



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**PROYECTO PARA LA CONTINUACION Y NUEVAS
EXPERIENCIAS DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL
SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCARENITAS
DE CARMONA. SEVILLA. Diciembre 1.991**

TOMO 1.- MEMORIA



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

35897
AGI-5

SUPERPROYECTO : AGUAS SUBTERRANEAS NUM. : AS1

PROYECTO AGREGADO :

**01 - ACTUALIZACION INFRAESTRUCTURA.
HIDROGEOLOGIA. VIGILANCIA, CATALOGO AC.**

PROYECTO DESAGREGADO:

**PROYECTO PARA LA CONTINUACION Y NUEVAS
EXPERIENCIAS DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL
SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCARENITAS DE
CARMONA. SEVILLA.**

REFERENCIA: AS 1018734

CLAVE: 331/90

FECHA EJECUCION:

INICIO: 03 - 10 - 1.990

FINALIZACION: 03 - 12 - 1.991

INFORME (Titulo):

**" PROYECTO PARA LA CONTINUACION Y NUEVAS
EXPERIENCIAS DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL
SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCARENITAS DE
CARMONA. SEVILLA".**

CUENCA: GUADALQUIVIR

COMUNIDAD AUTONOMA: ANDALUCIA

PROVINCIA: SEVILLA

INDICE GENERAL

PARTE 1

0.- INTRODUCCION

1.- ANTECEDENTES

2.- OBJETIVOS

3.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE RECARGA

3.1.- Situación geográfica

3.2.- Características físicas

3.3.- Climatología

3.3.1.- Tipo climático

3.3.2.- Precipitación

3.3.3.- Temperaturas

3.3.4.- Evapotranspiración

3.3.5.- Lluvia útil

3.4.- Contexto geológico

4.- HIDROGEOLOGIA

4.1.- Enclave hidrogeológico regional

4.2.- Hidrogeología del área de recarga

4.2.1.- Inventario de puntos de agua

4.2.2.- Funcionamiento hidráulico. Parámetros.

4.2.3.- Hidroquímica

5.- CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL AGUA DE RECARGA

5.1.- Análisis de datos históricos

5.2.- Realización de análisis físico-químicos y bacteriológicos

5.3.- Ensayos de sedimentación

PARTE 2

6.- OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y CONTROL. INSTRUMENTACION

6.1.- Obras de infraestructura

6.2.- Obras de control

6.3.- Instrumentación

7.- SEGUIMIENTO PREVIO A LA RECARGA

8.- DESCRIPCION DE LAS EXPERIENCIAS DE RECARGA ARTIFICIAL.

RESULTADOS OBTENIDOS.

8.1.- Ensayos de recarga en superficie

8.1.1.- Ensayos de corta duración

8.1.2.- Ensayo de larga duración

8.2.- Ensayo de recarga en profundidad

9.- VALORACION DE RESULTADOS. METODOLOGIA PROPUESTA.

9.1.- Valoración de resultados

9.2.- Metodología propuesta

ANEXOS

Nº 1.- DATOS DE PRECIPITACION Y TEMPERATURAS

Nº 2.- EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Y REAL

Nº 3.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Nº 4.- DATOS DE ENSAYOS DE BOMBEO

Nº 5.- ANALISIS DE AGUAS SUBTERRANEAS

Nº 6.- ANALISIS DEL AGUA DE RECARGA

Nº 7.- ENSAYOS DE SEDIMENTACION

Nº 8.- CARACTERISTICAS INSTRUMENTACION

Nº 9.- LISTADO PROGRAMA AFOREC

INTRODUCCION

0.- INTRODUCCION

La unidad de las **Calcarenitas de Carmona**, constituye un acuífero de 150 Km² de superficie, conectado hidráulicamente con las diferentes terrazas del río Guadalquivir. El conjunto conforma el denominado **Sistema Acuífero 28 (Sevilla-Carmona)**, con una extensión superficial de unos 1.150 Km².

El sistema, contemplado globalmente, posee unos excedentes de aguas subterráneas importantes; sin embargo, la unidad de las calcarenitas de Carmona, situada en cabecera del mismo y ocupando un sector de gran demanda agrícola, presenta un balance hídrico deficitario.

La existencia en el área, de condiciones hidrogeológicas favorables, unida a la disponibilidad de excedentes de aguas superficiales, durante los meses invernales, movieron al Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) a plantear, como medida para paliar el actual déficit, la realización de una experiencia de recarga artificial en ésta zona, en la que el aumento de regulación por procedimiento tradicionales (presas o embalses) es inviable desde el punto de vista técnico.

Para acotar la eficiencia de futuras experiencias de recarga artificial a gran escala, el ITGE, con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), ha llevado a cabo, entre 1.988 y 1.991, el Proyecto **"EXPERIENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUIFERO DE LAS CALCARENITAS DE CARMONA"**.

Con cargo a dicho Proyecto, se han realizado diversos ensayos de recarga artificial en el cortijo de San Miguel de Montelirio, situado en las proximidades de la localidad sevillana de Dos Hermanas, en el sector suroccidental de la unidad de las calcarenitas de Carmona. Los resultados obtenidos en éstos ensayos, permiten afirmar que mediante la utilización del acuífero como embalse regulador de los excedentes invernales, se conseguiría un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles en el área.

En el presente informe, se describen las obras de infraestructura y control llevadas a cabo para la puesta en marcha y seguimiento de las citadas experiencias de recarga artificial, así como los resultados obtenidos en las mismas.

Para una mejor comprensión de lo expuesto, el informe se ha estructurado en dos grandes bloques o partes. En el primero de estos bloques, que incluye, además de la introducción, los capítulos 1, 2, 3, 4 y 5, se describen los antecedentes y objetivos del Proyecto, así como las características generales y específicas del área de recarga y su entorno.

En la segunda parte, que comprende los capítulos 6, 7, 8 y 9, se hace una descripción de las obras de infraestructura y control llevadas a cabo para la realización de las experiencias de recarga artificial, y se exponen los resultados obtenidos en las mismas. En el capítulo final de este bloque, capítulo 9, se analizan, en base a los resultados obtenidos, las posibilidades reales de los métodos de recarga artificial, como medio de mejorar la regulación actual, tanto a nivel local, como a nivel regional.

En la realización del Proyecto han intervenido los siguientes técnicos:

Por parte del **Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE):**

*** D. Miguel Martín Machuca. Ingeniero de Minas. Director de los trabajos.**

*** D. Alfonso Rodríguez Pastor. Ing. Téc. de Minas**

Por parte de la **Compañía General de Sondeos S.A. (CGS):**

*** D. Ramón Mantecón Gómez. Geólogo**

*** D. Ricardo Cantos Robles. Ingeniero de Minas.**

Por parte de la **Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG):**

*** D. Antonio Silgado Dorado. Ingeniero de Caminos**

Por último hacer constar, la desinteresada colaboración en la ejecución del Proyecto de D. Gregorio Aranda Alcántara, propietario de la finca San Miguel de Montelirio, que ha puesto a disposición del ITGE los terrenos necesarios para la realización de la experiencia y ha facilitado en todo momento la labor de los técnicos que han intervenido en el seguimiento de la misma.

ANTECEDENTES

1.- ANTECEDENTES

La recarga artificial de acuíferos, constituye hoy en día uno de los grandes temas de investigación hidrogeológica en los países más avanzados. En muchos de éstos países, la recarga artificial se contempla, como un método más de regulación de los recursos hídricos globales, en el marco general de la planificación hidrológica.

La aplicación de éstas técnicas no se limita únicamente al aumento de las disponibilidades, sino que también constituye, en determinados casos y condiciones, un método enormemente eficaz para preservar o mejorar la calidad de los recursos hídricos subterráneos (creación de barreras frente a la intrusión marina) y un sistema alternativo y/o complementario de depuración de aguas residuales, para su posterior eliminación o reutilización, aprovechando el poder autodepurador de la zona no saturada.

Desde principios de la década de los 80, el ITGE ha llevado a cabo, a lo largo de toda la geografía nacional, numerosos Proyectos encaminados a la realización de estudios sobre la viabilidad técnica y económica de la recarga artificial, contemplados desde las diferentes perspectivas mencionadas de cantidad y calidad de los recursos hídricos.

Los conocimientos adquiridos durante la realización de éstos Proyectos, se vieron enriquecidos, a partir de mediados de la década de los 80, mediante la puesta en marcha de diversas experiencias piloto de recarga artificial.

Dentro del territorio de la Comunidad Autónoma Andaluza, el ITGE ha realizado dos experiencias de éste tipo:

- * **Ensayo de recarga artificial en el acuífero aluvial del río Verde.**
Realizada con aguas procedentes del drenaje de las minas de Alquife.

- * **Ensayo de recarga artificial en el acuífero de las calcarenitas de Carmona,** cuyos resultados se analizan en éste informe. Llevado a cabo con aguas procedentes del canal del Bajo Guadalquivir

Además, ha colaborado con la CHG en el desarrollo de otra experiencia de recarga en el aluvial del Guadalquivir, y en plazo breve pondrá en marcha, en la provincia de Huelva, una experiencia de recarga encaminada a la depuración de aguas residuales de origen urbano.

OBJETIVOS

2.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo fundamental del Proyecto, es el **determinar** mediante ensayos en condiciones reales, la **eficiencia de los sistemas de recarga** en superficie y en profundidad en la unidad de las calcarenitas de Carmona, así como el **establecimiento de una metodología de control**, la **definición de los dispositivos y equipos necesarios** para la toma de datos y de las **bases necesarias para su valoración económica**, a adoptar en futuras experiencias a gran escala.

La determinación de la tasa de infiltración real y su evolución en el tiempo, el estudio de las causas y efectos de la colmatación, de los mecanismos de difusión del agua recargada y, en definitiva, de cuantos factores permitan delimitar con el menor grado de error posible, los rendimientos de futuras experiencias de recarga artificial, exigen llevar a cabo un continuo y exhaustivo seguimiento del comportamiento del acuífero antes, durante y después de la recarga.

En las experiencias realizadas en éste Proyecto, las condiciones de operación inicialmente programadas, se han visto alteradas por problemas, de diversa naturaleza, que han obligado a limitar la duración y características de los diferentes ensayos. Este hecho ha contribuido, sin embargo, a la valoración de determinados aspectos, que en principio no habian sido considerados, y que serán de una indudable importancia a la hora de acometer futuras experiencias.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA

3.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA DE RECARGA

3.1.- SITUACION GEOGRAFICA

La zona seleccionada para la realización de la experiencia de recarga artificial, se localiza 10 kilómetros al Sur de la ciudad de Sevilla, dentro del **término municipal de Dos Hermanas** y a 3 kilómetros al Suroeste de ésta localidad (plano nº 1), en la finca denominada **San Miguel de Montelirio**, propiedad de D. Gregorio Aranda Alcántara.

Se accede a la zona, a través de la carretera Dos Hermanas-Isla Menor, que parte de la Nacional IV (Sevilla-Cádiz) a la altura del kilómetro 554.900.

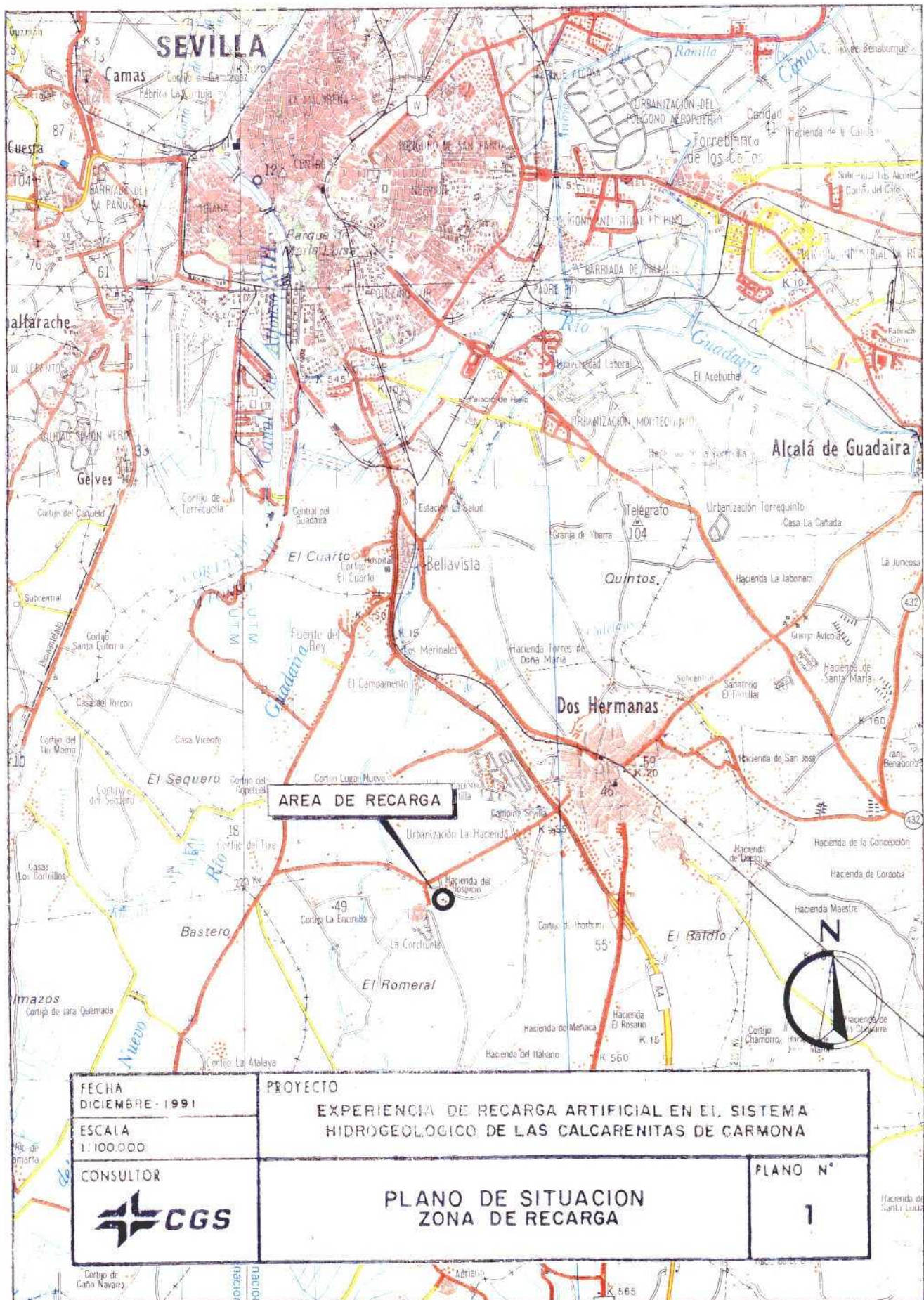
El área se encuentra situada al Este, y a una distancia aproximada de unos 1.000 metros, del Canal del Bajo Guadalquivir, del que se realiza la toma de agua para llevar a cabo la recarga artificial.


Desde el punto de vista hidrográfico, el área se encuentra incluida dentro de la cuenca del Guadalquivir, en la margen izquierda del cauce bajo de dicho río (plano nº 2).

3.2.- CARACTERISTICAS FISICAS

La topografía del área es ligeramente alomada, con pendientes muy suaves y altitudes comprendidas entre los 25 y los 35 metros sobre el nivel del mar.

En la zona, tradicionalmente de secano, se ha producido durante los últimos años, un considerable aumento de los cultivos de regadío (fundamentalmente olivar, cítricos, algodón y alfalfa) que son atendidos, en parte con aguas superficiales procedentes del canal del Bajo Guadalquivir, y en parte con aguas subterráneas captadas, mediante pozos y sondeos, en la unidad de las calcarenitas de Carmona. La práctica totalidad de los regadíos existentes, se atienden por sistemas de aspersión y/o goteo.



FECHA DICIEMBRE - 1991	PROYECTO EXPERIENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCARENITAS DE CARMONA	
ESCALA 1: 100.000		
CONSULTOR 	PLANO DE SITUACION ZONA DE RECARGA	PLANO N° 1

En la zona se localizan, además, varias urbanizaciones rústicas y algunas industrias que se abastecen con aguas del acuífero.

3.3.- CLIMATOLOGIA

3.3.1.- Tipo climático

Atendiendo a la clasificación agroecológica de Papadakis (1.966), la zona presenta un **tipo climático mediterráneo subtropical**, con régimen térmico subtropical cálido y un régimen de humedad mediterráneo húmedo.

3.3.2.- Precipitaciones

La **precipitación media anual** en el área, calculada por el método de las isoyetas para el período 1.961-1.990 (plano nº 3), es de **525 mm**.

Para la elaboración del mapa de isoyetas, se han empleado los registros mensuales correspondientes a las nueve estaciones meteorológicas que figuran en el cuadro nº 1, y cuyos datos (anexo nº1) han sido recopilados en el Centro Zonal de Sevilla del Instituto Nacional de Meteorología.

Como se puede apreciar en el cuadro 1, la precipitación media anual para el período considerado (1.961-1.990), varía entre los 670 mm de la estación de Armada (Alcalá de Guadaira) y los 450 mm de la estación de Hornillo (Dos Hermanas).

CUADRO n° 1**PRECIPITACION MEDIA REGISTRADA EN LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS
DEL AREA. Período 1.961-1.990**

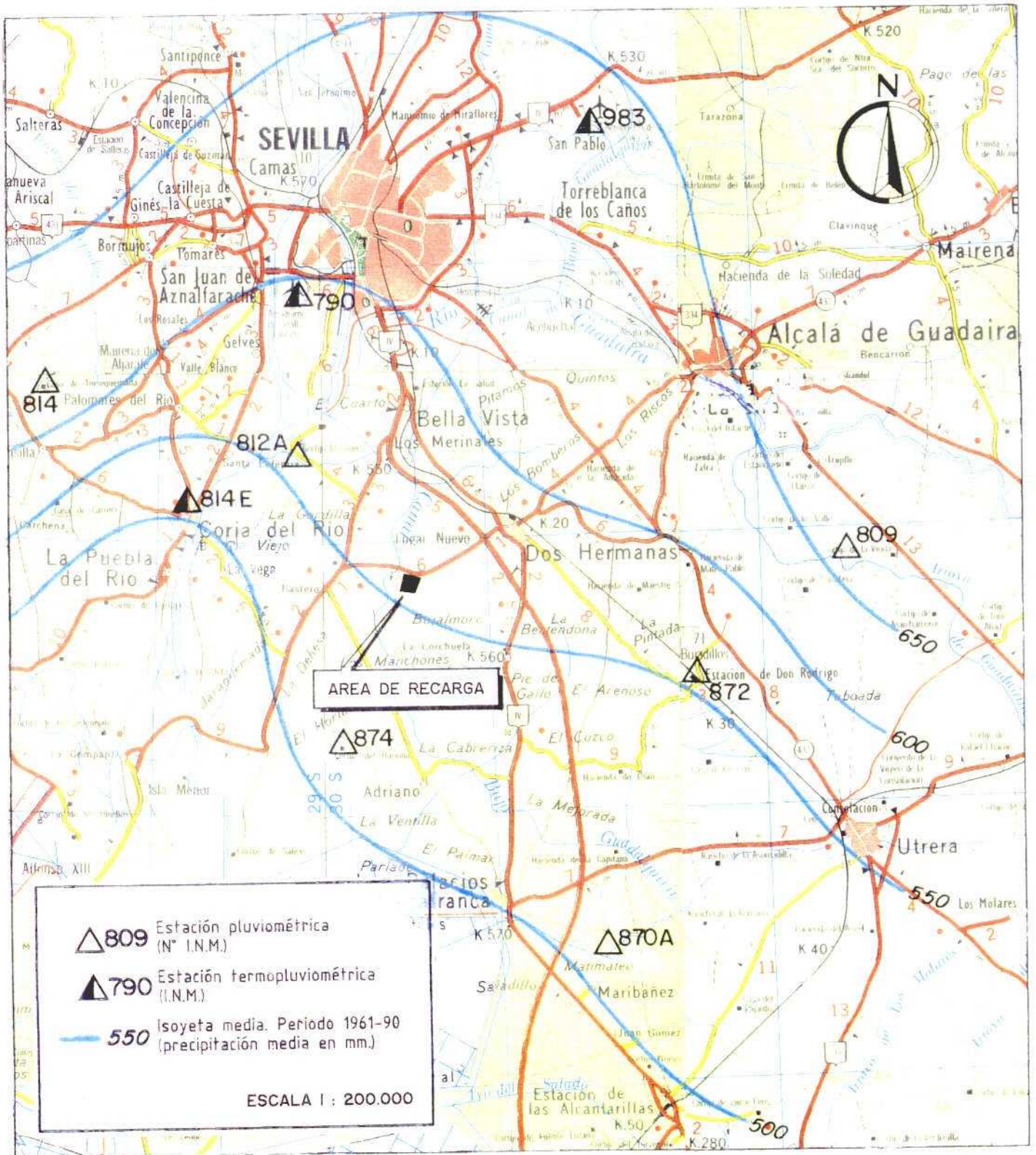
ESTACION METEOROLOGICA	NUMERO	N° AÑOS COMPLETOS (Período 1.961-90)	PRECIPITACION MEDIA (mm)
SEVILLA-SAN PABLO	783	29	628
SEVILLA-TABLADA	790	30	595
ALC. DE GUADAIRA "Armada"	809	24	670
DOS HERMANAS "El Torno"	812A	15	582
GELVES "Torrequemada"	814	20	638
CORIA DEL RIO "Edafología"	814E	19	500
LOS PALACIOS "Molinillo"	870A	18	512
UTRERA "Don Rodrigo"	872	16	550
DOS HERMANAS "Hornillo"	874	18	450

Con los datos de la estación más representativa (Sevilla-Tablada), se ha calculado la distribución pluviométrica interanual (figura n° 1), caracterizada por la existencia de un máximo absoluto (98 mm) en el mes de noviembre, y de un mínimo absoluto en el mes de julio (2 mm). Durante el primer semestre del hidrológico, se produce más del 75 % de la precipitación total anual, mientras que durante los tres meses de verano, apenas se llega al 5 % de la lluvia anual.

MAPA DE ISOYETAS MEDIAS

(Periodo 1961 - 1990)

PLANO Nº 3



3.3.3.- Temperaturas

La **temperatura media anual** de la zona, deducida a partir de los datos correspondientes a las estaciones de Tablada y de Coria del Río (cuadro nº 2) es de **18 °C**, con valores medios máximos de 26,2 °C, en los meses de julio y agosto, y medios mínimos de 10,8 °C, en el mes de enero.

