



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

APOYO A LA GESTION DE LOS RECURSOS  
HIDRAULICOS EN VEJER-BARBATE

MEMORIA

GGV60

GGV60



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

35890

<b>SUPER PROYECTO</b>	AGUAS SUBTERRANEAS		<b>Nº</b>	905
<b>PROYECTO AGREGADO</b>			<b>Nº</b>	335
<b>TITULO PROYECTO</b>				
PROYECTO PARA EL ASESORAMIENTO EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRANEAS A ORGANISMOS DE CUENCA Y COMUNIDADES AUTONOMAS. 1.988-1.990				
<b>Nº PLANIFICACION</b>	68/90	<b>Nº DIVISION AGUAS, G.A.</b>		8/88
<b>FECHA EJECUCION</b>	<b>INICIO</b>	1.988	<b>FINALIZACION</b>	1.990

**INFORME (Titulo):** APOYO A LA GESTION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS  
EN VEJER-BARBATE

<b>CUENCA (S) HIDROGRAFICA(S)</b>	GUADALQUIVIR
<b>COMUNIDAD (S) AUTONOMAS</b>	ANDALUCIA
<b>PROVINCIAS</b>	CADIZ

**INDICE**



	Pag,
6.2.2.1.- Mioceno superior-Plioceno	40
6.2.2.2.- Cuaternario.....	41
6.3.- TECTONICA.....	43
7.- GEOFISICA.....	45
7.1.- METODOLOGIA DE TRABAJO Y JUSTIFICACION DEL METODO EMPLEADO.....	46
7.2.- TRATAMIENTO DE DATOS.....	48
7.3.- PRESENTACION DE RESULTADOS.....	51
7.4.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	59
8.- HIDROGEOLOGIA.....	61
8.1.- GENERALIDADES.....	61
8.2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	63
8.3.- PIEZOMETRIA.....	66
8.4.- FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS.....	74
8.4.1.- Funcionamiento hidráulico.....	74
8.4.2.- Parámetros del acuífero.....	75
8.5.- RELACION ACUIFERO RIO.....	77
8.6.- ANALISIS DE LA RED PIEZOMETRICA ACTUAL. PRO- PUESTA DE NUEVA RED.....	79
8.6.1.- Red piezométrica actual.....	79
8.6.2.- Red piezométrica propuesta.....	80
8.7.- CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.....	83
9.- ACTUALIZACION DE EXTRACCIONES. ENSAYO DE BALANCE	85
9.1.- ACTUALIZACION DE EXTRACCIONES.....	86
9.2.- ENSAYO DE BALANCE HIDROGEOLOGICO.....	92
10.- ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD DE RECARGA ARTIFI- CIAL.....	95
10.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS.....	96
10.2.- VIABILIDAD DE RECARGA ARTIFICIAL.....	97
11.- RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	99
12.- RECOMENDACIONES.....	103

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.- Datos climáticos**

**ANEXO 2.- Interpretación SEDT**

**ANEXO 3.- Fichas inventario puntos de agua**

**ANEXO 4.- Ensayos de bombeo**

**ANEXO 5.- Registros piezométricos. Red de control del  
ITGE.**

**ANEXO 6.- Aforos diferenciales**

**ANEXO 7.- Análisis químicos aguas subterráneas.  
Análisis químicos aguas superficiales.**

1.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS

## 1.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El Instituto Tecnológico y Geominero de España (I.T.G.E), a través de su división de Aguas Subterráneas, viene desarrollando a nivel nacional, y en cumplimiento de las misiones de investigación hidrogeológica que la Ley de Aguas le tiene encomendadas, un programa de estudios para la mejora y protección de los acuíferos subterráneos.

El objetivo de este proyecto es el de obtener un balance actualizado para la unidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate, donde existe una creciente demanda para regadío, así como estudiar la viabilidad de realización de experiencias de recarga artificial con excedentes de aguas superficiales a fin de conseguir una mayor regulación de los recursos hídricos de la zona.

**2.- ANTECEDENTES**

## 2.- ANTECEDENTES

Para la realización de este Proyecto, se han consultado los diversos trabajos que el I.T.G.E. viene desarrollando, desde 1966, en el acuífero Vejer-Barbate y entre los que hay que destacar:

- Proyecto de investigación hidrogeológica de Vejer-Barbate, 1983.
- Mapas de Normas de Explotación de acuíferos (escala 1:50.000); hojas n<sup>OS</sup> 12-46 (Chiclana de la Frontera), 12-47 (Vejer de la Frontera) 13-46 (Alcalá de los Gazules) y 13-47 (Tahivilla).
- Proyecto para el mantenimiento y gestión de los datos básicos de la infraestructura hidrogeológica a nivel nacional. Base de datos.

Además se han consultado los diferentes estudios, de carácter local, que el I.T.G.E. ha realizado para el abastecimiento a núcleos urbanos en la zona, así como los datos de evolución piezométrica y de calidad de las aguas subterráneas, correspondientes a las redes de control que el I.T.G.E. posee, desde 1982, en el acuífero Vejer-Barbate.

**3.- METODOLOGIA DE TRABAJO Y EQUIPO TECNICO**

### **3.- METODOLOGIA DE TRABAJO Y EQUIPO TECNICO**

#### **3.1.- METODOLOGIA**

Para la consecución de los objetivos, definidos en el capítulo 1, se han llevado a cabo los siguientes trabajos:

- Recopilación de información. Se han consultado los inventarios de puntos de agua del I.T.G.E., así como el libro de registro de pozos y manantiales del Servicio Territorial de Industria y Energía de la Junta de Andalucía. También se han consultado informes de proyectos y publicaciones relacionados con el área de estudio, tanto de carácter general como específicas en hidrogeología.
- Inventario de puntos de agua. A partir de la información recopilada y con apoyo de encuestas directas a propietarios de obras de captación, Mancomunidad de Regantes en la zona y empresas dedicadas a la ejecución de pozos y sondeos, se ha procedido a la realización de fichas de inventario de puntos de agua, así como a la revisión y actualización de otras ya existentes. En total se han inventariado 55 puntos nuevos y se han revisado 22 puntos ya existentes.
- Campañas piezométricas. Se han realizado 2 campañas piezométricas. La primera de ellas, coincidente con el final del periodo de fuerte explotación del acuífero (Nov. 1988), recoge 70 observaciones puntuales de niveles de agua y 13 medidas suministradas verbalmente por los propietarios.

La segunda de estas campañas tuvo lugar en épocas de aguas altas (Febrero 1990), con 27 valores de niveles piezométricos.

A partir de los datos adquiridos en estas campañas, se han elaborado sendos mapas piezométricos.

- Selección de la red de control piezométrico. En base a las observaciones en campo se han elegido aquellos puntos que reúnen las características adecuadas para ser utilizados como piezómetros (bien contruidos, accesibles, sin equipo de extracción, que la información que proporcionan no sea redundante, etc.). Estos piezómetros junto a otros que se recomienda construir, constituyen una red de control piezométrico adecuada a la problemática actual del acuífero.
- Aforos diferenciales. Se han realizado aforos diferenciales, en diferentes épocas del año, en el tramo en que el cauce del río Barbate atraviesa al acuífero. Con esto se pretendía conocer la relación hidráulica entre ambos.
- Geofísica. A fin de conocer la geometría del acuífero en las proximidades del río Barbate, se ha llevado a cabo una campaña de S.E.D.T. (sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempo). En total se han realizado 22 sondeos, 3 de ellos paramétricos.
- Ensayos de Bombeo. Se han realizado dos ensayos de bombeo, uno de larga y otro de corta duración, con el fin de conocer los parámetros hidrogeológicos.

cos del acuífero en las proximidades del río Barbate.

- Sondeos de investigación. Se han realizado tres sondeos de investigación en las inmediaciones del río Barbate; uno de 120 m y dos de 35 m. Estos sondeos completan un perfil subparalelo al citado río, en su margen derecha, cuyo control piezométrico permitirá establecer, junto con la realización de aforos diferenciales, la posible relación río-acuífero para diferentes épocas del año.
  
- Actualización de los datos referentes a superficie y dotaciones de cultivos y a extracciones de aguas subterráneas. Mediante encuestas directas a propietarios del área, se ha realizado una actualización sobre distribución de superficie de regadío, tipo de cultivos, sistemas de riego, dotaciones, etc. Además, a partir de los datos suministrados por los ayuntamientos de los términos municipales con representación en el área de estudio, se ha determinado el volumen extraído para consumo urbano.
  
- Todos los datos obtenidos de la recopilación bibliográfica y de los trabajos de campo realizados, han sido tratados y sintetizados en gabinete para la realización del presente informe.

### **3.2.- EQUIPO TECNICO**

En la realización de los trabajos desarrollados en el presente Proyecto ha intervenido el siguiente personal técnico:

- Por parte del I.T.G.E.

D. Miguel Martín Machuca. Ingeniero de Minas.  
DIRECTOR DE LOS TRABAJOS

D. Rafael Anglada Gómez. Ingeniero Técnico de  
Minas.

- Por parte de la Compañía General de Sondeos, S.A.  
(C.G.S, S.A.).

D. Ramón Mantecón Gómez. Geólogo.

D. Ricardo Cantos Robles. Ingeniero de Minas.

D. J. Manuel Sánchez Biec. Geólogo.

La prospección geofísica ha sido realizada por la  
División de Geofísica de la C.G.S. y los sondeos de inves-  
tigación por la División de Sondeos de esta Empresa.

**4.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO**

#### **4.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra situado en el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, dentro de la comarca de La Janda. (ver plano nº 1).

Los límites geográficos quedan definidos, a grandes rasgos, del siguiente modo:

- Al norte, por la carretera Medina Sidonia-Benalup.
- Al este y al sur, por el río Barbate y la laguna de La Janda.
- Al oeste, por la carretera nacional 343 de Medina Sidonia a Vejer de la Frontera.

Los principales núcleos de población del área son: Benalup de Sidonia y San José de Malcocinado en el término municipal de Medina Sidonia y Cabrahigos, Las Lomas, El Cañal y El Varelo en el término municipal de Vejer de la Frontera. La población conjunta de estas localidades es de unos 9.000 habitantes, siendo la densidad media de población del área próxima a los 100 hab./Km<sup>2</sup>.

La agricultura y la ganadería constituyen las principales fuentes de riqueza de la zona, coexistiendo grandes explotaciones agrícolas y ganaderas con pequeñas propiedades dedicadas, fundamentalmente, a cultivos de flores en invernaderos.

# PLANO Nº 1

## PLANO DE SITUACION



ESCALA 1:1000000

**5.- CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA**

## **5.- CLIMATOLOGIA E HIDROLOGIA**

### **5.1.- CLIMATOLOGIA**

El establecimiento de un balance hídrico requiere el conocimiento, tanto cualitativo como cuantitativo, de los diversos parámetros climáticos tales como precipitaciones, temperaturas, evapotranspiración, lluvia útil, etc, a partir de las observaciones puntuales efectuadas en las estaciones meteorológicas existentes en la zona.

Se han considerado un total de 7 estaciones meteorológicas, en base a su distribución espacial y la información existente de las mismas. Se ha elegido como periodo de estudio una serie de 33 años que comprende desde el año 1957 al 1989, aunque es de resaltar la existencia de periodos sin datos en algunas de estas estaciones.

Los datos de partida se han obtenido de los archivos del Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.), referidos siempre a valores mensuales, (ver anexo nº 1).

El cuadro nº 1 recoge algunas de las características principales de las estaciones meteorológicas consideradas, representadas en el plano nº 2.

#### **5.1.1.- Precipitaciones**

De las siete estaciones seleccionadas para este estudio, sólo 2 tienen el periodo de observación completo (nºs 984 y 988) y también son 2 las que quedan dentro del área de estudio (nºs 988 y 986).

Estas circunstancias, unidas al hecho de que el periodo de observación de la estación 988 (Las Lomas), es

largo, induce a dar un mayor peso específico a dicha estación.

CUADRO N° 1.- Características generales de las estaciones meteorológicas (Fuente I.N.M.)

ESTACION METEOROLOGICA		TIPO	COTA (msnm)	PERIODO CONSIDERADO	AÑOS COMPLETOS
954	Medina Sidonia	P	338	1956-57/1988-89	23
955	Paterna de Rivera	P	127	1956-57/1988-89	31
984	Medina Sidonia "Alburejos"	P	83	1956-57/1988-89	31
987	Benalup de Sidonia "Valle Hermoso"	P	68	1956-57/1988-89	30
988	Vejer de la Fra. "Las Lomas"	PT	40	1941-42/1988-89	51
955	Vejer de la Frontera	P	190	1956-57/1988-89	28
996	Barbate de Franco	P	4	1956-57/1988-89	29

La precipitación media anual para el periodo considerado (1957 - 1989) varía de unas estaciones a otras entre los 674,2 mm/año de Las Lomas (n° 988) y los 907,0 mm/año de Barbate (n° 996). La media de los valores para las estaciones consideradas es 778,3 mm/año. En el cuadro n° 2 aparecen los valores medios mensuales y anuales para estas estaciones.

#### 5.1.1.1.- Determinación de los años tipo de precipitación

Las series de datos de precipitaciones medias anuales se pueden ajustar según una distribución, en función de la cual, y mediante la descomposición en bandas de frecuencia, pueden deducirse los intervalos de precipitacio-

nes anuales correspondientes a los años secos, medios y húmedos.

La serie correspondiente a la estación nº 988. Vejer de la Frontera. "LAS LOMAS"; considerada la más representativa de la zona de estudio por su situación y volumen de datos, se ha ajustado mediante el método de frecuencias acumuladas. Los valores de las frecuencias absolutas, relativas y acumuladas, correspondientes a la citada estación y para los 25 intervalos considerados, quedan recogidos en el cuadro nº 3.

Con los valores obtenidos según el método de frecuencias acumuladas, se ha dibujado la curva correspondiente (figura nº 1), en la que se representan en ordenadas los intervalos de precipitación consideradas y, en abcisas, las frecuencias acumuladas.

Los años secos, medios y húmedos se han deducido en función de intervalos de frecuencias, que son:

<u>AÑOS</u>	<u>FRECUENCIAS ACUMULADAS (%)</u>
Muy secos	< 15
Secos	15 - 35
Medios	35 - 65
Húmedos	65 - 85
Muy húmedos	> 85

CUADRO N° 2.- PRECIPITACIONES MENSUALES Y ANUALES MEDIAS

ESTACION	N°	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMB.	OCTUBRE	NOVIEMB.	DICIEMB.	TOTAL
Las Lomas	988	102,9	87,1	79,7	49,3	34,9	9,5	0,6	3,7	18,5	59,1	111,5	117,6	674,4
Medina Sidonia	954	121,0	92,0	75,9	64,0	45,0	17,5	0,6	6,3	14,3	82,6	146,8	129,9	795,9
Paterna de Rivera	955	99,9	87,5	66,3	51,3	41,1	12,9	1,0	4,3	21,8	70,0	114,2	116,8	687,1
Medina Sidonia (Los Alburejos)	984	111,9	96,9	74,4	63,4	43,8	16,2	0,6	5,7	18,3	77,3	139,4	128,6	776,5
Benalur de Sidonia (Vallehermoso)	987	131,2	115,5	85,9	55,9	43,3	19,2	0,5	6,1	23,0	79,1	132,4	160,1	852,1
Vejer de la Frontera	995	112,8	97,2	68,0	59,5	41,3	16,1	0,5	3,1	17,4	72,2	136,1	131,1	755,3
Barbate	996	138,3	129,9	83,4	72,6	47,2	20,3	1,4	1,5	15,8	86,1	146,2	164,3	907,0
													M E D I A	778,3

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (I.N.M.)

CUADRO N° 3.- ESTACION PLUVIOMETRICA LAS LOMAS

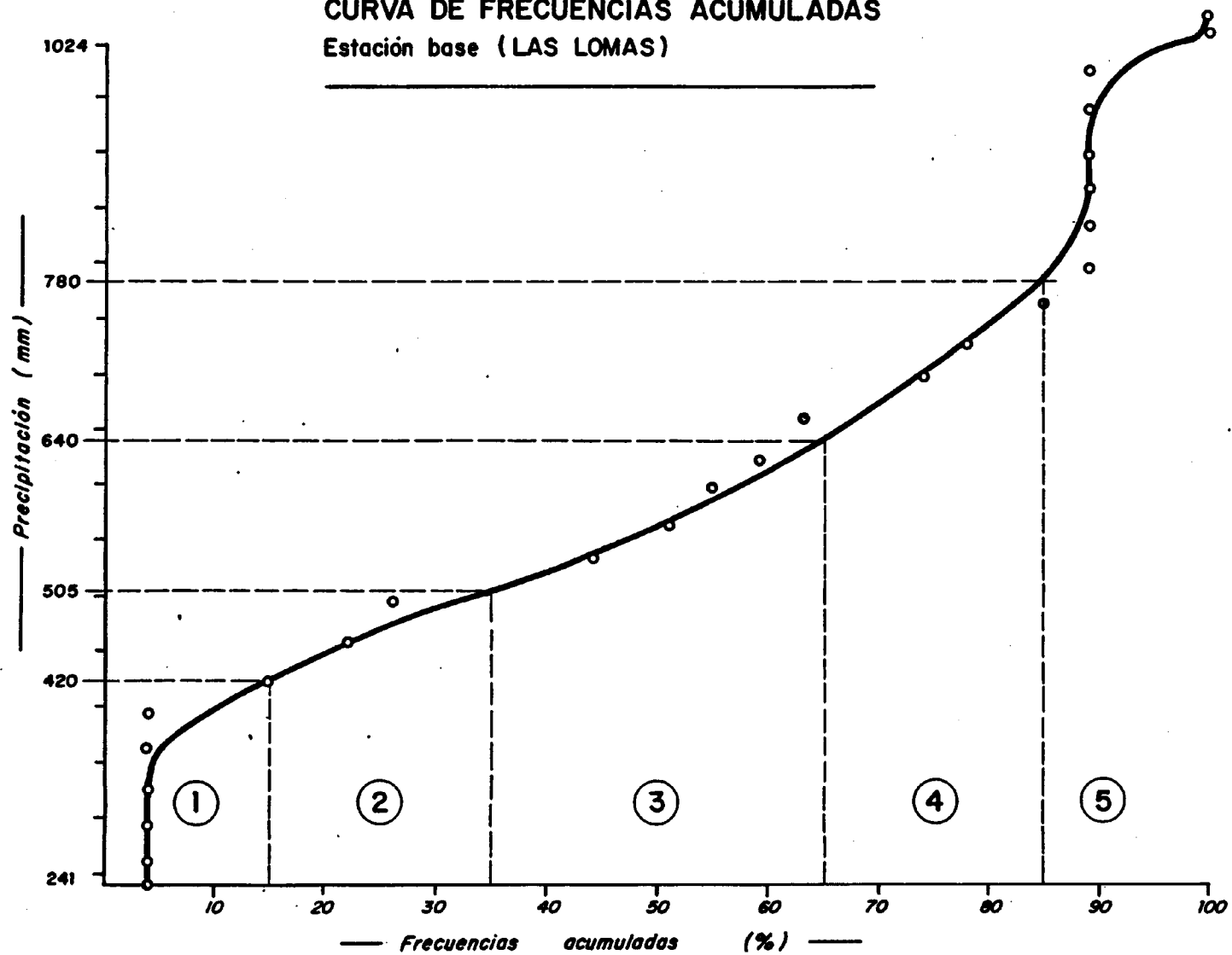
Intervalo de Precipitación (mm)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada (%)
< 242	1	4	4
242-276	0	0	4
276-310	0	0	4
310-344	0	0	4
344-378	0	0	4
378-412	0	0	4
412-446	3	11	15
446-480	2	7	22
480-514	1	4	26
514-548	5	18	44
548-582	2	7	51
582-616	1	4	55
616-650	1	4	59
650-684	1	4	63
684-718	3	11	74
718-752	1	4	78
752-786	2	7	85
786-820	1	4	89
820-854	0	0	89
854-888	0	0	89
888-922	0	0	89
922-956	0	0	89
956-990	0	0	89
990-1024	3	11	100
> 1024	0	0	100

Los intervalos de precipitación, expresados en milímetros anuales, correspondientes a los distintos años tipo, para la estación nº 988 (Las Lomas), deducidos de las curvas de frecuencias son: (ver figura nº 1).

