9	23,5	23,2	21,8	19,2	16,9	13,3	10,2	7,5	16,6 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.



BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1970-1971) Cuadro 48

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	15,9	50,5	10,7	84,2	0,0	64,7	107,1	59,5	12,6	0,0	0,0	0,0	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,2	0,7	1,4	1,1	0,0	0,8	1,4	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	6,6
E. superficial (mm)	0,0	0,0	9,6	6,4	0,0	3,2	9,6	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	1,3	0,9	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	7,3
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,8	1,2	3,3	2,6	0,6	1,9	3,4	1,9	0,8	0,6	0,6	0,6	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	8,3	7,8	9,9	11,9	11,8	12,5	14,9	15,6	14,6	12,9	9,8	7,2	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	135,0	92,0	42,0	53,0	92,0	76,0	91,0	133,0	181,0	288,0	249,0	205,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,8	1,2	0,5	0,7	1,2	1,0	1,2	1,7	2,4	3,7	3,2	2,7	21,3
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,8	1,2	0,5	0,7	1,2	1,0	1,2	1,7	2,4	3,7	3,2	2,7	21,3
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	6,5	6,6	9,3	11,2	10,6	11,5	13,7	13,8	12,3	9,2	6,5	4,5	<sup>(3)</sup> 9,6

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1971-1972) Cuadro 49

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	0,0	32,4	38,8	63,8	45,9	56,2	12,4	23,0	16,0	0,0	0,0	58,5	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,8	4,5
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	4,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	7,5
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,6	1,1	1,1	1,7	1,2	1,4	0,8	0,9	0,8	0,6	0,6	1,5	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	5,1	4,4	4,7	5,8	6,6	7,4	7,3	6,8	5,5	3,8	1,3	1,5	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	138,0	65,0	45,0	36,0	46,0	66,0	106,0	165,0	179,0	238,0	236,0	137,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,9	1,4	2,1	2,3	3,1	3,1	1,8	19,0
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,9	1,4	2,1	2,3	3,1	2,3	1,5	17,9
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	3,3	3,6	4,1	5,4	6,0	6,5	5,9	4,7	3,2	0,7	0,0	0,0	<sup>(3)</sup> 3,6

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1972-1973) Cuadro 50

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	103,5	66,8	36,4	42,6	12,5	36,7	31,0	69,5	24,1	0,0	1,8	0,0	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,3	0,9	0,5	0,6	0,2	0,5	0,4	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	5,6
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	7,2
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	2,0	1,5	1,1	1,2	0,8	1,1	1,0	1,5	0,9	0,0	0,0	0,0	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	2,0	2,5	3,1	3,9	4,3	4,7	4,6	4,1	2,6	0,0	0,0	0,0	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	74,0	40,0	27,0	34,0	50,0	88,0	147,0	190,0	226,0	256,0	252,0	169,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,1	0,5	0,4	0,4	0,7	1,1	1,9	2,5	2,9	3,3	3,3	2,2	20,3
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,1	0,5	0,4	0,4	0,7	1,1	1,9	2,5	2,6	0,6	0,6	0,6	13,0
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,0	2,0	2,7	3,5	3,6	3,6	2,6	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1973-1974) Cuadro 51

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	17,5	24,9	71,4	15,6	37,8	49,4	49,6	4,7	45,2	0,0	0,0	0,0	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,2	0,3	0,9	0,2	0,5	0,6	0,6	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	4,0
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	6,7
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,8	0,9	1,5	0,8	1,1	1,2	1,2	1,6	1,1	0,5	0,5	0,5	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	0,8	0,9	1,8	2,3	2,8	3,5	3,5	2,8	1,3	0,5	0,5	0,5	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	91,0	50,0	25,0	36,0	50,0	91,0	99,0	198,0	195,0	259,0	254,0	165,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,2	0,7	0,3	0,5	0,7	1,2	1,3	2,6	2,5	3,4	3,3	2,1	19,8
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	0,8	0,7	0,3	0,5	0,7	1,2	1,3	2,6	1,3	0,5	0,5	0,5	10,9
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,3	1,5	1,8	2,3	2,3	2,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1974-1975) Cuadrc 52

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	4,5	12,0	1,0	17,2	36,1	95,3	45,1	24,2	1,2	0,0	0,5	0,5	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,1	0,2	0,0	0,2	0,5	1,2	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	6,1
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,6	0,7	0,5	0,8	1,0	1,8	1,1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	0,6	0,7	0,6	1,0	1,4	2,5	2,5	1,7	0,5	0,5	0,5	0,5	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	85,0	49,0	31,0	45,0	51,0	83,0	122,0	161,0	211,0	275,0	236,0	154,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,1	0,6	0,4	0,6	0,7	1,1	1,6	2,1	2,7	3,6	3,1	2,0	19,6
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	0,6	0,6	0,4	0,6	0,7	1,1	1,6	1,7	0,5	0,5	0,5	0,5	9,3
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1975-1976) Cuadro 53

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	3,1	10,6	58,8	21,4	90,4	47,9	79,8	31,6	0,0	1,0	12,2	56,9	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,1	0,8	0,3	1,2	0,6	1,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,7	5,3
E. superficial (mm)	0,0	0,0	1,5	0,0	4,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	10,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	6,0
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,5	0,6	1,5	0,8	2,2	1,1	2,0	0,9	0,5	0,5	0,7	0,5	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )												0,0	
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	0,5	0,6	1,5	1,6	3,1	3,4	4,4	4,2	2,5	0,5	0,7	1,5	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	137,0	76,0	52,0	53,0	62,0	77,0	87,0	170,0	233,0	281,0	267,0	183,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,8	1,0	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	2,2	3,1	3,7	3,5	2,4	22,0
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1	2,2	2,5	0,5	0,7	1,5	12,8
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,8	0,9	2,3	2,4	3,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<sup>(3)</sup> 1,0

(1). Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1976-1977) Cuadro 54

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	93,5	30,6	119,3	127,9	43,7	13,8	7,8	6,0	16,3	19,6	0,0	0,0	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,2	0,4	1,5	1,7	0,6	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0	0,0	6,3
E. superficial (mm)	10,2	0,0	15,3	25,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	1,4	0,0	2,1	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	6,6
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	3,2	0,9	4,2	5,8	1,1	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	3,2	2,6	5,7	10,6	10,9	10,8	10,2	9,2	8,0	6,2	3,6	1,3	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	111,0	92,0	66,0	57,0	66,0	95,0	128,0	157,0	196,0	245,0	226,0	198,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,4	1,2	0,9	0,7	0,9	1,2	1,7	2,0	2,5	3,2	2,9	2,6	21,2
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,4	1,2	0,9	0,7	0,9	1,2	1,7	2,0	2,5	3,2	2,9	1,3	19,9
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,7	1,4	4,8	9,8	10,1	9,5	8,5	7,2	5,4	3,1	0,7	0,0	5,2 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1977-78 ) Cuadro 55

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TC TAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	31,3	50,5	58,9	17,2	82,4	64,4	50,7	22,2	20,9	0,0	0,0	3,6	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,4	0,7	0,8	0,2	1,1	0,8	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	5,3
E. superficial (mm)	0,0	0,0	1,0	0,0	3,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	7,1
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,0	1,2	1,5	0,8	2,1	1,7	1,3	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	1,0	1,2	1,6	1,7	3,2	4,0	4,0	3,7	2,6	0,9	0,6	0,6	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	134,0	84,0	56,0	46,0	69,0	92,0	97,0	146,0	180,0	291,0	270,0	221,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,7	1,1	0,7	0,6	0,9	1,2	1,3	1,9	2,3	3,8	3,5	2,9	21,9
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,0	1,1	0,7	0,6	0,9	1,2	1,3	1,9	2,3	0,9	0,6	0,6	13,1
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,1	0,9	1,1	2,3	2,8	2,8	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.



BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1978-1979) Cuadro 56

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	29,8	8,4	77,7	116,3	110,5	50,4	25,8	0,5	0,0	3,5	0,0	18,1	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,4	0,1	1,0	1,5	1,4	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	5,6
E. superficial (mm)	0,0	0,0	11,2	20,4	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	1,6	2,9	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	7,6
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,0	0,7	3,2	5,0	4,8	1,3	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	1,0	0,7	3,2	7,3	11,3	11,8	11,8	11,2	9,3	7,0	4,1	1,8	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	129,0	78,0	66,0	62,0	58,0	75,0	98,0	192,0	236,0	272,0	246,0	187,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,7	1,0	0,9	0,8	0,8	1,0	1,3	2,5	3,1	3,5	3,2	2,4	22,2
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,0	0,7	0,9	0,8	0,8	1,0	1,3	2,5	3,1	3,5	3,2	1,8	20,6
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	2,3	6,5	10,5	10,8	10,5	8,7	6,3	3,4	0,9	0,0	5,0 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1979-1980) Cuadro 57

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	150,4	10,8	9,1	18,1	34,0	43,5	6,6	43,0	0,5	0,0	0,0	6,5	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	2,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	4,2
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	7,6
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	2,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	0,7	1,2	0,6	0,6	0,6	0,7	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	2,6	1,9	1,6	1,8	2,3	2,7	2,3	2,1	0,6	0,6	0,6	0,7	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	117,0	82,0	49,0	51,0	60,0	85,0	109,0	169,0	211,0	267,0	254,0	183,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,5	1,1	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	2,2	2,7	3,5	3,3	2,4	21,3
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,5	1,1	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	2,1	0,6	0,6	0,6	0,7	11,8
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,1	0,8	0,9	1,2	1,5	1,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1980-1981) Cuadro 58

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	46,0	70,5	0,3	0,0	3,7	26,0	102,1	20,4	20,5	0,0	7,7	18,8	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,3	1,3	0,3	0,3	0,0	0,1	0,2	4,0
E. superficial (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	6,9
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	1,2	1,5	0,6	0,6	0,7	0,9	1,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,8	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	1,2	1,5	1,1	1,1	1,1	1,3	1,9	1,3	0,8	0,5	0,6	0,8	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	132,0	78,0	48,0	49,0	62,0	110,0	104,0	156,0	234,0	252,0	232,0	184,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,7	1,0	0,6	0,6	0,8	1,4	1,4	2,0	3,0	3,3	3,0	2,4	21,2
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	1,2	1,0	0,6	0,6	0,8	1,3	1,4	1,3	0,8	0,5	0,6	0,8	10,9
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,5	0,5	0,5	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA (año hidrológico 1981-1982) Cuadro 59

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TC TAL AÑO
P. (mm) <sup>(1)</sup>	5,9	0,0	120,5	66,9	55,8	6,0	51,8	12,4	0,0	20,7	0,0	7,6	
P. sobre la laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,1	0,0	1,6	0,9	0,7	0,1	0,7	0,2	0,0	0,3	0,0	0,1	4,7
E. superficial (mm)	0,0	0,0	7,8	2,0	2,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0
E. superficial cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	1,1	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
E. subterránea cuenca (Hm <sup>3</sup> )	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	6,8
Total entradas (Hm <sup>3</sup> )	0,6	0,5	3,2	1,7	1,5	0,6	1,4	0,8	0,6	0,9	0,6	0,7	
Excedentes mes anterior (Hm <sup>3</sup> )													
Total aportación (Hm <sup>3</sup> )	0,6	0,5	3,2	4,0	4,8	4,6	4,9	4,3	2,8	0,9	0,6	0,7	
Evap. potencial (mm) <sup>(2)</sup>	127,0	89,0	65,0	61,0	62,0	89,0	104,0	164,0	243,0	270,0	263,0	188,0	
Evap. potencial laguna (Hm <sup>3</sup> )	1,7	1,2	0,8	0,8	0,8	1,2	1,4	2,1	3,2	3,5	3,4	2,4	22,5
Evap. Real (Hm <sup>3</sup> )	0,6	0,5	0,8	0,8	0,8	1,2	1,4	2,1	2,8	0,9	0,6	0,7	13,2
Almacenamiento laguna (Hm <sup>3</sup> )	0,0	0,0	2,4	3,3	4,0	3,5	3,6	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6 <sup>(3)</sup>

(1) Precipitación en la estación de Humilladero (cuadro 4).

(2) Valores de EP de la estación de La Herriza (cuadro 26) incrementados en un 25%.

(3) Valor medio.

## 10.4.2.- FUNCIONAMIENTO HIDROLOGICO DE LA LAGUNA

Un balance de la laguna en condiciones medias (período 1962-1982) muestra las siguientes características:

## - Entradas:

Aportación pluviométrica	5,7 Hm <sup>3</sup> /a
Aportación por escorrentía superficial	5,9 Hm <sup>3</sup> /a
Flujo subterráneo a la laguna	6,3 Hm <sup>3</sup> /a
	<hr/>
TOTAL	17,9 Hm <sup>3</sup> /a =====

## - Salidas:

Evaporación real	18,4 Hm <sup>3</sup> /a =====
------------------	----------------------------------

## - Disminución de volumen de agua almacenada en la laguna:

0,5 Hm<sup>3</sup>/a  
=====

A pesar de que cada uno de los tres elementos de la recarga (pluviometría, escorrentía superficial y flujo subterráneo) contribuye globalmente en volumen similar a la laguna, a nivel mensual su comportamiento es distinto:

La precipitación sobre la laguna puede alcanzar 2,6 Hm<sup>3</sup>/mes (frente a una media de 0,5 Hm<sup>3</sup>/mes) y obviamente su aportación se regula por el propio almacenamiento de la laguna.

La escorrentía superficial sobre la cuenca también ocurre de forma inmediata a las lluvias y accede a la laguna sin ningún tipo de regulación; sobre una aportación mensual media de 0,5 Hm<sup>3</sup>, se pueden alcanzar aportaciones mensuales de hasta 10 Hm<sup>3</sup> (estimación preliminar).

El flujo subterráneo, por el contrario, llega a la laguna regulado por el acuífero, por lo que sus variaciones son pequeñas; sobre un flujo mensual medio de  $0,5 \text{ Hm}^3$ , los flujos mensuales extremos, en condiciones de que no rebase la laguna, varían entre  $0,3$  y  $0,7 \text{ Hm}^3$ .

En cuanto a la evaporación real, por otra parte, presenta un valor mensual medio de  $1,5 \text{ Hm}^3$ , frente al cual se han estimado valores mensuales extremos de  $0,4$  a  $4,2 \text{ Hm}^3$  (periodo 1962-1982).

El almacenamiento de agua en la laguna se ha estimado para el periodo 1962-1982 en un termino medio de  $9 \text{ Hm}^3$ , que representa una lámina media de agua de 70 cm. Sin embargo se diferencian netamente dos periodos: entre 1962 y 1971, el almacenamiento medio estimado es de  $17,8 \text{ Hm}^3$ , prácticamente sin secarse la laguna en los estiajes; durante el periodo 1972-1982, por el contrario, el almacenamiento medio es de  $1,9 \text{ Hm}^3$  secándose la laguna frecuentemente en estiajes entre los meses de julio a octubre.

La causa del distinto comportamiento de la laguna en ambos periodos se debe a las distintas aportaciones recibidas según se pone de manifiesto a continuación:

Aportación ( $\text{Hm}^3/\text{año}$ )	Pluviometría	Escorrentía superficial	Flujo subterráneo	Total
Periodo 1962-71	6,9	11,0	6,3	24,2
Periodo 1972-82	4,8	1,7	6,9	13,4

Particularmente significativa es la disminución de la escorrentía superficial, aunque esta consideración hay que tomarla con alguna reserva por tratarse de una magnitud estimada y no medida; puede asumirse que al disminuir las lluvias durante 1972-1982 ha disminuido también la intensidad de los chubascos, y con ella la escorrentía superficial. No debe des

cartarse la influencia que, sobre el mantenimiento del agua embalsada, ejercieron las fuertes lluvias de 1962-1963 ( y 1963-1964) que produjeron el llenado de la laguna, e inundaciones de las que existen referencias históricas.

Por el contrario, el flujo subterráneo a la laguna es ligeramente mayor en el periodo 1972-1982 que en el 1962-1971. La pluviometría más intensa durante los años 1962-1971 dio lugar a un aumento de las reservas en el acuífero con aumento del flujo subterráneo, aunque poco importante cuantitativamente.

Durante el periodo 1972-1982 las reservas subterráneas disminuyeron sólo ligeramente ya que la menor pluviometría fue compensada con la disminución de bombeos, y por ello el flujo subterráneo a la laguna queda prácticamente estabilizado.

Se puede concluir por tanto que la desecación de la laguna en los estiajes del periodo 1972-1982, se debió principalmente a causas climatológicas, y se trata por tanto de un fenómeno que se presenta ciclicamente.

En el periodo 1962-1982, de pluviometría muy cercana a la media, las estimaciones realizadas muestran que en el 14% de los meses la laguna estuvo seca, y en un 21% de los meses el volumen de agua fue inferior a 1 Hm<sup>3</sup>.

La extracción por bombeo en el acuífero ha tenido su incidencia en la disminución de aportaciones de agua a la laguna, aunque ha sido menor que la climática, al haberse reducido la extracción desde 1973 a 1982 a la mitad (3 Hm<sup>3</sup>/a); lo que supuso la estabilización del flujo subterráneo a la laguna. A título orientativo puede indicarse que una disminución o aumento de la extracción en 2,4 Hm<sup>3</sup>/ a lo largo del periodo 1962-1982 hubiese producido una variación en el porcentaje de meses con agotamiento de la laguna, de la forma que se expresa en el cuadro 60.