CUADRO nº 2.- TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (período 1.961-90)

MES	ESTACION SEVILLA-TABLADA	ESTACION CORIA DEL RIO	MEDIA
OCTUBRE	19.6	19.0	19.20
NOVIEMBRE	14.5	14.4	14.45
DICIEMBRE	11.2	11.6	11.40
ENERO	10.8	10.8	10.80
FEBRERO	12.1	12.0	12.05
MARZO	14.2	13.9	14.05
ABRIL	16.1	15.6	15.85
MAYO	19.5	18.3	18.90
JUNIO	23.5	22.4	22.95
JULIO	26.9	25.5	26.20
AGOSTO	26.9	25.5	26.20
SEPTIEMBRE	24.5	23.1	23.80
MEDIA	18.3	17.6	18.00

En el anexo nº 1, se incluyen los datos de temperaturas mensuales, máximas, mínimas y medias, correspondientes a las estaciones de Tablada y Coria del Río.

PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (PERIODO 1961-90) EN TABLADA

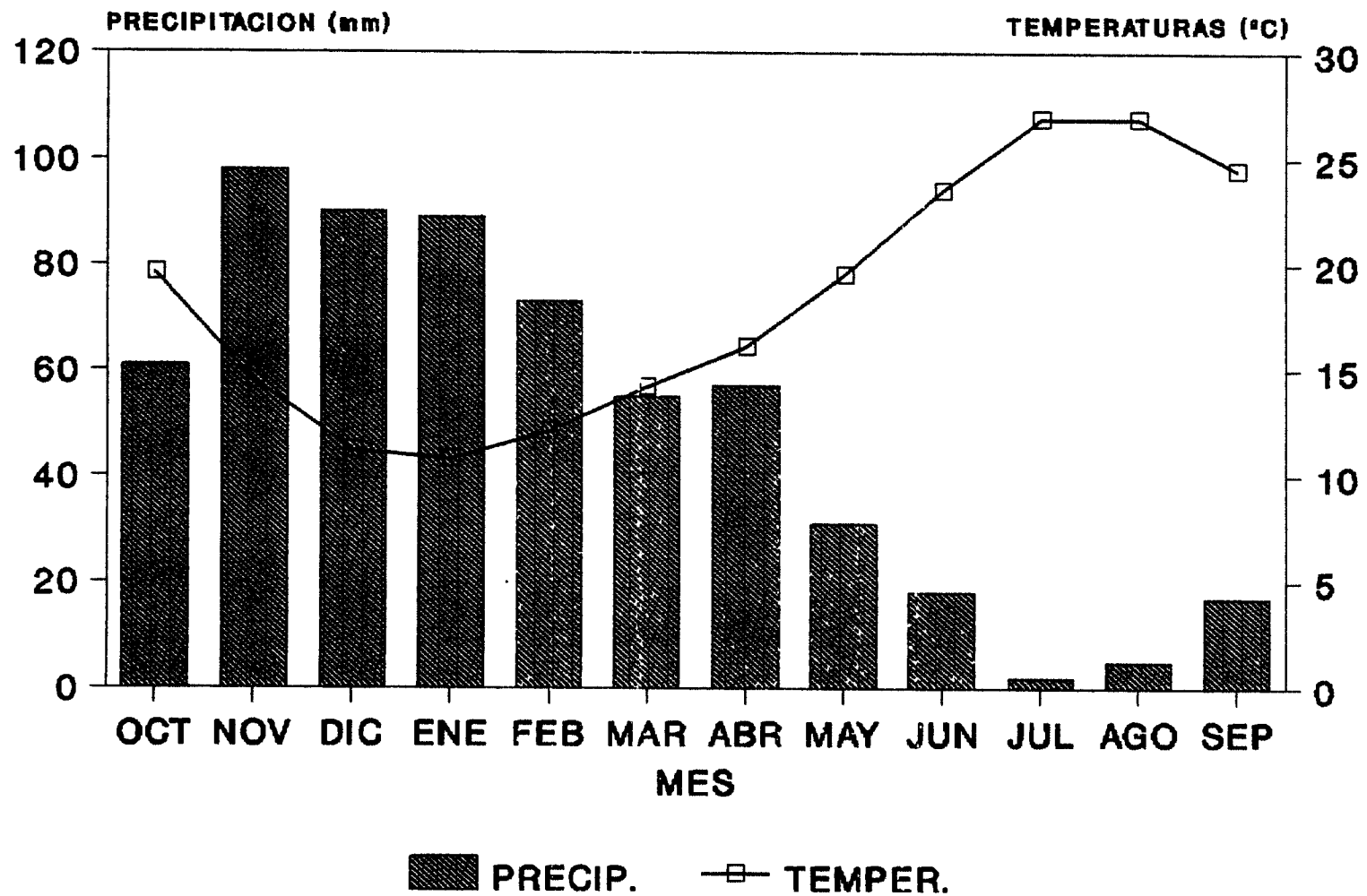


FIGURA Nº 1

3.3.4.- Evapotranspiración

A partir de las temperaturas medias mensuales, correspondientes a las estaciones termopluviométricas de Tablada y Coria del Río, se han calculado los valores mensuales y anuales medios de la evapotranspiración potencial (ETP) y de la evapotranspiración real (ETR), por el método de Thornthwaite (anexo n° 2).

La ETP obtenida, por éste método, para la estación de Tablada es de 975 mm/año, mientras que para la estación de Coria del Río, el valor obtenido es de 920 mm/año.

Para el cálculo de la ETR por el método empírico de Thornthwaite, se han empleado índices de reserva útil del suelo de 50 mm y 100 mm, obteniéndose valores de 382 mm/año y 432 mm/año, respectivamente, para la estación de Tablada, y de 370 mm/año y 420 mm/año, respectivamente, para Coria del Río.

Aplicando los métodos de Turc y Coutagne, se obtienen valores sensiblemente similares, excepto con Coutagne para Tablada, a los obtenidos por Thornthwaite con una reserva útil del suelo de 50 mm. En el cuadro n° 3, se sintetizan los resultados de ETR obtenidos por los diferentes métodos empleados.

3.3.5.- LLuvia útil

La lluvia útil en la zona, obtenida por diferencia entre la precipitación media anual y la media de la ETR calculada por los diferentes métodos empleados, resulta ser del orden de **120 mm/año**. En la figura n° 2, se ha representado el balance hídrico deducido para la estación de Tablada.

BALANCE HIDRICO ESTACION DE TABLADA

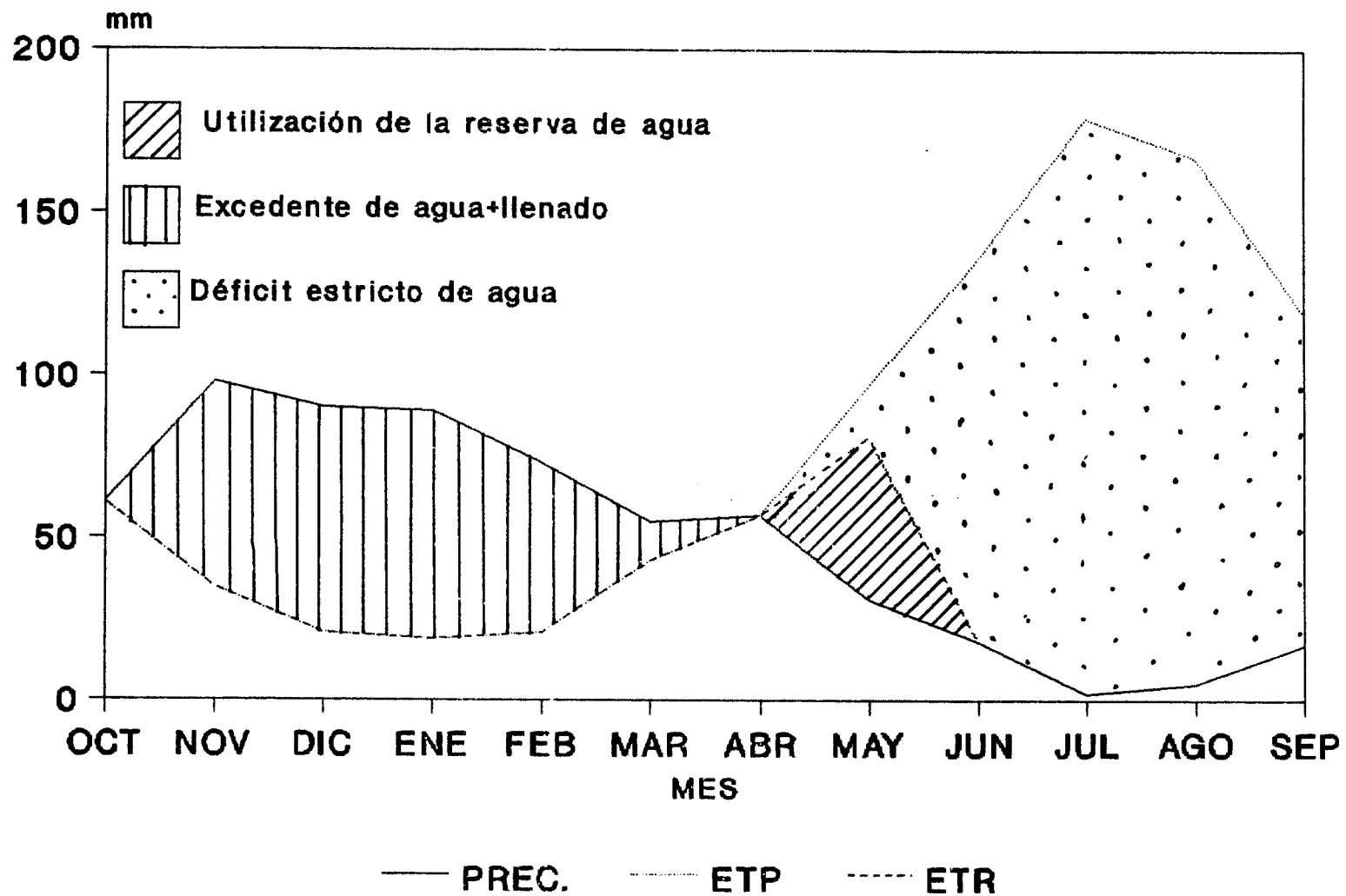


FIGURA N° 2

CUADRO n° 3.- Valores de ETR obtenidos por diferentes métodos.

ESTACION METEOROLOGICA	THORNTHWAITE		TURC	COUTAGNE	MEDIA
	(1)	(2)			
SEVILLA-TABLADA	382	432	399	490	426
CORIA DEL RIO	370	420	373	372	384
MEDIA	376	426	386	431	405

(1).- RESERVA UTIL DEL SUELO = 50 mm

(2).- RESERVA UTIL DEL SUELO = 100 mm

3.4.- CONTEXTO GEOLOGICO

La zona de recarga se localiza en el sector Suroccidental de la **Depresión del Guadalquivir**, y en ella se encuentran representados materiales detríticos de edades comprendidas entre el **Mioceno superior** y el **Cuaternario reciente**.

A partir del análisis de las columnas de sondeos existentes en el área y de las obtenidas en los piezómetros realizados con cargo al Proyecto, así como de la interpretación de los datos obtenidos en la prospección geofísica llevada a cabo en las proximidades del cortijo de San Miguel de Montelirio, se ha establecido la serie estratigráfica para la zona de recarga y su entorno próximo.

- La formación más antigua de dicha serie, corresponde a las **margas azules del Mioceno superior (Tortonense)**. Esta formación, que se encuentra ampliamente representada en toda depresión del Guadalquivir llegando a alcanzar, bajo la zona de marismas, espesores del orden de los 1.000 metros, no llega a aflorar en ningún punto del área pero, sin embargo, aparece en los sondeos del sector, a profundidades comprendidas

entre los 50 y los 60 metros.

- Sobre las margas azules, y concordantemente con ellas, se encuentra depositado un tramo, de unos 40-45 metros de espesor, constituido por areniscas calcáreas bioclásticas (calcarenitas), con algunos niveles arenosos y margo-arcillosos de escasa continuidad lateral. Esta formación, que presenta abundante fauna, corresponde al **Mioceno terminal (Andaluciense o Saheliense)**.

En algunos sondeos de la zona aparece, intercalado entre las margas azules y las calcarenitas, un tramo de unos 10 metros de potencia, constituido por una alternancia de arcillas, margas, arenas y calcarenitas, atribuido también al Mioceno superior (Andaluciense).

- Recubriendo a las calcarenitas se localiza, en el área de recarga y su entorno, un paquete de margas y limos con abundantes costras calcáreas y espesores variables entre los 4 y los 7 metros. La potencia de éste tramo, atribuido al **Pliocuaternalio**, decrece de Oeste a Este llegando a desaparecer en las proximidades de la carretera Nacional IV.

- El tramo más moderno de la serie (**Cuaternalio reciente**), corresponde a un suelo margo-arenoso, rico en materia orgánica, y espesor variable entre 1 y 2 metros.

HIDROGEOLOGIA

4.- HIDROGEOLOGIA

4.1.- ENCLAVE HIDROGEOLOGICO REGIONAL

El área de recarga se encuentra situado, desde el punto de vista hidrogeológico, en el extremo Suroccidental de la **Unidad de las Calcarenitas de Carmona**.

Las calcarenitas de Carmona constituyen un acuífero detrítico, con una superficie de afloramiento de unos **150 Km²**, que se encuentra conectado hidráulicamente con las diferentes terrazas del río Guadalquivir. El conjunto conforma el denominado **Sistema acuífero 28 (Sevilla-Carmona)**, que ocupa una extensión superficial de 1.150 Km². Ver plano n° 4.

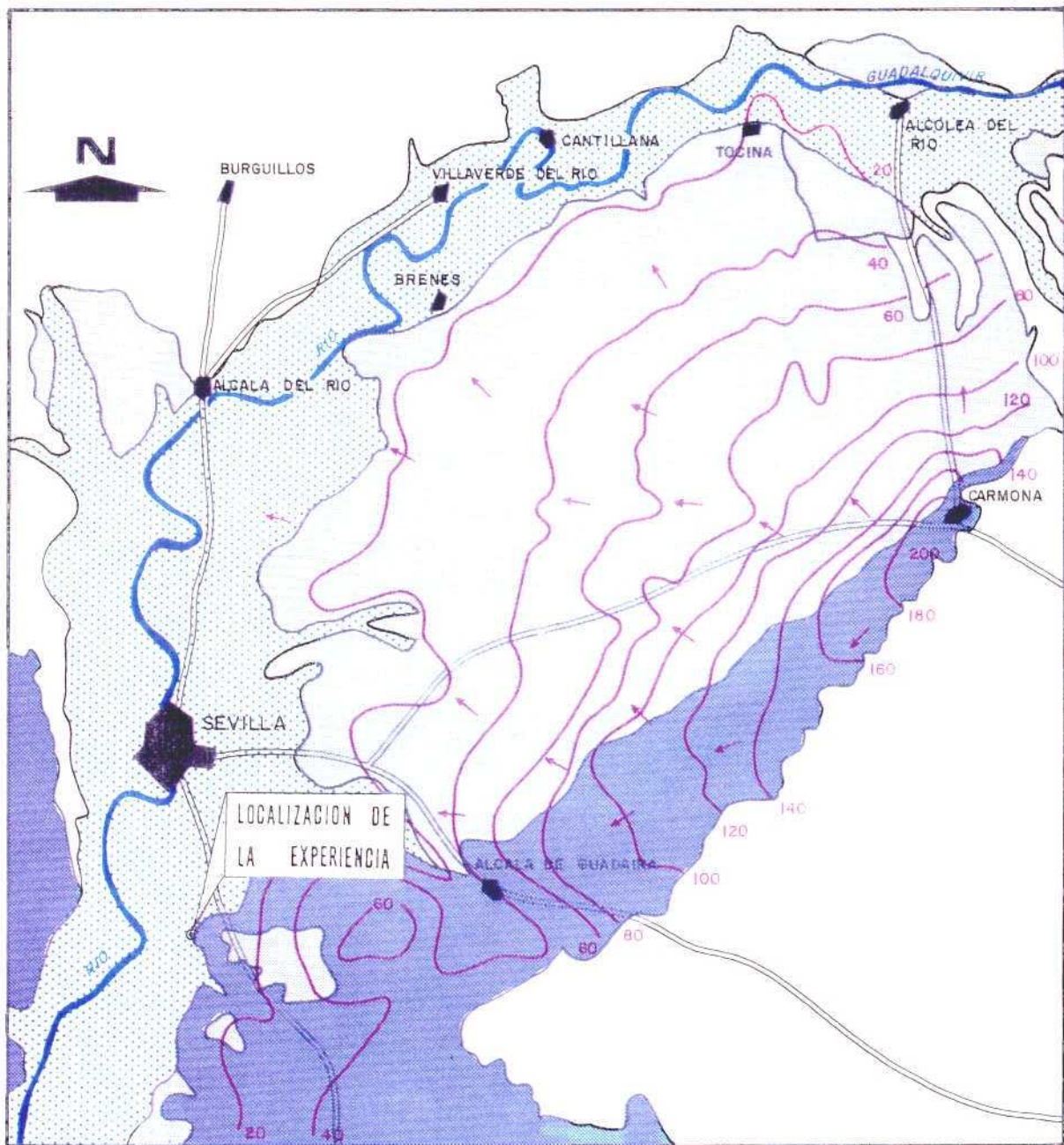
Los terrenos permeables que constituyen la unidad de las calcarenitas de Carmona, pertenecen al Mioceno superior (Andaluciense o Saheliense). Litológicamente corresponden a areniscas calcáreas bioclásticas que, de forma local, y debido a cambios laterales de facies, pasan a una alternancia de arenas, areniscas, limos arenosos y margas verdes. **El espesor medio de la formación es del orden de unos 15 metros**, aunque en determinados sectores, se alcanzan potencias de hasta 80 metros.

Los **límites** de la unidad vienen impuestos al Norte y Este, por el contacto con las margas azules del Mioceno superior (Tortonense) de carácter impermeable, que constituyen, además, el sustrato impermeable de las calcarenitas y del resto de las formaciones del sistema Sevilla-Carmona, y al Oeste y Sur por la terraza alta del río Guadalquivir, de carácter permeable.

Aunque de manera general, y en base a lo expuesto, la unidad se comporta como un acuífero libre, hay que hacer constar que, según ponen de manifiesto las columnas litológicas obtenidas en los sondeos existentes, en el sector Suroccidental las calcarenitas quedan recubiertas por sedimentos margosos, de muy baja permeabilidad y espesores del orden de los 5-8 metros. **Pudiendose afirmar que, en dicho sector, la unidad funciona como un acuífero semiconfinado.**

MAPA HIDROGEOLOGICO DEL SISTEMA
ACUIFERO DE SEVILLA - CARMONA

PLANO - N°4



LEYENDA

- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | CUATERNARIO MEDIO Y ANTIGUO, terrazas |  | Terrenos impermeables |
|  | SAHELIENSE, calcarenitas y arenas finas |  | CUATERNARIO RECIENTE, terraza reciente |
|  | Dirección del movimiento de las aguas subterráneas |  | Curva isopieza |

ESCALA 1/ 250.000

El fuerte encajamiento del cauce del río Guadaira en las calcarenitas, condiciona que el acuífero se encuentre subdividido hidrogeológicamente en dos subunidades entre las que no se produce intercambio hídrico:

- **Subunidad Carmona-Alcalá de Guadaira.** Con una superficie aproximada de 100 Km², se extiende desde la margen derecha del río Guadaira hasta la localidad de Carmona.

_ **Subunidad Alcalá de Guadaira-Dos Hermanas.** Con una superficie de 50 Km², comprende el sector Sur, desde el río Guadaira hasta la localidad de Dos Hermanas.

Ambas subunidades, presentan un funcionamiento hidrogeológico similar. La **recarga natural se produce, de manera fundamental, por infiltración directa del agua de lluvia y, en menor medida, por retorno de los excedentes empleados en regadío.**

Las **salidas naturales** tienen lugar a través de una serie de **manantiales de borde** situados en las proximidades del río Guadaira, y por **descarga oculta a la terraza superior del Guadalquivir** y, en menor cuantía, al aluvial del río Guadaira.

Las **salidas artificiales** se producen por **bombeo en pozos y sondeos**, destinándose la mayor parte del agua extraída, a **regadíos**.

El **flujo subterráneo** se produce, de manera preferencial, **hacia el Suroeste**, con **gradientes hidráulicos comprendidos entre el 1 % y el 2 %**.

Según datos del ITGE, referidos a 1.987, el **deficit** para la totalidad de la unidad de las calcarenitas de Carmona, asciende a unos **9.5 hm³/año**, de los que 5,5 hm³/año corresponden a la subunidad septentrional y el resto, 4 hm³/año, a la subunidad meridional.

Este déficit, se traduce en un notable y generalizado **descenso de los niveles piezométricos**, que en las zonas de mayor explotación llega a alcanzar, para el período

comprendido entre 1.966 y 1.987, los 10 metros.

4.2.- HIDROGEOLOGIA DEL AREA DE RECARGA.

4.2.1.- Inventario de puntos de agua.

Con el fin de tener una información detallada sobre las características hidrogeológicas e hidrodinámicas de la zona, se ha llevado a cabo una actualización del inventario de puntos de agua en el área de recarga y su entorno.

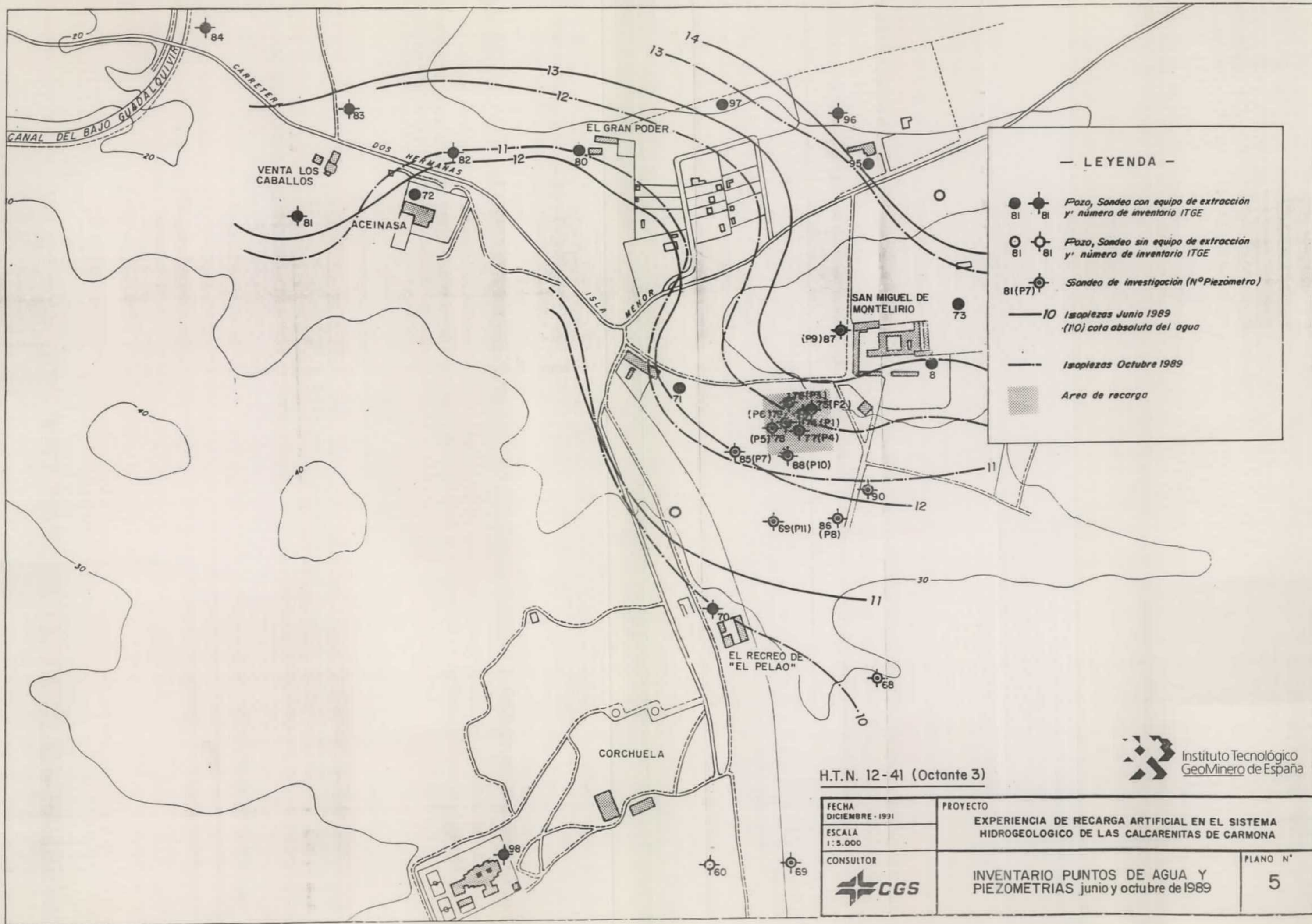
En total se han inventariado **28 nuevos puntos**, 11 de ellos correspondientes a sondeos de investigación realizados por el ITGE (6) y por el SGOP (5) con cargo al Proyecto. Para todos y cada uno de los puntos inventariados, se ha elaborado la correspondiente ficha, que se incluye en el anexo n° 3.