<u>AÑOS</u>	<u>PRECIPITACION ANUAL (mm/año)</u>
Muy secos	< 420
Secos	420-505
Medios	505-640
Húmedos	640-780
Muy húmedos	> 780

Figura. 1

**CURVA DE FRECUENCIAS ACUMULADAS**  
Estación base (LAS LOMAS)



#### 5.1.1.2.- Isoyetas

Con el fin de tener una visión del reparto espacial de las precipitaciones, se ha realizado el mapa de isoyetas medias a escala 1:200.000 (plano nº 2).

Para la confección de este mapa se ha tenido en cuenta los valores medios anuales de la precipitación en cada estación, para el periodo considerado. Se ha concedido un mayor peso específico a los valores de la estación de Las Lomas, que tiene la serie más larga y completa y se encuentra dentro del área de estudio. También se han tenido en cuenta las condiciones orográficas, orientación de vertientes y régimen de vientos dominantes, de clara influencia en esta zona.

Puede observarse cómo la precipitación media aumenta de este a oeste y de suroeste a noreste.

A partir de este mapa, se ha calculado la precipitación media anual para la zona de estudio, cifrada en unos 740 mm/año.

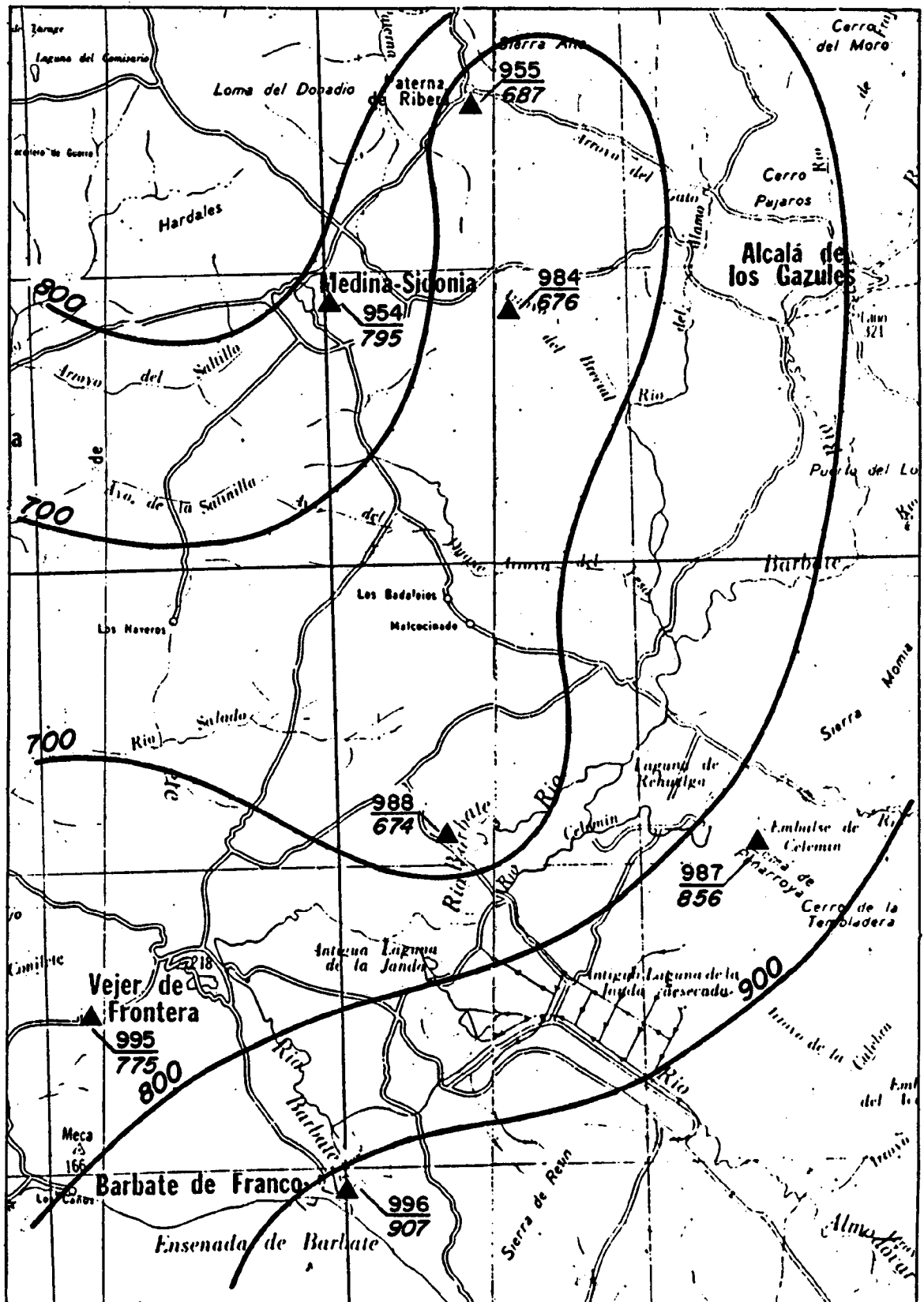
#### 5.1.2.- Temperaturas

Tan sólo se dispone de datos de temperatura en la estación meteorológica de Las Lomas (nº 988), con un periodo de observación de 18 años, completos, de 1972 a 1989. En el cuadro nº 4 se recogen los valores de las temperaturas medias mensuales calculadas para el citado periodo.

PLANO Nº 2

MAPA DE ISOYETAS MEDIAS

— ESCALA 1:200.000



954 Nº de I.N.M.  
795 Precipitación media en mm  
▲ Estación meteorológica.

700 — Isoyeta media (mm)

CUADRO N° 4.- Temperaturas medias mensuales. Estación de Las Lomas. N° 988 (°C)

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
12,2	12,8	14,1	15,7	18,3	21,8	24,8	25,0	23,6	19,7	16,0	13,1	18,2

Se trata de una zona muy cálida con una temperatura media anual superior a los 18°C.

La temperatura media del mes más frío, Enero, es del orden de 12,2°C y para Agosto, mes más caluroso, ronda los 25°C.

Es de resaltar la escasa aparición de periodos de heladas, lo que convierte esta zona en un lugar óptimo para los cultivos tempranos.

### 5.1.3.- Evapotranspiración potencial y real

#### 5.1.3.1.- Evapotranspiración potencial

A partir de las temperaturas medias mensuales, se ha calculado los valores mensuales y anuales medios de la evapotranspiración potencial (E.T.P.) en la única estación termopluviométrica de la zona. Para ello se ha utilizado el método clásico de Thornthwaite, que tiene en cuenta el índice de calor anual y mensual, así como el número máximo de horas de sol.

El valor medio anual de la E.T.P. obtenido en la estación de Las Lomas (nº 988) es de 930 mm/año. En el cuadro nº 5 queda reflejada la mecánica de los cálculos realizados.

#### 5.1.3.2.- Evapotranspiración real

El cálculo de la evapotranspiración real (E.T.R.) se ha realizado por dos métodos: Thornthwaite y Turc, a fin de contrastar los resultados.

##### 5.1.3.2.1.- Método de Thornthwaite

Se basa en un balance hídrico del suelo, mes a mes, en el que se consideran la reserva de agua utilizable por las plantas, la precipitación caída y la evapotranspiración potencial.

La reserva de agua del suelo o reserva útil (R.U.) suele estar comprendida, en clima moderadamente húmedo y con suficiente espesor de suelo, entre 50 y 200 mm; en macizos calcáreos carentes de suelo puede tener un valor de 10 mm y en calizas con "terra rossa" puede alcanzar un valor medio de 25 mm.

En la zona del Proyecto, debido a la desigual naturaleza y distribución de los materiales existentes, se ha calculado la ETR por este método empleando dos valores para la reserva útil:

- 50 mm. se considera representativo de aquellos materiales con menor desarrollo de suelos y, en cierta medida, más permeables, tales como las calcarenitas y los sedimentos detríticos, limo-arenosos, en

CUADRO N° 5.- CALCULO DE LA E.T.P. METODO THORNTNWAITE. ESTACION N° 988. LAS LOMAS

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
t (°C)	12,2	12,8	14,1	15,7	18,3	21,8	24,8	25,0	23,6	19,7	16,0	13,1
i	3,86	4,15	4,80	5,65	7,13	9,29	11,30	11,44	10,48	7,97	5,82	4,30
N	9,7	10,6	12,0	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,4
d	30	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
K	24,25	23,08	32,03	33,25	38,44	37,50	39,24	36,57	31,25	29,90	25,00	25,00
E	1,02	1,14	1,40	1,72	2,34	3,14	3,94	3,98	3,70	2,62	1,78	1,20
E.T.P	24,74	26,31	44,84	57,19	89,95	117,75	154,61	145,55	115,62	78,34	44,50	30,10

$i = (t/5)$  índice de calor mensual  
 $I =$  índice de calor anual  $I = 86,19; a = 2.0514925$   
 $E = 16 (10 t/I)^0$  E.T.P. media (mes de 30 días y 12 h de sol)  
 $t =$  temperatura media diaria del mes exp. en °C.

la parte superficial del pliocuaternario.

- 100 mm. este valor se asigna al resto de los materiales, en que predomina generalmente el contenido lutítico, con mayor desarrollo de suelos (formaciones esencialmente margo-arcillosas de las distintas unidades alóctonas del Campo de Gibraltar).

Las formaciones carbonatadas, que requerirían otros valores para la reserva útil, no aparecen representadas en la zona estudiada.

Con esta metodología se ha calculado la E.T.R. mensual media en la estación de Las Lomas, que como ya se ha dicho es la más representativa de la zona de estudio. El cálculo se ha realizado para valor de R.U. de 50 y 100 mm. (cuadros n<sup>os</sup> 6 y 7). Los valores de E.T.R. en el año medio quedan comprendidos entre 396 y 446 mm/año, respectivamente. La E.T.R. queda reducida prácticamente al 43-48% de la E.T.P, como consecuencia de la no disponibilidad de agua en los meses de estiaje.

#### 5.1.3.2.2.- Método de Turc

Turc (1955) propone una fórmula empírica para el cálculo de la E.T.R., basada en los valores anuales de precipitación y temperatura.

Esta fórmula, más o menos experimentada, presenta el inconveniente de que no tienen en cuenta la distribución interanual de las precipitaciones, lo que puede influir grandemente, en algunas zonas, en la validez de los

CUADRO N° 6CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION REALESTACION: LAS LOMAS (N° 988)R.U.= 100 mm.

MES	P	ETP	ETR	R.U	DEF.	EXC.
OCT.	59,1	78,3	59,1	0,0	19,2	-
NOV.	111,5	44,5	44,5	67,0	-	-
DIC.	117,6	30,1	30,1	100	-	54,5
ENR.	102,9	24,7	24,7	100	-	78,2
FEB.	87,1	26,3	26,3	100	-	60,8
MAR.	79,7	44,8	44,8	100	-	34,9
ABR.	49,3	57,2	57,2	92,1	-	-
MAY.	34,9	90,0	90,0	37,0	-	-
JUN.	9,5	117,7	46,5	0,0	71,2	-
JUL.	0,6	154,6	0,6	0,0	154,0	-
AGO.	3,7	145,5	3,7	0,0	141,8	-
SEP.	18,5	115,6	18,5	0,0	97,1	-
TOTAL	674,4	929,3	446	596,1	483,3	228,4

P= Pluviometría (m.m.)  
 ETP= Evapotranspiración Potencial (m.m.)  
 ETR= Evapotranspiración Real (m.m.)  
 DEF= Déficit hídrico (m.m.)  
 EXC= Exceso hídrico (m.m.)  
 RESERVA UTIL= R.U.

CUADRO N° 7CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION REALESTACION: LAS LOMAS (N° 988)R.U.= 50 mm.

MES	P	ETP	ETR	R.U	DEF.	EXC.
OCT.	59,1	78,3	59,1	0,0	19,2	-
NOV.	111,5	44,5	44,5	50,0	-	17,0
DIC.	117,6	30,1	30,1	50,0	-	87,5
ENR.	102,9	24,7	24,7	50,0	-	78,2
FEB.	87,1	26,3	26,3	50,0	-	60,8
MAR.	79,7	44,8	44,8	50,0	-	34,9
ABR.	49,3	57,2	57,2	42,1	-	-
MAY.	34,9	90,0	77,0	0,0	13,0	-
JUN.	9,5	117,7	9,5	0,0	108,2	-
JUL.	0,6	154,6	0,6	0,0	154,0	-
AGO.	3,7	145,5	3,7	0,0	141,8	-
SEP.	18,5	115,6	18,5	0,0	97,1	-
TOTAL	674,4	929,3	396,0	292,1	533,3	278,4

P= Pluviometría (m.m.)  
 ETP= Evapotranspiración Potencial (m.m.)  
 ETR= Evapotranspiración Real (m.m.)  
 DEF= Déficit hídrico (m.m.)  
 EXC= Exceso hídrico (m.m.)  
 RESERVA UTIL= R.U.

los resultados.

Se ha utilizado este método con el fin de obtener un contraste con el método de Thornthwaite y acotar, en su caso, los valores de la E.T.R. a utilizar en los balances.

El cuadro n° 8 recoge los valores de la E.T.R. obtenidos por los dos métodos (Thornthwaite y Turc). Se puede observar la semejanza de los resultados, pudiendo considerar que, en principio, los valores de la E.T.R. en la zona deben estar comprendidos entre los calculados por el método de Thornthwaite para los dos valores de R.U. considerados (50-100 mm).

CUADRO N° 8.- Evapotranspiración real. "Las Lomas"

THORNTHWAITE		TURC
R.U.= 50 mm.	R.U.= 100 mm	
396 mm.	446 mm.	405 mm

#### 5.1.4.- Lluvia útil

La lluvia útil representa el agua de precipitación que escapa a la evapotranspiración y, bien discurre sobre el terreno, o bien se infiltra en él.

Es lo que se suele llamar "recursos potenciales totales" que constituyen, en principio, la parte de las precipitaciones sobre la que el hombre puede actuar, mediante las diversas formas de regulación, para satisfacer sus necesidades.

El cálculo de la lluvia útil se ha realizado también para la estación de Las Lomas únicamente. Se ha efectuado comparando los valores mensuales de las precipitaciones y de la E.T.R., calculada por Thornthwaite. Es el exceso de agua que después de satisfacer la reserva de humedad del suelo, escapa mensualmente a la evapotranspiración.

Los valores obtenidos considerando R.U = 50 mm y R.U. = 100 mm han sido de 228,4 mm y 278,4 mm respectivamente.

Como es obvio, los valores de lluvia útil así deducidas están sujetas a las mismas objeciones que la E.T.R. calculada por el método de Thornthwaite.

## 5.2.- HIDROLOGIA

### 5.2.1.- Red hidrográfica

El río Barbate, constituye el principal curso de aguas superficiales de la zona. Este río, discurre, desde la confluencia del arroyo del Yeso, al Noreste de Benalup de Sidonia, en sentido Noreste-Suroeste por terrenos impermeables. A la altura de "El Varelo", se produce un brusco cambio de dirección, y el río atraviesa a la formación acuifera, en sentido Este-Oeste y en una longitud de unos 5 Kms., compartimentandolo en dos unidades.

A la altura de la Barca de Vejer, se produce un nuevo cambio de dirección, pasando a ser, desde este punto hasta su desembocadura, Noroeste-Sureste. En este último tramo el curso del río se hace muy divagante debido a escasa pendiente topográfica.

En el tramo en que el río Barbate atraviesa al acuífero, se produce la confluencia al mismo de una serie de arroyos menores y con un marcado carácter estacional (Arroyo del Pilón, Arroyo de Torá, Arroyo Donadie, etc).

Los arroyos de Salado y El Yeso bordean al acuífero, sin llegar a penetrar en el, por zona Noroeste y Norte, respectivamente.

Los rios Celemin y Almodovar, que tampoco llegan a atravesar los terrenos permeables del Manto de Vejer, constituyen los principales afluentes, ambos por la margen izquierda, del río Barbate en la zona.

### 5.2.2.- Red Foronómica

En la actualidad la Red Oficial de Aforos de la Dirección General de Obras Hidráulicas (MOPU) no cuenta con ninguna estación de aforos en el área de estudio.

Los únicos datos foronómicos existentes, se refieren a la aportación registrada en los embalses de Celemin y Almodovar, que arrojan unos valores medios de 20 Hm<sup>3</sup>/año y 6 Hm<sup>3</sup>/año, respectivamente (Plan Hidrológico del Guadalquivir).

### 5.2.3.- Aportaciones

A partir de las series de aportaciones obtenidas mediante observaciones en diferentes puntos de control (estaciones de aforo y embalses); el Servicio de Hidrología de la Comisaría de Aguas procede, previa depuración y extrapolación de los datos, a la estimación de las aportaciones en diferentes puntos de la cuenca, incluso donde no existen datos.

En el cuadro nº 9 se recogen los valores estimados de la aportación media y caudal específico, obtenidos a partir de las series básicas de aportaciones, para diferentes tramos de la cuenca del Barbate.