INCIDENCIA DEL FACTOR EXTRACCION POR BOMBEO EN EL AGOTAMIENTO DE LA LAGUNA Cuadro 60

	Meses con total agotamiento en la laguna		Meses en los que el volumen de agua en la laguna sería menor de 1 Hm <sup>3</sup> (lámina agua hasta 7 cm)	
	n° de meses	%	n° de meses	%
Extracción por bombeo según indica el cuadro 38 (1962-1982)	51	21	75	31
id. id. id. disminuida en 2,4 Hm <sup>3</sup> /a	26	11	34	14
id. id. id. aumentada en 2,4 Hm <sup>3</sup> /a	70	29	86	36

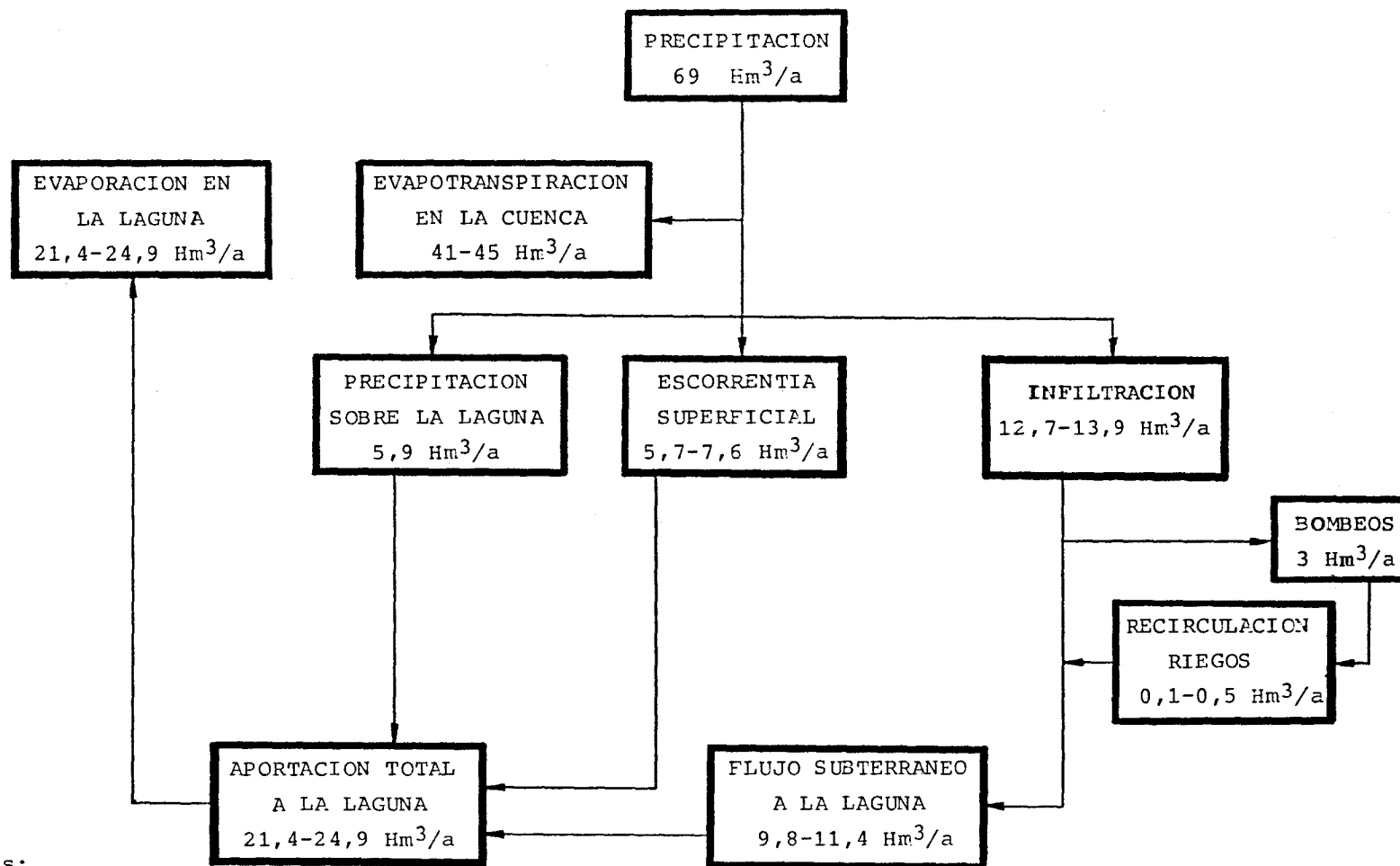


## 10.5.- BALANCE HIDRICO GLOBAL DE LA CUENCA

### 10.5.1.- BALANCE EN CONDICIONES MEDIAS

Un balance hídrico de la cuenca de Fuente de Piedra - en condiciones de pluviometría media, extracción por bombeo - reducida a la de 1983, e inexistencia de variaciones en los - almacenamientos, se presenta esquemáticamente en la figura - 42.

El valor de este balance es más orientativo que práctico, ya que, sólo ocasionalmente un año real presentará las características indicadas. El año real presenta variaciones - importantes de los factores ligados directamente a la precipitación , que a su vez originan variaciones importantes en la situación de los almacenamientos de agua en el acuífero y en la laguna.



Notas:

- No hay variación en los almacenamientos de agua, ni en la laguna ni en el acuífero.
- Se asume la extracción por bombeo existente en 1983: 3 Hm<sup>3</sup>/a.

Fig. 42.- BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DE FUENTE DE PIEDRA (condiciones de pluviometría media)

#### 10.5.2.- CONSIDERACIONES ACERCA DE LA GESTION OPTIMA DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA

Desde un punto de vista práctico, cualquier actuación que se lleve a cabo en la cuenca deberá permitir que la laguna se mantenga inundada al menos en las condiciones que permiten el mantenimiento de su colonia de aves, procurando que ello sea compatible con una mejor utilización del agua y reduciendo en lo posible las pérdidas por evaporación.

Aunque al tratarse de una cuenca cerrada, se podría argumentar que cualquier aumento de la extracción por bombeo disminuiría la cantidad de agua que llega a la laguna, es también cierto que los flujos de agua subterránea durante los meses de estiaje no son suficientes para equilibrar la evaporación potencial y mantener el nivel de agua en la laguna, por lo que se pierden inutilmente al evaporarse. Interesa pues, conocer el potencial del acuífero, dentro de los objetivos marcados para la cuenca, sobre todo si se tiene en cuenta su actual bajo grado de utilización frente a sus recursos, así como su interesante capacidad de almacenamiento.

Con vistas a definir el techo de la extracción en el acuífero, cabe la posibilidad de regular mediante bombeos el flujo de agua subterránea a la laguna con el fin de adaptarlo de forma coordinada a las aportaciones de las precipitaciones y las aguas superficiales. Hay dos esquemas posibles:

a) definir unos emplazamientos y un esquema de bombeo de forma tal que la mayor influencia de éste en el flujo subterráneo se produjese particularmente en los estiajes.

b) definir un esquema de bombeo, que permita reducir el flujo subterráneo a la laguna, de tal manera que en épocas lluviosas el nivel de la laguna se mantuviese con las aportaciones de lluvias y aguas superficiales, y en periodos o estaciones más secos se complementase con bombeos de aguas subterráneas.

En cualquier caso los esquemas de bombeo deberán tener en cuenta los riesgos que, para la explotación, suponen la salinidad del agua subterránea bajo la laguna y a determinadas profundidades del acuífero cercanas a su base triásica, así como la existencia de zonas ya sobreexplotadas por concentración de pozos.

Una operación de la cuenca como la indicada requeriría, a fin de corregir cualquier abuso que se presentase, la capacidad legal de controlar y gestionar los recursos de agua de la cuenca.

El estudio de la viabilidad del planteamiento indicado requiere un conocimiento más detallado del funcionamiento hidrológico de la cuenca, aumentando las series de datos hidrológicos existentes, instalando nuevas estaciones de medida de los parámetros todavía no controlados, y analizando el conjunto desde los puntos de vista técnico y económico con un modelo integrado de la cuenca.

#### 10.6.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

- a) Se ha realizado un balance hídrico anual y global durante un periodo de 20 años en la cuenca de Fuente de Piedra, distinguiéndose por separado el comportamiento del acuífero y la evolución del agua almacenada en la laguna. El análisis de este balance permite:
- Conocer la incidencia relativa de los distintos parámetros hidrológicos de la cuenca y averiguar las causas del agotamiento de la laguna.
  - De forma mas orientativa, establecer previsiones de evolución de la situación hidrológica de la cuenca, y estudiar la influencia en la laguna de cualquier modificación en los parámetros hidrológicos más representativos.
- b) Los recursos hídricos de la cuenca vertiente a la laguna de Fuente de Piedra se estiman entre 18 y 22 Hm<sup>3</sup>/a, (a los que habría que añadir unos 6 Hm<sup>3</sup>/a de precipitaciones di-

rectas sobre la laguna). Sin embargo este valor es poco representativo de un año real si se tiene en cuenta que en el periodo 1962-1982 los recursos anuales han variado entre 0 y 57 Hm<sup>3</sup>/a.