Además se han actualizado **19 puntos** ya inventariados por el ITGE. En los planos n° 5 y n° 9 se incluye la situación de los nuevos puntos inventariados y de los actualizados.

4.2.2.- Funcionamiento hidráulico. Parámetros.

Según los datos suministrados por las columnas litológicas obtenidas en los sondeos del área, la formación permeable, constituida por areniscas calcáreas (calcarenitas), presentan en la zona un **espesor medio de 40 metros**, encontrándose recubiertas por una formación marga-limosa, de baja permeabilidad, de unos 6 metros de potencia. El muro impermeable del acuífero lo forman las margas azules del Tortoniense.

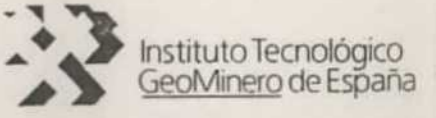
El acuífero, constituido por las calcarenitas, presenta en el área un carácter de **semiconfinado**, debido a la existencia del tramo superior de baja permeabilidad. En estas condiciones, **la recarga natural se produce, de forma fundamental, por la aportación**



- LEYENDA -

- 81 ● 81 Pozo, Sondeo con equipo de extracción y número de inventario ITGE
- 81 ○ 81 Pozo, Sondeo sin equipo de extracción y número de inventario ITGE
- 81(P7) Sonda de investigación (Nº Piezómetro)
- 10 Isopiezas Junio 1989 (110) cota absoluta del agua
- - - Isopiezas Octubre 1989
- Area de recarga

H.T.N. 12-41 (Octante 3)



FECHA DICIEMBRE - 1991	PROYECTO EXPERIENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCAIRENTAS DE CARMONA	
ESCALA 1:5.000		
CONSULTOR 	INVENTARIO PUNTOS DE AGUA Y PIEZOMETRIAS junio y octubre de 1989	PLANO N° 5

lateral procedente del sector oriental del acuífero, donde éste funciona como libre, estando muy limitada la alimentación por infiltración directa del agua de lluvia caída en la propia zona.

La litología de la formación permeable, unida a la existencia en la misma de una densa red de fracturas, que en muchos casos se encuentran bien desarrolladas, confieren al acuífero una **permeabilidad local media-alta**, con valores que oscilan, según se deduce de los resultados obtenidos en tres ensayos de bombeo realizados en la zona (anexo n° 4), **entre los 5 m/día y los 15 m/día.**

Las diversas campañas piezométricas llevadas a cabo, con anterioridad a la realización de los diferentes ensayos de recarga (plano n° 5), ponen de manifiesto que el **flujo subterráneo se produce hacia el Sur y Suroeste, con gradientes hidráulicos locales del 1% al 2%.**

La profundidad hasta el agua varía, en función de la cota topográfica, **entre los 9 y los 20 metros, con oscilaciones temporales que llegan a ser superiores a los 2 metros.**

4.2.3.- Hidroquímica

Los análisis químicos realizados, sobre muestras tomadas en obras de captación de la zona con anterioridad a la puesta en marcha de las experiencias de recarga artificial (anexo n° 5), ponen de manifiesto que se trata de **aguas duras, con mineralización notable y de facies bicarbonatadas cálcicas.**

Los contenidos en bicarbonatos son del orden de los 300 mg/litro, mientras que los sulfatos oscilan entre los 83 mg/litro y los 122 mg/litro, y los cloruros entre los 158 mg/litro y los 288 mg/litro.

Las concentraciones de nitratos detectadas, son elevadas, oscilando entre

50 mg/litro y 75 mg/litro, lo que denota una influencia de los abonos nitrogenados y pesticidas utilizados en las prácticas agrícolas, y una posible contaminación, en el caso del sondeo 1241-3-070, situado en la finca "El Pelao", producida por la existencia de una granja de ganado vacuno.

Los contenidos en nitratos superan, en la mayor parte de los casos, las concentraciones máximas admisibles para consumo humano, establecidas por la Reglamentación Técnico-Sanitaria (R.T-S), en el Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por lo que éstas aguas no deben ser empleadas para tal fin.

De acuerdo con la **clasificación de las aguas para riego**, establecida por el U. S. Salinity Laboratory Staff, se trata de **aguas del tipo C₃-S₁**, salinidad alta y bajas en Sodio, **no siendo aptas para regadío en suelos con drenaje deficiente.**

**CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL
AREA DE RECARGA**

5.- CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y BACTERIOLOGICAS DEL AGUA DE RECARGA

Para determinar las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas superficiales a utilizar en la recarga artificial, y que proceden del canal del Bajo Guadalquivir, se han llevado a cabo los siguientes trabajos:

5.1.- RECOPIACION Y ANALISIS DE DATOS HISTORICOS

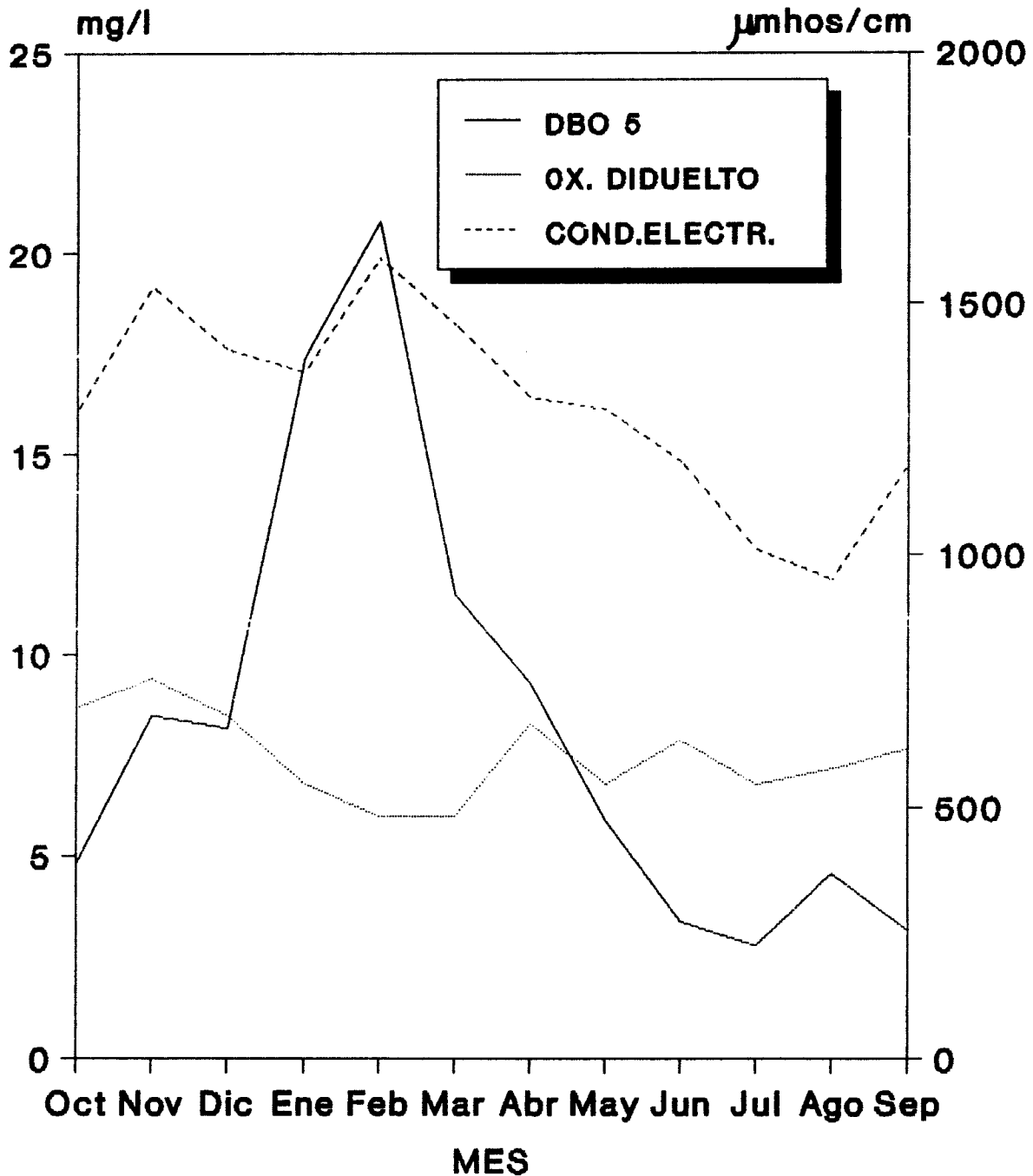
Se han recopilado y analizado los datos de calidad correspondientes a la estación de **Peñaflor (006)**, incluida en la red **COCA del MOPT**, punto en el cual se inicia el trazado del canal del Bajo Guadalquivir.

Según éstos datos, las aguas derivadas al canal, desde el río Guadalquivir, presentan un **Indice de Calidad General (ICG) de 60.25 (calidad admisible)**, con valores medios anuales de **DBO₅ de 7 mg/litro**, de **Conductividad Eléctrica de 1.310 micromhos/cm** y contenidos en **fenoles y aceites y grasas que superan los límites admisibles establecidos por la Reglamentación Técnico-Sanitaria**, debido, probablemente, a la influencia de industrias del aceite, ya que los valores más altos de éste parámetro suelen registrarse en la temporada de molturación de la aceituna.

La **DBO₅** y la **C.E.**, también presentan una marcada estacionalidad (figura nº 3), con **máximos en los meses invernales** debido al efecto de los **alpechines**. Los **mínimos veraniegos de Oxígeno Disuelto**, coincidentes con los máximos de **DBO₅** y **C.E.**, son atribuibles al efecto conjunto de los **vertidos de las azucareras** y del aumento de la **temperatura del agua**, además del efecto permanente de los **vertidos urbanos**.

El elevado contenido en **coliformes totales**, variable entre 500 y 50.000 colonias/100 ml. para el período 1.985-1.990, hace el agua **im potable para consumo humano**.

EVOLUCION CALIDAD DEL AGUA GUADALQUIVIR-PEÑAFLOR (006)



Fuente: PLAN HIDROLOGICO GUADALQUIVIR

Figura 3

5.2.- REALIZACION DE ANALISIS FISICO-QUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS.

Los análisis realizados a muestras tomadas en el canal del Bajo Guadalquivir, en el punto donde se encuentra instalado el equipo de bombeo, muestra que se trata de **aguas duras y con mineralización notable, presentando facies químicas sulfatadas-bicarbonatadas-sódico-cálcicas**. Sin embargo, al igual que ocurre con la DBO₅, la C.E. y el O.D., las demás características físico-químicas, así como el contenido en coliformes, **varía enormemente de unas épocas a otras**.

5.3.- ENSAYOS DE SEDIMENTACION.

Dado que el contenido del agua en sólidos en suspensión constituye un grave peligro, de cara a la colmatación de los dispositivos de recarga, **se han realizado determinaciones de turbidez y ensayos para determinar la velocidad de sedimentación**, en dos laboratorios diferentes (anexo nº 7).

Los resultados obtenidos mediante el **ensayo en cono de Imhoff**, ponen de manifiesto que tras una hora de sedimentación, en condiciones de reposo, se produce el decantado de, aproximadamente, el 99 % de la materia en suspensión. En la figura nº 4, se acompaña la curva de sedimentación obtenida mediante éste ensayo.

A partir de estos datos, se llevó a cabo el **dimensionado de la balsa de decantación**, estimándose como parámetros de cálculo un caudal medio de entrada de 60 litros/segundo y un tiempo de residencia mínimo, considerando que en la balsa existe una cierta turbulencia creada por la entrada de agua a la misma, de tres horas. En base a éstos datos, se proyectó la **construcción de una balsa de decantación de unos 650 m³ de capacidad útil**.

Se analizó, también, la conveniencia de utilizar productos floculantes para aumentar la velocidad de sedimentación. Sin embargo, esta posibilidad quedó descartada ante el riesgo de que parte de los flóculos pudieran llegar a la balsa de infiltración, lo que

aceleraría el efecto de la colmatación y dificultaría las operaciones de limpiezas del lecho filtrante.

ENSAYO DE SEDIMENTACION EN CONO DE IMHOFF (Canal del Bajo Guadalquivir)

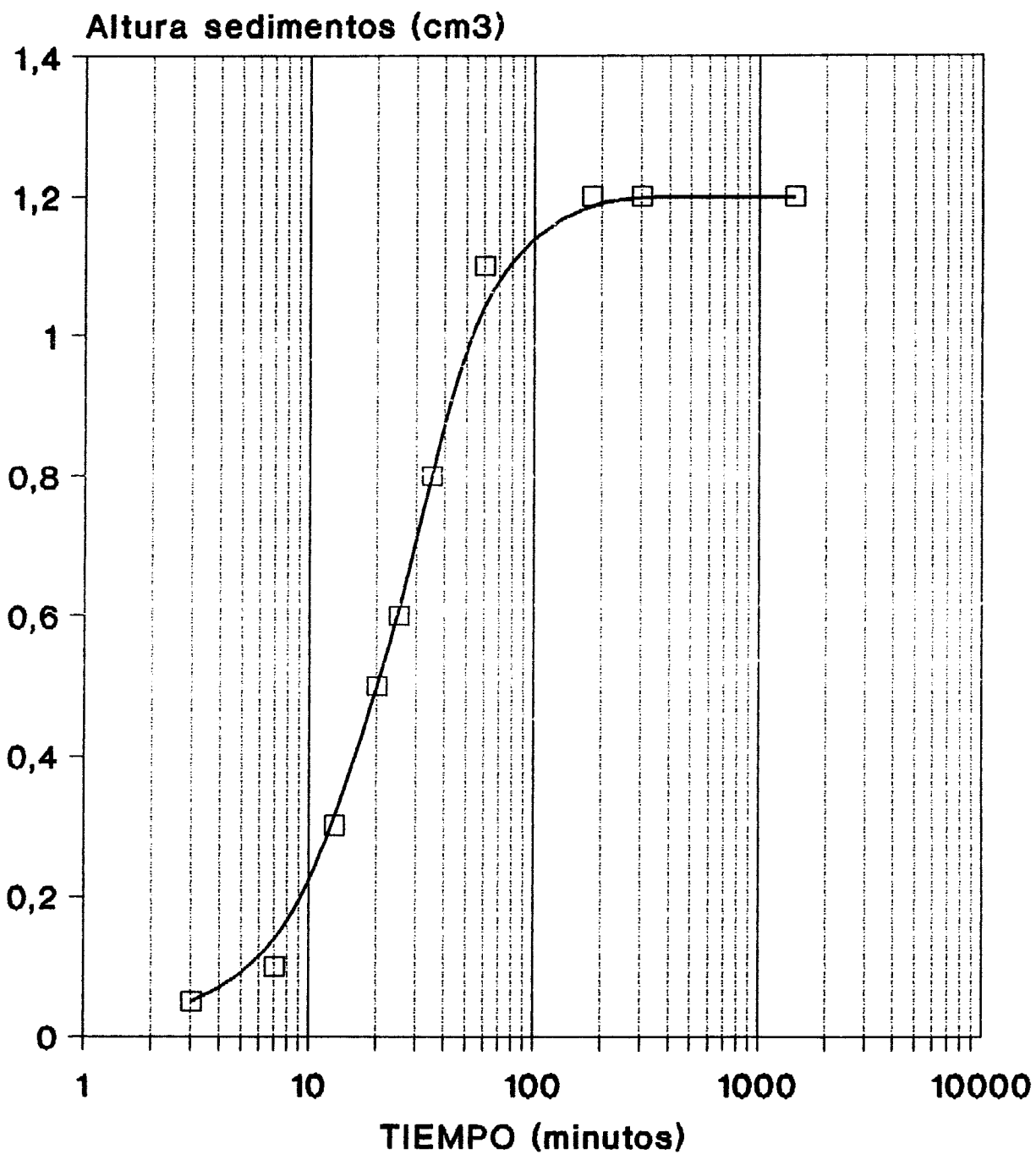


FIGURA Nº 4

OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y CONTROL. INSTRUMENTACION

6.- OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y CONTROL. INSTRUMENTACION

Para la puesta en marcha de las experiencias de recarga artificial, se han ejecutado una serie de obras básicas de infraestructura, necesarias para llevar el agua hasta la zona de recarga y posibilitar su infiltración en el terreno, así una serie de obras complementarias, necesarias para el seguimiento de los ensayos realizados.

6.1.- OBRAS DE INFRAESTRUCTURA.

Se describen, en éste epígrafe, las características más significativas de las obras de infraestructura realizadas:

ESTACION DE BOMBEO.- Se encuentra situada en la margen izquierda del canal del Bajo Guadalquivir, unos 60 metros aguas abajo del puente de la carretera Dos Hermanas-Isla Menor.

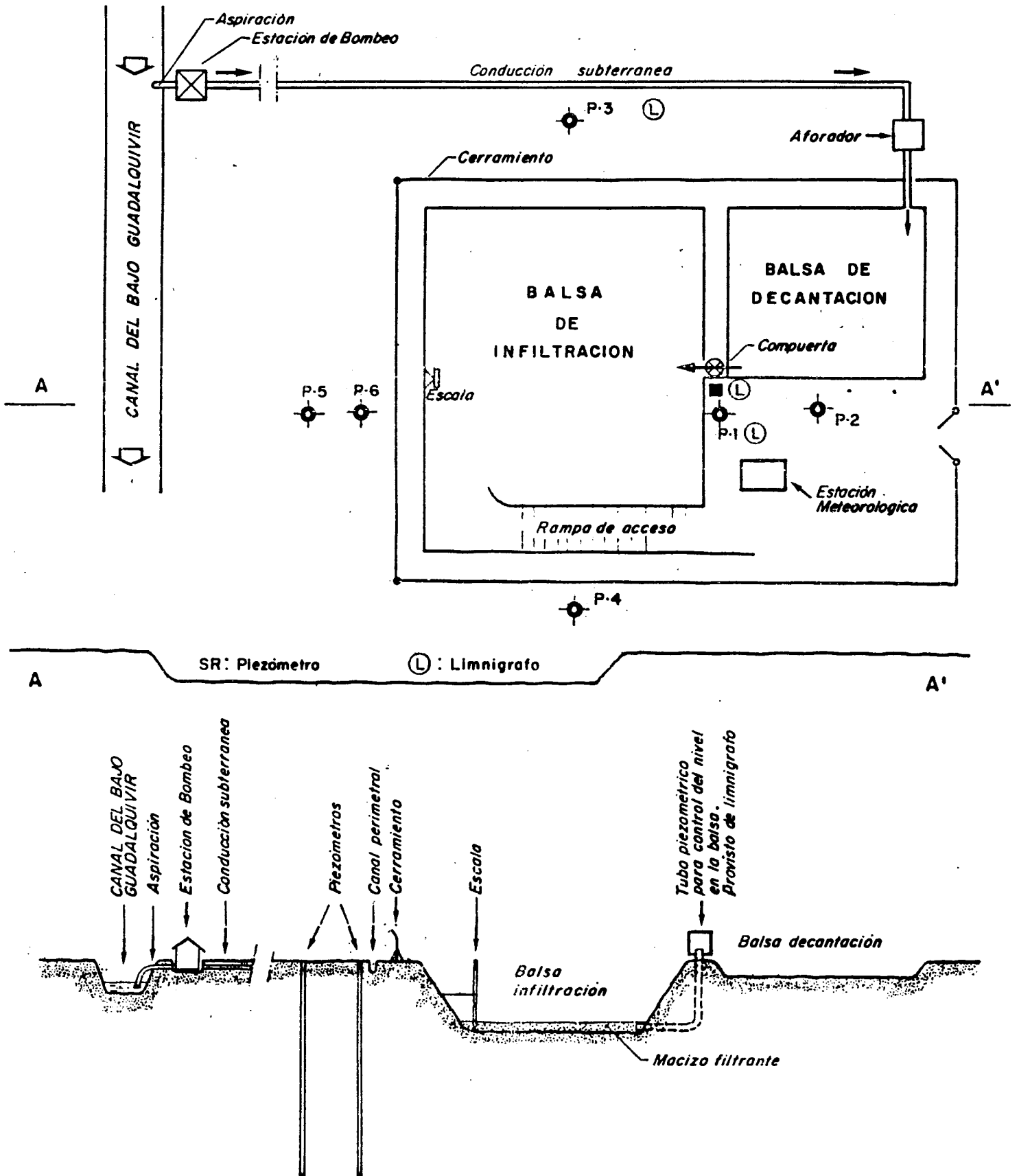
Consta de un **motor eléctrico, de 25 CV.** de potencia con una capacidad para elevar un caudal de 55 litros/segundo, con una altura manométrica de 10 metros. El grupo motobomba se encuentra **alojado en caseta de obra**, provista de puerta metálica con cerradura de seguridad, y la **toma del canal se hace a través de un tubo enterrado bajo el camino de servicio.** La alcachofa de aspiración se encuentra protegida con una rejilla metálica, a fin de evitar el taponamiento de la misma por plásticos o restos vegetales.