CUADRO N° 9

Cuencas, afluentes y parciales	Superficie (Km <sup>2</sup> )		Cota mínima S.N.M.	Aportación media		Caudal especif. (l/s Km <sup>2</sup> )
	PARCIAL	ACUMULADA		PARCIAL	ACUMULADA	
R. Barbate hasta cota 120	30,0	30,0	120	8,84	8,84	9,34
R. Barbate entre cota 120 y R.del Alamo	343,6	373,6	10	96,11	104,95	8,91
R. del Alamo hasta cota 100	26,0	26,0	100	8,84	8,84	10,78
R. del Alamo entre cota 100 y 10	277,2	303,2	10	76,22	85,06	8,90
R. del Alamo (completo)	-	676,8	-	-	190,01	8,90
R. Barbate entre R.del Alamo y R. Almodóvar	195,3	872,1	5	48,61	238,62	8,68
R. Almodóvar hasta cota 100	50,0	50,0	100	14,36	14,36	9,11
R. Almodóvar entre cotas 100 y 5	241,3	291,3	5	58,54	72,90	7,94
R. Almodóvar (completo)	-	1163,3	-	-	311,52	8,49
R. Barbate entre río Almodovar y Mar	126,8	1290,1	0	19,88	331,40	8,15
R. Barbate (completo)	-	1290,1	0	-	331,40	-

Fuente: PLAN HIDROLOGICO. Documentación Básica, 1988

#### 5.2.4.- Regulación

La cuenca del Barbate cuenta con dos embalses de regulación, en servicio: embalse de Celemin (1974), aguas arriba de la zona de estudio, y el embalse de Almódovar (1972).

En la actualidad se encuentra en construcción el embalse del Barbate, destinado a regulación general. Las características más significativas de estos embalses se resumen en el cuadro nº 10.

**CUADRO N° 10.- CARACTERISTICAS DE LOS EMBALSES**

EMBALSE	RIO	DESTINO	SUP. CUENCA RECEPTORA (KM <sup>2</sup> )	CAPACIDAD (Hm <sup>3</sup> )	REGULACION (Hm <sup>3</sup> )
Almódovar (S)	Almodovar	Regadio	16,5	5	2
Celemin (S)	Celemin	Regadio	95,0	43	15
Barbate (C)	Barbate	Regulación General	355,0	231	71

S: En Servicio

C: En Construcción

Fuente: Plan Hidrológico del Guadalquivir. Documentación básica 1988

#### 5.2.5.- Coefficiente de escorrentía

A falta de datos de contrates precipitación-aportaciones; se ha partido de los valores medios de caudal específico y precipitación para el cálculo del coeficiente de escorrentía medio en esta zona, publicadas en el PLAN HIDROLOGICO/ 1988.

Así, para la cuenca parcial del río Barbate comprendida entre los ríos del Alamo y Almodovár, donde se encuentra englobada nuestra zona de estudio, se dispone de los siguientes datos:

Precipitación media anual: 775 mm/año  
Superficie de la subcuenca: 195,3 Km<sup>2</sup>  
Aportación media de la subcuenca: 48,61 Hm<sup>3</sup>

que nos permiten obtener una estimación del coeficiente de escorrentía medio del 32%. Este valor, dado que la mayor parte de la subcuenca se encuentra sobre formaciones de baja permeabilidad, debe ser sensiblemente superior al de la escorrentía superficial de los afloramientos, de elevada permeabilidad, del acuífero Vejer-Barbate.

6. - GEOLOGIA

## **6.- GEOLOGIA**

### **6.1.- ANTECEDENTES**

Los antecedentes bibliográficos de la geología de la zona se encuentran, fundamentalmente, en los trabajos de GAVALA, que en 1924 elaboró el mapa geológico de la provincia de Cadiz, a escala 1:100.000; y de CHAUVE que en su tesis (Estudio Geológico del Norte de la provincia de Cádiz), publicada en 1968, estudió el sector septentrional del acuífero Vejer-Barbate.

Asimismo ha sido posible disponer del "Proyecto de Investigación hidrogeológica del acuífero Vejer-Barbate", realizado por el ITGE en 1982 y en el que se incluye una cartografía geológica de la zona a escala 1:50.000.

El presente trabajo, no aporta pues nuevos datos, desde el punto de vista estrictamente geológico, siendo éste capítulo una síntesis de los conocimientos actuales, suficientemente contrastada en campo en los aspectos que, dado el carácter hidrogeológico del estudio, resultan de mayor interés.

### **6.2.- ESTRATIGRAFIA**

El área de estudio se ubica dentro del dominio de los mantos relacionados con el Campo de Gibraltar, constituidos básicamente por una masa arcillosa, sobre la que descansan sedimentos detríticos y carbonatados de edades miocenas y cuaternarias.

Atendiendo a criterios estratigráficos y estructurales, en la zona de estudio se distinguen las siguientes formaciones. (ver PLANO N° 3).

### 6.2.1.- Formaciones alóctonas

Dentro de la zona de estudio se han diferenciado formaciones pertenecientes al manto del Aljibe. En esta se distingue una unidad basal constituida por arcillas vermicolores, denominada Unidad de Paterna, y otra superior constituida por areniscas del Oligoceno, arcillas abigarradas del Cretácico Superior - Oligoceno y calizas con "microcodium".

### 6.2.2.- Formaciones autóctonas

Dentro de estas formaciones se pueden diferenciar dos grupos de unidades litoestratigráficas, depositadas sobre olitostromas.

Estas están formadas por las unidades que descansan, discordantes, sobre el manto del Aljibe y depositadas a partir de la transgresión del Tortoniense.

El primer grupo corresponde a aquellas unidades de edades miocenas y pliocenas y el segundo grupo está constituido por las unidades cuaternarias.



#### 6.2.2.1.- Mioceno Superior - Plioceno

En este periodo se han diferenciado cuatro unidades cartográficas:

##### - Arcillas azules

Se trata de arcilla con fracciones variables de arenas, depositadas durante la transgresión tortoniense. La potencia de esta formación supera los 100 m. en la zona de Vejer de la Frontera, acunándose rápidamente hacia el Norte y hacia el Este; así en Mesa Alta y Jandilla desaparece este término.

##### - Alternancia de arcillas azules y calcarenitas

Esta unidad corresponde a las citadas arcillas azules, con intercalaciones de calcarenitas, cuyo origen se atribuye a episodios con incremento de energía.

Estas intercalaciones generalmente, se presentan como lentejones de escasa potencia; aunque algunos de estos niveles se ha podido seguir en varios kilómetros, como ocurre con el situado en la base de la unidad en la serie monoclinial de Vejer.

En general, los paquetes calcareníticos se pueden definir como depósitos tipo molasa.

##### - Calcarenitas con estratificación cruzada

Esta unidad está constituida por calcarenitas, más o menos cementadas, que intercala niveles arenosos y también conglomeráticos. En general son bastante porosos.

La deposición de estos sedimentos se realiza en condiciones netamente regresivas, originando depósitos poco maduros, "tipo molasa". Se caracteriza esta unidad por una estratificación cruzada de ángulo variable.

- Arenas calcáreas blanco-amarillentas (Plioceno)

Esta unidad está constituida por arenas muy poco consolidadas, que incluyen conchas de moluscos bien conservadas.

Estos afloramientos, situadas al este de Vejer, se estima que tienen una potencia máxima de 100 m.

6.2.2.2.- Cuaternario

En la zona que nos ocupa aparecen representadas varias unidades cartográficas: glacis, arenas eólicas, terrazas y derrubios de ladera, marismas y depósitos lagunares, aluviales, etc.

- Glacis

Esta formación, ampliamente representada en la zona de estudio, tiene su origen en el desmantelamiento de formaciones más antiguas, al inicio de la formación de la red fluvial actual.

En general están constituidas por depósitos arenosos, con niveles de cantos y presentan una tonalidad rojiza. La potencia de esta formación, muy variable de unos puntos a otros, tiene un valor medio próximo a los 7 m.

### - Arenas eólicas

Tienen su origen en el desmantelamiento de áreas madre, constituidas principalmente por los sedimentos arenosos del Mioceno y Plioceno. Estas arenas descansan sobre formaciones más antiguas, generalmente sobre las citadas áreas madre.

Esta formación presenta una gran continuidad en la zona de Mesa Baja.

### - Terrazas

Dentro de la zona sólo se localiza un afloramiento de terraza significativo, en el entorno del Cortijo de Espartinas. Está formada por arcillas arenosas de tonos grises y presenta escasa potencia. En su lado sur se han derramado sobre los depósitos lagunares de Espartinas, en forma de derrubios de ladera, de escasa entidad.

### - Marismas y depósitos lagunares

Constituyen los límites sur y este de la zona de estudio. Se trata de zonas de inundación en épocas de fuertes avenidas; ocupando grandes extensiones dada la suavidad de la topografía.

Esta formación presenta una litología muy variada; arcillas con cantos y arenas de granulometría variable.

### - Aluviales

Los depósitos aluviales de los cauces de la zona, donde el principal curso lo constituye el río Barbate, presentan una litología similar a la descrita en depósitos

lagunares, por lo que no se ha diferenciado en la cartografía.

### 6.3.- TECTONICA

Las unidades del Campo de Gibraltar constituyen un apilamiento de mantos de corrimiento u olistostromas, cuyo emplazamiento tuvo lugar por tectónica gravitacional, situándose en el Mioceno Inferior sus episodios finales. Sobre estas se superpone una tectónica "finipliocena" que pliega suavemente a los sedimentos miopliocenos de carácter autóctono.

Por las razones argumentadas anteriormente, referentes al carácter hidrogeológico del estudio, desarrollaremos sólomente la tectónica postmantos.

Posteriormente al emplazamiento y deformación de las unidades alóctonas, y ya durante el Mioceno Superior se produce un fenómeno distensivo que originaría la transgresión responsable de la sedimentación de las arcillas del Tortoniense. Esta sedimentación no será uniforme puesto que la zona no está pleniplanizada.

El siguiente periodo regresivo produciría los sedimentos tipo molasa y arenas anteriormente descritos, para finalmente, ya en el Plioceno terminal-Cuaternario inferior, desarrollarse las estructuras actuales producidas por fenómenos de compresión.

Los pliegues presentan trazas con direcciones comprendidas entre N.15°E y N.50°E. Estas sólomente se siguen claramente en los materiales autóctonos, son de tipo cilíndrico y responden a estructuras bastante suaves, con

una ligera vergencia al N.W y flancos con buzamientos a 30° (10° en Mesa Alta).

Es de resaltar la serie monoclinal de Vejer (Mioceno), que queda desgajada por una importante falla de dirección.

Se diferencian tres familias de fracturas bien definidas: 1ª) N 20°W-0°; 2ª) N 80°E - N 100°E y 3ª) N 15° E - N 50° E. En general son todas posteriores a los pliegues y con saltos de falla muy variables, de varias decenas de metros a menos de un metro.

**7.- GEOFISICA**

## **7.- GEOFISICA**

### **7.1.- METODOLOGIA DE TRABAJO Y JUSTIFICACION DEL METODO EMPLEADO**

En el planteamiento original del estudio se contemplaba una etapa de trabajos geofísicos por el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) a distribuir en forma de perfiles sobre el sector del acuífero situado en el entorno del Río Barbate.

Dadas las características topográficas de estos perfiles, así como las condiciones que se derivan del modelo geológico, en cada caso, se estima conveniente, de acuerdo con el Director del Proyecto, cambiar el método de trabajo, inicialmente establecido mediante SEV, por la técnica de los Sondeos Electromagnéticos de Dominio de Tiempos (SEDT).

El método de SEDT, utilizando un pequeño bucle situado sobre el terreno es capaz de alcanzar grandes profundidades de investigación (dependiendo del modelo geológico involucrado) con un notable grado de focalización de la respuesta. Ello minimiza los efectos laterales ya que la respuesta obtenida es representativa básicamente del volumen de terreno situado en la vertical del bucle de medida.

Además al no operar con dispositivos lineales como el SEV, no ha de tenerse en cuenta el factor dirección al situar el bucle sobre el terreno. Esta característica es de gran importancia desde el punto de vista técnico y desde el punto de vista logístico representando una ventaja sustancial del método de SEDT respecto al de SEV.

En este caso particular se operó con un equipo SIROTEM II SE en la modalidad de bucles coincidentes de 100 x 100 y 200 x 200 m, realizándose la toma de datos según las etapas que se describen a continuación.

- Se realizó una primera lectura en el rango ET para la resolución de los niveles más superficiales de la sección. En esta lectura se operó con un mínimo de 20 canales y ganancia uno.

- A continuación se midió en ST (rango de tiempos de 0,5 a 160 mseg) para obtener información relativa a los niveles más profundos. En esta modalidad se procuró obtener toda la señal útil seleccionando suficiente número de canales para que al menos los tres últimos correspondieran ya a ruido, es decir no fueran utilizables.

Esta lecturas ST se repitieron en cada SEDT al menos una vez variando la ganancia y número de ciclos.

La toma de datos en campo puede controlarse plenamente por el operador ya que el equipo además de grabar los datos sobre soporte magnético produce un listado impreso de cada medida. En este listado aparece reflejada la lectura de cada canal (Valor del transitorio expresado en nanovoltios-/amperio) número de ciclos, intensidad de la corriente en el transmisor, etc. Lo más significativo es la tercera columna donde se indica el error medio de las lecturas. Este error lo calcula automáticamente el equipo haciendo un análisis estadístico de las repeticiones (número de ciclos) de cada canal.

Atendiendo a estos valores del error medio el operador conoce el número de canales óptimo a medir, y la ganancia más adecuada en cada caso.

A modo de ejemplo se incluye el cuadro nº 11 que recoge los listados correspondientes a las tres lecturas (una ET y dos ST) obtenidas en un mismo SEDT.

Se midieron en total 22 SEDT cuya posición queda reflejada sobre el plano nº 1.

#### 7.2.- TRATAMIENTO DE DATOS

Los registros grabados en campo sobre cinta magnética se pasan a un ordenador para realizar el procesado de los mismos incluyendo las siguientes etapas.

- Filtrado de los transitorios y eliminación de los canales no utilizables porque su nivel de ruido sea muy alto. En nuestro caso concreto se han eliminado todas las lecturas cuyo error medio fuera superior al 5%.

- Cálculo de las curvas de resistividad aparente a partir de los transitorios filtrados. Como en cada punto se midieron al menos una curva ET y dos ST se obtienen pues tres curvas de resistividad aparente en función del tiempo. Estas curvas se superponen normalmente entre sí, sin discontinuidades, dando lugar a una curva única que es la curva de resistividad del SEDT en cuestión y que constituye el docu-

LECTURA "ET"

LECTURAS "ST"

Identificación

04 0686700509

04 0686700509

04 0686700509

Nº de Canal

1 0105 0 035  
 2 0134 0 027  
 3 0143 0 027  
 4 3294 0 001-  
 5 1710 4 000  
 6 2755 4 000  
 7 1407 4 000  
 8 9759 3 000  
 9 6912 3 000  
 10 5135 3 000  
 11 3526 3 000  
 12 2271 3 000  
 13 1560 3 000  
 14 1123 3 000  
 15 8390 2 000  
 16 5765 2 000  
 17 3720 2 000  
 18 2563 2 000  
 19 1856 2 000  
 20 1397 2 000  
 21 9741 1 000  
 22 6415 1 000  
 23 4503 1 000  
 24 3314 1 000  
 25 2533 1 000  
 26 1002 1 000

NV  
R

Error medio

Valor del transitorio  
( R V/A)

Exponente decimal del  
transitorio

512 N° de ciclos  
 5.4 Intensidad en amperios  
 000  
 000  
 200 Tamaño del bucle  
 003 Versión del programa

(1) NV  
R

1 7029 0 002-  
 2 1790 3 003  
 3 9099 4 000  
 4 9901 4 000  
 5 9901 4 000  
 6 9901 4 000  
 7 9901 4 000  
 8 9008 4 000  
 9 6248 4 000  
 10 4424 4 000  
 11 2703 4 000  
 12 1810 4 000  
 13 1229 4 000  
 14 0852 3 000  
 15 6653 3 000  
 16 4645 3 000  
 17 3071 3 000  
 18 2160 3 000  
 19 1606 3 000  
 20 1236 3 000  
 21 0872 2 000  
 22 6061 2 000  
 23 4413 2 000  
 24 3362 2 000  
 25 2649 2 000  
 26 1970 2 000  
 27 1410 2 000  
 28 1060 2 000  
 29 8575 1 000  
 30 7053 1 000  
 31 5507 1 000  
 32 4201 1 000

512  
 5.4  
 000  
 000

200  
 003

(2) NV  
R

1 7471 0 004-  
 2 5802 2 004  
 3 9079 4 000  
 4 9901 4 000  
 5 9901 4 000  
 6 9901 4 000  
 7 9901 4 000  
 8 9050 4 000  
 9 6216 4 000  
 10 4401 4 000  
 11 2090 4 000  
 12 1801 4 000  
 13 1222 4 000  
 14 0805 3 000  
 15 6616 3 000  
 16 4624 3 000  
 17 3057 3 000  
 18 2150 3 000  
 19 1599 3 000  
 20 1230 3 000  
 21 0816 2 000  
 22 6057 2 000  
 23 4413 2 000  
 24 3367 2 000  
 25 2659 2 000  
 26 1972 2 000  
 27 1401 2 000  
 28 1050 2 000  
 29 8394 1 000  
 30 6935 1 001  
 31 5563 1 001  
 32 4613 1 001

512  
 5.4  
 200  
 043

200  
 003

mento básico para la interpretación.

En gran medida son curvas similares a las de los SEV con la diferencia de que en estos la resistividad aparente se representa en función de la semidistancia entre electrodos de emisión ( $AB/2$ ) mientras que en los SEDT se hace en función del tiempo de lectura que es el parámetro que controla la profundidad de investigación.

- Interpretación de cada curva para determinar los parámetros de la sección geoelectrica que la produjo, es decir definir el número de capas, su espesor y su resistividad.

Existen dos métodos principales para abordar este proceso con precisión semejante: Mediante inversión de las curvas de campo o por modelización resolviendo el problema directo.

El proceso de inversión consiste en operar automáticamente a partir de la curva de campo y generar el corte geoelectrico que la produce en base a sucesivas aproximaciones y dentro de rangos de ajuste que se determinan a priori. También se puede prefijar el número de capas del corte y la resistividad de alguna de ellas.

La otra vía de interpretación mediante modelización comprende un proceso iterativo que calcula para un determinado modelo de capas y un tipo y tamaño de bucle la curva teórica de SEDT. Esta curva se compara en pantalla con la de campo que se trata de interpretar. De acuerdo con los desajustes que puedan darse entre ambas curvas, se modifican los parámetros del corte geoelectrico y se calcula una nueva curva teórica que se vuelve a comparar con la de campo. El proceso se repite tantas veces sea necesario hasta conseguir

el mejor grado de ajuste entre ambas. En este punto se adopta como interpretación más probable de la curva de campo el corte geoelectrico establecido para el cálculo de la curva teórica en cuestión.