- c) Se estima que dos tercios de los recursos medios de la cuenca se infiltran en los acuíferos presentes en la misma (13 Hm<sup>3</sup>/a, variando entre 0 y 21 Hm<sup>3</sup>/a), siendo la extracción por bombeo, en 1983, de 3 Hm<sup>3</sup>/a.
- d) El acuífero posee una notable capacidad de almacenamiento (100-160 Hm<sup>3</sup>), respondiendo a la infiltración de lluvias y a las extracciones con notables variaciones piezométricas. Por el contrario, es menor su difusividad, de forma que los flujos de salida a la laguna varían con una gran inercia: en el periodo 1962-1982 se han estimado oscilaciones entre 3,2 y 7,7 Hm<sup>3</sup>/a. El flujo subterráneo tiene lugar durante todo el año, habiéndose estimado variaciones mensuales para aquél periodo, entre 0,3 y 0,7 Hm<sup>3</sup>/mes. De forma orientativa, para precipitaciones medias y extracciones de 3 Hm<sup>3</sup>/a, los flujos subterráneos a la laguna se han evaluado del orden de 10 Hm<sup>3</sup>/a.
- e) La escorrentía superficial se ha estimado preliminarmente (no se dispone de estaciones de aforo con suficiente número de años de registro) en un tercio de los recursos de la cuenca (6 Hm<sup>3</sup>/a), aumentando su importancia en los años húmedos respecto a los secos; la variación anual en el periodo 1962-1982 se ha estimado entre 0 y 36 Hm<sup>3</sup>/a. Esta escorrentía alcanza la laguna inmediatamente a las precipitaciones sin ningún tipo de regulación.
- f) Las precipitaciones directas a la laguna se estiman en unos 6 Hm<sup>3</sup>/a, habiendo variado en el periodo 1962-1982 entre 3 y 10 Hm<sup>3</sup>/a.

- g) La laguna se recarga por la precipitación directa sobre la misma, por la aportación de la escorrentía superficial sobre la cuenca vertiente, y por el flujo subterráneo que procede del acuífero. Su única descarga es por evaporación. En general, las aportaciones superan la evaporación potencial entre los meses de noviembre y marzo, prevaleciendo la evaporación potencial (1,1 a 3,8 Hm<sup>3</sup>/mes) sobre las aportaciones (frecuentemente sólo flujo subterráneo) entre los meses de abril y octubre. La posibilidad de tener agua en la laguna en el periodo de estiaje depende, por tanto, de la existencia de excedentes en la estación húmeda.
- h) El almacenamiento de agua en la laguna en el periodo 1962-1982 se ha estimado en una media de 9 Hm<sup>3</sup>, distinguiéndose el periodo 1962-1971 con un volumen medio de 18 Hm<sup>3</sup>, sin secarse la laguna en los estiajes, y el periodo 1972-1982 con un almacenamiento medio de 2 Hm<sup>3</sup> y frecuentes agotamientos de la laguna entre los meses de julio y octubre. En el periodo de 20 años entre 1962 y 1982, (bastante representativo en cuanto a precipitaciones) se estima que la laguna se secó el 21% de los meses.
- i) La razón más importante del agotamiento de la laguna en los estiajes del periodo 1972-1982 radica en causas climáticas, ya que las aportaciones de este periodo (precipitaciones y escorrentía superficial) fueron un 36% inferiores a las del periodo 1962-1971, permaneciendo similar el aporte subterráneo. Las aportaciones totales a la laguna en el periodo 1962-1971 se estiman en 24 Hm<sup>3</sup>/a; las correspondientes a 1972-1982 se estiman en 13 Hm<sup>3</sup>/a.
- j) Desde 1973 a 1982 la extracción por bombeo en el acuífero se redujo en un 50%, en virtud de lo cual la aportación subterránea a la laguna se ha mantenido del mismo orden de magnitud en todo el periodo seco 1972-1982. En cualquier caso la extracción produce una incidencia en la disminución de aportes hídricos a la laguna, A título orientativo

puede indicarse que una disminución o aumento de  $2,4 \text{ Hm}^3$  - en los bombeos de cada uno de los años del periodo 1962- - 1982, habría dado lugar a que de un número de meses sin - agua en la laguna del 21%, se pasase alternativamente a ci - fras del 11% o del 29%, respectivamente.

- k) Con el análisis que se presenta en este informe se ha al - canzado un buen conocimiento cualitativo del comportamien - to de la cuenca de Fuente de Piedra; las estimaciones cuan - titativas hay que tomarlas de forma más orientativa, parti - cularmente las relativas a evaporación y escorrentía super - ficial, así como las relativas al balance del periodo 1962 - 1972. Ello se debe a la inexistencia de datos de medida - directa disponibles (escorrentía superficial), periodos de observación insuficientes o escasa densidad de datos (eva - poración, extracción por bombeo, control piezométrico, pa - rámetros hidráulicos del acuífero), por lo que ha sido pre - ciso realizar asunciones o extrapolaciones en los casos - que se cita.
- l) Se precisa seguir los estudios hidrogeológicos de la cuen - ca de Fuente de Piedra, con un mayor detalle con vistas a definir el techo de la extracción por bombeo, tratando de hacer compatibles los actuales usos del agua, con el mante - nimiento del agua en la laguna y reduciendo en lo posible las pérdidas por evaporación. Se plantea un estudio de la viabilidad de regular, mediante bombeos, el flujo de agua - subterránea a la laguna con dos posibles esquemas:
- 1) Definir unos emplazamientos y esquema de bombeo, de for - ma que la afección en el flujo subterráneo a la laguna tenga la menor incidencia sobre el almacenamiento de - agua en la misma.
  - 2) Definir un esquema de bombeo reduciendo el flujo subte - rráneo a la laguna, de forma que en épocas lluviosas el



nivel de la laguna se mantenga sólo con las aportaciones de lluvias y aguas superficiales, y en periodos o estaciones más secas, se complemente con bombeos de aguas subterráneas.

m) Para desarrollar el planteamiento que se indica en el punto anterior se recomienda la realización de las operaciones siguientes:

- Control diario de la evaporación de la laguna.
- Control diario de la escorrentía superficial a la laguna.
- Control diario del nivel de la laguna.
- Control mensual de los volúmenes de extracción por bombeo en el acuífero.
- Ampliación de la red de control piezométrico, y realización de medidas mensuales, particularmente en las áreas que circundan la laguna, en las zonas de explotación, y en las de recarga del acuífero.
- Registro continuo de variaciones de piezometría en algunos puntos significativos.
- Mejora del conocimiento hidrogeológico del acuífero, en particular de sus parámetros hidráulicos: transmisividad y su distribución así como porosidad eficaz.
- Control estacional de las calidades del agua bombeada, particularmente en los pozos cercanos a la laguna, y en los pozos con la base cercana a la formación triásica.
- Confección de un modelo matemático de la cuenca, que simule los distintos elementos hidrológicos de la misma y sus relaciones internas. Ajuste del modelo, simulación de alternativas y estudio de viabilidad.

Conviene que los controles hidrogeológicos sean realizados durante varios años ya que la calidad del ajuste del modelo está en estrecha relación con la duración del periodo de observación.

11.- ANALISIS DE POSIBLES SOLUCIONES Y ALTERNATIVAS

### 11.1.- INTRODUCCION

En este capítulo se enumeran y describen las diferentes alternativas que han sido propuestas anteriormente y - aquellas que, a la vista de los estudios realizados ahora, - se pueden proponer con el fin de incrementar los recursos hí-  
dricos disponibles en la laguna para solucionar, o al menos -  
paliar, el problema que periódicamente se plantea en ella de-  
bido a la escasez de agua.

Hay que señalar que el análisis de estas alternativas se realiza esencialmente desde la perspectiva de la Hidrogeología de la región, teniendo en cuenta sobre todo la incidencia que pueden tener sobre los acuíferos, tanto en lo que se refiere a la disponibilidad de recursos de los mismos como a la conservación de la calidad de éstos.

Los aspectos del costo de las distintas soluciones y

otros ajenos a la hidrogeología no se abordan más que de un modo superficial por considerar que un análisis detallado de los mismos queda fuera de los objetivos de este trabajo.