CONDUCCION.- Desde la estación de bombeo hasta el recinto de recarga, se ha instalado una **conducción de 1.050 metros de longitud y 300 mm de diámetro.** La tubería, de fibrocemento vá enterrada, en la margen izquierda de la carretera Dos Hermanas-Isla Menor, siguiendo el trazado de ésta, y a una profundidad media de 1 metro.

BALSA DE DECANTACION.- Construida mediante excavación con maquinaria

FIGURA 5

ESQUEMA DE LAS INSTALACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL



pesada, tienen una **capacidad útil de unos 650 m³**, con unas dimensiones de 28 x 26 x 1.2 metros, y taludes de 45 grados. El fondo de la balsa se asienta sobre margas, por lo que éste no ha sido impermeabilizado.

BALSA DE INFILTRACION. - Construida, también por medios mecánicos, tiene una forma troncopiramidal invertida, con unas dimensiones de 55 x 26 metros en la base superior y de 40 x 12 metros en la base inferior y una altura-profundidad media de 6.6 metros. Los taludes de ésta balsa son de 45 grados y su **capacidad útil es de unos 6.000 m³**.

La balsa vá provista de una **escala limnimétrica** para el control de la altura de la lámina de agua y de limnígrafo alojado en tubo piezométrico, para registro contínuo de la misma. Ver figura n^o 5.

En el fondo de la balsa, se instaló un **macizo filtrante** de unos 90 centímetros de espesor medio, compuesto por un lecho inferior de **arena silíceo tipo TAK (50 m³)** y un lecho superior de **arena silíceo tipo 50/60 (123 m³)**. Las curvas granulométricas de éstas arenas se incluyen en la figura n^o 6.

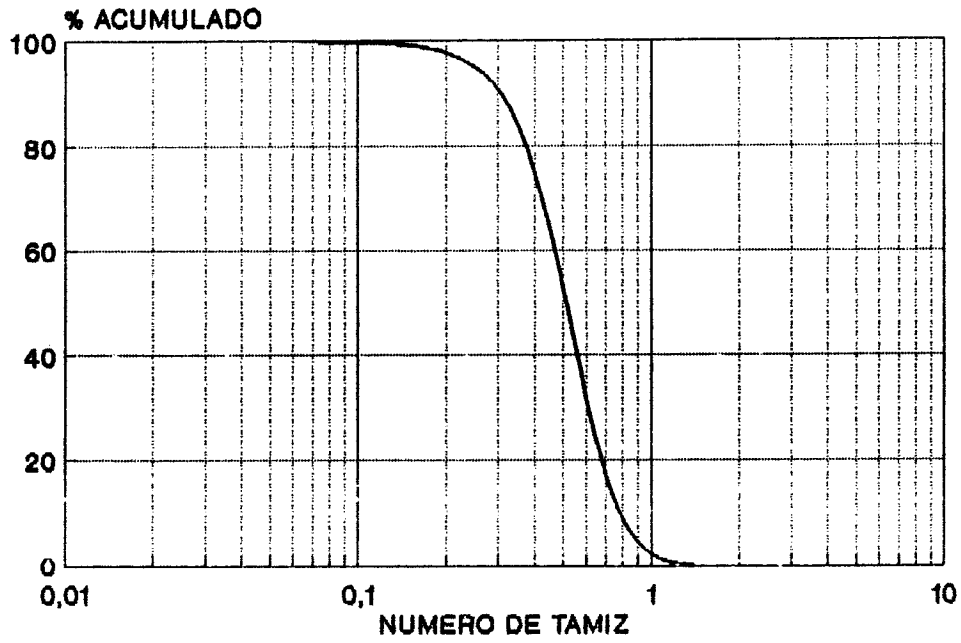
La instalación del filtro se realizó íntegramente a mano, sin emplear maquinaria pesada, para evitar la compactación.

Entre la balsa de decantación y la de infiltración, se construyó un rebosadero con compuerta metálica accionable.

CERRAMIENTO DEL RECINTO DE RECARGA. - El área donde se encuentran ubicadas las dos balsas, así como la estación meteorológica, se encuentra protegida por una **malla metálica tipo coto, de 1.80 metros de altura**, provista de puerta de acceso de doble hoja.

ZANJA DE DRENAJE. - En el perímetro exterior del recinto vallado, se excavó una

**CURVA GRANULOMETRICA
ARENA TIPO TAK**



**CURVA GRANULOMETRICA
ARENA FILTRO 50/60**

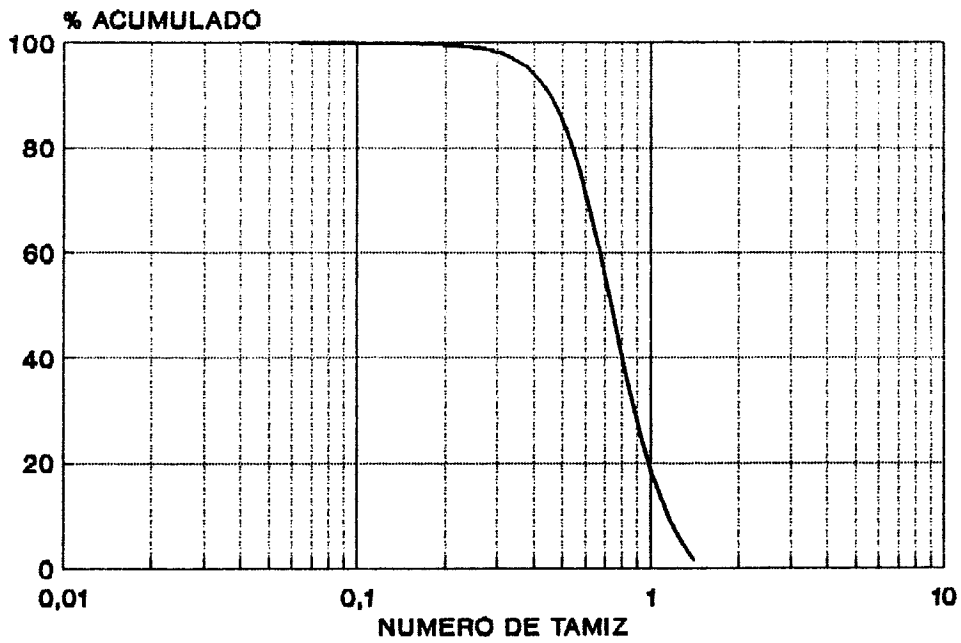


figura 6

zanja de drenaje, para evitar la entrada de agua de escorrentía al interior del mismo.

POZO DE RECARGA.- Para llevar a cabo la experiencia de recarga artificial en profundidad, se construyó en el interior de la balsa de infiltración, y una vez finalizados los ensayos de recarga en superficie, un **pozo de 9.5 metros de profundidad**. La excavación de este pozo se realizó, en su mayor parte, con maquinaria pesada (bivalva), aunque en determinados momentos, y debido a la dureza de algunos tramos de las calcarenitas, fué necesaria la excavación manual con ayuda de compresor.

Los tres primeros metros, se excavaron a un diámetro de 2.50 metros, quedando equipados con anillo de hormigón de 2 metros diámetro. El resto del pozo, se excavó con un diámetro de 1.20 metros, dejándose sin revestir para posibilitar la infiltración del agua recargada a través de las paredes y del fondo del mismo. El espacio anular comprendido entre la excavación de los tres metros superiores y los anillos de hormigón, se rellenaron con grava silíceo calibrada.

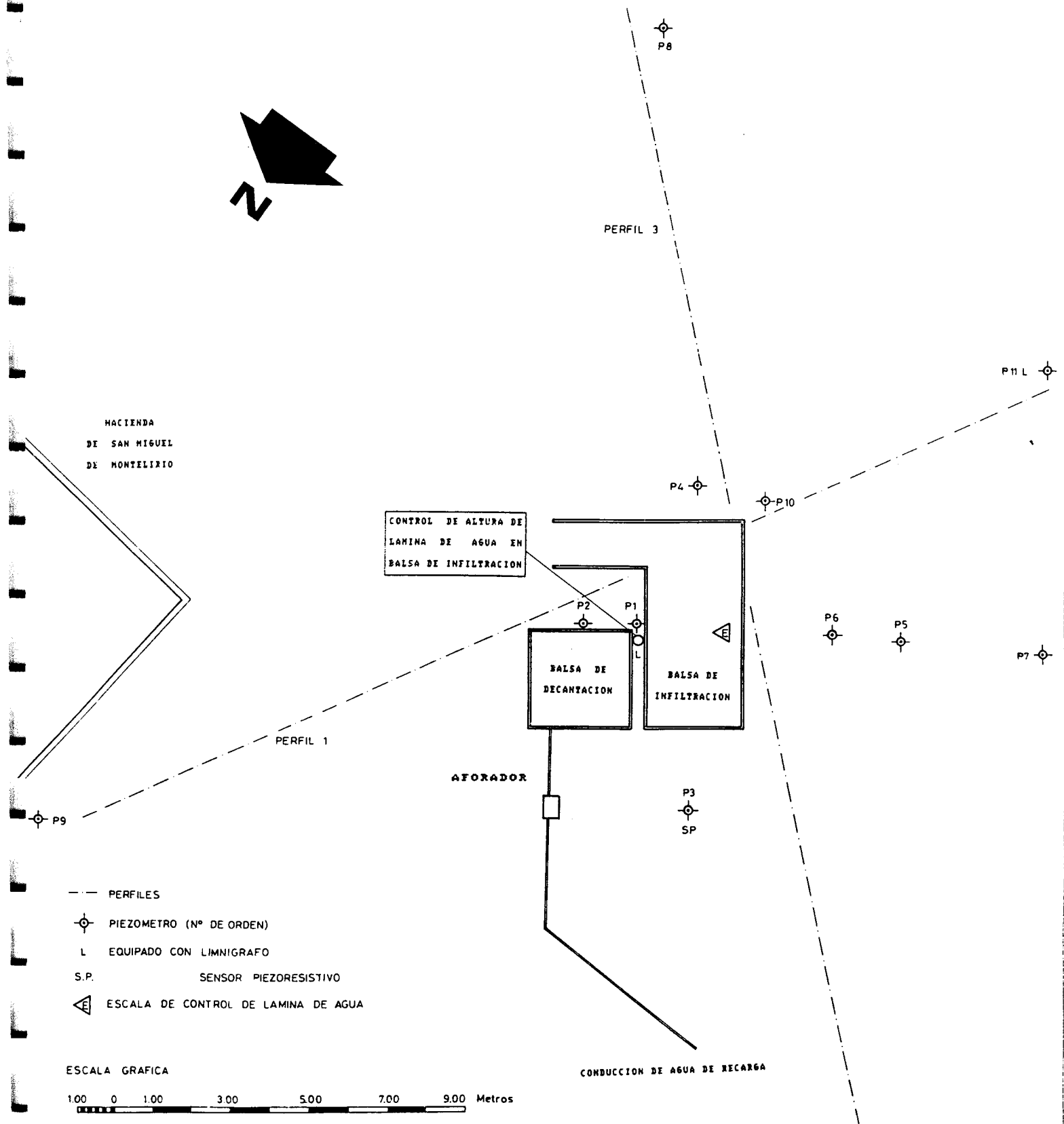
6.2.- OBRAS DE CONTROL

Para el control de los diversos parámetros a tener en cuenta en la interpretación de los ensayos de recarga artificial, se realizaron las siguientes obras:

SONDEOS PIEZOMETRICOS.- En las inmediaciones de la balsa de infiltración, y a **distancias comprendidas entre 14 y 175 metros** del centro geométrico de ésta, se ejecutaron **11 sondeos** de diferentes diámetros y con **un total de 446.5 metros lineales de perforación**, para el seguimiento de la evolución de niveles antes, durante y con posterioridad a la realización de los ensayos (ver figura nº 7).

Seis de éstos sondeos, con un total de 160.5 metros perforados, **fueron realizados por el ITGE** por el método de rotación a circulación directa y obtención de testigo continuo. Cinco de ellos, se entubaron con tubería metálica ranurada de 75 mm de diámetro, y uno con PVC de 10 atmósferas y 110 mm de diámetro.

CROQUIS DE SITUACION
DE LOS
SONDEOS PIEZOMETRICOS DE CONTROL



Otros tres **piezómetros**, con un total de 175 metros perforados, **fueron realizados por el SGOP**, a rotación con circulación directa y obtención de testigo continuo. El diámetro de corona empleado en su ejecución fué de 76 mm, y la entubación se realizó, en todos los casos, con tubería de PVC ranurada de 45 mm de diámetro.

Los dos **piezómetros** restantes, **realizados también por el SGOP**, corresponden a sondeos perforados a percusión con un diámetro de 550 mm y entubados con chapa ranurada de 350 mm de diámetro. La profundidad de estos dos sondeos es muy similar, 55 y 56 metros.

ESTACION METEOROLOGICA.- Para la obtención de los datos meteorológicos, se instaló, dentro del recinto de recarga, una **estación** con los siguientes instrumentos de medida:

- * *Termómetro de mercurio de máximas y mínimas.*
- * *Pluviómetro tipo HELLMAN.*
- * *Evaporímetro PICHE.*
- * *Tanque de evaporación de chapa galvanizada, cilíndrico de 120 cms. de diámetro.*

Tanto el termómetro de máximas y mínimas, como el evaporímetro Piche, van alojados en una **garita de madera**.

AFORADOR.- A la entrada de la balsa de decantación, se construyó un aforador tipo **THOMPSON**, consistente en una arqueta de ladrillo enfoscado provista de lámina metálica con **descargador de 90° en "V"** y **escala limnimétrica**.

Este aforador, cuya curva altura-caudal se incluye en la figura nº 8, permite controlar caudales variables entre 1 l/seg. y 240 l/seg.

CURVA ALTURA-CAUDAL AFORADOR THOMPSON

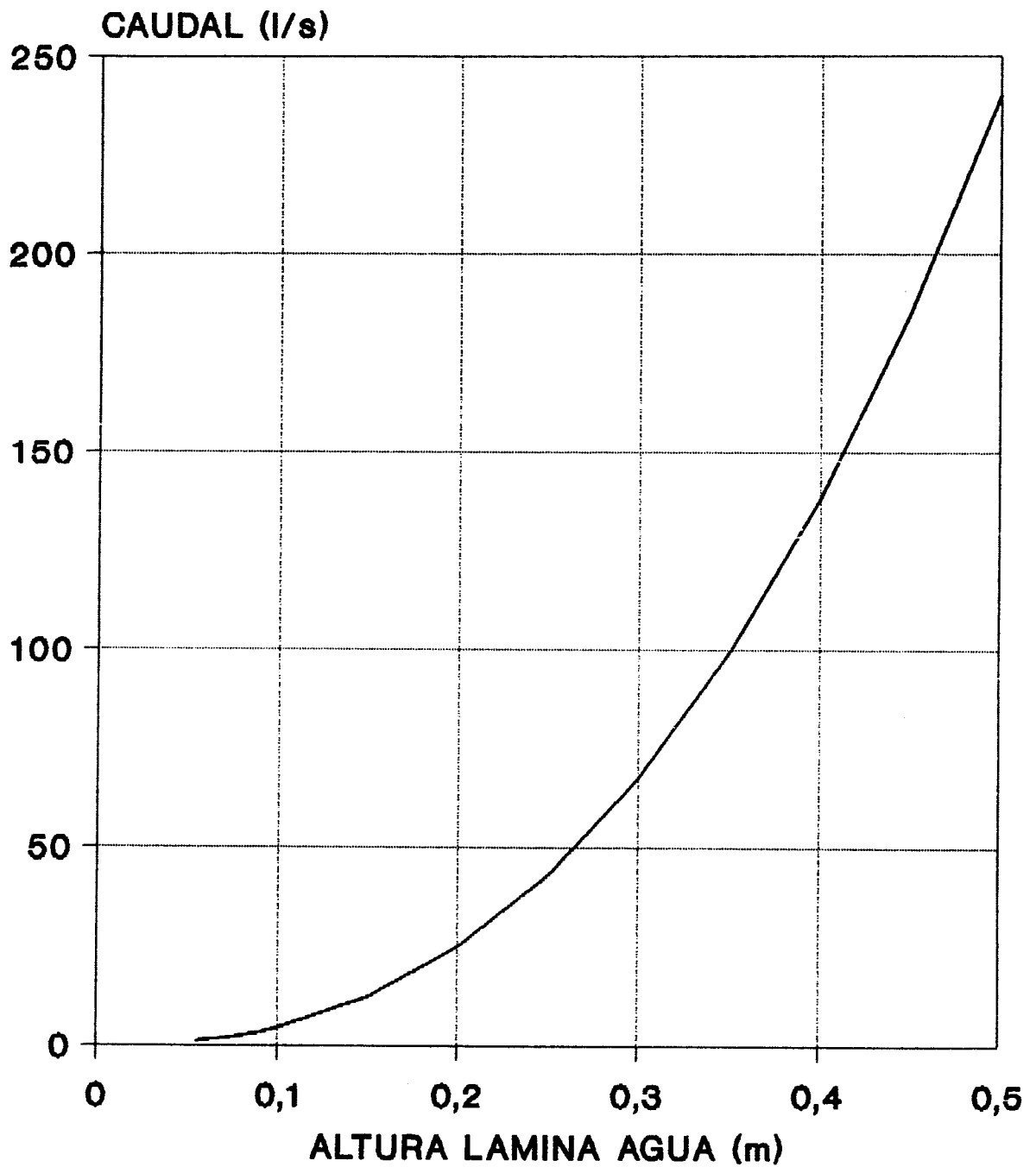


FIGURA nº 8

6.3.- INSTRUMENTACION

Para obtener un registro continuo de la altura de la lámina de agua en la balsa de infiltración, y de la evolución del nivel en los piezómetros más significativos, se han instalado los siguientes instrumentos de medida:

- * 2 limnígrafos de eje vertical SEBA, modelo ALPHA.
- * 1 Limnígrafo SEBA, tipo DATA LOGGER, modelo MDS II.
- * 2 limnígrafos A.OTT, modelo HYDRUS.

Los limnígrafos de eje vertical se instalaron en el sondeo piezométrico n° 11 (1241-3-089), y en el tubo piezométrico construido para controlar la altura de agua en la balsa de infiltración. Durante el ensayo de recarga en pozo, este último limnígrafo se instaló, alojado en tubo de PVC ranurado, en el propio pozo.

El Data Logger se encuentra instalado en el piezómetro n° 1 (1241-3-074), y consta de una unidad registradora de datos y un sensor piezoresistivo para medida de niveles. La succión de datos se realiza mediante un ordenador portátil.

Los limnígrafos Hydrus, se encuentran instalados en los piezómetros n° 3 (1241-3-076) y n° 9 (1241-3-087), y ambos constan de unidad registradora de datos y de sensor piezoresistivo para medida de nivel. En estos equipos, el volcado de datos se realiza mediante una unidad portátil provista de cabeza de lectura óptica.

Todos los equipos de medida descritos, se encuentran alojados en **casetas de seguridad** abatibles, provistas de puerta lateral para lecturas.

En el anexo n° 8, se incluyen las características técnicas, así como los manuales de instalación y manejo de éstos equipos.

SEGUIMIENTO PREVIO A LA RECARGA

7.- SEGUIMIENTO PREVIO A LA RECARGA

Desde el inicio del Proyecto, se han llevado a cabo **diversas campañas piezométricas** en los puntos de agua de la zona. Los resultados de éstas campañas han permitido elaborar los correspondientes **mapas piezométricos** (planos nº 5 y 6).

Además, y desde el día 14 de junio de 1.989, se controla, de forma continua, **la evolución del nivel piezométrico en el sondeo 1241-3-076 (P-3)**, cuyos datos, para el año 1.990, han sido comparados con los registros de precipitación diaria correspondientes a la estación meteorológica de SEVILLA-TABLADA (figura nº 9).

El análisis detallado, del gráfico representado en la figura 9, permite extraer una serie de observaciones de indudable interés para la interpretación del funcionamiento hidrogeológico del acuífero en la zona:

a.- Desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre del año 1.990, en el que la precipitación registrada fué de 430 mm, el nivel piezométrico desciende 25 centímetros.

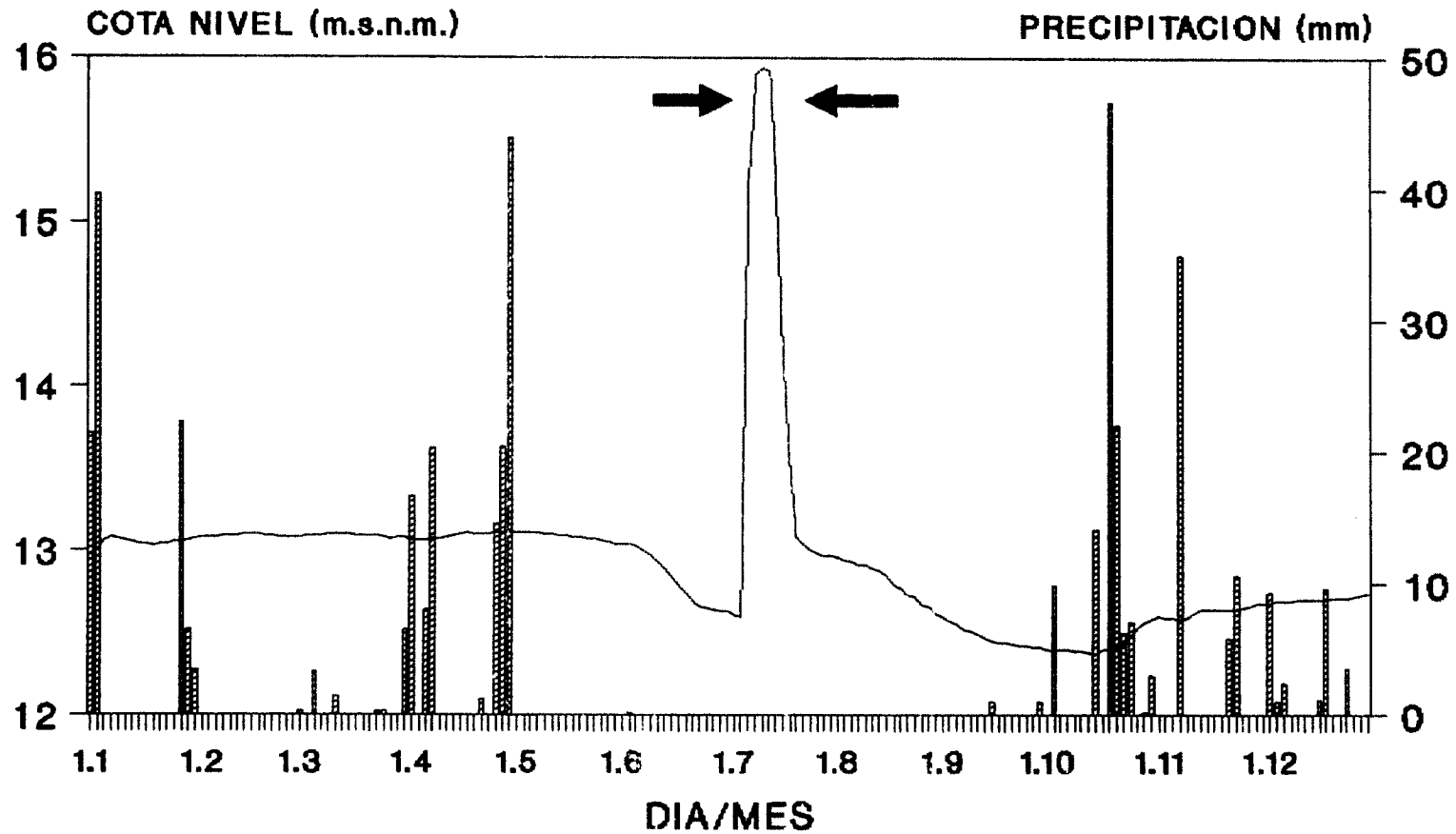
b.- Desde enero hasta junio, el nivel se mantiene prácticamente constante, observándose una escasa respuesta del mismo frente a la precipitación.

c.- A partir de junio, mes en el que se inicia en la zona el riego del algodón, el nivel desciende, de forma rápida y continuada, hasta el momento en el que se inicia el primer ensayo de recarga, realizado entre el 4 y el 12 de julio.

d.- La recarga de 35.000 m³ de agua, provoca una clara y rápida respuesta en el acuífero, que se traduce en un ascenso de nivel superior a los 3 metros.

e.- Una vez que cesa la recarga, se vuelve a la situación existente antes de iniciarse la campaña de riegos. El efecto de los bombeos a partir de ese momento, se traduce en un nuevo descenso del nivel piezométrico, alcanzándose al final de la campaña

EVOLUCION PIEZOMETRICA P-3/PRECIPITACION AÑO 1.990



— PIEZOMETRO 3 ▨ PRECIPITACION
→ ← ENSAYO DE RECARGA

FIGURA Nº 9

(octubre) un descenso máximo de 0.5 metros.