Desde la idea básica de que los dos procesos interpretativos son semejantes en cuanto a la fiabilidad de sus resultados, se han aplicado ambos en nuestro caso. El proceso de modelización es más costoso en tiempo y necesario por otra parte a fin de establecer unos modelos interpretativos que geológicamente sean admisibles. La interpretación mediante inversión es más sencilla una vez que se establecen mediante modelización, las pautas generales del proceso.

en este caso se han aplicado ambas técnicas en dos fases casi simultáneas y evidentemente interrelacionadas.

En el anexo nº 2 se presentan los resultados de la interpretación y las curvas obtenidas.

### 7.3.- PRESENTACION DE RESULTADOS

Una vez interpretadas cada una de las curvas de resistividad la presentación de resultados es enteramente similar a la de los SEV, es decir mediante cortes geoelectricos.

Los cortes geoelectricos se elaboran correlacionando los resultados de los SEDT en forma de perfiles. Así se obtiene un documento similar en gran medida a una sección geológica aunque con ciertas salvedades.

En un corte geoelectrico se representan diversas "capas" del subsuelo caracterizadas por tener una resistividad definida y diferente de las otras "capas" del corte.

Ello no significa que cada "capa" tenga una composición litológica homogénea sino que pueden darse casos en que una misma "capa litoeléctrica" englobe materiales de diferente naturaleza, si bien con un comportamiento similar frente al paso de la corriente eléctrica.

De cualquier modo en lo que respecta al presente caso, las unidades litológicas más representativas (margas, calcarenitas, arcillas, etc.) presentan resistividades claramente diferenciadas por lo que no cabe esperar indeterminaciones significativas.

Los perfiles geoeléctricos obtenidos se incluyen en los cortes del 1 al 6 Fig. 2-7. Es habitual en este tipo de representación ampliar la escala vertical respecto a la horizontal a fin de poner de manifiesto de forma destacada los rasgos más significativos de cada perfil.

En nuestro caso concreto las escalas utilizadas han sido  $EH = 1/10.000$  y  $EV = 1/2.500$ , obteniéndose así unos gráficos que permiten apreciar con claridad las características principales de todos los perfiles.

Hemos de hacer notar al respecto que una de las características del método de SEDT es su falta de definición en los primeros metros de la sección geoeléctrica. Por ello la representatividad de las capas más superficiales ha de entenderse con menor fiabilidad que la de los contactos más profundos que es el rango donde el método resulta más fiable.

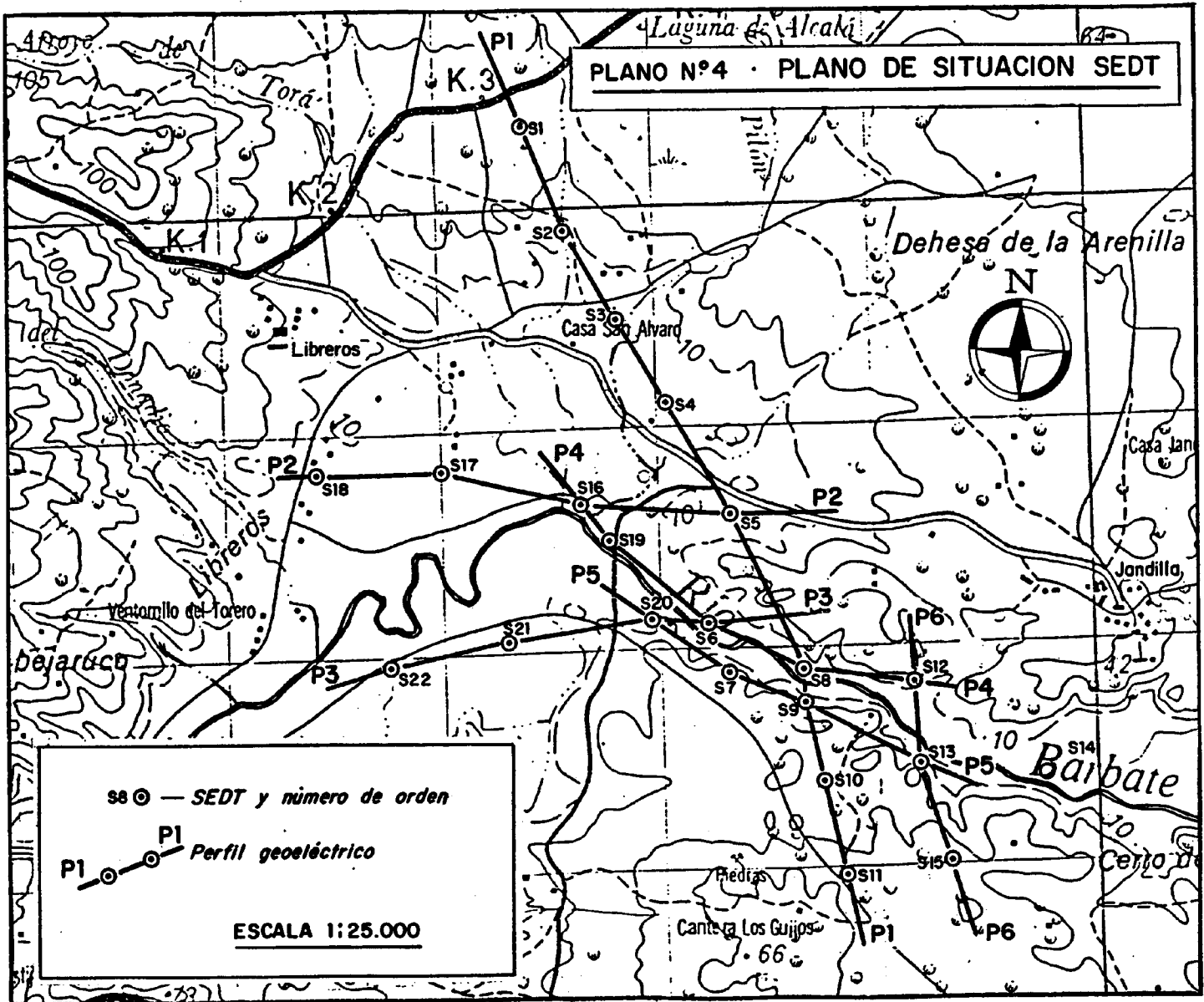
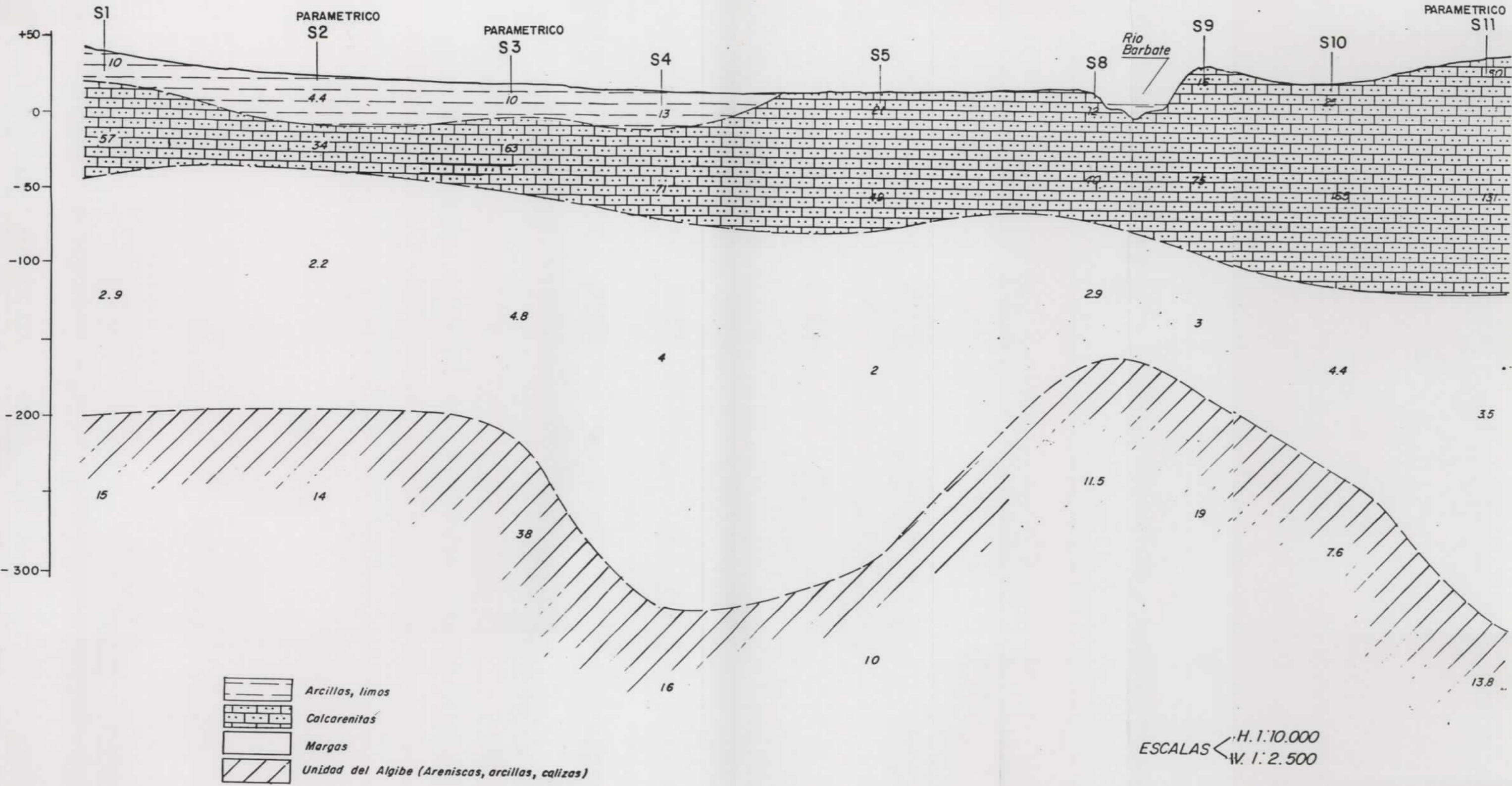