Por otra parte es importante recomendar que antes de abordar cualquier solución que suponga la alteración de las condiciones naturales existentes en la actualidad, especialmente si se trata de hacer llegar recursos ajenos a la cuenca, deberán estudiarse las posibles modificaciones que desde el punto de vista biológico pueden producirse en el ecosistema de la laguna.

Las diversas soluciones o alternativas que se analizan se han agrupado en tres conjuntos, según que la procedencia del agua sea del interior de la propia cuenca o de otras cercanas y según que su origen sea superficial o subterráneo. Finalmente en el último epígrafe se analizan otras alternativas de actuación que son recomendables desde el punto de vista de la hidrogeología de la zona.

## 11.2.- SOLUCIONES CON AGUAS SUBTERRANEAS DE LA PROPIA CUENCA

### 11.2.1.- BOMBEO EN CAPTACIONES DE LA CUENCA

Esta es una solución que ya ha puesto en práctica el ICONA durante los últimos años, habiendo sido quizás la alternativa más eficaz para paliar los efectos de las prolongadas sequías sobre la colonia faunística de la laguna.

No cabe duda que la utilización de los acuíferos de la cuenca como fuente de aprovisionamiento de agua a la laguna - se presenta como la solución más conveniente desde el punto de vista económico, ya que las obras de captación y conducción tendrían un coste relativamente bajo, lo mismo que el mantenimiento de estos dispositivos.

No obstante, desde el punto de vista de la hidrogeolo -

gía de la zona hay que señalar que esta operación no supone el aporte de recursos hídricos adicionales a los ya existentes en la cuenca puesto que se trata de llevar agua a la laguna extrayéndola de un acuífero que, de modo natural, descarga en la propia laguna. Sin embargo, estas captaciones permitirían disponer de un caudal de agua que, de otro modo, se mantendría en el interior del acuífero, y que por medio de ellas se facilita la descarga del mismo, descarga que de modo natural se produciría mucho más lentamente y sin satisfacer las necesidades planteadas.

Parece adecuado recomendar esta alternativa como solución para paliar circunstancialmente los efectos de sequías importantes que pongan en peligro la colonia de aves. Debe evitarse, sin embargo, el aporte continuo a la laguna de agua procedente de los acuíferos de la cuenca, ya que a la larga se produciría una pérdida de recursos al provocar un incremento de la evaporación.

Por otra parte se debe tener en cuenta que en el área próxima a las poblaciones de Fuente de Piedra y Humilladero existe ya una gran concentración de explotaciones que han provocado importantes descensos de nivel en los últimos años (ver planos 12 y 13) y debe evitarse incrementar aquí las extracciones.

Ya se ha indicado (epígrafe 6.2.) que en la zona de Fuente de Piedra existe el peligro de que se produzca una inversión del sentido del flujo subterráneo natural del acuífero, contribuyendo a la salinización progresiva del mismo que parece que se está empezando a manifestar. Por lo que se refiere a la zona de concentración de explotaciones de Humilladero, los descensos continuados de piezometría podrían provocar la inutilización de algunas de las captaciones existentes.

En consecuencia y para la localización de captaciones con el fin de aportar agua a la laguna, deberán evitarse estas áreas y, en general, las más cercanas a la laguna donde la superficie piezométrica del acuífero se encuentra próxima al nivel de la misma. Los sectores más adecuados, teniendo en cuenta este aspecto de conservación del acuífero, serían los más próximos a la divisoria, donde además sería posible provocar, por medio de una explotación prolongada, el desplazamiento de la divisoria subterránea atrayendo hacia la cuenca de Fuente de Piedra aguas que actualmente vierten de modo natural hacia áreas ajenas a la misma.

En la zona de la divisoria que separa la cuenca por el NW del sector de Sierra de Yeguas, Navahermosa y La Roda desgraciadamente las características hidráulicas del acuífero Terciario no parecen muy buenas y es previsible que los rendimientos de posibles captaciones no fuesen adecuados.

Por el contrario, las áreas próximas a las divisorias en las sierras de Mollina-La Camorra y Humilladero coinciden con los acuíferos jurásicos, de excelentes características hidráulicas y en los que las captaciones que se han realizado presentan rendimientos elevados. Teóricamente, por tanto, son los sectores más adecuados para localizar sondeos que abastezcan la laguna durante eventuales emergencias. De estos acuíferos por otra parte se podrían extraer y trasladar a la laguna caudales que supongan recursos adicionales a los de la cuenca puesto que, al menos parcialmente, el flujo subterráneo de estas sierras se produce hacia fuera de la misma. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el agua de estos acuíferos es la de mejor calidad química de la cuenca y que se utiliza para abastecimiento de las poblaciones de Humilladero y Mollina (también el IGME realizó sobre el Jurásico de Humilladero un sondeo para abastecimiento a Bobadilla, que -

aún no se utiliza); a nuestro juicio parece indicado que estos acuíferos de mejor calidad química se reserven y se utilicen preferentemente para satisfacer las demandas urbanas - actuales y las que puedan producirse en el futuro en los núcleos de la zona.

Recapitulando sobre las observaciones anteriores y - considerando los aspectos positivos y negativos de cada una de las posibilidades analizadas en este apartado, posiblemente la alternativa más conveniente sería perforar un sondeo o pozo en las zonas con mejores características hidráulicas, - pero alejando su emplazamiento lo más posible de las áreas - en que se concentran las explotaciones. A nuestro criterio - las zonas que mejor cumplen estos requisitos corresponden al sector próximo al cortijo de La Herriza, o al de los cortijos del Cuco y Navazo, en el borde oriental de la laguna.

Es posible que existan determinadas captaciones, entre las que no son utilizadas por la elevada concentración salina del agua que extraen, que cumplan las condiciones expuestas (caudal aceptable y no hallarse situadas en las zonas de concentración de explotaciones) y cuya adquisición o cesión podría intentarse para ser utilizadas con el fin perseguido; esta última posibilidad probablemente sería más económica y segura.

Hay que insistir en que cualquiera de las alternativas analizadas debe contemplarse solamente como solución que permita paliar situaciones de emergencia y que, en cualquier caso, la explotación que se realice deberá hacerse controlando simultáneamente y de modo continuo la evolución del nivel piezométrico del acuífero con objeto de que cualquier eventualidad no prevista pueda ser subsanada adecuadamente.

#### 11.2.2.- BOMBEO EN POZOS DEL INTERIOR DE LA LAGUNA

En el interior del perímetro de la laguna y próximos al borde oriental de la misma existen los restos de las anti



guas salinas, parte de cuyas instalaciones son tres pozos que con un acondicionamiento adecuado, poco costoso, podrían ponerse en funcionamiento para suministrar agua a las charcas residuales que quedan en la laguna después de estiajes prolongados.

Evidentemente no se trata de una solución permanente y completa ya que el caudal de estos pozos debe ser exiguo y tampoco parece recomendable realizar aquí una explotación intensa y prolongada. La alternativa que se propone debe contemplarse sólo como un modo de paliar ocasionalmente y de manera transitoria situaciones de extrema gravedad como las que se han producido en las últimas sequías.

Se desconoce el caudal que puedan proporcionar los tres pozos mencionados, aunque no debe ser muy elevado. Su profundidad total oscila entre 3,65 y 4,20 metros y la columna de agua entre 1,80 y 2,40 metros, por lo que, en caso de que el caudal fuese pequeño, podrían profundizarse, operación poco costosa que, sin duda, mejoraría el caudal.

Por otra parte la distancia de los pozos a las charcas residuales no es grande y el costo de las instalaciones de bombeo y la conducción tampoco debe ser elevado.

Desde el punto de vista de la conservación del acuífero, esta solución no representa ningún tipo de problemas, puesto que las eventuales depresiones que se pudieran producir en el mismo incluso favorecerían el flujo hacia el área de la laguna, contribuyendo, en cierta medida, a obstaculizar el proceso de salinización de la zona emergida próxima a Fuente de Piedra. Desde este punto de vista incluso se podría sugerir la construcción de nuevos pozos en el interior de la laguna próximos al borde norte de la misma para evitar el flu

jo subterráneo que tiene lugar hacia el acuífero en los estiajes prolongados.

### 11.3.- SOLUCIONES CON AGUAS SUBTERRANEAS DE OTRAS CUENCAS

Además de la posibilidad -ya analizada- de explotar los sistemas acuíferos carbonatados situados en la divisoria de la cuenca de Fuente de Piedra (sierras de Molina y Humilladero) a partir de las cuales podrían aportarse a la laguna algunos recursos hídricos que de modo natural son drenados hacia otras cuencas, existen en la región otros acuíferos cuyas posibilidades de explotación se comentan.