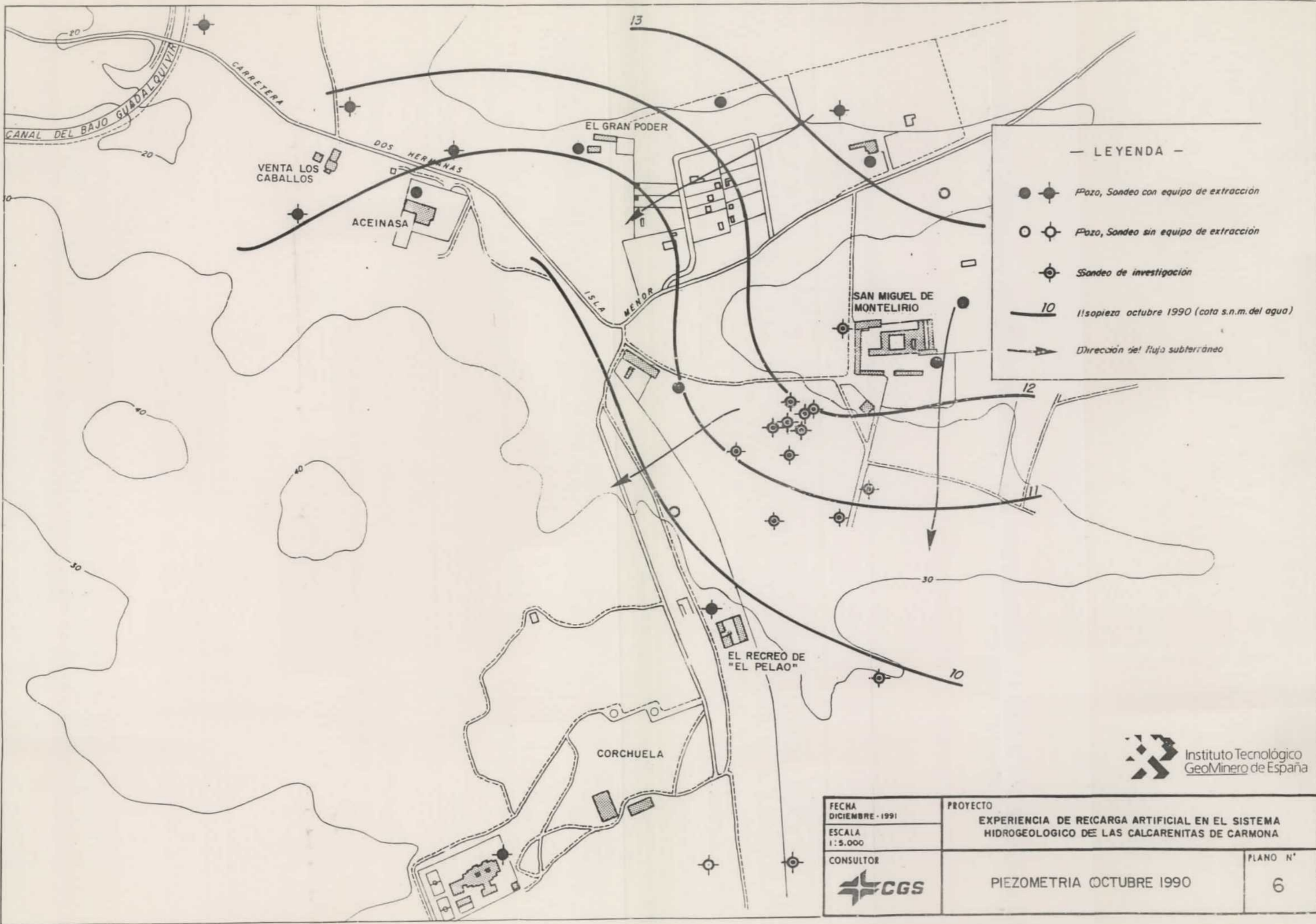
f.- En el período comprendido entre octubre y diciembre, en el que se registra una precipitación de 197 mm, el nivel asciende 0.25 metros.

La evolución de nivel piezométrico, registrado en el sondeo 3, pone de manifiesto una **gran sensibilidad del acuífero, en la zona, frente a las extracciones, y una respuesta mucho menor del mismo frente a la precipitación.**

En las actuales condiciones de explotación/recarga natural, se observa una **tendencia al descenso hiperanual de niveles en la zona.**

El ensayo de recarga artificial, realizado durante 1.990, muestra que mediante éstas técnicas **se pueden conseguir rápidos y espectaculares ascensos de nivel** que, en períodos suficientemente largos de aplicación, pueden compensar el efecto negativo de las extracciones.

En octubre de 1.990, se llevó a cabo una campaña de medidas piezométricas en el entorno del área de recarga, en la que se midieron un total de 30 puntos. Con los datos obtenidos, se elaboró el correspondiente mapa piezométrico (plano n° 6).



**DESCRIPCION DE LAS EXPERIENCIAS DE RECARGA ARTIFICIAL.
RESULTADOS OBTENIDOS**

8.- DESCRIPCION DE LAS EXPERIENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL. RESULTADOS OBTENIDOS

Entre julio de 1.990 y noviembre de 1.991, se han llevado a cabo un total de 4 ensayos de recarga artificial. Los tres primeros mediante sistemas de superficie (recarga en balsa) y el último mediante recarga en profundidad, utilizandose, en éste caso, el dispositivo que se esquematiza en la figura nº 10.

8.1.- Ensayos de recarga en superficie

Los ensayos se realizaron introduciendo agua del canal del Bajo Guadalquivir, sometida a un proceso de decantación previa, en una balsa de infiltración.

La menor representatividad de los resultados obtenidos durante la realización de los dos primeros ensayos, que tuvieron una duración muy limitada, 9 y 11 días respectivamente, con relación al tercero, de 76 días de duración, hace aconsejable su análisis por separado.

8.1.1.- Ensayos de corta duración.

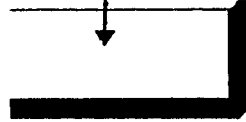
*** El primero de éstos ensayos, tuvo como finalidad comprobar el correcto funcionamiento de las instalaciones de recarga y de los dispositivos de control instalados, así como el hacer una primera evaluación de la capacidad o tasa de infiltración que se podía lograr.**

Este ensayo, se llevó a cabo entre el 4 y el 12 de julio de 1.990. Durante éste tiempo se recargaron unos 35.000 m³ de agua, con un caudal medio de unos 45 l/s.

Los ascensos máximos conseguidos, en el tiempo de duración del ensayo, oscilaron entre los 4.58 metros, en el piezómetro 1 (situado a 14 metros del centro

CROQUIS DISPOSITIVO RECARGA EN PROFUNDIDAD

BALSA
DECANTACION



TUBO SALIDA AGUA

MARGAS

CALCARENITAS

NIVEL PIEZOMETRICO

EMBOQUILLE
DE HORMIGON

BALSA DE
INFILTRACION

POZO RECARGA

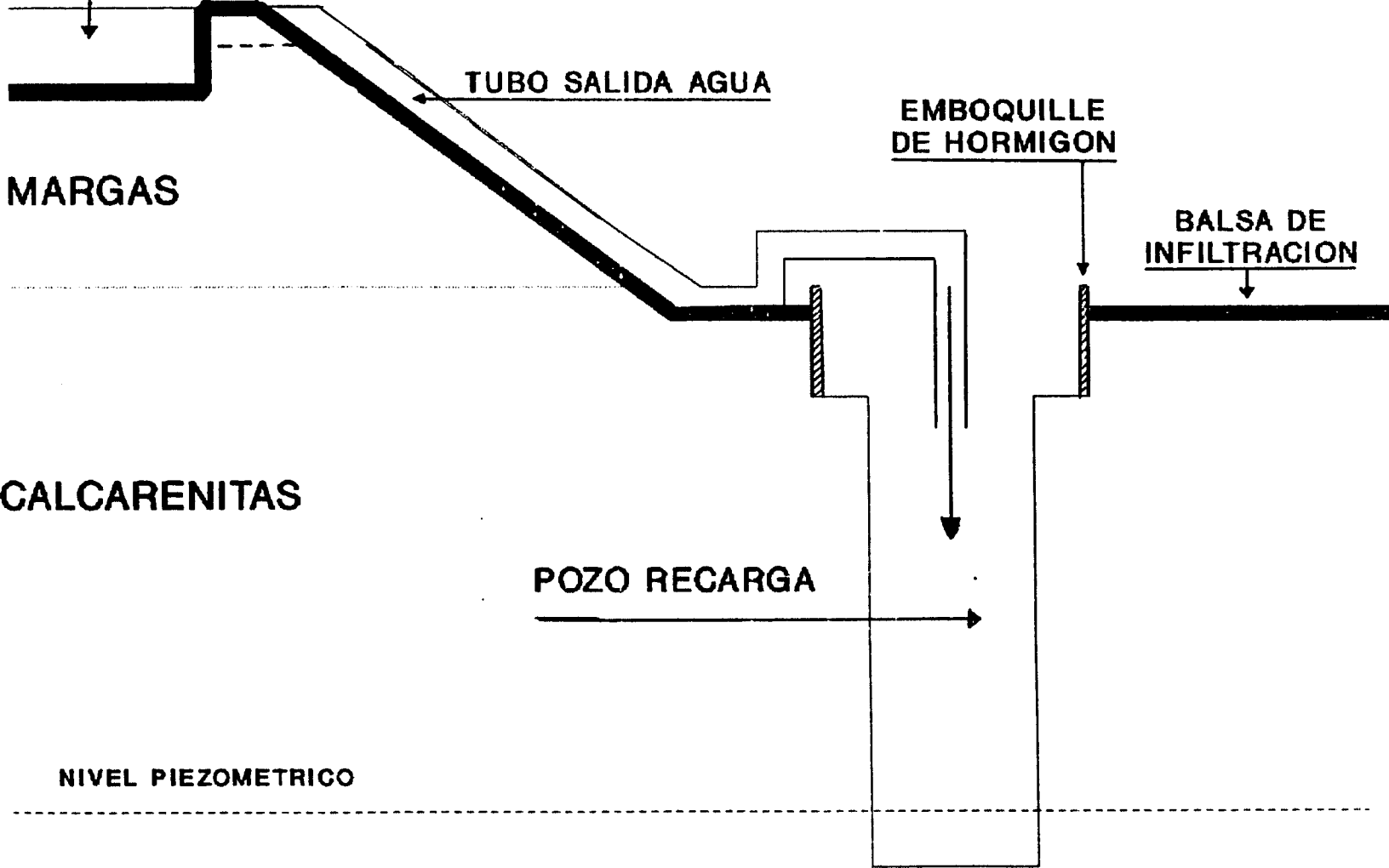


FIGURA 10

geométrico de la balsa de infiltración) y los 2.62 metros, en el piezómetro 5 (situado a 53 metros de la balsa de infiltración).

La capacidad de infiltración media obtenido en éste primer ensayo fué ligeramente superior a los 8 m/día.

En la figura nº 11, se puede ver la evolución de los niveles en los diferentes piezómetros, durante la realización del ensayo. Hay que hacer constar que, en el momento de la realización de éste ensayo, tan sólo se disponía de los seis piezómetros de control construidos por el ITGE, ya que los sondeos del SGOP fueron realizados con posterioridad a la fecha de ejecución del primer ensayo.

A la finalización de éste ensayo, se llevó a cabo una **inspección del macizo filtrante**, procediéndose al escariado manual y eliminación de los 10 centímetros más superficiales del mismo, zona en la que se apreció una acumulación de materiales finos.

*** El segundo ensayo de recarga en superficie, se inició el día 5 de abril de 1.991, dándose por finalizado el día 15 del mismo mes, debido a una avería en el equipo de bombeo.**

Durante éste ensayo, se recargaron unos **76.000 m³ de agua, con un caudal medio de 78 l/s**. Debido la acumulación de aire en la tubería de conducción, ya que ésta no dispone de ventosas para la purga automática, se produjeron importantes fluctuaciones de caudal, variando éste entre 70 l/s. y 85 l/s. **El valor medio de la capacidad de infiltración conseguido fué del orden de 14 m/día.**

Los ascensos máximos, registrados en los piezómetros de control, variaron entre los 5.23 metros del piezómetro 1 y los 0.53 metros del piezómetro 8. Los ascensos residuales, transcurridos 15 días desde la finalización de la recarga, variaron entre 1.52 metros en el piezómetro 9 y 0.49 metros en el piezómetro 8.

EVOLUCION DE NIVELES EN PIEZOMETROS PRIMER ENSAYO DE RECARGA EN SUPERFICIE

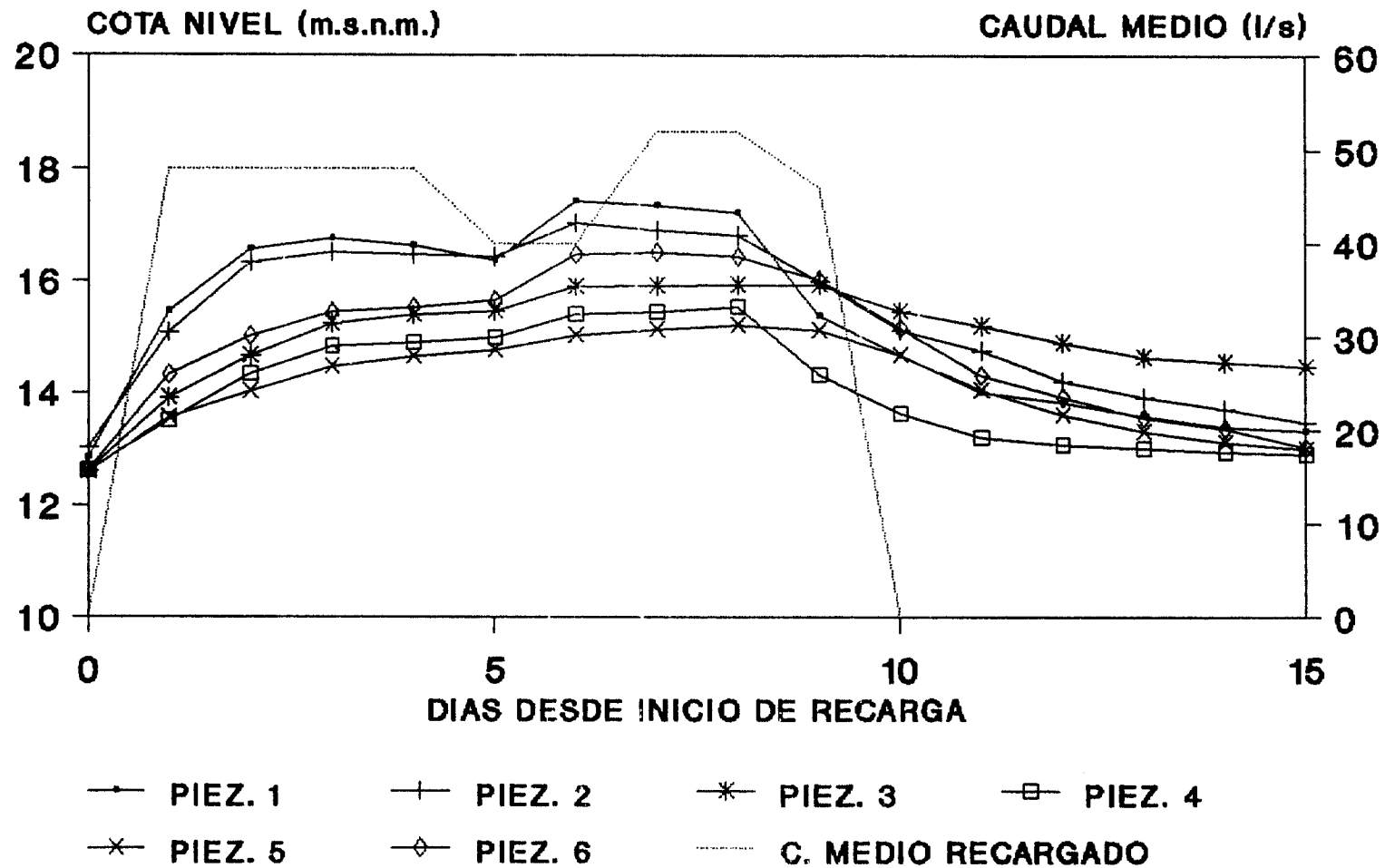


FIGURA N° 11

En el cuadro n° 4, se incluyen los ascensos máximos y los ascensos residuales registrados en los diferentes piezómetros de control, y en la figura n° 12, se puede ver la evolución de niveles en los piezómetros más representativos.

Durante la realización de éste ensayo, se calculó el valor del **coeficiente de transmisividad, en el piezómetro 3** (figura n° 13), obteniéndose unos **valores medios de 420 m²/día, por el método de JACOB y de 305 m²/día aplicando THEIS. Los valores del coeficiente de almacenamiento obtenidos fueron de 16 x 10⁻². (Jacob) y de 9 x 10⁻² (Theis).**

Estos valores resultan algo superiores a los obtenidos en los ensayos de bombeo realizados en la zona, y que oscilan entre 65 m²/día y 276 m²/día (transmisividades referidas, en todos los casos a descenso). Ver anexo n° 4.

EVOLUCION DE NIVELES EN PIEZOMETROS SEGUNDO ENSAYO DE RECARGA EN SUPERFICIE

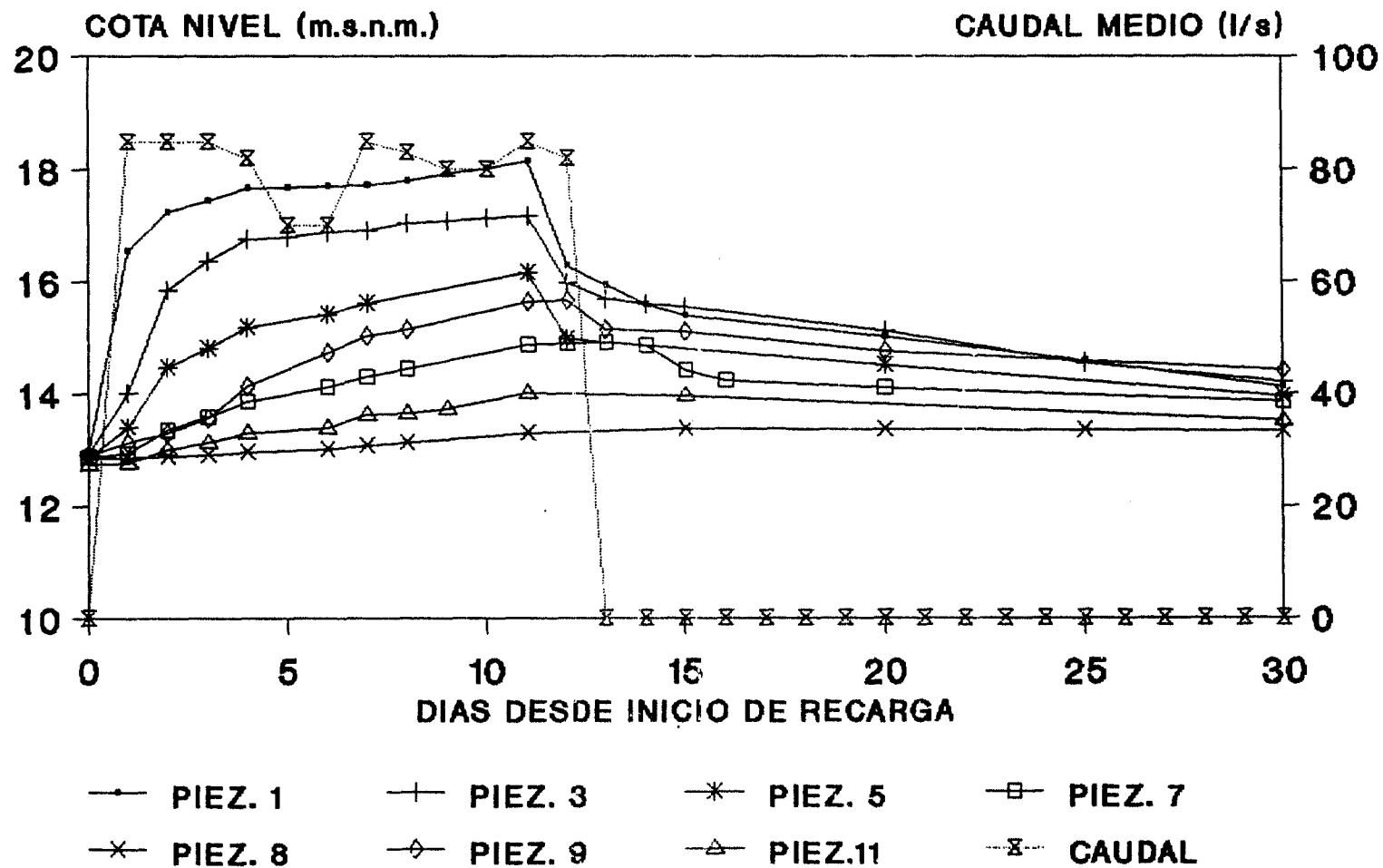
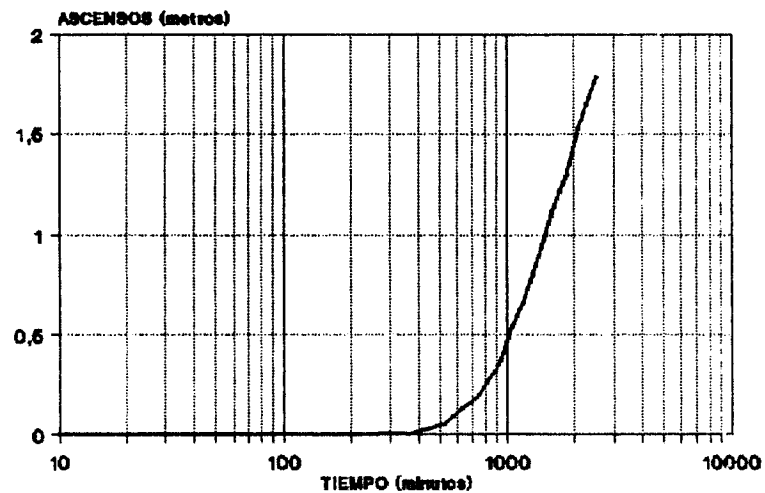
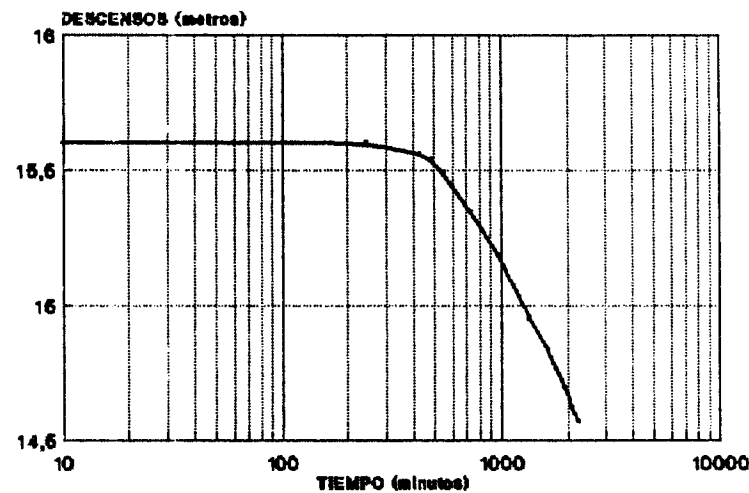