Fig. N° 2

PERFIL P-1

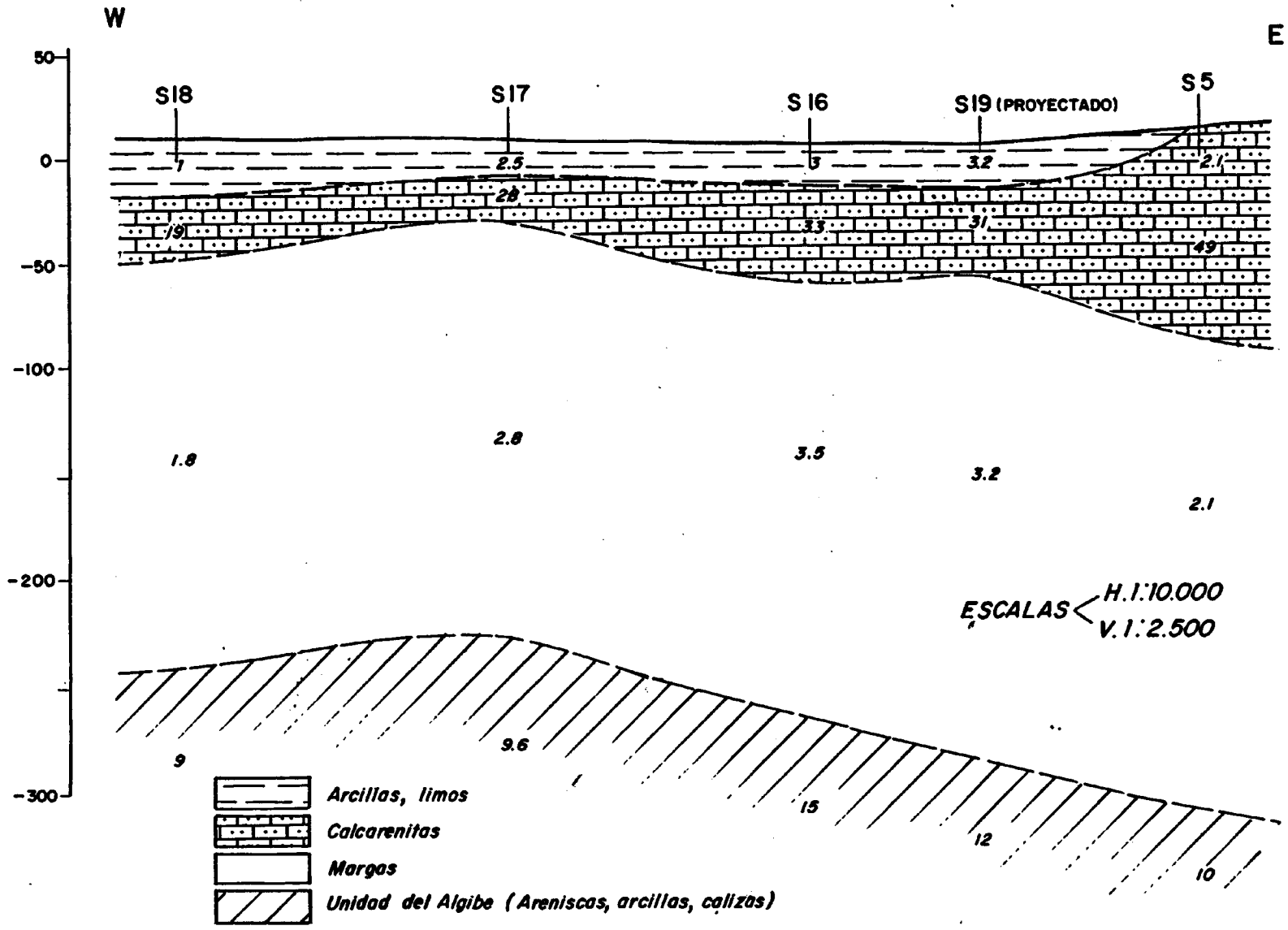
NW

SE



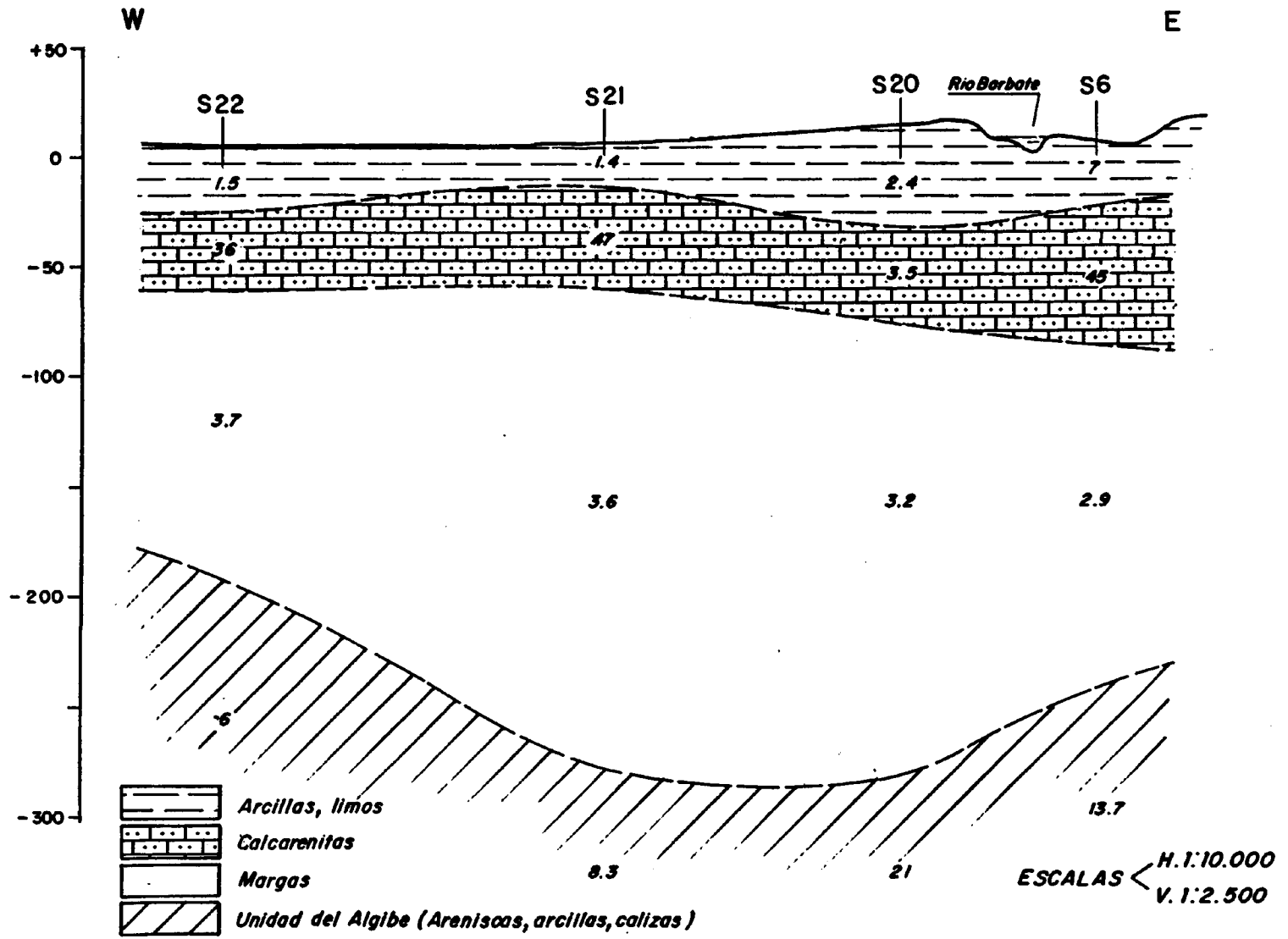
PERFIL P-2

Fig. Nº3



PERFIL P-3

Fig. N° 4



— PERFIL P-4 —

Fig. Nº 5

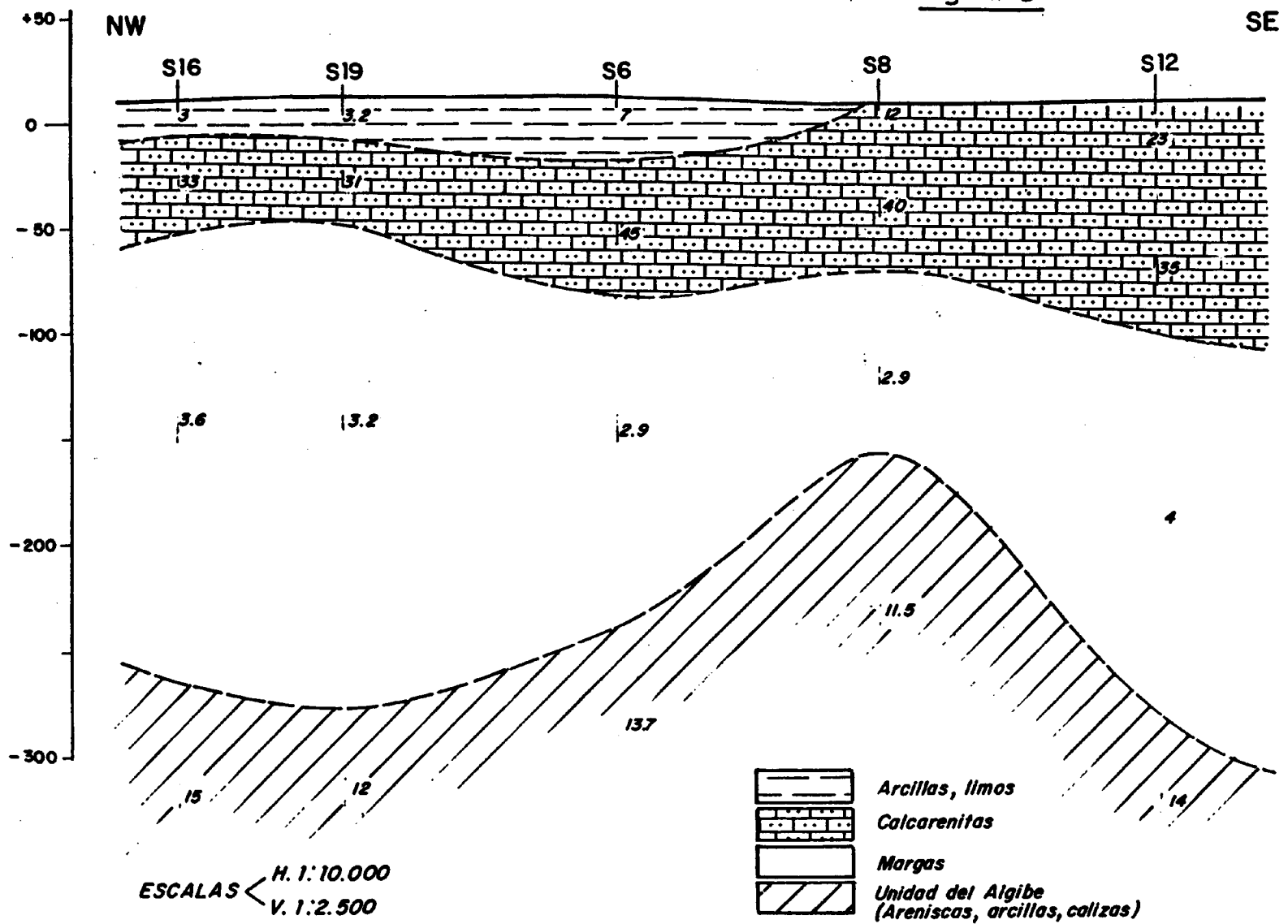
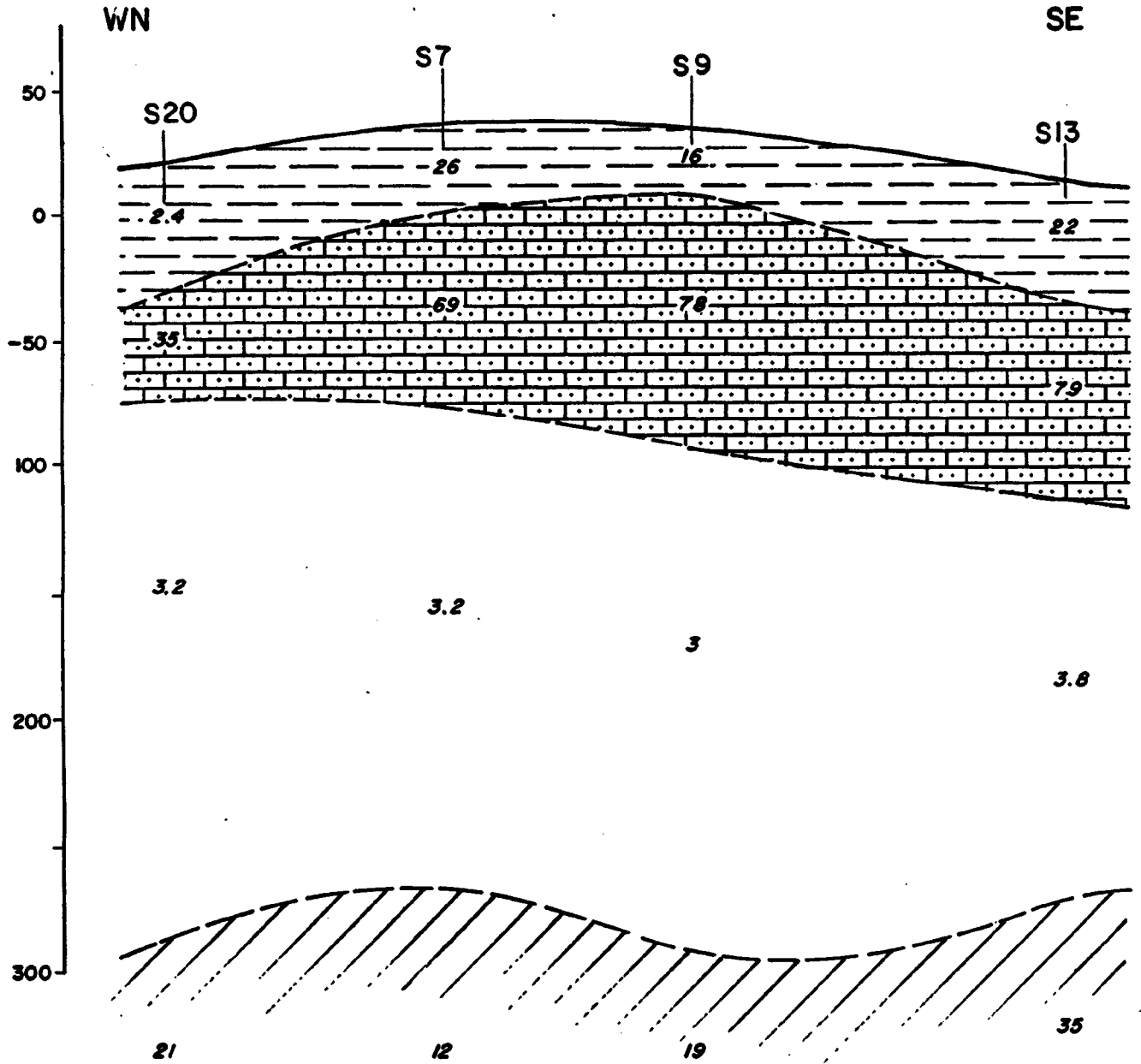
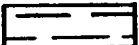
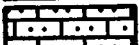




Fig. N°6

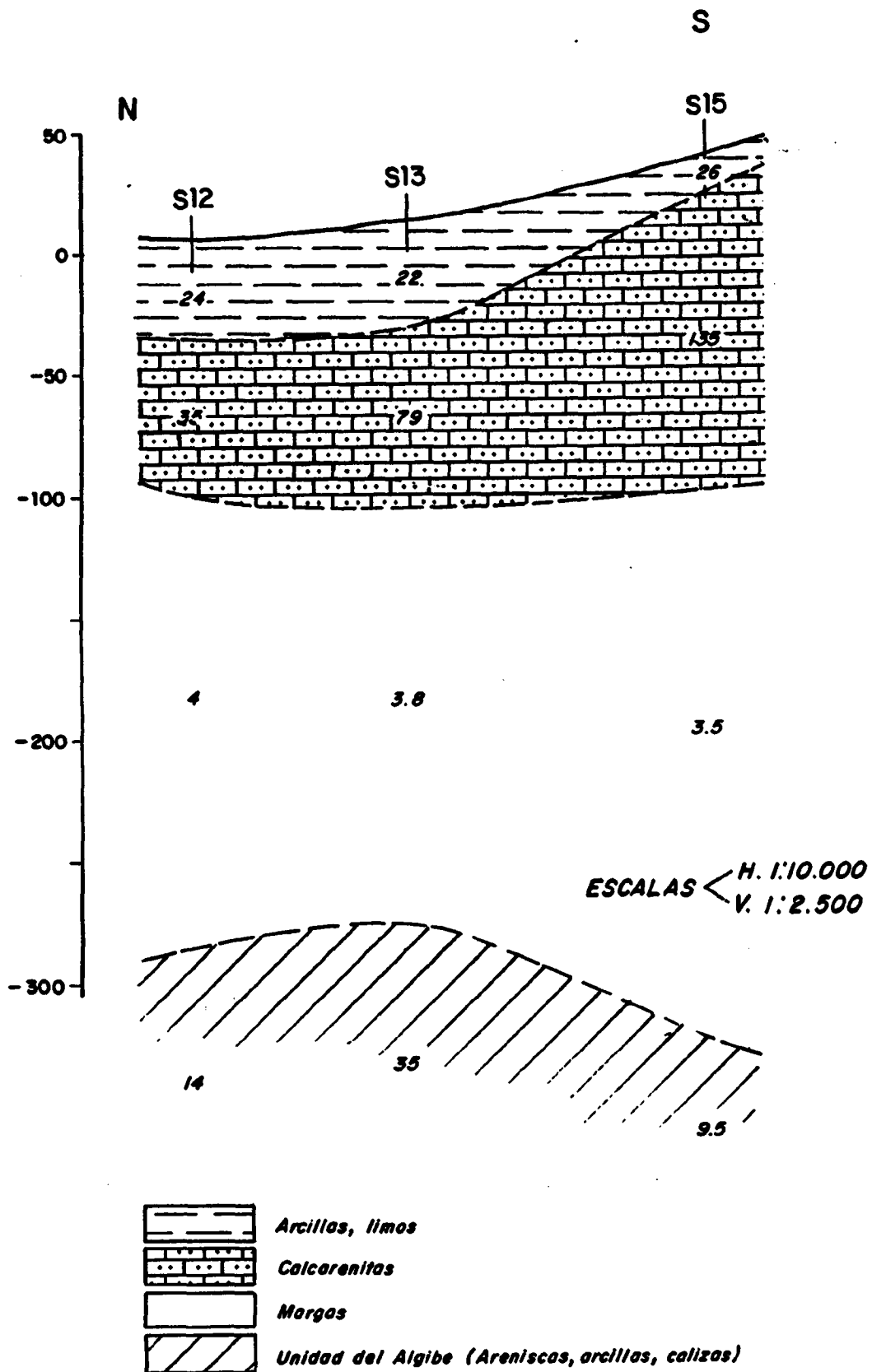
PERFIL P-5



ESCALAS <math>\left\{ \begin{array}{l} H. 1:10.000 \\ V. 1:2.500 \end{array} \right.</math>

-  Arcillas, limos
-  Calcarenitas
-  Margas
-  Unidad del Algibe (Areniscos, arcillos, calizps)

— PERFIL P-6 —



En otros casos, geológicamente más simples, es factible y además conveniente plasmar los resultados en forma de planos de isoespesores del recubrimiento o del tramo litológico de mayor interés. Esta opción no tiene sentido en el presente caso debido a la disparidad de modelos geológicos que se dan en la zona de estudio. De cualquier modo se ha considerado esta posibilidad.

#### 7.4.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La prospección geofísica realizada permite diferenciar cuatro tipos de formaciones, en función de los valores de resistividad encontrados, cuya correspondencia con los materiales aflorantes en el sector ha podido ser claramente establecida.

- Los tramos superficiales, con menor resistividad, corresponden a los materiales arcillo-limosos cuaternarios (glacis, sedimentos de marismas y aluviales). La resistividad media entre 1 y 15 ohm-m, con valores ligeramente superiores para los aluviales y glacis (10-15 ohm-m) y más bajos para los sedimentos de marismas (1-5 ohm-m).

- Bajo este horizonte se detecta otro tramo de mayor resistividad y que corresponde a las calcarenitas miocenas. En algunas zonas el tramo superior, de menor resistividad, no existe; apareciendo directamente las calcarenitas.

Este tramo, con valores de resistividad comprendidas entre 30 y 170 ohm.m, presenta espesores muy variables de unos sectores a otros que oscilan entre los 20 y 130 metros. Las mayores potencias se detectan en el sector situado entre Jandilla y Los Guijos, en ambas márgenes del río Barbate.

- Bajo las calcarenitas, se detecta un horizonte de muy baja resistividad, siempre inferior a los 5 ohm.m, y gran potencia (del orden de 200 m.). Corresponde este tramo a las arcillas miocenas.

- Por último, bajo este tramo arcilloso, se detecta un horizonte con valores medios de resistividad (10-35 ohm.m), que parece corresponder a la serie flyshoide de la unidad del Aljibe, constituido por areniscas, calizas y arcillas.

**8.- HIDROGEOLOGIA**

## **8.- HIDROGEOLOGIA**

### **8.1.- GENERALIDADES**

El acuífero Vejer-Barbate está comprendido en el Sistema Acuífero nº 33 (Acuíferos Costeros de Cádiz). Se extiende sobre una superficie aproximada de 145 Km<sup>2</sup>, pudiéndose diferenciar una gran unidad, denominada Manto de Vejer, con una superficie aflorante de unos 125 Km<sup>2</sup> y dos unidades menores. La Muela (16 Km<sup>2</sup>) y La Mediana (5 Km<sup>2</sup>).

La zona objeto de este estudio, corresponde al sector septentrional del Manto de Vejer, situado al norte de la carretera nacional 340. Esta subunidad acuífera tiene una superficie aproximada de 85 Km<sup>2</sup>.

Las formaciones permeables que conforman el acuífero corresponden a calcarenitas y arenas del Mioceno Superior - Plioceno, que presentan potencias variables entre los 20 y 130 metros, disminuyendo, de modo general, hacia el este y hacia el norte.

Aunque la mayor parte del acuífero tiene un carácter libre, en las proximidades del río Barbate, y debido a encontrarse parcialmente cubierto por sedimentos de marismas, adquiere un carácter de semiconfinado.

Tanto los límites laterales como el sustrato impermeable del acuífero lo constituyen las formaciones margo-arcillosas del subbético y de las unidades del Campo de Gibraltar.

## 8.2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

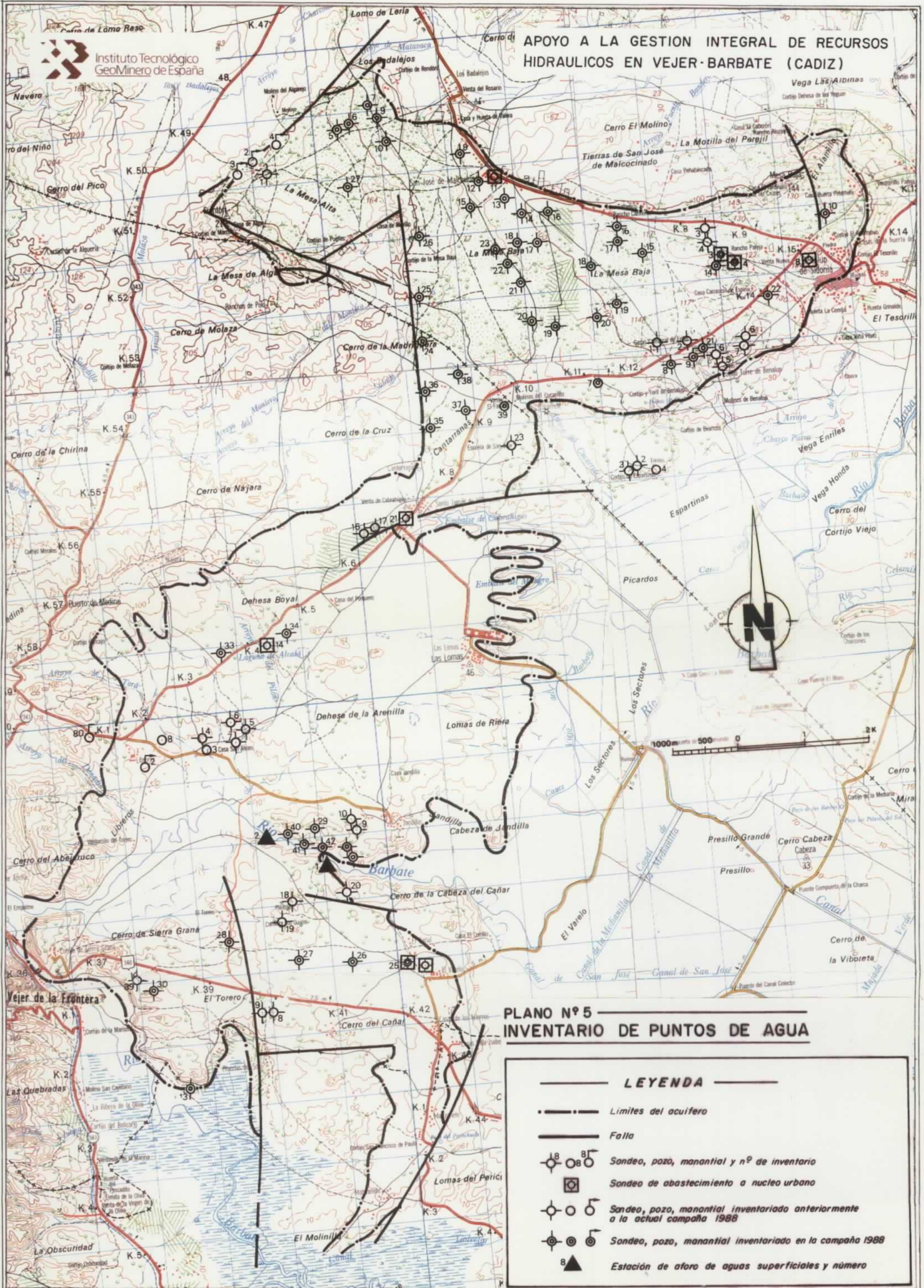
La actualización del inventario de puntos de agua pretende cubrir los siguientes objetivos:

- obtener información sobre la geometría interna del acuífero.
- reflejar la actual distribución de captaciones y situación de los principales núcleos de bombeo, así como el uso del agua extraída y los volúmenes medios bombeados, y
- cubrir homogéneamente la superficie del acuífero y establecer una red de control piezométrico en base a las características del acuífero y a las actuales condiciones de explotación.

De esta forma se han inventariado 55 nuevos puntos de agua, cuya distribución por hojas topográficas 1:50.000 y octantes es la siguiente: (ver plano nº 5).

<u>Nº HOJA</u>	<u>OCTANTE</u>	<u>PUNTOS INVENTARIADOS</u>
12-46	8	23
12-47	4	15
12-47	8	1
13-46	5	13
13-47	1	3
	<b>Total</b>	<b>55</b>

Además se han revisado y actualizado 22 sondeos ya inventariados por el I.T.G.E. Tanto las fichas correspondientes a los nuevos puntos, como las de las actualizadas, se incluyen en el anexo nº 3.