El acuífero Jurásico de la sierra de Los Caballos y los cuaternarios de la zona de Sierra de Yeguas-Navahermosa con él relacionados son sin duda los más cercanos a la laguna. El trasvase de aguas procedentes de estos acuíferos no exigiría elevaciones importantes (un máximo de 60-70 metros) ni conducciones largas ya que siguiendo el curso de los arroyos de los Arenales y Mari Fernández se puede alcanzar fácilmente la laguna.

Sin embargo, y a pesar de que los rendimientos de las captaciones en estos acuíferos pueden ser elevados, no parece adecuado recomendar esta solución. Los datos obtenidos de este acuífero ponen de manifiesto que existe una gran concentración de captaciones, que la totalidad de los recursos hídricos del sistema se está explotando ya "in situ" y que en los últimos diez años se ha producido un descenso progresivo del nivel que se cifra en unos 11 metros.

La zona de los Llanos de Antequera, situada al este de la cuenca de Fuente de Piedra y más concretamente la que se localiza al norte del Guadalhorce, entre su cauce y el sector de La Herrera, también incluye acuíferos detríticos que, en determinados sectores, ofrecen rendimientos aceptables. Se trata de una zona en la cual la demanda existente en la actualidad parece estar suficientemente cubierta. Los piezómetros muestran una evolución normal, con oscilaciones ligadas a las variaciones pluviométricas, lo que pone de manifiesto que se trata de un acuífero cuyos recursos no se extraen en su totalidad.

Por otra parte algunas captaciones de rendimiento notable no se explotan debido a la elevada salinidad del agua que extraen (concentraciones de cloruros comprendidas entre 600 y 1500 mg/l) y podrían ser trasvasadas directamente a la laguna (es el caso de una captación en el cortijo de Vista Alegre próximo a la carretera de Antequera a Mollina). También el canal de drenaje de la antigua cuenca endorreica de La Herrera transporta aguas de baja calidad que no son utilizadas por el mismo motivo. Tanto las aguas de La Herrera como las que se podían extraer de las captaciones antes mencionadas tienen una salinidad más baja que la de bastantes captaciones de la zona de Fuente de Piedra, y no perjudicarían de modo importante a la laguna si son trasvasadas únicamente de manera ocasional en momentos de sequía extrema.

El trasvase de aguas subterráneas desde estas zonas - situadas al sureste de la cuenca presenta sin embargo la dificultad de unas conducciones demasiado largas (14-15 Km). - También, en el caso de que se pretendiera llevar el agua salobre de la zona de Vista Alegre a través de la depresión de Mollina-Humilladero, sería necesario efectuar una impulsión de no menos de 60-70 metros. Es ésta por tanto una solución, que aunque desde el punto de vista hidrogeológico es recomendable, presenta importantes problemas desde la perspectiva - de su costo.

#### 11.4.- SOLUCIONES CON AGUAS SUPERFICIALES DE OTRAS CUENCAS

##### 11.4.1.- TRASVASE DESDE EL GUADALHORCE

El aporte a la laguna de aguas superficiales sólo parece recomendable a partir de la cuenca del Guadalhorce ya que cualquier trasvase desde la cuenca del Guadalquivir supondría conducciones e impulsiones de magnitud y coste elevados.

El cauce del propio río Guadalhorce se encuentra a una distancia mínima de la laguna de 8 Km entre la zona de la estación de Bobadilla y la cola del embalse del Guadalhorce. - Desde este punto sería necesaria una impulsión máxima de 50 a 60 metros para superar la divisoria y alcanzar la laguna. El análisis de esta alternativa se contempla conjuntamente con la del trasvase de los manantiales salinos de Meliones y Cañaverralejo en el epígrafe 11.4.3.

Sería interesante por otra parte estudiar detenidamente la posibilidad de comunicar el extremo meridional de la cuenca de Fuente de Piedra con el cauce del río Guadalhorce a través de un canal que permitiera la conducción de agua por gravedad desde éste hasta la laguna. Dicho canal, que podría enlazar con alguno de los ya existentes y que tienen su origen a la altura de la Peña de los Enamorados, sería susceptible de utilizarse para otros fines además de éste.

En concreto sería posible dominar mayor superficie de regadío de la que actualmente se domina con la red de canales existentes.

También se podría recoger en este canal el desagüe artificial de la antigua zona endorreica de La Herrera (ver 11.3.) y el agua de algunos manantiales salobres que actualmente descargan en el Guadalhorce para ser trasvasados a la laguna en periodos de extrema sequía.

Por otra parte, el agua que potencialmente se captara de los acuíferos del Alto Guadalhorce por medio de sondeos próximos al canal, podría ser conducida a la laguna o alternativamente ser utilizada en la propia cuenca, en áreas alejadas de las captaciones.

La construcción de este canal se propone aquí como una alternativa que debe ser estudiada en profundidad teniendo en cuenta factores como la viabilidad técnica, coste de la operación, demanda potencial en la zona, conveniencia desde el punto de vista de política hidráulica,....etc, que quedan fuera de los objetivos de este trabajo.

#### 11.4.2.- TRASVASE DESDE EL ARROYO DE LAS TINAJAS

De los cursos de agua superficiales ajenos a la cuenca

de Fuente de Piedra pero próximos a la misma, el arroyo de las Tinajas es el más cercano a ella y a la propia laguna. Es afluente del Guadalhorce por su margen derecha desembocando en dicho río aguas arriba del embalse Guadalhorce-Guadaltaba. Su trazado discurre al sur de la laguna quedando separado de esta por una distancia ligeramente inferior a un kilómetro.

La laguna estuvo comunicada con este arroyo por medio de un túnel construido hacia 1880, con el fin de evacuar las aguas superficiales que afluyeran a ella dificultando la precipitación de sal que entonces se explotaba comercialmente. Este túnel se hundió antes de finalizar el siglo pasado, quedando inutilizado. Actualmente existen dudas sobre si el hundimiento afecta a la totalidad de la obra o solamente a los tramos próximos a sus bocas de entrada y salida.

Una de las alternativas que se ha propuesto para aportar agua a la laguna es comunicar ésta y el arroyo de las Tinajas haciendo practicable de nuevo el referido túnel, solución que indudablemente debería de intentarse ya que supondría un aporte de recursos adicionales a los de la cuenca.

Si para la recuperación del túnel es necesario únicamente acondicionar los tramos próximos a la entrada y salida del mismo, el coste de esta operación sería pequeño pues con la instalación de un sencillo sistema de compuertas podría regularse la entrada de agua a la laguna e impedir la salida de la misma según convenga en cada momento.

Si, por el contrario, la recuperación del túnel es una operación excesivamente costosa, podría intentarse el traspase desde el arroyo a la laguna por medio de una conducción de tubería de longitud próxima a un kilómetro, teniendo en cuenta que sería necesario impulsar el agua hasta la altura



de la divisoria, altura que en este caso no alcanza los 20 - metros.

Hay que señalar que previamente a la realización de - cualquiera de estas obras sería conveniente estudiar lo más detalladamente posible las aportaciones del arroyo y el régimen hidrológico del mismo. Por el momento y dado que no existe en él ninguna estación de aforos que permita conocerlos - con precisión, sólo se puede señalar que la superficie de - cuenca vertiente hasta el lugar más cercano a la laguna (proximidades del cortijo de la Rábita) es de unos  $36 \text{ Km}^2$  y que su aportación media en este lugar es de unos  $2,8 \text{ Hm}^3/\text{año}$  - equivalentes a un caudal continuo de 87 l/s teniendo en cuenata los datos de pluviometría de la estación de Campillos y - un coeficiente de escorrentía de 0,15 que se supone representativo de la cuenca.

Con el fin de conocer con detalle estos datos y sobre todo el régimen hidrológico del arroyo a lo largo del año, se ha propuesto y dimensionado una estación de aforo en las proximidades del cortijo de La Rábita que ya ha sido construida por ICONA (ver epígrafe 3.6.). Por medio de ella se puede medir en condiciones óptimas un caudal de hasta  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ . y ya se está empezando a controlar diariamente. El tratamiento de - los datos que se obtengan de esta estación a lo largo de un periodo mínimamente significativo permitirá conocer con ma - yor precisión los datos a que se ha hecho referencia.

Finalmente, hay que señalar que una buena parte del - año este arroyo permanece seco, coincidiendo lógicamente con los periodos de déficit de la laguna. Ello no impide que - cuando discurra agua por él, durante la época de lluvias, se pueda efectuar el trasvase hacia la laguna, la cual de este modo recibiría unos aportes adicionales que sin duda contri - buirían a retrasar las eventuales desecaciones estacionales

de la misma y posiblemente también a disminuir su salinidad - que se incrementa de modo progresivo.