FIGURA Nº 12

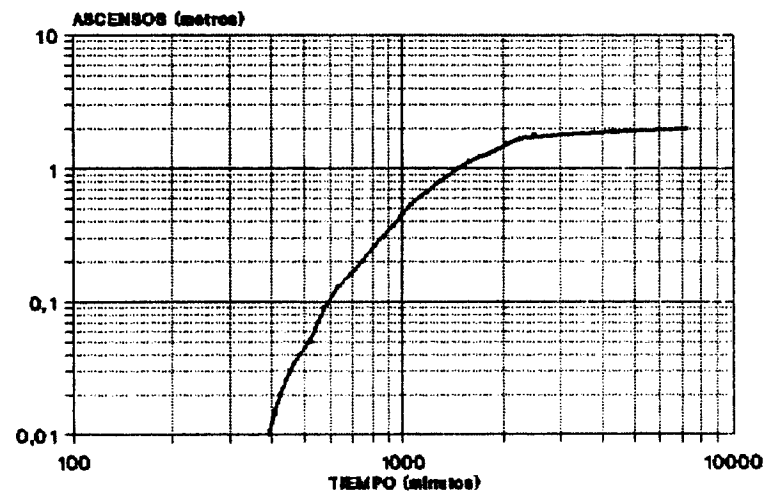
TRANSMISIVIDAD ASCENSO PIEZOMETRO 3
JACOB



TRANSMISIVIDAD DESCENSO PIEZOMETRO 3
JACOB



TRANSMISIVIDAD ASCENSO PIEZOMETRO 3
THEIS



TRANSMISIVIDAD DESCENSO PIEZOMETRO 3
THEIS

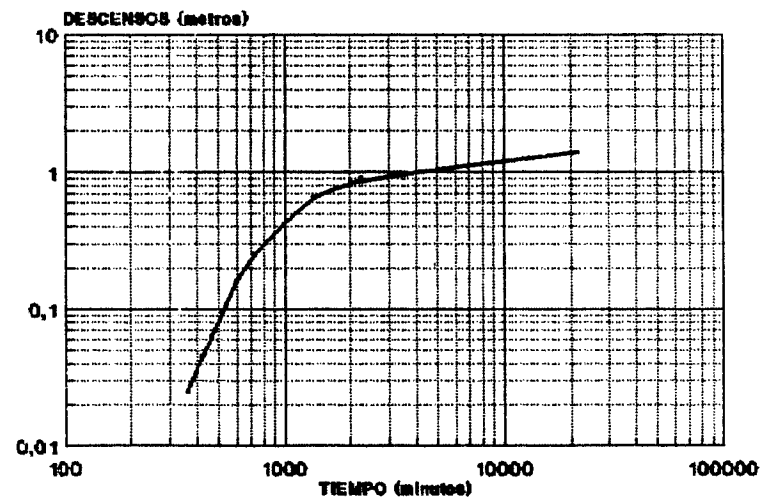


FIGURA 13

CUADRO n° 4
ASCENSOS MAXIMOS REGISTRADOS, DURANTE EL SEGUNDO ENSAYO DE
RECARGA.

PIEZOMETRO NUMERO	DISTANCIA A Balsa DE INFILTRACION (m)	ASCENSO MAXIMO (m)	ASCENSO RESIDUAL (m)
1	14	5,23	1,21
2	34	4,75	1,26
3	44	4,22	1,29
4	47	3,59	1,03
5	53	3,32	1,11
6	36	4,50	1,14
7	90	2,00	0,99
8	155	0,53	0,49
9	175	2,74	1,52
10	35	3,16	1,05
11	110	1,27	0,78

- Las distancias a la balsa de infiltración están referidas, en todos los casos, al centro geométrico de la misma.
- El valor indicado, de ascenso residual corresponde a 15 después de finalizar el ensayo de recarga.

El control de la altura de agua en la balsa de infiltración se llevó a cabo, de manera continua con el limnógrafo instalado al efecto y, de forma periódica, a través de lecturas directas en la escala limnimétrica de la balsa. Para la transformación rápida de alturas en volúmenes, se confeccionó el programa AFOREC (anexo n° 9). La curva de altura-volumen obtenida mediante éste programa, se adjunta en la figura n° 14.

RELACION ALTURA-VOLUMEN EN Balsa DE INFILTRACION (PROGRAMA AFOREC)

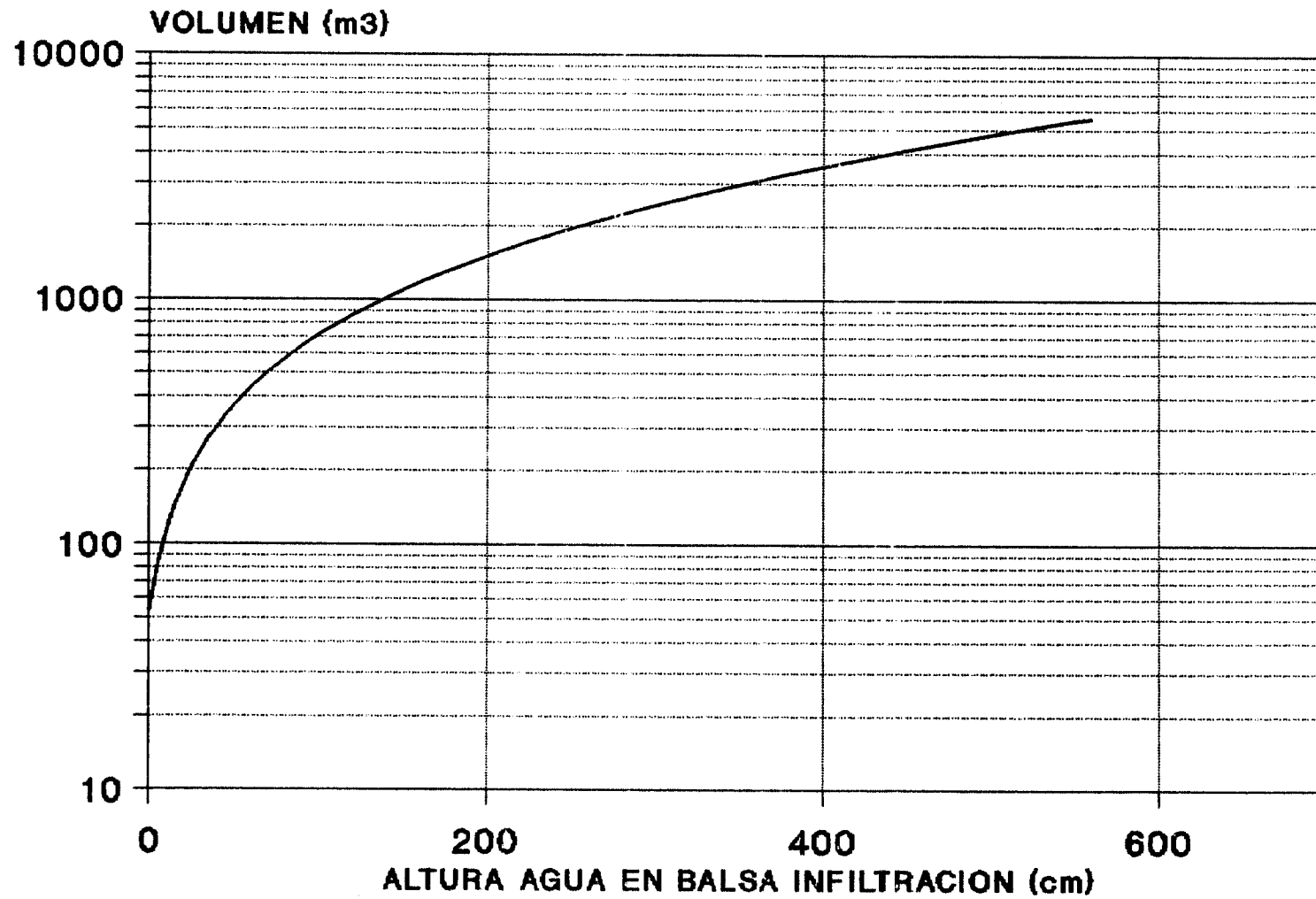


FIGURA 14

La altura de la lámina de agua en la balsa de infiltración siguió, durante la realización del ensayo, la evolución que se muestra en la figura n° 15.

Durante las cuatro primeras horas, se produjo un ascenso rápido del agua, que se vió amortiguado sensiblemente en las 4 siguientes. A las ocho horas de comenzado el llenado de la balsa de infiltración, el nivel de agua en la misma comenzó a descender de forma rápida y continua, observandose durante ésta fase la existencia de tres zonas de infiltración preferente, que actuaban como auténticos **sumideros**.

A la finalización de este ensayo, se llevó a cabo una **inspección del estado del macizo filtrante**, en diferentes puntos de la balsa de infiltración, constatandose la presencia de finos acumulados en los 3-4 centímetros más superficiales, por lo que se procedió a la retirada manual de unos 8 centímetros del mismo.

En las tres zonas de infiltración preferente, antes mencionadas, el filtro fué arrastrado y quedó parcialmente desmantelado, dejando visible tres cavidades, alineadas según una dirección Noroeste-Sureste, y que parecen corresponder a una zona de fracturas, bien desarrolladas.

Para evitar éste problema, en futuros ensayos, se procedió a sanear éstas zonas y a su relleno con grava gruesa, sobre la que se volvió a instalar el macizo de arena.

8.1.2.- Ensayo de larga duración

8.1.2.1.- **Condiciones de operación.**

El tercer ensayo de recarga en superficie, se llevó a cabo entre el 23 de mayo y el 6 de agosto de 1.991. El volumen recargado, durante los 76 días que duró la experiencia, fué de 326.000 m³, con un caudal medio de unos 38 litros/segundo.

La acumulación de aire en la tubería de conducción, que obligó a frecuentes

EVOLUCION ALTURA LAMINA DE AGUA
EN Balsa DE INFILTRACION

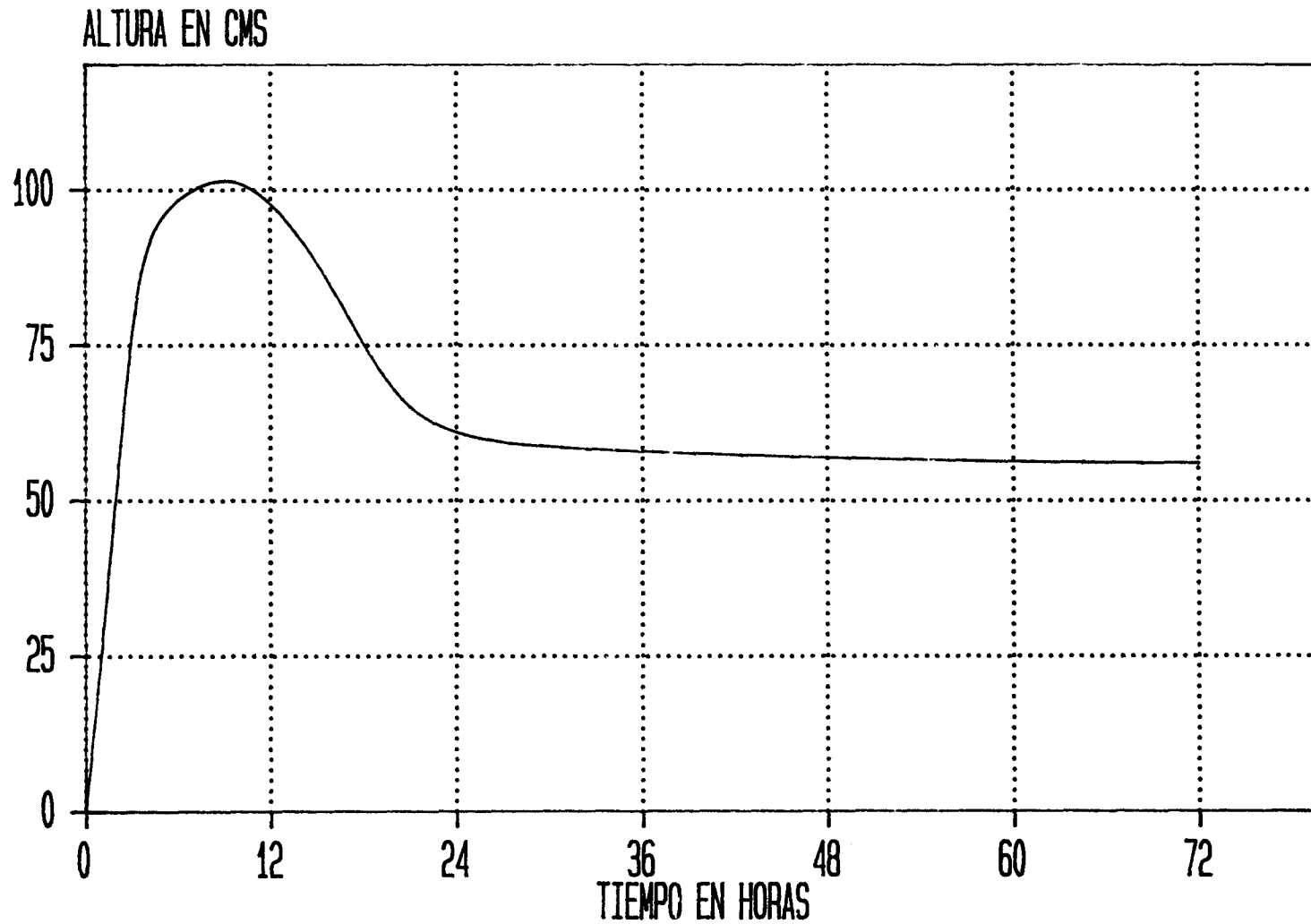


FIGURA 15

operaciones de purga, la parcial obturación por maleza y plásticos de la alcachofa de aspiración, el rápido desgaste de los prensas de la bomba, y los cortes de fluido eléctrico, frecuentes en la zona, impidieron mantener un caudal de bombeo más o menos continuo, oscilando éste entre 80 l/s. y 10 l/s.

La altura de la lámina de agua en la balsa de infiltración varió, en función del caudal bombeado desde el canal del Bajo Guadalquivir, **entre 1.20 metros y 5 centímetros** aunque, excepto durante las 8 primeras horas, al igual de lo que ocurriera en el segundo ensayo, siempre se mantuvo por debajo de los 0.55 metros (ver figura 15).

Durante la realización de la experiencia de recarga artificial, se **bombearon 280.000 m³ de agua en el pozo 1241-3-073**, situado a una distancia de 300 metros en dirección Noreste, del punto de recarga, empleándose el agua extraída para riego de algodón. En el pozo 1241-3-071, situado a 145 metros en dirección Noroeste del punto de recarga, se extrajo, durante éste período, un volumen de unos 500 m³.

8.1.2.2.- Resultados obtenidos.

Se analizan en éste epígrafe los resultados obtenidos mediante el seguimiento de la experiencia de recarga artificial de larga duración.

A.- Tasa de infiltración.

Durante el **ensayo de larga duración**, se consiguió una **tasa de infiltración media de 9 metros/día**, con valores superiores a los 14 metros/día, para los primeros días de la experiencia, en los que el caudal bombeado fué mayor.

B.- Evolución de niveles.

Los **ascensos máximos**, registrados en los piezómetros de observación,

oscilaron, tal y como puede verse en el cuadro n° 5, entre **5.12 metros y 0.92 metros**. En los piezómetros más próximos a la zona de recarga, el ascenso de nivel fué mayor y se produjo de forma rápida, alcanzandose los máximos incrementos en los 15 primeros días de recarga, mientras que en los más alejados, el valor máximo no se registró hasta transcurridos 43 días desde le inicio del ensayo. Ver figura n° 16.

La distribución espacial de los máximos ascensos registrados, en el entorno próximo al área de recarga, queda reflejada en la figura n° 17.

Según puede observarse en la figura 18.a, **durante las 24 primeras horas de recarga**, momento en el que predomina el flujo vertical, **se produce una rápida elevación de los niveles en las proximidades del área de recarga**, lo que provoca un fuerte gradiente hidráulico, del orden del 2.5 %.

Durante los siguientes 15 días, tiene lugar una lenta expansión en sentido horizontal del domo y una amortiguación en la elevación del mismo bajo la balsa de infiltración (figura 18.b), así como un decrecimiento progresivo de los gradientes provocados durante la fase inicial.

Transcurridos 15 días, desde el inicio de la experiencia, los niveles en el área más próxima a la balsa de infiltración se estabilizan, predominando, a partir de ese momento el desplazamiento del agua en sentido horizontal, éste hecho se traduce en una elevación, relativamente rápida, de niveles en los puntos de observación más alejados de la zona de recarga y en una **disminución progresiva de los gradientes hidráulicos**, que pasan a ser del orden del 1.5 % (figura 18.c).

En la última fase (figura 18.d), se observa una clara tendencia a la estabilización de niveles en las zonas más alejadas del área de recarga.

Tras el cese de la experiencia, se produce un rápido decrecimiento del domo, bajo la balsa de infiltración, y un progresivo y lento descenso de niveles en las zonas más alejadas de ésta, hasta lograrse una situación hidrodinámica similar a la existente

EVOLUCION NIVELES PIEZOMETRICOS EN AREA DE RECARGA. ENSAYOS 2 Y 3.