**PLANO Nº 5  
INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA**

**LEYENDA**

- — — — — Límites del acuífero
- — — — — Falla
- ⊗ ⊙ ⊕ Sondeo, pozó, manantial y nº de inventario
- ⊗ Sondeo de abastecimiento a núcleo urbano
- ⊗ ⊙ ⊕ Sondeo, pozó, manantial inventariado anteriormente a la actual campaña 1988
- ⊗ ⊙ ⊕ Sondeo, pozó, manantial inventariado en la campaña 1988
- ▲ Estación de aforo de aguas superficiales y número

Del análisis del conjunto de puntos inventariados, caben destacar los siguientes aspectos:

- De las obras de captación inventariadas, 53 son sondeos y 2 pozos a cielo abierto.
- Los sondeos han sido perforados, mayoritariamente, a percusión.
- Los diámetros de perforación predominantes son de 550 y 600 mm, así como los de entubación son de 350 y 400 mm.
- La mayoría son pozos completos, penetrando algunos metros en las margas infrayacentes. Sus profundidades se sitúan entre 70 y 120 metros.
- Por su reciente construcción 12 sondeos se encuentran sin equipar.
- Los caudales aforados presentan una gran variabilidad de unos puntos a otros, comprendidos entre los 10 l/s y 100 l/s., situándose la media en torno a 25-50 l/s.
- Existen varios sondeos que, estando equipados, no se encuentran en explotación debido a problemas administrativos.

Con cargo a este Proyecto se han realizado tres sondeos de investigación, en la margen derecha del río Barbate, en el sector comprendido entre Jandilla y el Tore-ro, cuyas fichas de inventario se incluyen en el anexo nº 3.

### 8.3.- PIEZOMETRIA

En este Proyecto, y con el fin de establecer de manera precisa, el comportamiento de la subunidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate, frente a los diferentes periodos alternos de fuerte explotación y predominio de la recarga, se han llevado a cabo, en la misma, dos campañas flash de medidas piezométricas. La primera tuvo lugar en el mes de noviembre de 1988, y la segunda en febrero de 1990.

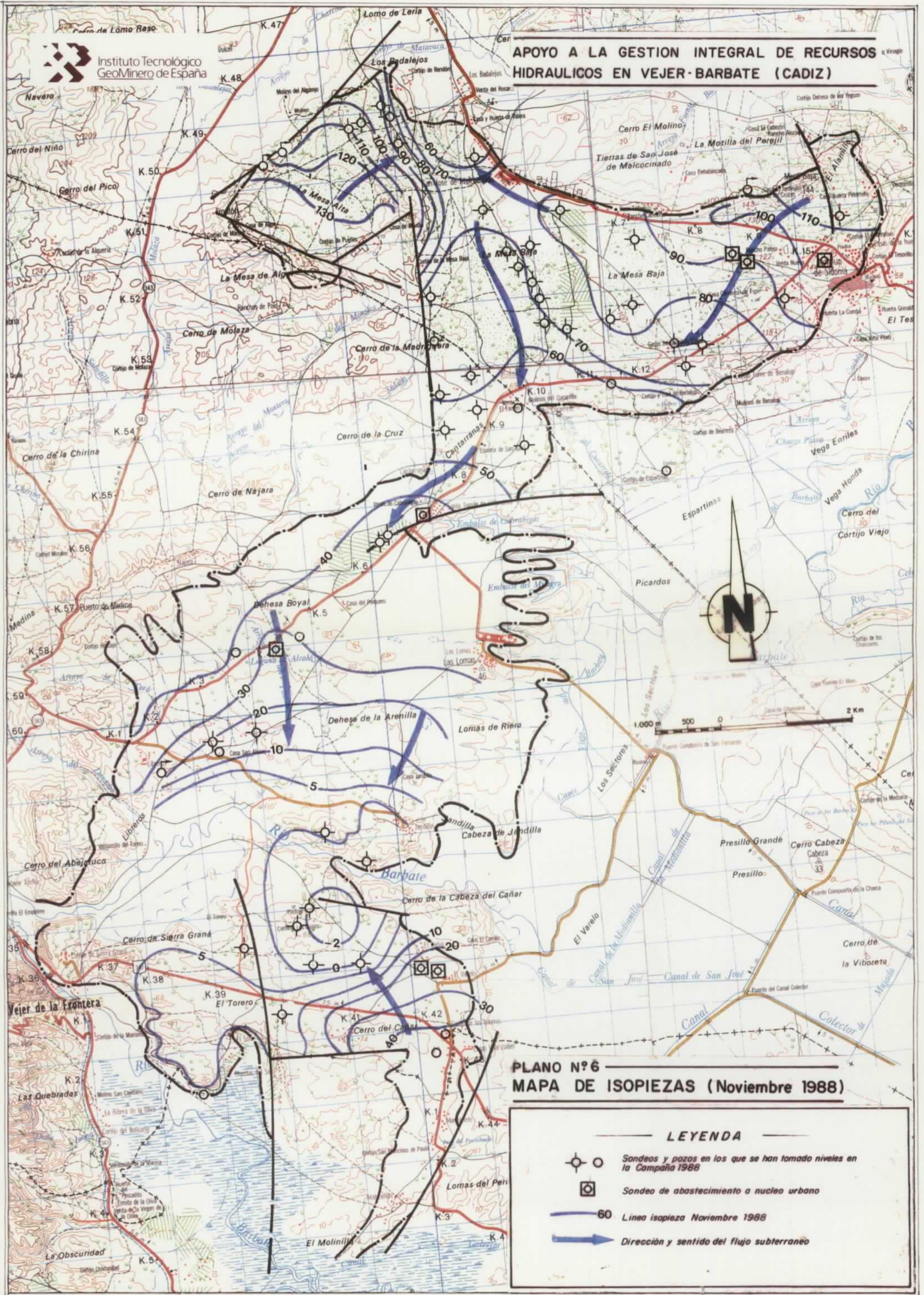
En ambas campañas se empleó, para el establecimiento de la cota absoluta de los niveles piezométricos, la base cartográfica, a escala 1:10.000, elaborada por el CETU, La Consejería de Obras Públicas y Urbanismo de la Junta de Andalucía, etc., utilizándose además, durante la toma de datos en campo, un altímetro barométrico, para mayor precisión de las medidas.

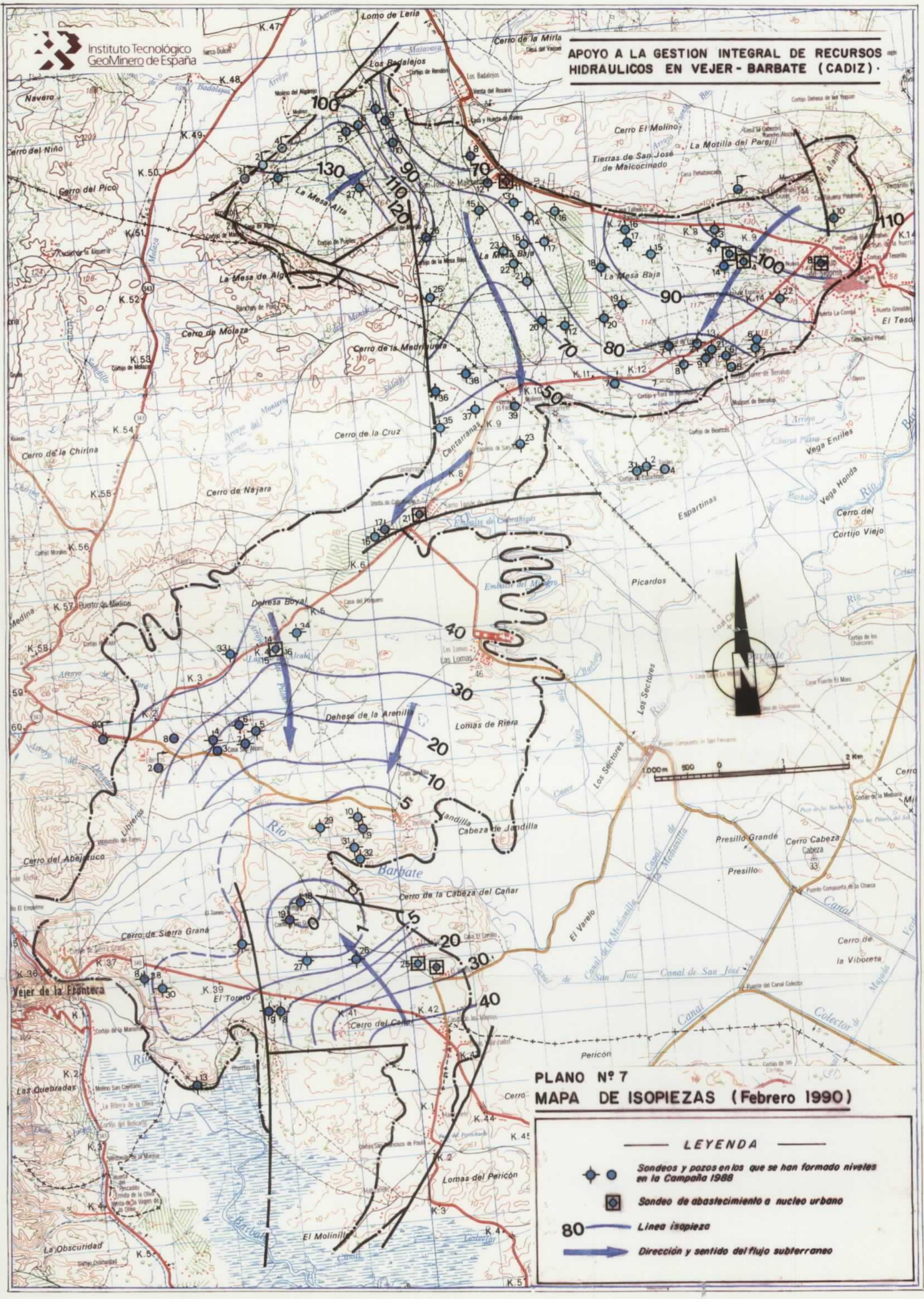
A partir de estas observaciones puntuales de campo, cuyas medidas se recogen en los cuadros n<sup>os</sup> 12 y 13, se han elaborado sendos mapas piezométricos, planos n<sup>os</sup> 6 y 7.

En la campaña realizada en noviembre de 1988 se midieron 70 niveles piezométricos, 28 de los cuales se efectuaron en puntos inventariados por el I.T.G.E. con anterioridad a la realización de este Proyecto. También se incluyen 13 medidas suministradas por los propietarios que, bien corresponden al nivel del agua en la captación en el año de su construcción, bien medido con motivo de averías en el equipo de bombeo. Estos últimos datos se utilizaron con la debida reserva.

En la campaña realizada en febrero de 1990 se midieron 36 puntos de agua, de los que 7 correspondían a



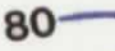

niveles dinámicos, por lo que no se han incluido en el cuadro de datos, n° 13.





**PLANO Nº 7  
MAPA DE ISOPIEZAS (Febrero 1990)**

**LEYENDA**

-  **Sondeos y pozos en los que se han formado niveles en la Campaña 1988**
-  **Sondeo de abastecimiento a nucleo urbano**
-  **80** **Línea isopieza**
-  **Dirección y sentido del flujo subterráneo**

CUADRO N° 12.- PIEZOMETRIA (Noviembre, 1988)

N° Pozo	Cota (1:10.000)	Profundidad hasta el agua (m)	Cota absoluta (1981)	N.E. (1988)	OBSERVACIONES
1247/8/5	52,5	7	47,92	45,5	
6	49	6,3	43,50	43,5	
8	32	29	7,60	3	Bombeo a 50m.
13	5	1		4	
EL VARELO	36	7,10		28,9	
1247/4/25	38	14,60		23,40	(86)
26	49	49,90		-0,90	
27	39	39,50		-0,50	
28	20	16		4	
12	9,63	8,50	1,13	1,13	
9	10	11	9	-1	(88) Inf. Verba
10	12	13	4,45	-1	(87) Inf. Verba
30	29	28,40		0,60	
29	60	60		0	(82) Inf. Verba
31	12	13		-1	(84) Inf. Verba
32	10	11,10		-1,10	
2	30	SURG.	8	30	
3	20	5,33	2,37	14,67	
4	25	9,20	0,80	15,80	
5	21	9	3,65	12	
8	30	1	9,56	29,50	
13	54	28,60	11,40	25,40	Bombeo próximo
33	56	15,60		40,40	
34	54	22		32	Bombeo a 15 m.
16	51	15,20	29,80	35,8	
17	49	12	33	37	
21	38,02	0,00	38,02	38,02	
23	56,94	0,00	56,94	56,94	
18	47	49,50	10,50	-2,50	
19	47	51,20	-8,52	-4,5	
35	60	3,10		56,90	
36	66	6,20		59,80	
37	64	4,33		59,67	
38	66	3,50		62,50	
39	59	3,30		55,70	
1247/3/88	60	SURG.	60	60	
1347/1/ 4	23,82	4,55	19,27	19,27	
7	66	6,55		59,45	
8	100	19,30		81,70	
9	100	25		75	
1246/8/ 1	140	9	124,05	131	Inform.
2	125	SURG.	100	125	Seco Verano (88)
3	115	SURG.	109	115	Estiaje 1/2 Q.
4	120	SURG.	97	120	Estiaje 1/2 Q.
5	115		1,60	113,40	
6	110		5,10	104,90	
7	95		5,80	89,2	
8	74		19	55	Bombeo a 50 m.
9	90		8,40	81,60	
10	84		4,10	79,90	

## (Continuación Cuadro nº 12)

11	85		13	72	
12	80		12,20	67,80	
13	90		29	70	Inf. Verbal
14	90		12	78	Inf. Verbal
15	78		2	76	
16	100		12	88	
17	90		12	78	
18	82		11,53	70,47	
19	80		11	69	
20	72		1,60	70,40	
21	73		2,10	70,90	
22	75		8	67	
23	75		7,30	67,70	
24	72		5,80	67,20	
25	79		13	66	
26	100		60	40	Inf. Verbal
288 FCO.VERDUGO	75	2,40		72,60	
PARCELA ESPINA	100	15,50		84,50	
Cota (1:50.000)					
1346/5 1	100	21,7	78,3	78,3	
2	97,08	25,10	72	72	
5	100	3,70	117,30	96,30	
10	124	12,65		111,35	
11	120	17		103	Inf. Verbal
13	124	35		89	(89) Cinta-Inf.
14	122	30		90	(86) Inf. Verb.
15	117	28		89	(86) Inf. Verb.
17	113	29,10		83,9	
19	100	15,60		84,4	
20	96	14,80		81,2	
21	110	46		64	Inform. Verb.
22	125	31		94	

CUADRO N° 13.- PIEZOMETRIA (Febrero 1990)

N° registro	Profundidad hasta el agua (m) Febrero 1990	Cota N.E. (s.n.m.) (m) Febrero 1990	Variación piezométrica (s.n.m.) (m) respecto a Noviembre 1990
1246-8-005	0,00	> 115	>+ 1,6
1246-8-006			
1246-8-007	2,00	93,00	+ 3,80
1246-8-009	5,05	84,95	+ 3,35
1246-8-014	7,90	82,10	+ 4,10
1246-8-015	0,00	>78,00	>+ 2,00
1246-8-023	- 0,00	>75,00	>+ 7,30
1247-4-002	0,00	>30,00	>+ 0,00
1247-4-003	3,20	16,80	+ 2,10
1247-4-006	6,00	14,00	?
1247-4-009	6,05	3,95	+ 4,95
1247-4-016	5,85	45,15	+ 9,35
1247-4-017	3,05	45,95	+ 8,95
1247-4-018	47,20	-0,20	+ 2,30
1247-4-026	48,05	0,95	+ 1,85
1247-4-027	37,70	1,30	+ 1,80
1247-4-028	14,45	5,55	+ 1,55
1247-4-029	56,00	4,00	?
1247-4-031	9,60	2,40	+ 3,40
1247-4-032	7,55	2,45	+ 3,55
1247-4-033	15,50	40,50	+ 0,10
1247-4-036	3,50	62,50	+ 2,70
1346-5-002	21,20	75,80	+ 3,90
1346-5-010	10,70	113,30	+ 1,95
1346-5-019	11,00	89,00	+ 4,60
1346-5-020	10,00	86,00	+ 4,80
1347-1-008	16,65	84,35	+ 2,65

Del análisis de los mapas piezométricos caben resaltar las siguientes consideraciones:

- El río Barbate, que atraviesa el acuífero por su cuarto meridional, condiciona dos sentidos de flujo subterráneo opuestos; al norte del río el sentido general del flujo es N-S y al sur S-N.
- El acuífero se caracteriza por una marcada isotropía; al menos las líneas isopiezas no detectan ninguna discontinuidad relevante. En general las isopiezas se adaptan bastante bien a la topografía del terreno.
- Los niveles piezométricos se sitúan próximos a la superficie, menos de 15 m, llegando a ser surgentes, con carácter estacional, en algunas zonas tales como La Mesa Baja (proximidades de S. José de Malcocinado), Los Badalejos y algunos puntos próximos a las marismas, en la zona sur de la unidad.
- Las Mesas Alta y Baja constituyen las principales áreas de recarga del acuífero. Parte del flujo procedente de la Mesa Alta se descarga a través de varias surgencias naturales: Charco Dulce y, principalmente por el arroyo de Los Badalejos, así mismo el arroyo Cucarrete recibe los aportes subterráneos procedentes de las Mesas.
- Tras el periodo de explotación estival, se aprecia un notable cono de bombeo en el sector meridional del acuífero y en ambas

márgenes del río Barbate. En este sector se localizan los sondeos más productivos y de mayor explotación del acuífero.

- También se puede apreciar una estrecha relación entre el río Barbate y el acuífero. En esta zona del acuífero, sector coincidente con el cono de bombeo anteriormente citado, tras el periodo de mayor explotación, los niveles de aguas subterráneas están a menor cota que la lámina de agua en el río.
  
- De la comparación de las medidas de las dos campañas piezométricas realizadas en este Proyecto, una en aguas bajas y otra, posterior a un intenso periodo de lluvias y por tanto de recarga, se observa un ascenso generalizado de niveles piezométricos. Estas subidas varían según la zona entre 1,5 m y 9 m. Los mayores ascensos del nivel piezométrico se producen en las zonas que, en verano, están sometidas a una fuerte explotación, así se registran variaciones máximas, de 9 m, en las proximidades de Las Lomas; y en San José de Malcocinado, El Boyar y Jandilla rondan los 4-5 m (ver cuadro nº 13).

#### **8.4.- FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO. PARAMETROS**

##### **8.4.1.- Funcionamiento hidráulico**

Como ya se ha indicado, el acuífero tiene un carácter libre, excepto en los sectores más próximos al río Barbate en los que se encuentra cubierto por sedimentos cuaternarios de baja permeabilidad y el límite meridional

del mismo en el que queda recubierto por sedimentos de marismas de carácter impermeable.

La recarga natural del acuífero se produce, de forma fundamental, a partir de la infiltración de agua de lluvia. Además hay que considerar una recarga adicional, de carácter estacional, correspondiente a los aportes del río Barbate, en el sector en que éste atraviesa el acuífero. También se produce la infiltración de los excedentes del agua empleada para regadío.