#### 11.4.3.- TRASVASE DE LOS MANANTIALES SALINOS DE MELIONES Y CAÑAVERALEJO

Los manantiales de Meliones son unas emergencias que se localizan en la proximidad del curso del río Guadalhorce en una zona que, después de la construcción del embalse del Guadalhorce, ha quedado inundada por el mismo. El caudal de estos manantiales es de unos 10 l/s como media mínima representativa y sus contenidos salinos son excepcionalmente altos (más de 34 g/l de cloruros y 3 g/l de sulfatos). La aportación de este caudal al embalse empeora sensiblemente su calidad, por lo que se están estudiando las posibilidades que existen de eliminarlo, evacuando el agua fuera de él. En este sentido una de las alternativas que se han sugerido es llevar el agua a la laguna de Fuente de Piedra.

La distancia en línea recta entre Meliones y el extremo meridional de la laguna es de unos 12 Km y el desnivel máximo a superar sería de unos 50-60 metros.

El manantial de Cañaveralejo se sitúa a unos 6 Km al sur del extremo meridional de la laguna y aunque su caudal es menor (unos 2 l/s) la salinidad que presenta es más elevada que la de Meliones (más de 40 g/l de cloruros). Estas aguas acaban vertiendo en el embalse del Guadalhorce a través del arroyo de las Tinajas por lo que se ha propuesto trasvasarlos junto con los de Meliones a la laguna.

En principio la operación parece viable desde un punto de vista técnico y aceptable desde la perspectiva de su rentabilidad, pues el costo de la inversión inicial y del mantenimiento del dispositivo no deben ser elevados, sobre todo si se tiene en cuenta que, de cualquier modo, la evacuación de Melio-

nes ha de realizarse y posiblemente ésta sea una de las soluciones menos costosas.

Sin embargo y a pesar de que la salinidad de la laguna durante el estiaje puede superar ampliamente la del agua de Meliones, el trasvase de un caudal continuo mínimo de 10 l/s de un agua altamente salina a la laguna podría afectar de manera importante a la calidad del acuífero especialmente al final de los estiajes que es precisamente cuando es necesario aportar recursos a la laguna. En este sentido hay que señalar que después del verano, sobre todo si éste ha sido prolongado y los bombeos intensos, existe una zona situada al norte de Fuente de Piedra donde el nivel piezométrico del acuífero se sitúa permanentemente por debajo del nivel de aquella (ver plano 10). En estas circunstancias un aporte adicional importante de aguas puede favorecer la inversión del flujo subterráneo que de modo natural se produce desde el acuífero a la laguna, inversión que posiblemente ya se esté produciendo cada verano al menos de un modo incipiente. Si además el agua aportada es de elevada salinidad el flujo en sentido contrario podría favorecer la salinización del acuífero.

El dispositivo de transporte del agua de Meliones a la laguna, en nuestra opinión podría ser útil siempre que no funcionase de modo permanente y procurando que el agua trasvasada se evacuase en el extremo meridional del vaso, lejos del área de influencia de las captaciones de regadío y, por supuesto, de un modo controlado, teniendo en cuenta los peligros que puede suponer para el acuífero en determinadas condiciones.

Un sistema que permitiese hacer llegar el agua a la laguna, en los momentos y en la cantidad adecuada según las circunstancias, sería lo más adecuado.

Por otra parte este dispositivo podría ser utilizado -

para trasvasar alternativamente o en momentos determinados - aguas no salinas del río Guadalhorce, lo cual sería altamente beneficioso no sólo para la laguna sino también para el acuífero.

En definitiva, si el dispositivo previsto lo es para - que funcione de modo permanente y para trasvasar la totalidad de la aportación de los manantiales de Meliones (y sólo de éstos) puede resultar más perjudicial que beneficioso si se contempla el problema de un modo global teniendo en cuenta no solo la laguna sino también el acuífero con ella relacionado.

## 11.5.- OTRAS ALTERNATIVAS

### 11.5.1.- EXCAVACIONES EN EL FONDO DE LA LAGUNA

Actualmente en la laguna, una buena parte de lo que antaño eran zonas cubiertas por el agua de modo permanente o casi permanente ha evolucionado perdiendo profundidad o incorporándose a lo que globalmente se puede considerar como conjunto de tierras permanentemente o casi permanentemente emergi-das. Este fenómeno rompe el aislamiento que existía entre -ciertas áreas emergidas del interior del vaso con la tierra -firme facilitando el acceso de potenciales depredadores a estos sectores que fueron asentamiento de la colonia de flamencos y han sido abandonados en la actualidad (algunos di -ques del SW y "la cruz" del espigón central).

Las causas de este proceso sin duda se hallan relacionadas con dos fenómenos: el aterramiento progresivo de la la-

guna a causa de los aportes sólidos transportados por los cursos de agua superficiales -en general de régimen torrencial- y la erosión, fundamentalmente eólica, de las zonas emergidas del interior del vaso (espigones, diques, isletas, ...etc) que da lugar a la colmatación progresiva de los sectores más profundos.

Indudablemente, a largo plazo, este proceso tiende a uniformar el fondo del vaso lo que, de algún modo, en épocas de estiaje dificultará el aislamiento de las áreas de nidificación y favorecerá por otra parte la evaporación, puesto que el agua se distribuirá más homogéneamente y sobre mayor superficie de la laguna que si el fondo de la misma se mantiene irregular.

Conviene pues, en primer término, tratar de impedir, en la medida de lo posible, los aportes de sólidos procedentes de áreas ajenas a la laguna a través de los arroyos, especialmente el de Santillán que es sin duda el más activo en este aspecto.

Por otra parte, el fondo de la laguna, en los lugares que se definan como más adecuados desde el punto de vista de los asentamientos de la colonia de aves, debería dragarse periódicamente acumulando los materiales excavados en las áreas próximas emergidas y aisladas del interior del vaso, tratando de reconstruir las irregularidades de su fondo.

Al parecer las nidificaciones sólo han tenido lugar desde que comenzó la explotación salinera (SANCHEZ y otros, 1984) por lo que conviene mantener las áreas emergidas creadas con ese motivo.

El dragado del fondo, desde el punto de vista hidrogeológico, se considera especialmente recomendable, sobre todo si se lleva a cabo en las zonas más profundas de la laguna,

donde se podría alcanzar y dejar al descubierto el nivel libre del acuífero que descarga en ella.

Ello permitiría que estas áreas profundas permaneciesen encharcadas en los estiajes intensos y prolongados durante un periodo mayor que si se mantiene la morfología actual del fondo del vaso. Incluso es posible que se consiguiera disponer de zonas permanentemente sumergidas.

El drenaje de zonas encharcadas aisladas hacia estos puntos de cota baja contribuiría a disminuir la evaporación al concentrar el agua en zonas con una menor superficie expuesta.

Conviene recordar que desde que el ICONA en 1977 excavó una charca artificial en el interior del vaso, la colonia de flamencos ha nidificado regularmente a pesar de las sequías que ha padecido la zona.

#### 11.5.2.- ACCIONES LEGALES

La Ley 1/1984, de 9 de enero, del Parlamento Andaluz en la que se declaraba la laguna de Fuente de Piedra reserva integral, definió en su artículo 4º una zona periférica o de protección en la que será preceptivo un informe del Patronato para "todas las actuaciones que puedan modificar la cantidad o calidad de las aguas subterráneas o superficiales aportadas a la reserva integral" y que se "podrá limitar o suspender cualquier actividad que pueda afectar a la cantidad o calidad de las aguas de la reserva integral".

Esta zona de protección es definida en el anejo II de la Ley por un perímetro que excluye una gran parte de la cuenca (ver figs 2 y 3). En nuestra opinión y dada la estrecha relación hidrogeológica que existe entre la laguna y el resto de la cuenca, debería establecerse alguna norma legal que

permitiera controlar las actividades que puedan afectar el régimen, cantidad y calidad del agua de la totalidad de la misma.

Esta normativa podría contribuir a proteger no sólo la reserva integral de la propia laguna sino también los acuíferos con ella relacionados que, al menos en algún sector concreto están empezando a poner de manifiesto un proceso de degradación tanto en lo que se refiere a la cantidad como a la calidad de sus recursos, situación que puede agravarse en el futuro.

Es importante señalar que las zonas próximas a Fuente de Piedra y Humilladero en que se concentran las extracciones de aguas subterráneas (planos 14 y 15), que a su vez coinciden con las que presentan descensos piezométricos más acusados a lo largo de los últimos 10 años (plano 12), quedan fuera del perímetro que define la denominada "zona de protección" en la Ley.

Sin duda las actividades que se desarrollan en estas zonas, en relación con el agua subterránea, pueden influir en la cantidad o calidad de los aportes hídricos de la laguna y en consecuencia deberían ser tenidas en cuenta de algún modo en la normativa legal que la rige. Por otra parte, y también desde el punto de vista de la conservación del propio acuífero y en beneficio de sus usuarios, las medidas legales de protección deberían extenderse a estas áreas.