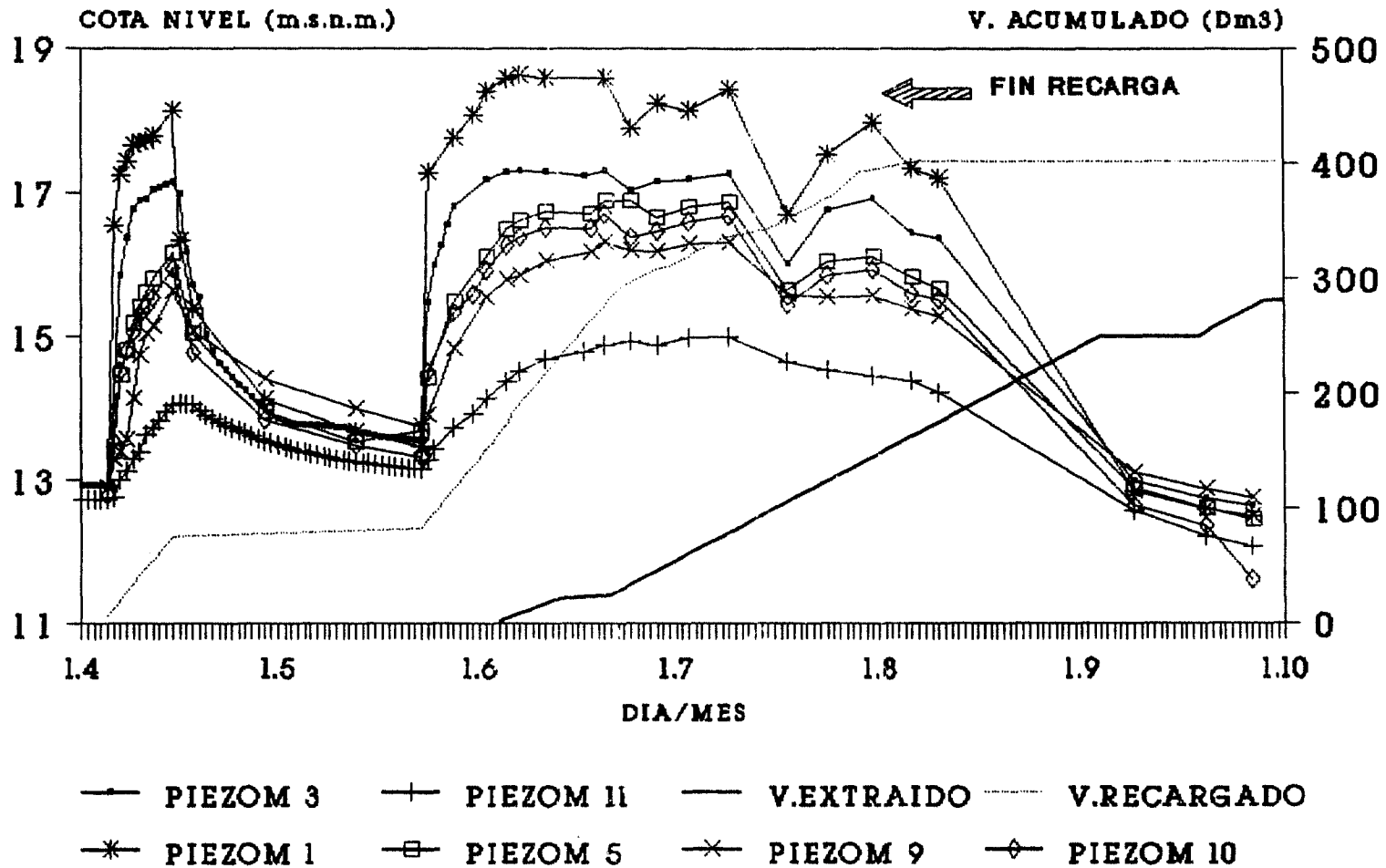
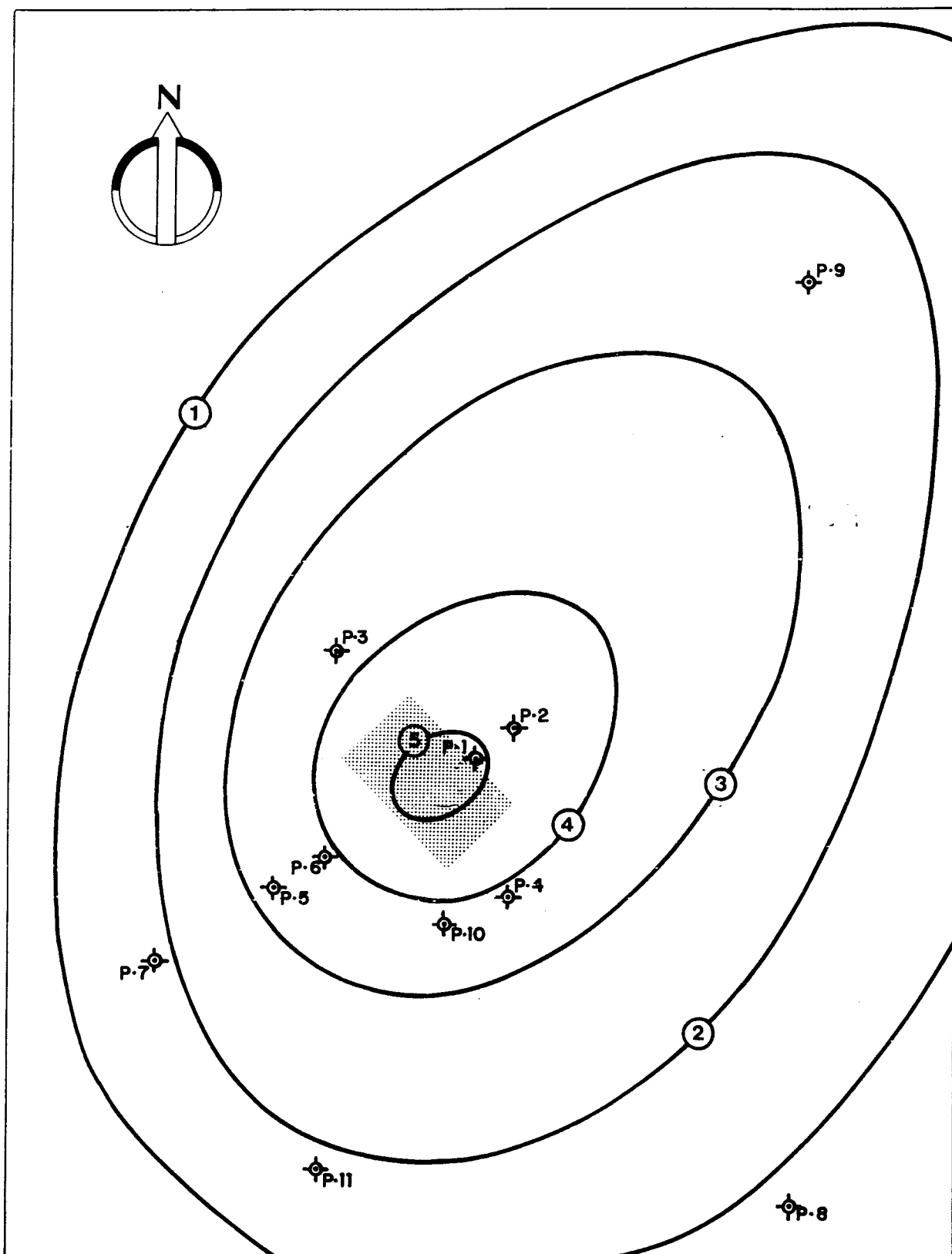





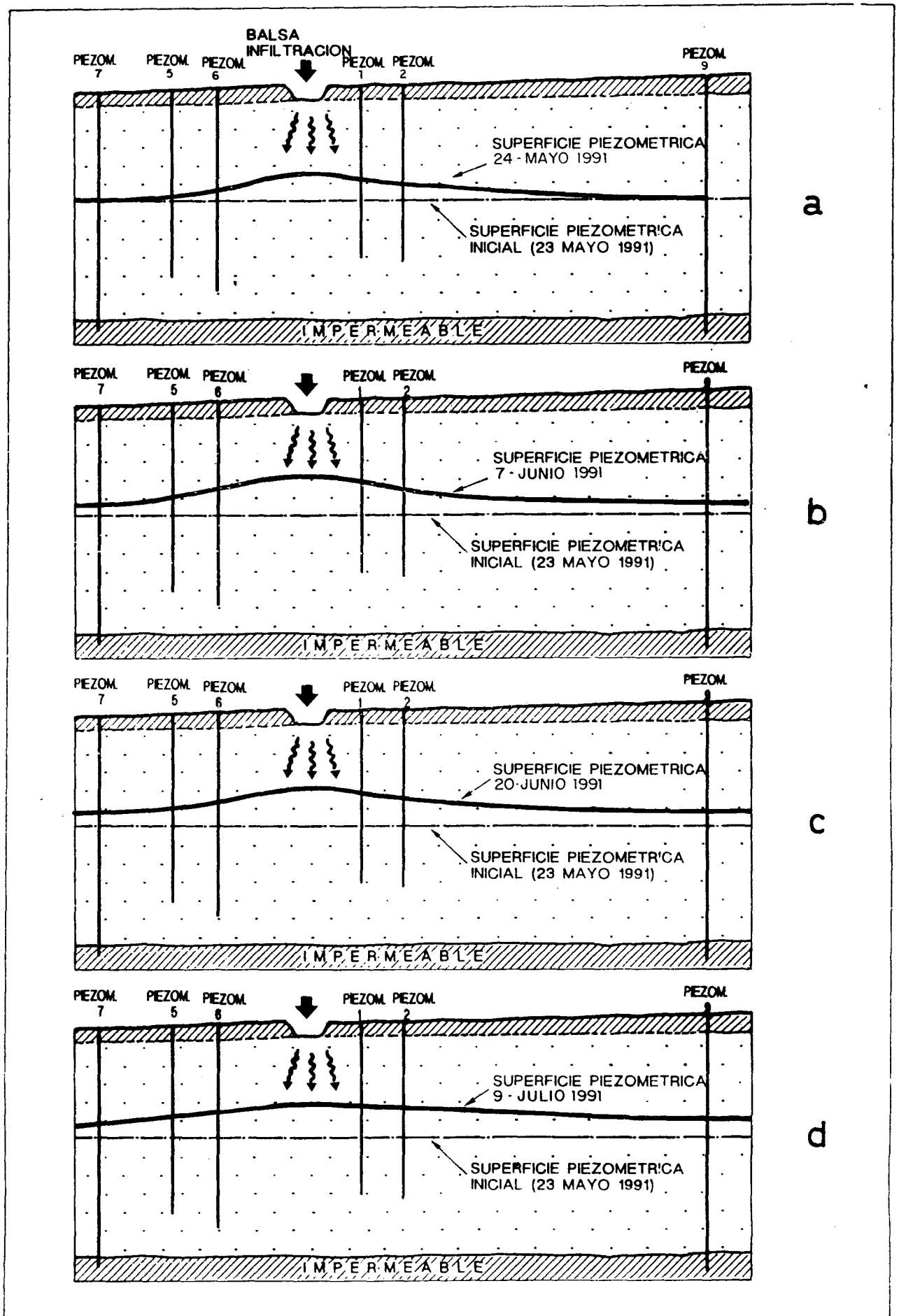
FIGURA N° 16



-  *PIEZOMETRO DE CONTROL Y NUMERO IDENTIFICACION*
-  *LINEA DE IGUAL ASCENSO MAXIMO Y VALOR EN METROS*
-  *BALSA DE INFILTRACION*



EVOLUCION PIEZOMETRICA TERCER ENSAYO DE RECARGA EN SUPERFICIE



antes de iniciarse el ensayo.

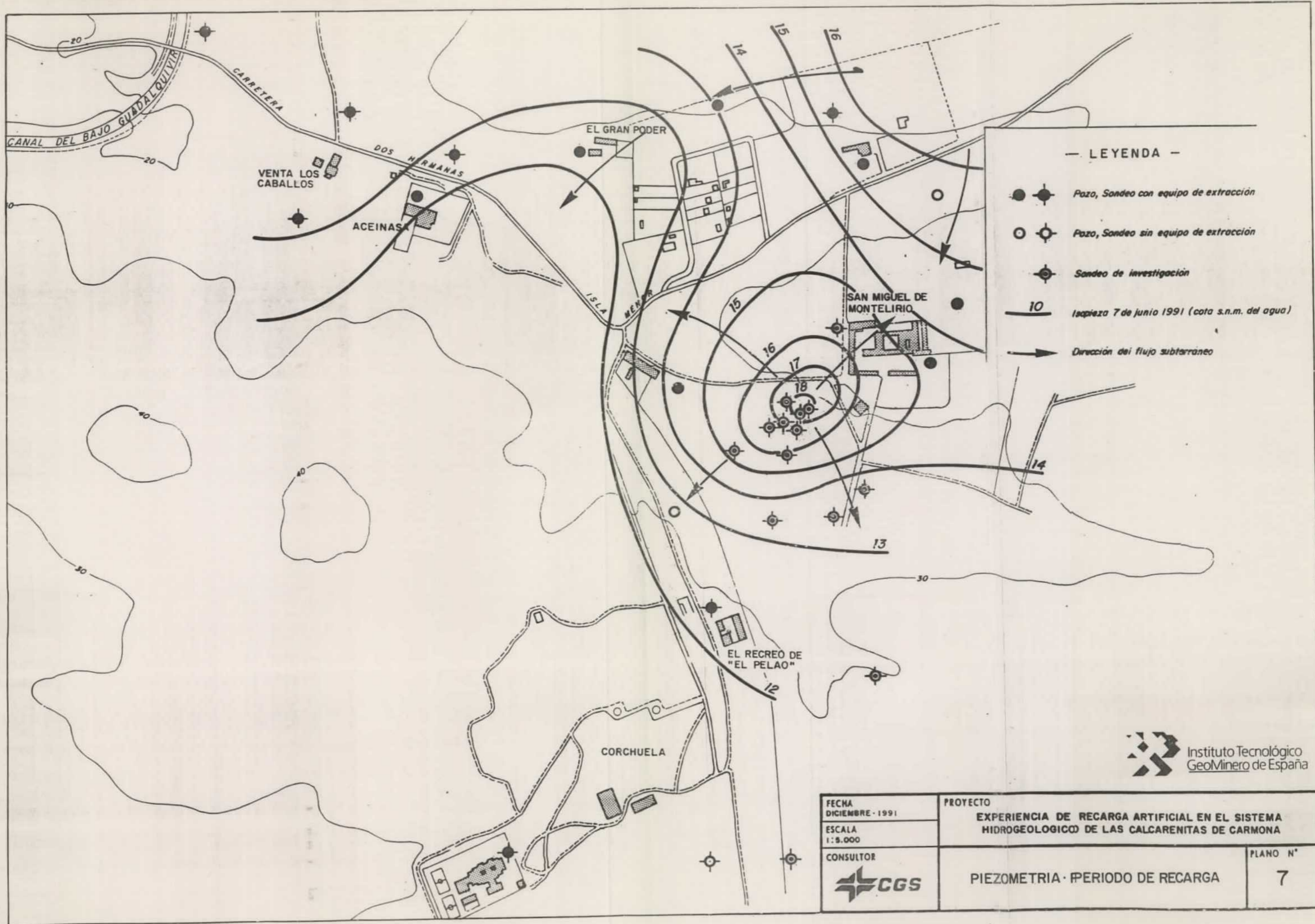
CUADRO n° 5

ASCENSOS MAXIMOS REGISTRADOS EN LOS PIEZOMETROS DE CONTROL

PIEZOMETRO NUMERO	DISTANCIA A Balsa DE INFILTRACION (m)	ASCENSO MAXIMO (m)	DIAS TRANSCURRIDOS DES-DE INICIO RECARGA
1	14	5,12	15
2	34	4,46	15
3	44	3,75	28
4	47	3,89	28
5	53	3,21	28
6	36	3,87	28
7	90	2,30	43
8	155	0,92	43
9	175	2,57	28
10	35	3,38	28
11	110	1,84	37

- Las distancias están referidas, en todos los casos, al centro geométrico de la balsa de infiltración.
- El valor indicado, de ascenso residual, corresponde a los 15 días de finalizado el ensayo de recarga artificial.

Las medidas de nivel realizadas en 30 puntos de la zona, ha permitido elaborar el mapa piezométrico correspondientes al 7 de junio de 1.991 (fecha en la que se produce la estabilización de niveles en el entorno de la balsa de infiltración (plano n° 7), y en el cual puede apreciarse claramente la alteración del sentido del flujo subterráneo provocado por la recarga.



— LEYENDA —

- Pozo, Sondeo con equipo de extracción
- Pozo, Sondeo sin equipo de extracción
- Sondeo de investigación
- 10 Isopieza 7 de junio 1991 (cota s.n.m. del agua)
- Dirección del flujo subterráneo

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

FECHA DICIEMBRE · 1991	PROYECTO EXPERIENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCARENITAS DE CARMONA	
ESCALA 1:5.000		
CONSULTOR 	PIEZOMETRIA · PERIODO DE RECARGA	PLANO N° 7

El día 21 de octubre de 1.991 (transcurridos 45 días desde la finalización del ensayo de recarga, se llevó a cabo una nueva campaña de medidas piezométricas, en los 30 puntos existentes en el entorno próximo al área de recarga, así como en otros 30 puntos situados a mayor distancia de la misma. Los datos obtenidos en dicha campaña, permitieron la elaboración del mapa piezométrico local (plano n° 8), y del mapa piezométrico general (plano n° 9), en los que se aprecia el **restablecimiento casi absoluto de las condiciones naturales del flujo subterráneo.**

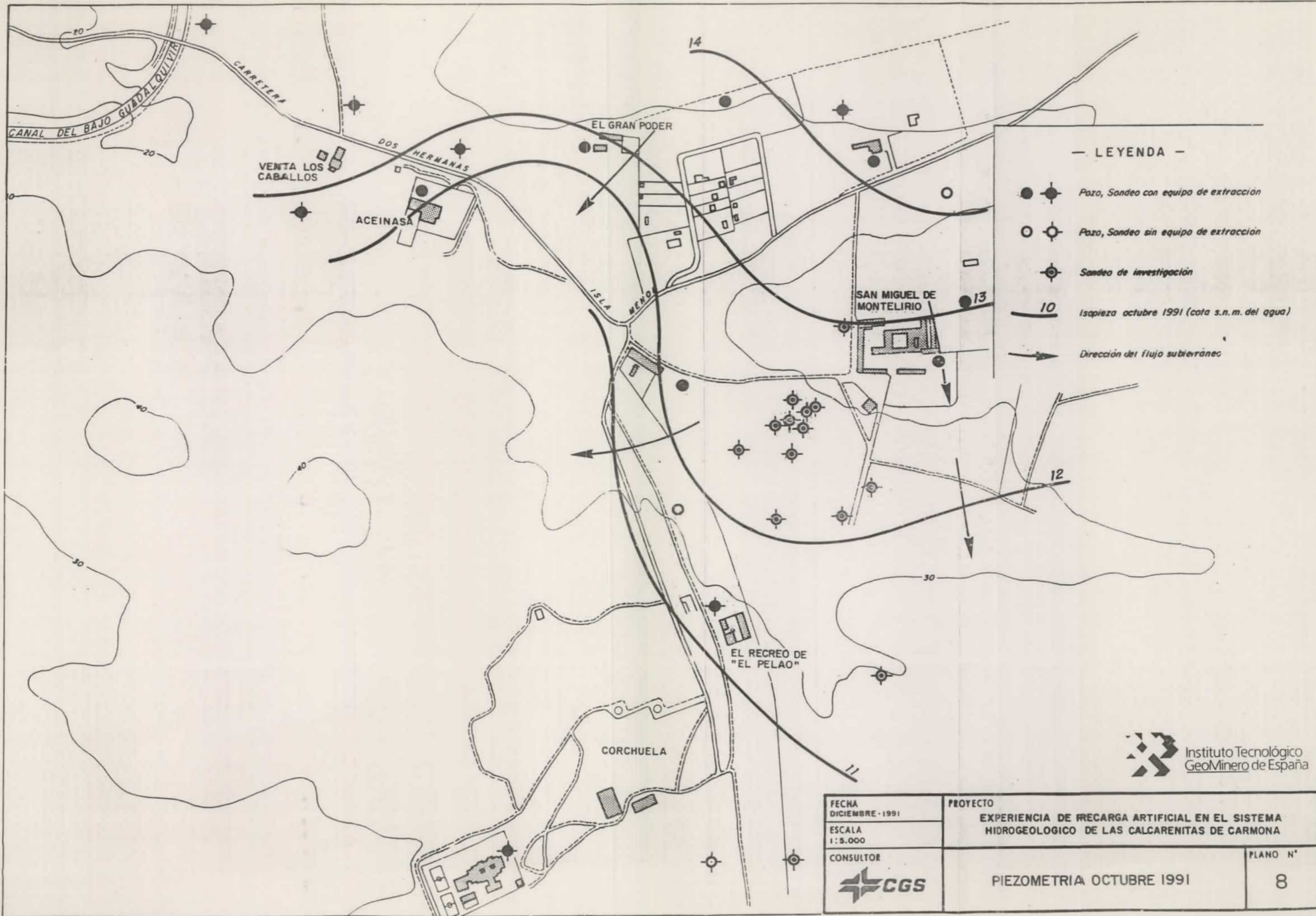
Comparando las piezometrías correspondientes a octubre de 1.990 (plano n° 6) y octubre de 1.991 (plano n° 8), se aprecia que, entre ambas fechas, **el ascenso medio de niveles en la zona próxima al área de recarga es de 1 metro**, a pesar de que la lluvia registrada entre octubre del 90 y octubre del 91 (608 mm), fué sensiblemente inferior a la registrada entre octubre del 89 y Octubre del 90 (873 mm), y de que el volumen de agua subterránea extraída en el entorno del área de recarga, fué mayor en el período comprendido entre octubre de 1.990 y octubre de 1.991 (unos 280.000 m³), que en el período octubre de 1989-Octubre de 1.990 (unos 190.000 m³).

C.- Parámetros hidráulicos.

El perfil de ascensos obtenido con los datos tomados en los piezómetros de control, ha permitido el **cálculo de la transmisividad en la zona por el método de Theis (figura 19.a) y por el método de Thiem (figura 19.b)**, para el período de estabilización de los niveles en los sondeos más cercanos al área de recarga (15 días después de iniciado el ensayo).

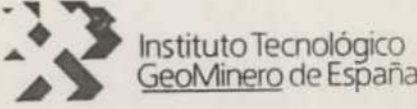
En ambos casos, se obtienen valores muy similares (**280 m²/día, aplicando Theis, y 300 m²/día por Thiem**), y del mismo orden que los calculados, para el piezómetro 3, por Jacob y Theis durante la realización del segundo ensayo de recarga (**420 m²/día y 305 m²/día, respectivamente**).