Las salidas tienen lugar, casi exclusivamente, a través de los bombeos en los pozos y sondeos que explotan el acuífero, aunque hay que considerar la existencia de algunos manantiales de borde, de carácter estacional en Charco Dulce, arroyo de Los Badalejos y arroyo de Cucarrete así como en la margen derecha del río Barbate, en la zona de Libreros.

El sentido de circulación del agua subterránea es de sur a norte en los sectores de Mesa Alta y en la zona situada en la margen izquierda del río Barbate, mientras que en el resto de la subunidad estudiada, el flujo subterráneo se produce de norte a sur.

El valor medio del gradiente hidráulico es del orden del 1‰ con valores extremos del 3,5‰ en Mesa Alta y del 0,8‰ en el sector central del acuífero.

#### **8.4.2.- Parámetros del acuífero**

Con el fin de conocer los parámetros hidrogeológicos del acuífero calcarenítico en las inmediaciones del río Barbate, se han realizado dos ensayos de bombeo, uno de 11 horas y otro de 51 horas de duración.

El bombeo se llevó a cabo, en ambos ensayos, en el sondeo 1247-4-010, situado en la finca de Jandilla.

Este sondeo se encuentra equipado con una bomba vertical INDAR modelo IK-450-II, accionado por motor eléctrico de 130 C.V. El diámetro de la tubería de salida del agua, imposibilitó el control de los niveles, mediante sonda, durante la realización del ensayo.

Como piezómetro de observación se utilizaron los sondeos 1247-4-009 y 1247-4-031, situados a una distancia de 250 mts. y 450 mts., respectivamente, del punto de bombeo. (Ver croquis adjunto).

Los caudales de bombeo se controlaron periódicamente en un depósito intermedio, permaneciendo un caudal constante de 48 l/s, salvo para el comienzo del ensayo en que el caudal era de 78 l/s, hasta que se alcanzaba la presión crítica de funcionamiento del pivot, tras el llenado de las conducciones que unían el pivot con el sondeo de bombeo. Esto tenía lugar en 20 minutos aproximadamente, hecho que se ha tenido en consideración a la hora de la interpretación.

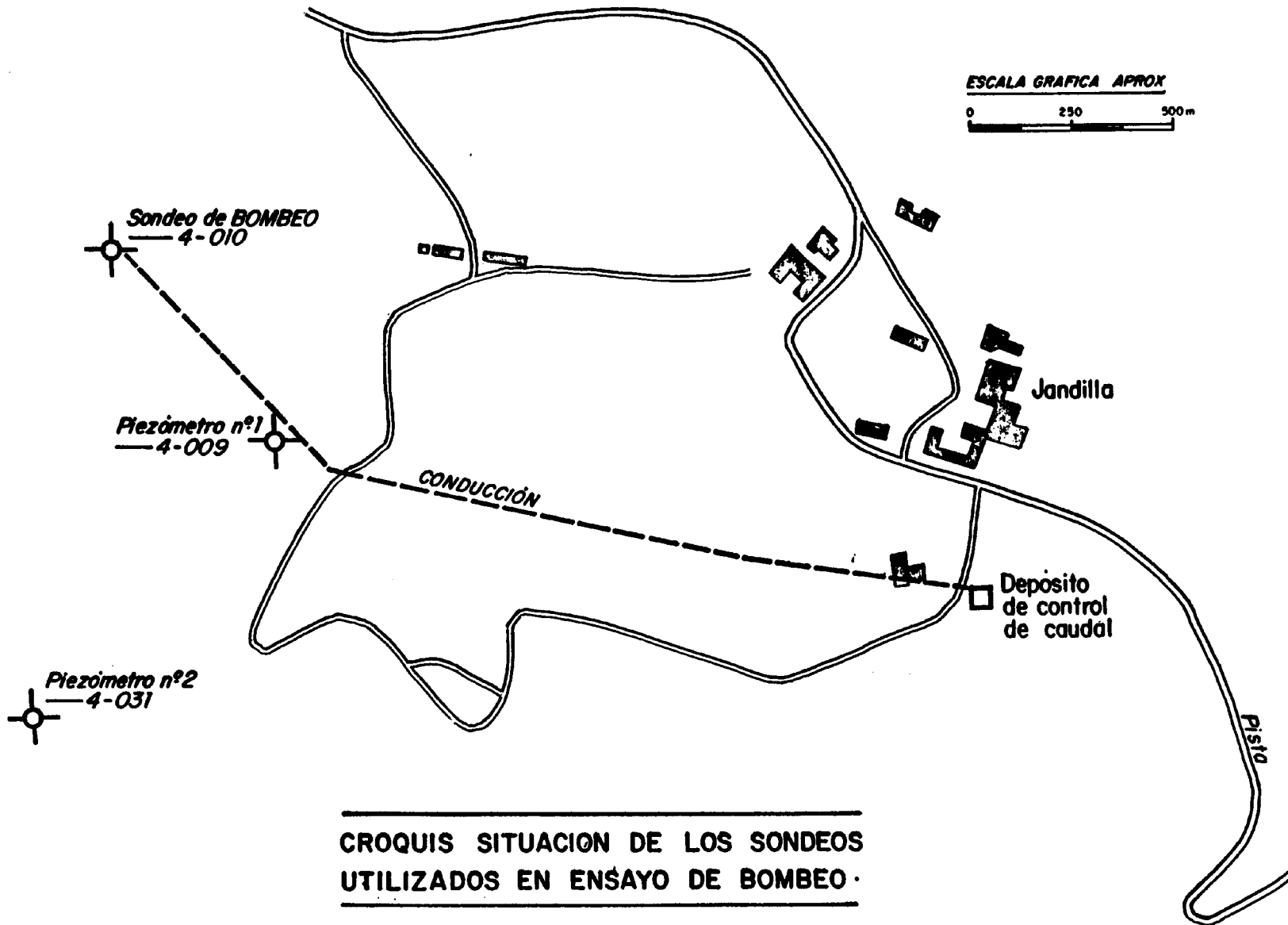
Las curvas de campo, así como los resultados de la interpretación se adjuntan en el anexo nº 4.

Los resultados obtenidos permiten estimar unos valores de los parámetros hidrogeológicos en esta zona del acuífero del orden de:

Transmisividad (T) =  $4 \times 10^3$  m<sup>2</sup>/día -  $6 \times 10^3$  m<sup>2</sup>/día.

Coefficiente de almacenamiento (S) =  $0,5 \times 10^{-3}$  -  $1 \times 10^{-3}$ .

ESCALA GRAFICA APROX



Sondeo de BOMBEO  
— 4-010

Piezómetro n°1  
— 4-009

Piezómetro n°2  
— 4-031

Jandilla

Deposito  
de control  
de caudal

Pista

Rio Barbate

CROQUIS SITUACION DE LOS SONDEOS  
UTILIZADOS EN ENSAYO DE BOMBEO

Estos valores de transmisividad son sensiblemente superiores a los obtenidos en los ensayos de bombeo realizados en otras zonas del acuífero (sondeos de abastecimiento a Vejer, Barbate, Urbanización Atlanterra, etc.) que varían entre 200 m<sup>2</sup>/día y 2000 m<sup>2</sup>/día.

#### 8.5.- RELACION ACUIFERO-RIO

Del mapa de isopiezas elaborado con los datos piezométricos correspondientes a Octubre - Noviembre de 1988, se deduce una estrecha interconexión hidráulica entre el río Barbate y el acuífero.

Las explotaciones localizadas en el sector oriental del acuífero, próximo al río Barbate (Jandilla y El Torero) y en ambos márgenes del mismo, provocan un amplio cono de bombeo dando lugar a una recarga "inducida" del río al acuífero.

Con el fin de constatar éste hecho, se realizaron tres campañas de aforos diferenciales en el tramo del río, de 1.100 metros, comprendido entre Jandilla y El Torero (ver Plano nº 5).

En el cuadro nº 14 se incluyen, de forma resumida, los resultados obtenidos en las campañas de aforos diferenciales realizadas:

CUADRO N° 14.- Resultados de los aforos diferenciales

FECHA AFORO	CAUDAL AFORADO l/s		DIFERENCIA CAUDAL	
	BARBATE 1	BARBATE 2	DIFERENCIA CAUDAL	
			l/s	%
20-06-89	129	105	- 24	-18,6
30-10-89	82	62	- 20	-24,4
26-07-90	64	43	- 21	-32,8

En el anexo n° 6 se incluyen los datos de los aforos y su interpretación.

De los resultados obtenidos en los aforos realizados, se pone de manifiesto una significativa pérdida de caudal, en torno a los 20 l/s, en el tramo comprendido entre ambas estaciones de aforo. Tras las fuertes precipitaciones registradas entre diciembre de 1989 y enero de 1990 se intentó realizar una nueva campaña de aforos pero el desbordamiento del río Barbate, primero, y el desembalse de agua en el pantano del Celemín, después, impidieron la realización de los mismos.

La ejecución de tres sondeos de investigación en la margen derecha del río Barbate, en el sector comprendido entre los dos puntos de aforo, ha permitido correlacionar los niveles piezométricos en este área con el nivel de la lámina de agua en el río. Las medidas llevadas a cabo ponen de manifiesto la existencia de un flujo del río hacia el acuífero con un gradiente hidráulico del orden del 1‰.

No se descarta, sin embargo que aguas abajo de esta zona de recarga, el sentido del flujo se invierta produciéndose una descarga del acuífero hacia el río, como parece deducirse de la existencia de pequeños manantiales,

de carácter estacional, en el sector de Libreros, en la margen derecha del río Barbate, y de la posición relativa de los niveles piezométricos y de la lámina de agua en el río, en dicho sector.

#### 8.6.- ANALISIS DE LA RED PIEZOMETRICA ACTUAL. PROPUESTA DE NUEVA RED.

##### 8.6.1.- Red piezométrica actual

El ITGE controla, desde 1982 y con periodicidad bimensual, la evolución piezométrica del acuífero Vejer-Barbate, mediante una red compuesta por 6 piezómetros.

De éstos seis piezómetros, tres se encuentran en la subunidad septentrional y tres en la subunidad meridional.

En el cuadro nº 15 se incluyen las características más importantes de estos piezómetros, incluidos en la subunidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate.

CUADRO Nº 15.- Características generales de la red piezométrica actual de la Subunidad septentrional del Manto de Vejer.

Nº Registro	Naturaleza	Coordenadas U.T.M.(**) x/y	Profundidad	Periodicidad	Serie histórica	Observaciones (*)
1247-4-005	Sondeo	38050 19750	30 m	bimensual	5-82/90	M.A.
1247-8-005	Pozo	40500 14850	57 m	bimensual	5-82/90	E.E.
1247-8-008	Sondeo	37950 15400	4,1 m	bimensual	5-82/90	N.S.

(\*) M.A.= mal acceso; E.E.: provisto de equipo de extracción; N.S. = no sensible

(\*\*) NUSO 30

Del análisis de estos puntos, cuyos registros piezométricos se adjuntan en el anexo n° 5, se puede observar:

- El sondeo n° 1247-4-005, viene registrando un descenso interanual generalizado de niveles superior a 1 m entre los años 1982 y 1989. Dificultades de acceso, por encontrarse dentro de una propiedad privada, han impedido un seguimiento continuo. Este punto ha podido ser medido en la campaña piezométrica de noviembre de 1989, apreciándose una recuperación total de los niveles.
- El punto 1247-8-005, es un pozo muy poco profundo, que no registra las variaciones piezométricas de la formación acuífera, sino algún nivel superficial "colgado".
- El sondeo 1247-8-008 está equipado con bomba de extracción y se encuentra situado a 40 m de un pozo de dilatado periodo de explotación. Esto hace que muchas de sus medidas correspondan a niveles dinámicos. No obstante puede apreciarse una recuperación de niveles respecto del inicio de su seguimiento en 1982.

#### **8.6.2.- Red piezométrica propuesta**

Teniendo en cuenta los diferentes aspectos hidrogeológicos comentados en apartados anteriores y en base al conocimiento de la problemática actual del acuífero, se recomienda modificar la red piezométrica existente.

Con dicha modificación se pretende cubrir los objetivos siguientes:

- Proveer de puntos de observación aquellas zonas en las que actualmente se carece de datos sobre evolución piezométrica.
- Obtener mayor información sobre la evolución de la piezometría en las zonas donde la explotación es más intensa (San Jose del Malcocinado, Benalup, Las Lomas, Jandilla y El Torero).
- Disponer de puntos que permitan estudiar la relación acuifero río durante las diferentes épocas del año.

La red propuesta para lograr estos objetivos, deberá estar integrada por un mínimo de 10 puntos, de los que 9 corresponden a obras ya existentes (ver cuadro nº 16), recomendándose la ejecución de un nuevo sondeo para sustituir al 1247-8-008 cuyas medidas se ven influenciadas por las extracciones en obras próximas.

Asimismo se recomienda anular los otros dos puntos de control actualmente existentes (1247-4-005 y 1247-8-005) por las razones expuestas en el epígrafe anterior.

Se considera imprescindible la nivelación de todos los puntos que integran la red propuesta.

CUADRO N° 16.- Red piezométrica propuesta

N° Registro	Naturaleza	Coordenadas U.T.M. (*) x/y	Periodicidad	Observaciones
1246-8-011	Sondeo	42700 27850	Mensual	Antiguo sondeo de abto. a S. José de Malcocinado. Llave de caseta en Ayto. o bien 956/424140
1246-8-021	Sondeo	42950 26250	Mensual	
1247-4-031	Sondeo	39400 19750	Continuo	Provisto de limnigrafo pues presenta difícil acceso. Estudio relación río-acuífero "JANDILLA".
1247-4-033	Sondeo	37750 20900	Manual	"Las Lomas"
1247-4-035	Sondeo	41300 24100	Mensual	
1247-4-040	Sondeo	38450 18150	Mensual	Relación río-acuífero "TORERO 1"
1247-4-042	Sondeo	39000 17850	Mensual	Relación río-acuífero "TORERO III"
1247-8-008	Sondeo	37950 15400	Mensual	Sustituir por otro de nueva ejecución. Hasta entonces seguir conlando.
1346-5-001	Sondeo	45000 25150	Mensual	

(\*) HUSO 30

CUADRO N° 17.- Red de control hidrométrico. Aforos diferenciales

N° Estación	Río	Cota m. S.N.M.	Coordenadas U.T.M.(*) x/y	Periodicidad	Observaciones
1	Barbate	5,3	38150 18100	continuo	1000 m aguas, arriba del puente del "El Torero". Entra del río sobre el afloramiento del acuífero.
2	Barbate	4,9	39050 17700	continuo	50 m aguas abajo del puente de "El Torero".

(\*) HUSO 30

También se considera necesario la construcción de dos estaciones de aforo de aguas superficiales para el control permanente de los caudales del río Barbate en los puntos en que se han realizado los aforos diferenciales. Ver plano n° 15 y cuadro n° 17.

#### 8.7.- CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Las aguas subterráneas del acuífero Vejer-Barbate, son de dureza media a duras y mineralización ligera a notable con facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas. Los residuos secos son inferiores, en general, a los 800 mg/l.

En algunos puntos aislados del acuífero (sector de Cantarranas, Vega de El Torero, Cantera del Torero) existen obras de captación con aguas de elevada salinidad y facies

existencia de lentejones arenosos incluidos dentro de las formaciones arcillosas de las unidades del Campo de Gibraltar que contienen aguas congénitas.

En uno de los sondeos de investigación realizados con cargo a este Proyecto (1247-4-041) se cortó, a una profundidad de 90 metros, uno de estos lentejones, produciéndose la surgencia de aguas con valores de conductividad de 12.000 MS/cm y emanaciones gaseosas, habiéndose constatado, con auxilio de tubos draguer, la presencia de metano, CO y sulfídrico.

En el anexo n° 7 se incluyen los datos de análisis químicos existentes.

**9.- ACTUALIZACION DE EXTRACCIONES. ENSAYO DE BALANCE**

## 9.- ACTUALIZACION DE EXTRACCIONES. ENSAYO DE BALANCE

### 9.1.- ACTUALIZACION DE EXTRACCIONES

Simultáneamente a la realización del inventario de puntos de agua, se llevaron a cabo una serie de encuestas directas a propietarios de la zona, encaminadas a obtener información actualizada sobre la superficie de regadío existente y su distribución espacial, sistemas de riego empleados, tipos de cultivos y dotaciones medias. En el plano n° 8, puede verse la distribución de las áreas de regadío con aguas subterráneas.