#### 11.6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras el análisis detallado de las diversas alternativas que se presentan para solucionar o paliar la eventual de secación de la laguna, no parece conveniente recomendar el aporte continuo de agua a la misma tanto si esta procede de una cuenca ajena a la de Fuente de Piedra como si lo es de la propia cuenca. El aumento de la superficie inundada incrementaría la evaporación y, en definitiva, provocaría una pérdida de recursos adicional a la que se produce actualmente.

En cualquier caso debe evitarse el aporte continuo de aguas de elevada salinidad que puede perjudicar a la calidad del acuífero relacionado con la laguna al provocar una inver sión del flujo subterráneo hacia el acuífero durante los estiajes.

Las medidas que parecen más recomendables son aquellas que permiten aportar, con un costo no demasiado elevado, pequeños caudales que pueden paliar las emergencias que se producen ocasionalmente como consecuencia de sequías prolongadas. De acuerdo con este punto de vista sería recomendable el acondicionamiento e instalación de los pozos existentes en el interior de la laguna y la construcción de otros (o la adquisición de alguno de los ya perforados) en los sectores cercanos a la misma, procurando evitar que se sitúen en las áreas de concentración de explotaciones.

No es recomendable captar agua de los acuíferos carbonatados de las sierras de Mollina y Humilladero para ser vertida en la laguna, ya que estos acuíferos proporcionan el agua de mejor calidad de la cuenca, que debe reservarse para satisfacer las demandas urbanas actuales y futuras de la zona.

En lo que respecta al posible aporte de aguas superficiales de cuencas cercanas a Fuente de Piedra, la solución más recomendable es la construcción de un dispositivo que permita trasvasar aguas procedentes del arroyo de las Tinajas situado a menos de un kilómetro de la laguna. Previamente deberá estudiarse detalladamente el régimen hidrológico y las aportaciones del mismo a partir de los datos que proporcione la estación de aforos construida. Si resulta posible el acondicionamiento del túnel existente, ésta sería una solución sin duda eficaz y barata. Otras alternativas de trasvase desde lugares más alejados de la cuenca del Guadalhorce deben estudiarse previamente con más detalle dado su coste elevado.

Las soluciones expuestas como más recomendables para aportar agua subterránea a la laguna, es evidente que no se

excluyen entre sí; por el contrario sería conveniente abordarlas de modo simultáneo lo que evitaría la concentración espacial de las extracciones, sin duda perjudicial para el acuífero.

Estas medidas son también compatibles y, si es posible, deben simultanearse con excavaciones periódicas en el vaso de la laguna para mantener las irregularidades del fondo de la misma, que progresivamente se va homogeneizando.

Finalmente hay que señalar que cualquier alternativa que se aborde debe ir acompañada de la elaboración de un marco legal en el que se contemple la totalidad de la cuenca, dada la relación hidrogeológica existente entre ésta y la laguna y que la normativa que se establezca tenga en cuenta no sólo la conservación de la propia laguna sino también la de los acuíferos con ella relacionados.

12.- BIBLIOGRAFIA

- AZEMA, J. y otros (1979).- "Las microfacies del Jurásico y Cretácico de las zonas externas de las cordilleras - Béticas". Secret. Publ. Univ. de Granada, 83 pp.
- BAENA, J. y JEREZ, L. (1982).- "Síntesis para un ensayo paleogeográfico entre la Meseta y la zona Bética (s. - str.)". Inst. Geol. y Minero de España, colección Informe, 256 pp.
- BLASCO, M. y SANCHEZ, J.M. (1984).- "El rendimiento de los manejos realizados en la laguna de Fuente de Piedra" Las zonas húmedas en Andalucía. Monogr. MOPU, D.G. - de Medio Ambiente (J. de Andalucía), pp. 189-192.
- CABANAS, R. (1977).- "Estudio hidrogeológico de la laguna - de Fuente de Piedra y zonas adyacentes". Informe Interno, ICONA. (inédito).

- CASTELLON SERRANO, L. (1970).- "Sobre la sedimentación en la laguna salada de Fuente de Piedra (Málaga)". Tesis de licenciatura. Sección de Geológicas. Granada, 82 pp.
- CRUZ SANJULIAN, J. (1974).- "Estudio geológico del sector Cañete la Real-Teba-Osuna (Cordilleras Béticas, sector occidental)". Tesis doctoral. Univ. de Granada nº 71, 431 pp.
- DANTIN CERECEDA, J. (1940).- "La aridez y el endorreísmo en España. El endorreico Bético". Estudios geográficos, 1, pp. 75-117.
- ICONA (1982).- "Plan general de actuación en la laguna de Fuente de Piedra durante el quinquenio 1982-1986". Informe interno Servicio Provincial de Málaga.
- IGME (1979).- "Mapa de orientación al vertido de residuos sólidos urbanos (escala 1:50.000). Llanos de Antequera (sector occidental)".
- IGME (1980).- "Calidad de las aguas subterráneas en las cuencas del Sur de España. Primer Informe". Programa Nacional de Gestión y Conservación de Acuíferos. Colección Informe, 172 pp.
- IGME (1981).- "Investigación hidrogeológica en las cuencas del Sur de España (sector occidental)". Plan Nacional Invest. Aguas Subterráneas. Col. Informe, 79 pp.
- IGME (1983).- "Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (sector occidental)". Informe Técnico nº 7 : Sistema acuífero nº 39 - Cuenca Detrítica de Antequera., 108 pp, 20 pl.

- IGME .- "Memoria y mapa geológico (escala 1:50.000) de las -  
hojas 1022 (Campillos) y 1023 (Antequera)". Serie Mag  
na (inédito).
- IGME-IRYDA (1975).- "Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur  
zona comprendida entre el límite occidental y el río  
Adra" P.I.A.S. Informe Técnico n° XI : Hidrogeología  
de los Llanos de Antequera. 39 pp., 10 pl.
- LHENAFF, R. (1981).- "Recherches geomorphologiques sur les -  
Cordilleres Bétiques Centro-occidentales (Espagne)".  
Tesis doctoral. Univ. de Lille III, 2 t, 713 pp.
- LLAMAS MADURGA, M.R. (1984).- "Notas sobre las peculiarida -  
des de los sistemas hídricos de las zonas húmedas". -  
Las zonas húmedas en Andalucía. Monogr. D.G. de Medio  
Ambiente (J. de Andalucía), MOPU, pp. 77-85.
- MENGIBAR, J.L. y QUIROS, R. (1976).- "La Cueva de Los Orga -  
nos". Revista Jábega, Diput. de Málaga, n° 16, pp.7-12.
- MOLINA MUÑOZ, J.A. (1982).- "Los karst en yesos de la provin -  
cia de Málaga. Avance". Publicación conmemorativa 75°  
anivers. Soc. Excurs. de Málaga, pp. 95-112.
- MOLINA, J.A., CORCELLES, J. y DURAN, J.J. (1982).- "El com -  
plejo karstico de la Sierra de la Camorra. Informe -  
preliminar". Publicación conmemorativa 75° anivers. -  
Soc. Excurs. de Málaga, pp. 77-88.
- MUÑOZ HIDALGO, F. y GARCIA CAÑERO, A.R. (1983).- "Historia -  
de Fuente de Piedra". 206 pp. Madrid.
- PARDO, L. (1948).- "Catálogo de los lagos de España". Inst.  
Forestal de Invest. y Experiencias, Min. de Agricultu  
ra, n° 41, 523 pp.

- PEYRE, Y. (1974).- "Geologie d'Antequera et sa region (Cordilleres Bétiques, Espagne)". Tesis doctoral, Universidad de París, 528 pp.
- PEZZI, M.C. (1977).- "Morfología karstica del sector central de la Zona Subbética". Cuad. Geografía Universidad de Granada, serie monográfica 2, 289 pp.
- SANCHEZ, J.M., VARGAS, J.M. y BLASCO, M. (1984).- "Historia y evolución de la colonia de flamenco común *Phoenicopus ruber*, de la laguna de Fuente de Piedra". Trab. Dpto. Zoología, Univers. de Málaga, (inédito).
- SENRA, A. (1984).- "Evolución y situación actual de las zonas húmedas andaluzas". Las zonas húmedas en Andalucía. Monogr. D.G. de Medio Ambiente (J. de Andalucía) MOPU, pp. 23-41.
- VARGAS YAÑEZ, J.M. (1979).- "Continuación al conocimiento de los vertebrados en la laguna de Fuente de Piedra (Málaga)". Tesis doctoral, Univers. de Málaga, 331 pp.
- VARGAS, J.M. ; BLASCO, M y ANTUNEZ, A. (1983).- "Los vertebrados de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga)". Monografía ICONA, n° 28, 228 pp.
- VELEZ SOTO, F. (1979).- "Impactos sobre zonas húmedas naturales" Monografías ICONA n° 20, 29 pp.