El cálculo de extracciones para regadío, se ha efectuado asignando, en base a los datos suministrados por los agricultores encuestados, y por los técnicos de la Mancomunidad Eugenio Olid, las siguientes dotaciones medias para los diferentes cultivos:

CUADRO N° 18.- DOTACIONES MEDIAS

CULTIVO	SISTEMA DE RIEGO	DOTACION (M <sup>3</sup> /Ha/Año)
C. INDUSTRIAL	ASPERSION	4.000
E. INTENSIVO	ASPERSION	6.000
C. PEREMNES	GOTEO (ESPARRAGOS)	4.000
C. FLORALES	GOTEO (MICROASPERSION)	15.000

Fuente: Elaboración propia a partir de encuestas

Para el cálculo de extracciones para abastecimiento a núcleos urbanos, se han encuestado los municipios del área obteniéndose los siguientes resultados:

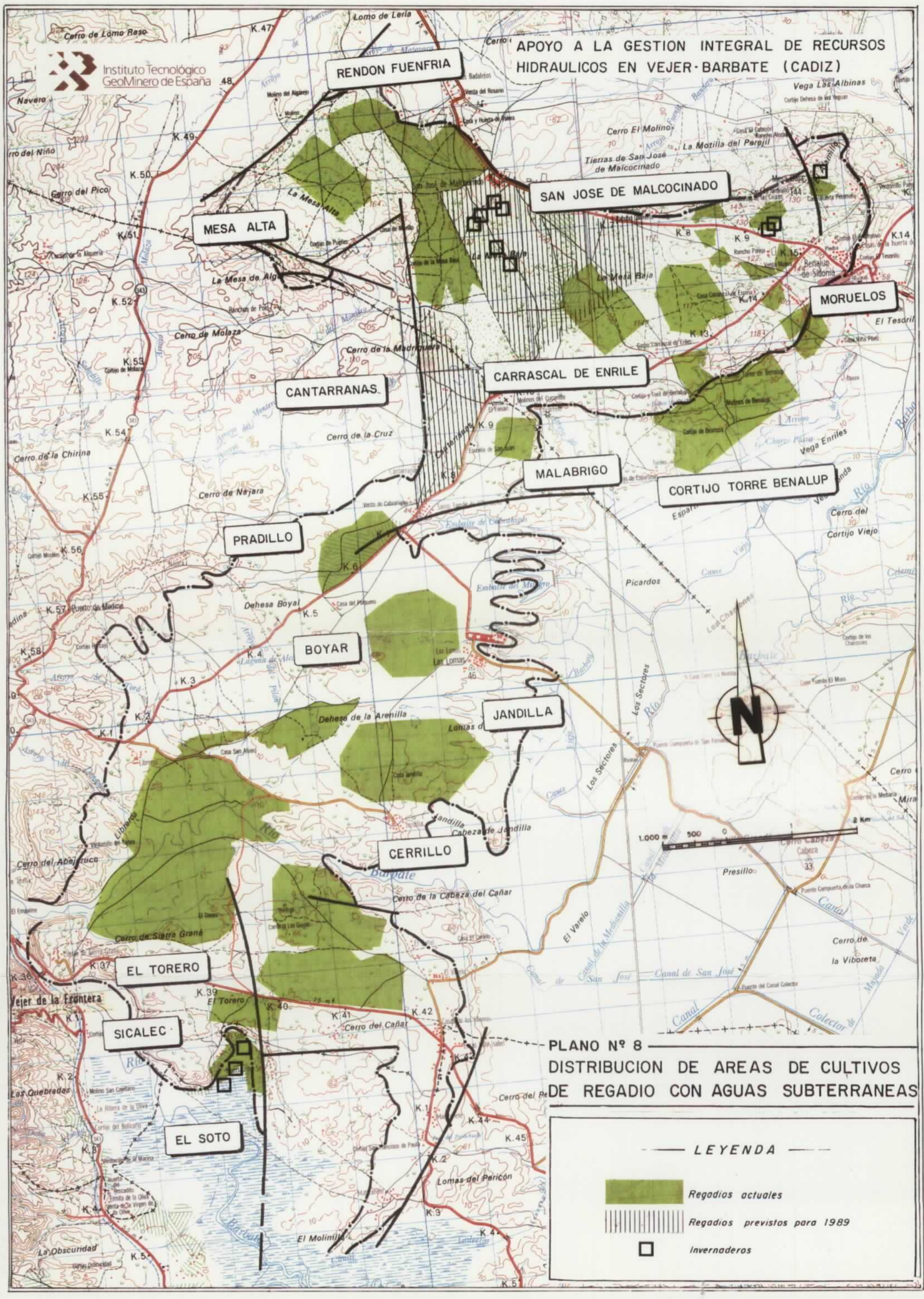
En el caso de Benalup de Sidonia y San José de Malcocinado se reflejan los datos aportados por la con-

cesionaria del abastecimiento de aguas. Incluyendo el 15% de pérdidas en la red, la dotación por habitante y día se cifra en 250 l/hab. día.

En el resto de núcleos urbanos no hay control de extracciones y la demanda incluye un porcentaje variable de caudales destinados a riego de pequeñas parcelas y huertas.

Como queda reflejada en el cuadro nº 19 las extracciones destinadas a regadío se evalúan en 16,6 hm<sup>3</sup>/año, mientras que las utilizadas para abastecimiento a núcleos urbanos se cifran en torno a 0,9 hm<sup>3</sup>/año.

El total de extracciones se calcula en 17,5 hm<sup>3</sup>/año.



**APOYO A LA GESTION INTEGRAL DE RECURSOS HIDRAULICOS EN VEJER-BARBATE (CADIZ)**

**Instituto Tecnológico GeoMinero de España**

**RENDON FUENFRIA**

**SAN JOSE DE MALCOCINADO**

**MESA ALTA**

**MORUELOS**

**CANTARRANAS**

**CARRASCAL DE ENRILE**

**MALABRIGO**

**CORTIJO TORRE BENALUP**

**PRADILLO**

**BOYAR**

**JANDILLA**

**CERRILLO**

**EL TORERO**

**SICALEC**

**EL SOTO**

**PLANO Nº 8 DISTRIBUCION DE AREAS DE CULTIVOS DE REGADIO CON AGUAS SUBTERRANEAS**

**LEYENDA**

- Regadíos actuales
- Regadíos previstos para 1989
- Invernaderos

CUADRO N° 19.- Explotaciones agrícolas de regadío. Superficie y extracciones

FINCA/EMPRESA AGRICOLA	SISTEMA DE RIEGO	CULTIVO	HA	EXTRACC. DM <sup>3</sup> /AÑO	OBSERVACIONES
AGROPECUARIA EL TORERO	A. (Pivot=270 ha)	C. Industriales	603	2412	585 ha. A Superf.
AGRICOLA DONECO-SOLIS (La Jandilla)	A	C. Industriales	420	1680	Mayor parte riego fuera = 300 Ha
LAS LOMAS-Boyar	A (Pivot)	C. Intensivo	123	738	
-Pradillo	MA	C. Perenne	70	900	
-Cerrillo	A (Pivot)	C.Ind.-C.Intens.	280	1680	
-Malabrigo	A (Pivot)	C. Extensivo	70	320	
SICALEC	A	C. Intensivo	50	300	
CARRASCAL DE ENRILE	G	C. Perenne	60	240	
	A (Pivot)	C. Intensivo	95	570	
ARSEVIN, S.A.	A (Pivot)	C. Intensivo	53	318	
CORTIJO BENALUP	A	C. Industrial	95	380	
TORRE BENALUP	A	C. Industrial	215	860	Mayor parte riego fuera = 150 Ha
LOS NOMERVELOS	A	C.Ind.-C.Intens.	54	324	
CARRASCAL DE ESPINA	A	C. Intensivo	35,5	213	
TAKIA, S.A.	A	C.Ind.-C.Intens.	278	1120	
FUENTE FRIA DEL PRADO,S.A.	A	C. Industrial	110	440	
NESA ALTA-Sr. Montalban	A (Pivot)	C. Intensivo	40	240	
-C.B.Espárragos Calatrava	G	C. Perenne	57	228	
-S.A.T.Ntra.Sra.de Regla	A	C. Industrial	33	132	
CHARCO DULCE					
-Hospital Amor de Dios	A	C. Industriales	12	48	Riego fuera acuff.
-Manuel Acedo	A	C. Industriales	78	312	Riego fuera acuff.
FCA.S.JOSE DE MALCOCINADO (400 HA)	G.M. Y A. A	C. Florales	22	330	
		C. Intensivo	250	1500	
JOSE M. DURAN (JARDINILLO)	A	C. Industrial	70	240	

(Continuación cuadro nº 19)

DIEGO SANCHEZ COZAR (M.Bajo)	A	C. Intensivo	13	78
DOLOREZ MACIA SANCHEZ	A	C. Intensivo	11	66
HNOS. PEREZ GOMEZ	A	C. Intensivo	9,5	60
MANUEL SANCHEZ S.MARTIN	A	C. Intensivo	6,5	39
EXPLORACION MORTOFRUTICOLA Y FLORISTERIA CAPRICHNO	A	C.Inten.y flor.	10	60
JOSE QUERO MORENO	A	C. Intensivo	5,5	33
JOSE ESPINOSA	A	C. Intensivo	2,2	13
JOSE COZAR GARCIA	A	C. Intensivo	2,5	15
OTRAS (EL SOTO, LIBREROS, MALCOCINADO, BENALUP)			3.233,7	15.889 Dm <sup>3</sup> /año
ESTIMACION				
		TOTAL.....	3.383	16.639 Dm <sup>3</sup> /año

A: Aspersión  
G: Goteo  
MA: Micro-aspersión

**CUADRO N° 20.- Abastecimiento a núcleos urbanos con aguas subterráneas**

<u>ABASTECIMIENTO</u>	<u>PROCEDENCIA</u>	<u>EXTRACCION.DM<sup>3</sup>/AÑO</u>
BENALUP.....	Las Grullas-Las Lagunillas	550
MALCOCINADO.....	Badalejo	100
CABRAHIGOS .....	Cabrahigos	150
LAS LOMAS.....	D. Boyar	100
EL CAÑAL.....	El Cañal	10
EL VARELO.....	El Varelo	7
		917 Dm <sup>3</sup> /año
EXTRACCIONES TOTALES = ABASTECIMIENTO.. 917 Dm <sup>3</sup> /año		
	RIEGO..... 16.639 " "	
		17.556 = 17,5 Hm <sup>3</sup> /año

**Bases para cálculo de extracciones**

**1.- Dotaciones de riego:**

- Cultivos industriales = 4.000 m<sup>3</sup>/ha/año
- Cultivos intensivos = 6.000 m<sup>3</sup>/ha/año
- Cultivos perennes espárrag. = 4.000 m<sup>3</sup>/ha/año
- Cultivos florales = 15.000 m<sup>3</sup>/ha/año

**2.- Dotaciones urbanas:**

- Consumo humano + perdidas de red = 250 l/hab. y dia

## 9.2.- ENSAYO DE BALANCE HIDRAULICO

Para la actualización del balance hidrogeológico, correspondiente a la subunidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate se han considerado los siguientes datos de prtida:

- Superficie de acuífero: 85 Km<sup>2</sup>
- Precipitación media en la zona: 740 mm (valor obtenido por el método de las isoyetas)
- Evapotranspiración real media en la zona: 420 mm (obtenido por el método de Thornthwaite).
- Volumen medio aportado al acuífero por el río Barbate: 0,6 hm<sup>3</sup>/año (deducido de los aforos diferenciales).
- Volumen de extracciones destinadas a regadío: 16,6 hm<sup>3</sup>/año (valor calculado en base a la actualización de extracciones). Cuadro n 20.
- Volumen de extracciones destinadas a abastecimiento: 0,9 hm<sup>3</sup>/año (valor deducido de los datos suministrados por los ayuntamientos de los núcleos rbanos que se abastecen del acuífero). Cuadro n 20.
- Volumen medio drenado a través de surgencias 1 hm<sup>3</sup>/año (valor calculado en base a los datos de inventario).

Asimismo se han estimado, en base al conocimiento hidrogeológico de la zona y a los valores obtenidos en otras

áreas con similares características litológicas, topográficas y climatológicas, los siguientes parámetros:

- Coeficiente medio de infiltración: 25% de la precipitación.
- Porcentaje del agua empleada en riego, que retorna por infiltración al acuífero: 10%.

Partiendo de estos valores, se establece el siguiente balance hidráulico:

#### ENTRADAS

- Infiltración agua de lluvia: 15,7 hm<sup>3</sup>/a
- Recarga natural río Barbate: 0,6 "
- Reciclaje agua riego: 1,7 "

---

TOTAL 18,0 hm<sup>3</sup>/año

#### SALIDAS

- Drenaje natural por manantiales: 1,0 hm<sup>3</sup>/año
- Extracción riego: 16,6 "
- Extracciones abastecimiento: 0,9 "

---

18,5 hm<sup>3</sup>/año

El déficit actual para un año con una precipitación media se puede cifrar en 0,5 hm<sup>3</sup>/año. Para un año con

valores de precipitación inferiores la media, el deficit será mayor, dado que prácticamente el 90% de las entradas proceden de la infiltración del agua de lluvia.

**10.- ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD DE RECARGA ARTIFICIAL**

## **10.- ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD DE RECARGA ARTIFICIAL**

### **10.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS**

Del análisis de los datos piezométricos obtenidos en campo, y de los suministrados por los aforos diferenciales realizados en el río Barbate, se deduce que, en las actuales condiciones, existe una recarga natural del río al acuífero.

Dicha recarga, que se produce en el sector comprendido entre Jandilla y El Torero, se ha evaluado, en base a los resultados de los aforos, en unos 0,6 hm<sup>3</sup>/año.

Los análisis químicos de las aguas superficiales muestran que al final del estiaje (octubre de 1989) el contenido en sales, fundamentalmente cloruros y sodio es mucho mayor que tras un periodo de intensa precipitación (febrero de 1990).

En los análisis realizados de muestras de aguas subterráneas tomadas en el sondeo de Jandilla (1247-4010), en las mismas fechas, también se observa éste fenómeno, siendo las variaciones estacionales, en cuanto a las concentraciones de cloruros y sodio, porcentualmente similares a las detectadas en las aguas superficiales. (ver anexo 7).

Este hecho parece indicar que la recarga natural del río al acuífero tiene un carácter permanente.

Parte del agua recargada, retorna al río, por drenaje directo o a través de surgencias, en el sector de Libreros.

## 10.2.- VIABILIDAD DE RECARGA ARTIFICIAL

Dada las características topográficas del área, la realización de experiencias de recarga artificial de la unidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate en zonas alejadas del río, conllevaría elevadas inversiones económicas en obras de infraestructura y/o en bombeo del agua hasta las zonas de recarga.

Por ello sólo se ha contemplado, en el presente estudio, la viabilidad de llevar a cabo experiencias de este tipo en las zonas más próximas al cauce del río y en las que se dan las condiciones hidrodinámicas necesarias para su realización.

En el sector oriental del acuífero, comprendido en ambas márgenes del río (Jandilla y El Torero) el espesor de las calcarenitas llega a superar, puntualmente, los 120 metros con valores medios de 80 metros. En esta zona, en la que actualmente se produce una recarga natural, las extracciones de agua subterránea destinadas a regadío son muy importantes, constatándose, al final del estiaje un acusado descenso de los niveles piezométricos por efecto de los bombeos. (ver plano piezométrico correspondiente a noviembre de 1.988).

En esta situación, el espesor de acuífero no saturado susceptible de ser recargado, teniendo en cuenta la posición relativa de los niveles piezométricos y de la lámina del agua en el río, llega a ser lo suficientemente importante (6-8 metros) como para hacer viable, tanto técnica como económicamente, una experiencia de recarga artificial.

La intensificación controlada de las extracciones en esta zona, durante la época estival, permitiría aumentar la superficie de regadío actualmente existente en la zona de El Torero y Jandilla y provocaría un mayor "vaciado" del acuífero que podría ser recargado en la época invernal con los excedentes del río Barbate.

Para propiciar la recarga artificial tan sólo se requeriría la limpieza del cauce del río Barbate, actualmente muy colmatado, en el tramo en que éste corta directamente a las calcarenitas (unos 200 metros) o la construcción de un canal de derivación con recorrido zigzagueante.

La segunda alternativa presenta las ventajas de un mayor control de la recarga, ya que permitiría regular el volumen y el periodo de recarga (limitándole a las épocas en que las aguas superficiales reúnan unas condiciones de calidad aceptables) y de un menor coste de mantenimiento, por la mayor facilidad de limpieza y el menor riesgo de colmatación.

**11.- RESUMEN Y CONCLUSIONES**

## 11.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

- El área objeto de éste estudio, se encuentra situada en el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, dentro de la Comarca de La Janda.

- Los principales núcleos de población de la zona son: Benalup de Sidonia y San José del Malcocinado, en el término municipal de Medina Sidonia, y Cabrahigos, Las Lomas, El Cañal y El Varelo en el término municipal de Vejer de la Frontera. Estos núcleos tienen una población conjunta de unos 9.000 habitantes.

- El clima de la zona es mediterráneo marítimo, con una precipitación anual media de 740 mm. y una temperatura anual media de 18,2° C.

- El área de estudio, corresponde al sector septentrional del acuífero de Vejer-Barbate. Esta subunidad acuífera, con una superficie aproximada de 85 Km<sup>2</sup>, está constituida por calcarenitas y arenas del Mioceno superior-Plioceno con potencias variables entre los 20 y los 130 metros, disminuyendo, de modo general, hacia el Este y hacia el Norte.

- Aunque la mayor parte del acuífero funciona en régimen libre, en las proximidades del río Barbate, y debido a encontrarse parcialmente cubierto por los sedimentos impermeables de marismas, adquiere un carácter de semiconfinado.

- La recarga natural del acuífero se produce, de forma fundamental, por infiltración directa de agua de lluvia y, en menor medida, por la infiltración de los excedentes de agua empleados en regadío y por la infiltración de

aguas superficiales en el sector en que el río Barbate atraviesa al acuífero.

- Las salidas tienen lugar, de forma casi exclusiva, a través de bombes en las obras de captación existentes. Tan solo una mínima parte de la descarga se produce de forma natural, a través de pequeños manantiales de borde con un marcado carácter estacional. Estos manantiales se localizan en los sectores nororiental y suroriental de la subunidad.

- La circulación del agua subterránea, en el interior del acuífero, se produce de Sur a Norte en los sectores de Mesa Alta y en la margen izquierda del río Barbate, y de Norte a Sur en el resto de la subunidad. El valor medio del gradiente hidráulico es del 1 por ciento.

- El ensayo de balance hidráulico arroja, para un año con una precipitación media, un déficit del orden de 0,5 hm<sup>3</sup>. Este pequeño déficit, se traduce en un considerable descenso de niveles, tras el período de explotación estival, en el sector meridional de la subunidad y en ambas margenes del río Barbate, donde se localizan los pozos más productivos. En el resto de la subunidad, los descensos estacionales observados son menores, constatándose, de manera generalizada, una eficaz y rápida respuesta del acuífero a la precipitación.

- En el sector comprendido entre Jandilla y El Torero, se produce una recarga natural del río Barbate al acuífero. Dicha recarga se ha evaluado, en base a los aforos diferenciales realizados, en unos 0,6 hm<sup>3</sup>/año.

- De todo lo expuesto, se puede afirmar que existe un equilibrio entre la recarga y la explotación, en

la subunidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate. Sin embargo, es posible incrementar, de forma controlada, el volumen actualmente explotado, conjugando éste incremento de las extracciones con la aplicación de técnicas de recarga artificial a escala industrial. Con ello, se conseguiría una mayor regulación/disponibilidad de los recursos hídricos en el sector.

- La puesta en marcha de una recarga artificial a escala industrial, exige la previa realización de experiencias a escala reducida. El seguimiento de dichas experiencias piloto, resulta indispensable para acotar las distintas variables que influyen en la recarga artificial, evaluar el rendimiento de la misma y diseñar las instalaciones necesarias para llevar a cabo la recarga permanente.

**12.- RECOMENDACIONES**

## 12.- RECOMENDACIONES

En base a todo lo expuesto, en la presente memoria, el Instituto Tecnológico Geominero de España recomienda:

- \* La puesta en marcha de una experiencia piloto de recarga artificial, en la subunidad septentrional del acuífero Vejer-Barbate. Dichas experiencias, deben realizarse en el sector de Jandilla, empleándose como fuente de recarga los excedentes invernales del río Barbate.
- \* En estas experiencias, se ensayaran diferentes dispositivos de recarga (balsas, socavones, canales...), con el fin de determinar el sistema que más se adecúa a las características específicas de la zona.
- \* Durante la realización de éstas experiencias, es necesario llevar un control exhaustivo y permanente de todos aquellos parámetros que influyen en el rendimiento de la recarga artificial.
- \* Se recomienda, asimismo, la reestructuración de la red de control piezométrico actualmente existente, de cara a conseguir una mejor adecuación de la misma a la problemática actual del acuífero. Esta reestructuración contempla la instalación de equipos automatizados, para control permanente de niveles en los piezómetros situados en las zonas de mayor explotación.