Mediante Jacob y Theis, se calculó la transmisividad, para los diferentes



— LEYENDA —

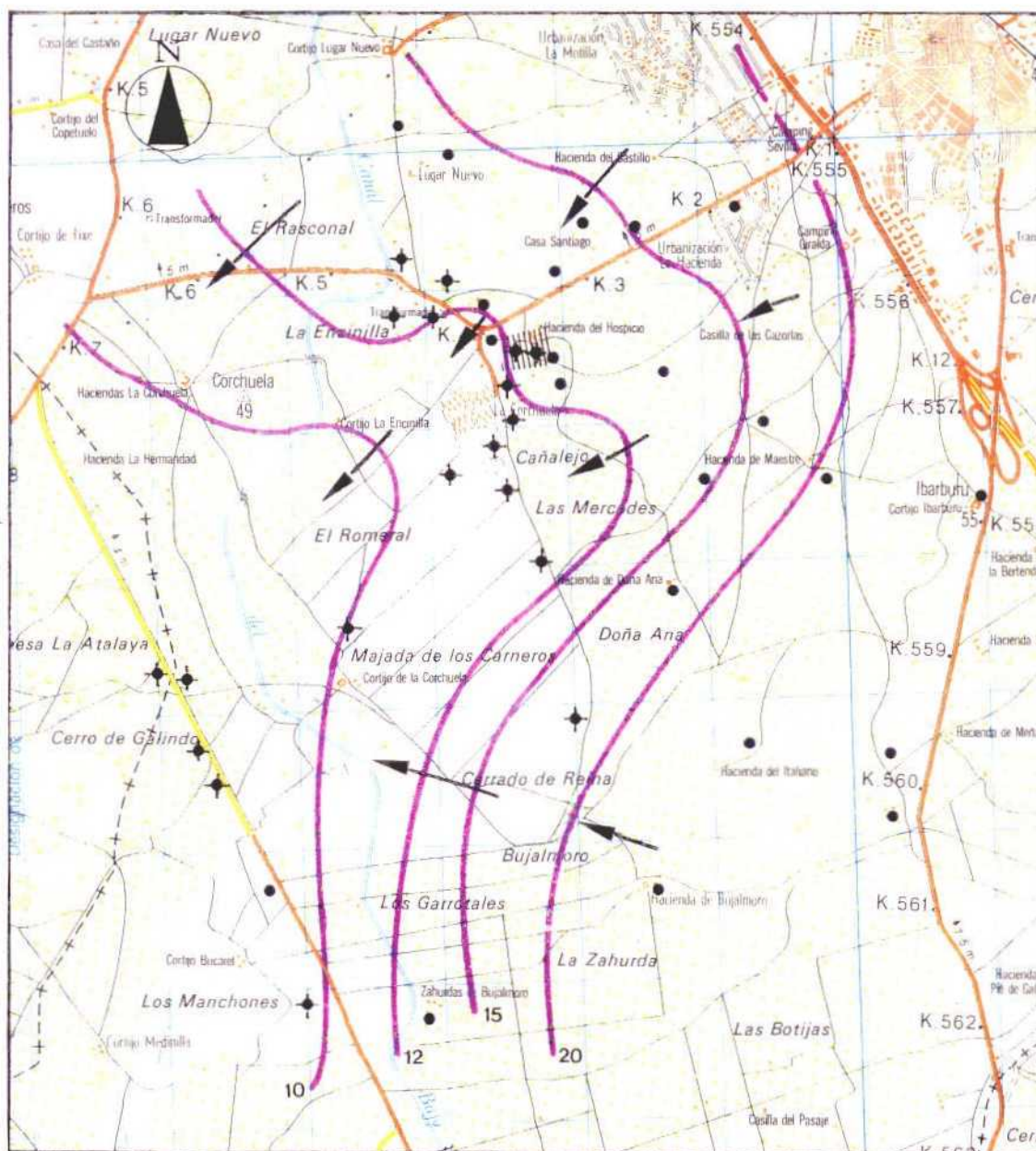
- ● Pozo, Sondeo con equipo de extracción
- ● Pozo, Sondeo sin equipo de extracción
- ● Sondeo de investigación
- 10 Isopieza octubre 1991 (cota s.n.m. del agua)
- Dirección del flujo subterráneo



FECHA DICIEMBRE · 1991	PROYECTO EXPERIENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL SISTEMA HIDROGEOLOGICO DE LAS CALCARENTAS DE CARMONA	
ESCALA 1 : 5.000		
CONSULTOR 	PIEZOMETRIA OCTUBRE 1991	PLANO N° 8

MAPA DE ISOPIEZAS

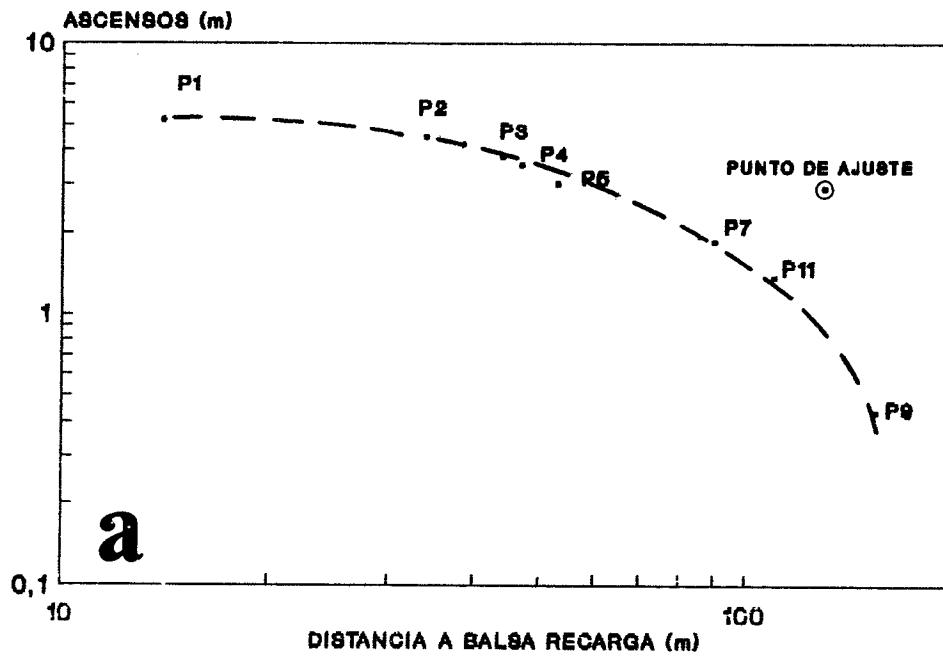
(Octubre 1991)



ESCALA 1:50.000

- 15 Isopieza Octubre 1991 (15) cota s.n.m. del agua
- ◆ Pozo, sondeo de control piezométrico
- Area de recarga
- Dirección del flujo subteraneo

PERFIL DE ASCENSOS
(A los 15 días de iniciada la recarga)



PERFIL DE ASCENSOS
(A los 15 días de iniciada la recarga)

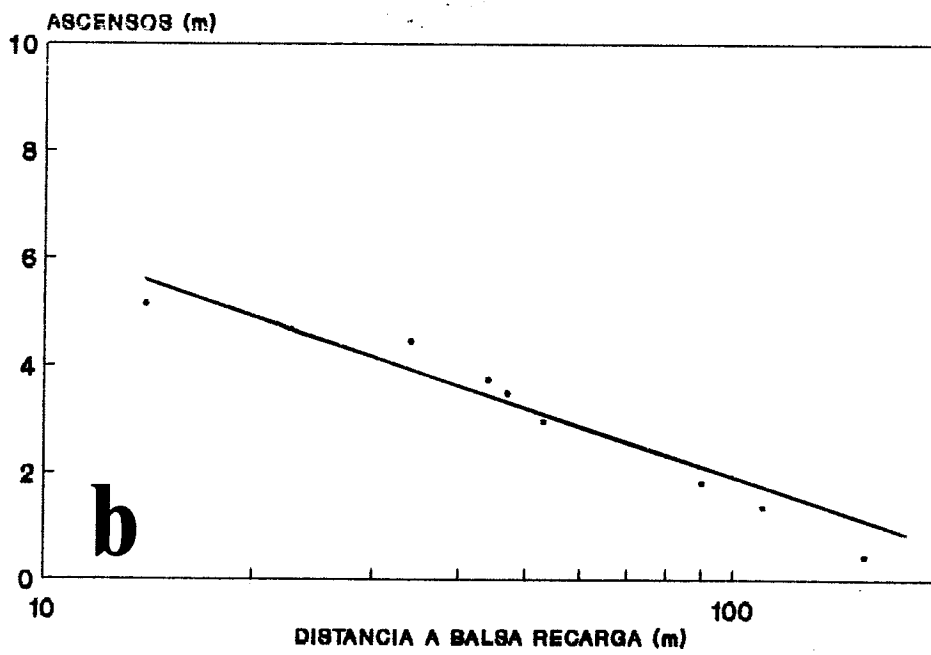


FIGURA 19

piezómetros (figura 20), obteniéndose valores variables entre 225 m²/día y 760 m²/día (por Jacob) y 230 m²/día y 520 m²/día (por Theis), con valores medios de 385 m²/día y 305 m²/día, respectivamente. El máximo valor se obtuvo, mediante ambos métodos en el piezómetro 8.

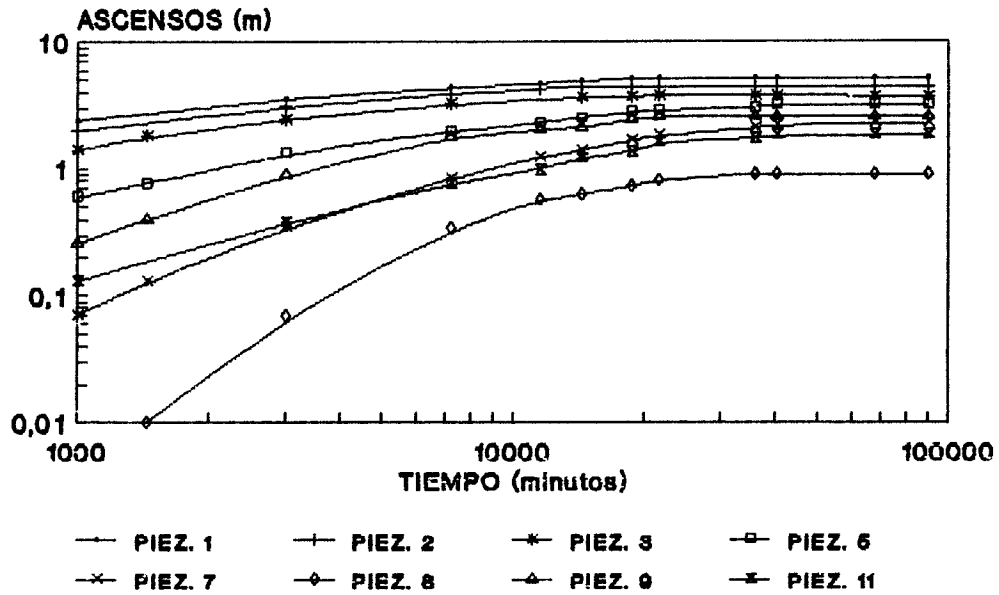
Por analogía con el coeficiente de almacenamiento (S), obtenido mediante la realización de ensayos de bombeo, se ha calculado, durante el ensayo de recarga, el coeficiente de llenado (R), que se define como el volumen de agua almacenado por un prisma de terreno de sección unidad, para una elevación unidad del nivel piezométrico. Los valores obtenidos, por el método de Jacob, oscilan entre 11×10^{-2} y 28×10^{-2} , mientras que los deducidos por Theis, varían entre 9×10^{-2} y 32×10^{-2} . En el cuadro n° 6, se exponen, a modo de resumen, los valores de los parámetros hidrogeológicos obtenidos por aplicación de los diferentes métodos.

CUADRO n° 6.- PARAMETROS HIDRAULICOS AREA DE RECARGA

METODO DE CALCULO	N° ENSAYO	TRANSMISIVIDAD (m ² /día)			COEFICIENTE DE LLENADO (R)
		MAXIMA	MINIMA	MEDIA	
JACOB	2	-	-	420	16×10^{-2}
THEIS	2	-	-	305	9×10^{-2}
THEIS	3	520	230	305	9×10^{-2} - 32×10^{-2}
THIEM	3	-	-	300	-
JACOB	3	760	225	385	10×10^{-2} - 28×10^{-2}

(1) En períodos prolongados de recarga, normalmente se obtienen, en las zonas más alejadas del área de recarga o inyección, valores de coeficiente potencial de llenado muy superiores al coeficiente de almacenamiento real. En éstos casos, la determinación de R, se debe hacer por métodos nucleares (sonda de neutrones o gamma natural).

**CURVAS ASCENSO-TIEMPO PARA CALCULO
DE TRANSMISIVIDADES POR THEIS**



**CURVAS ASCENSO-TIEMPO PARA CALCULO
DE TRANSMISIVIDADES POR JACOB**

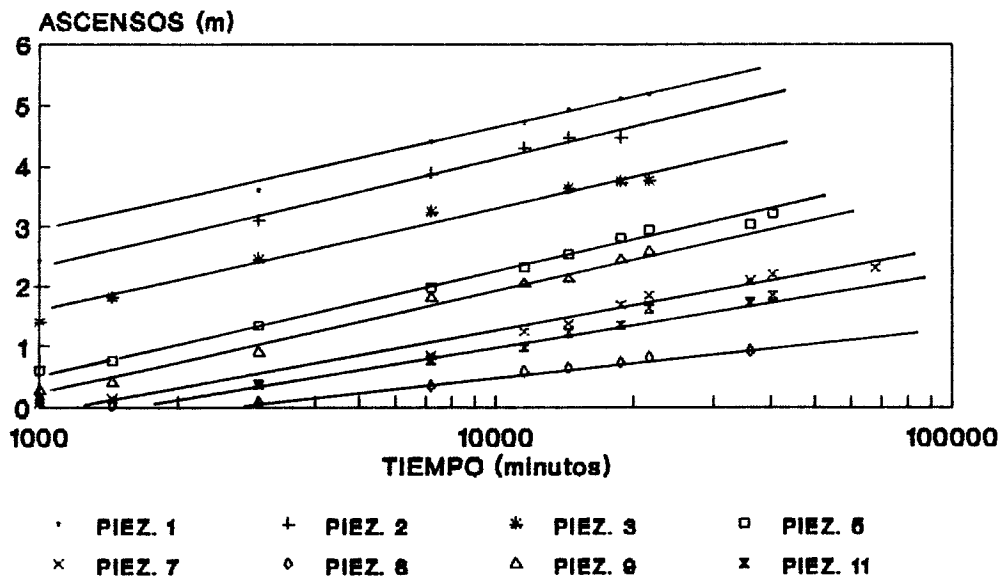


FIGURA 20

D.- Superficie afectada por la recarga artificial.

Con los registros de evolución piezométrica, obtenida en los 11 piezómetros de control existentes, se ha determinado, con un margen de error aceptable, la superficie total afectada por la experiencia de recarga artificial.

El radio máximo de influencia, calculado por extrapolación de los gradientes hidráulicos observados (figura 21 y figura 22), **resulta ser de diferente magnitud en función de la dirección considerada**, hecho que pone de manifiesto una falta de homogeneidad en el medio receptor debida, posiblemente, a la existencia de zonas con mayor densidad de fractura y, por consiguiente con mayores valores de permeabilidad. Así, mientras **hacia el Sur y hacia el Oeste, el radio de influencia es de unos 250 metros, hacia el Norte resulta ser de 300 metros y hacia el Este de 450 metros**. Según éstos datos, **la superficie afectada por la recarga, resulta ser de unos 320.000 m²**.

Aplicando Jacob y Theis, se obtienen radios de influencia medios, para un período de recarga de 120 días, de 800 y 650 metros, respectivamente. Para los 15 primeros días de recarga, el radio de influencia calculado, mediante Thiem, fué de 280 metros.

E.- Calidad del agua.

Los análisis físico-químicos y bacteriológicos, realizados durante el segundo ensayo de recarga (anexo 5) sobre muestras tomadas en diferentes puntos de control, situados a distancias variables entre 35 metros y 350 metros de la balsa de infiltración, ponen de manifiesto que **las características del agua subterránea no ha sufrido ninguna variación significativa**, con respecto a los análisis efectuados antes de la realización del ensayo.

EVOLUCION NIVELES ENSAYO RECARGA PERFIL 1 (P9-P2-P1-P10-P11)

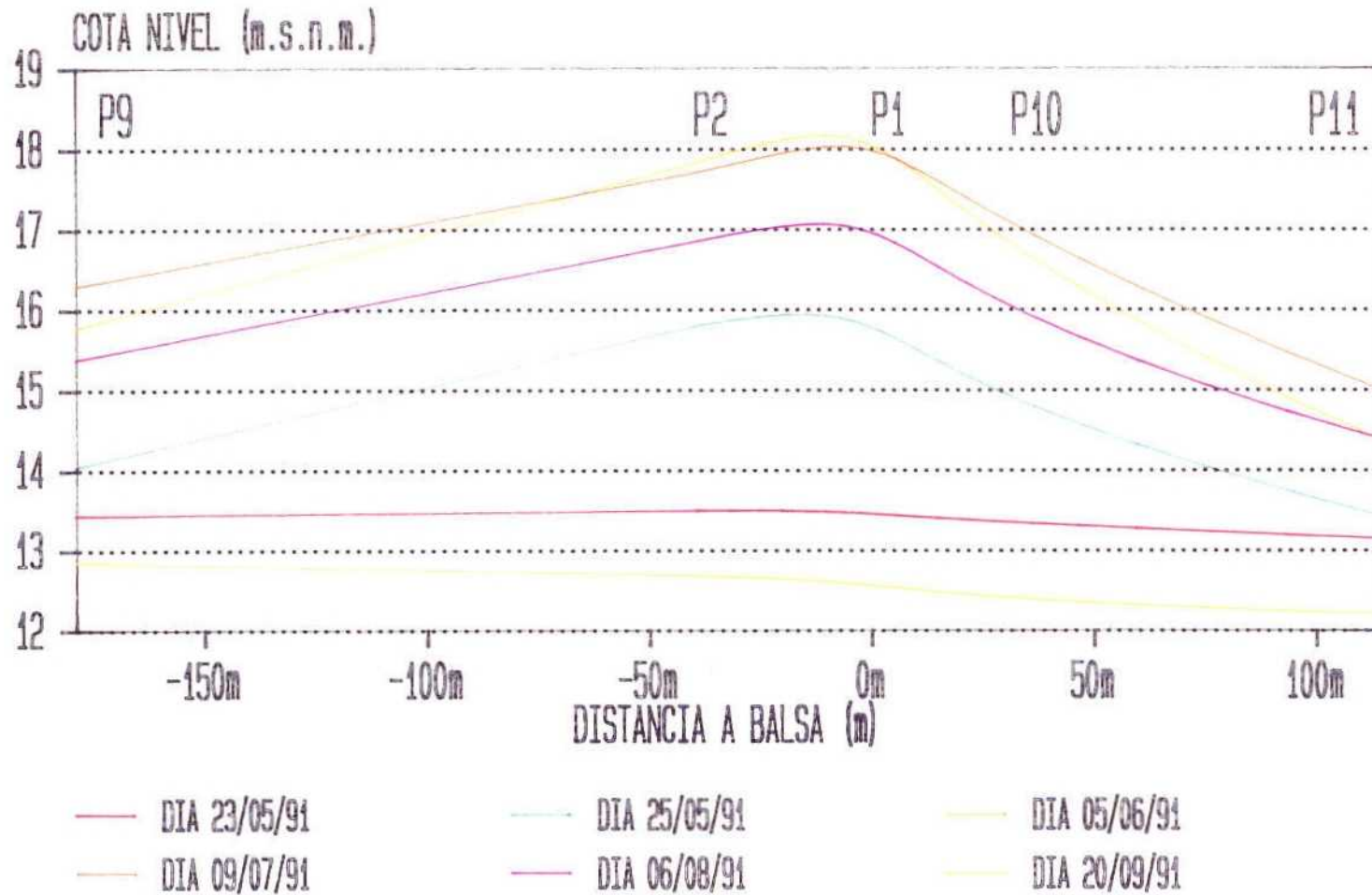
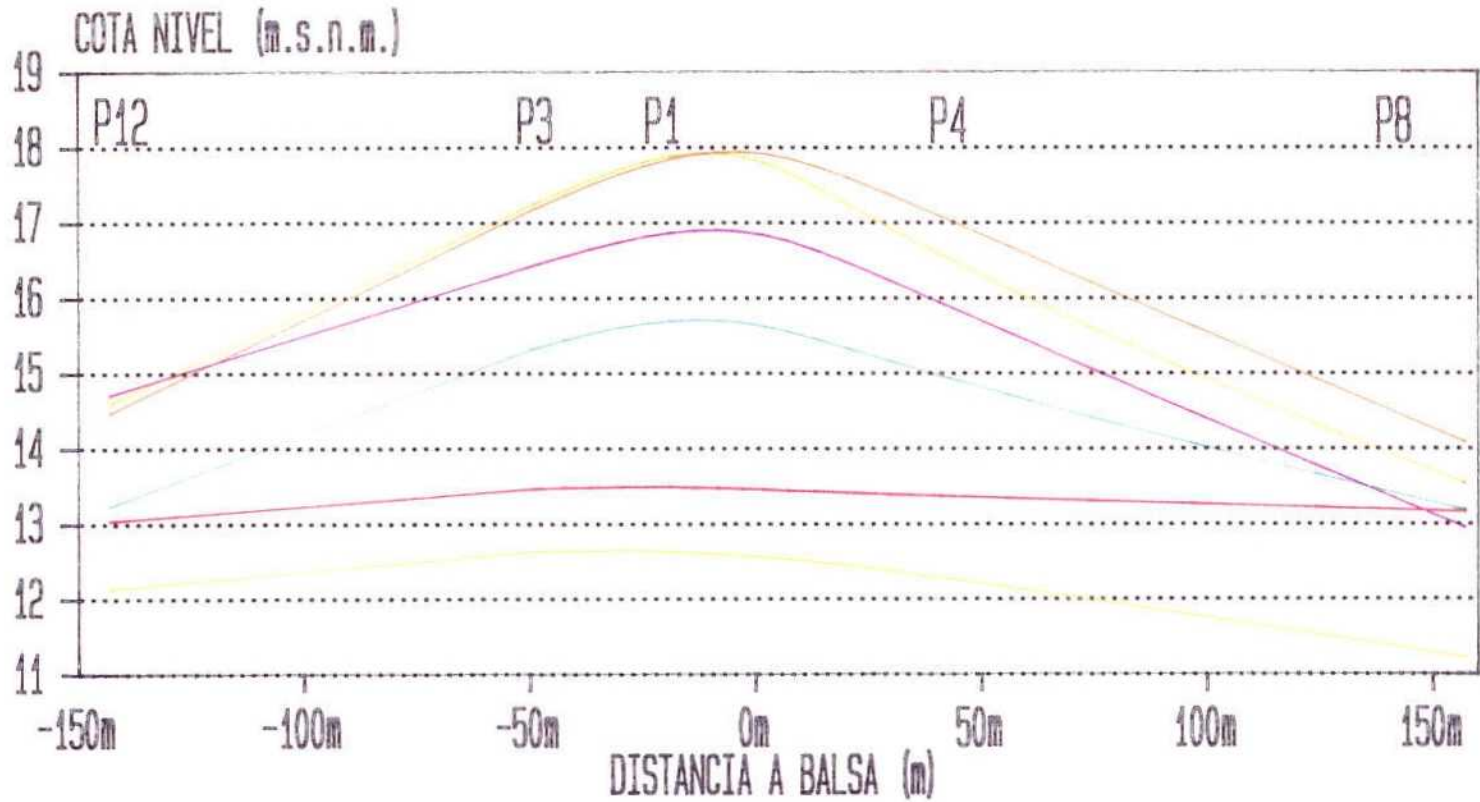


FIGURA 21

EVOLUCION NIVELES ENSAYO RECARGA PERFIL 3 (P12-P3-P1-P4-P8)



— DIA 23/05/91	— DIA 25/05/91	— DIA 05/06/91
— DIA 09/07/91	— DIA 06/08/91	— DIA 20/09/91

FIGURA 22

8.2.- Ensayo de recarga en profundidad.

Entre el 28 de octubre y el 3 de noviembre de 1.991, se llevó a cabo un cuarto ensayo de recarga artificial empleándose, en este caso, el método de recarga en profundidad. Aunque, en principio estaba previsto que la duración mínima de la experiencia fuera de 15 días, el descenso de la altura de lámina de agua en el canal del Bajo Guadalquivir, obligó a darlo por finalizado a los 7 días de su inicio.

Para llevar a cabo el ensayo, fué necesaria la construcción de un pozo, de 10 metros de profundidad y 1.20 metros de diámetro, y con una superficie útil de infiltración de 28 m². Las características constructivas de éste pozo, se describen con detalle en el capítulo 6, epígrafe 6.1.

Según se esquematiza en la figura 10, el agua bombeada desde el canal del Bajo Guadalquivir, se introducía por gravedad al interior del pozo a través de una tubería de PVC, instalada al efecto, y tras ser sometida ésta a un proceso previo de decantación.

El ensayo se inició, el día 28 de octubre, con un caudal de 10 l/s, que tuvo que ser reducido en los días siguientes, ya que el pozo era incapáz de infiltrar dicho caudal, a 8 l/s (29 de octubre) y a 6 l/s desde el día 30 de octubre hasta la finalización de la experiencia, el día 3 de noviembre, por lo que el caudal medio, para los 7 días del ensayo, resultó ser de 6.8 l/s.

El volumen total infiltrado fué de unos 3.600 m³, lo que supone una tasa de infiltración media, considerando una superficie útil de recarga de 28 m², de 18 metros/día. Sin embargo, la corta duración del ensayo, resta representatividad a los resultados obtenidos.

Los ascensos registrados durante el ensayo, en los piezómetros de control, quedan reflejados en la figura nº 23 y en el cuadro nº 7. En dicho cuadro, se indican también, los ascensos residuales registrados a los 7 días del cese de la experiencia.

ENSAYO DE RECARGA EN POZO EVOLUCION DE NIVELES PIEZOMETRICOS

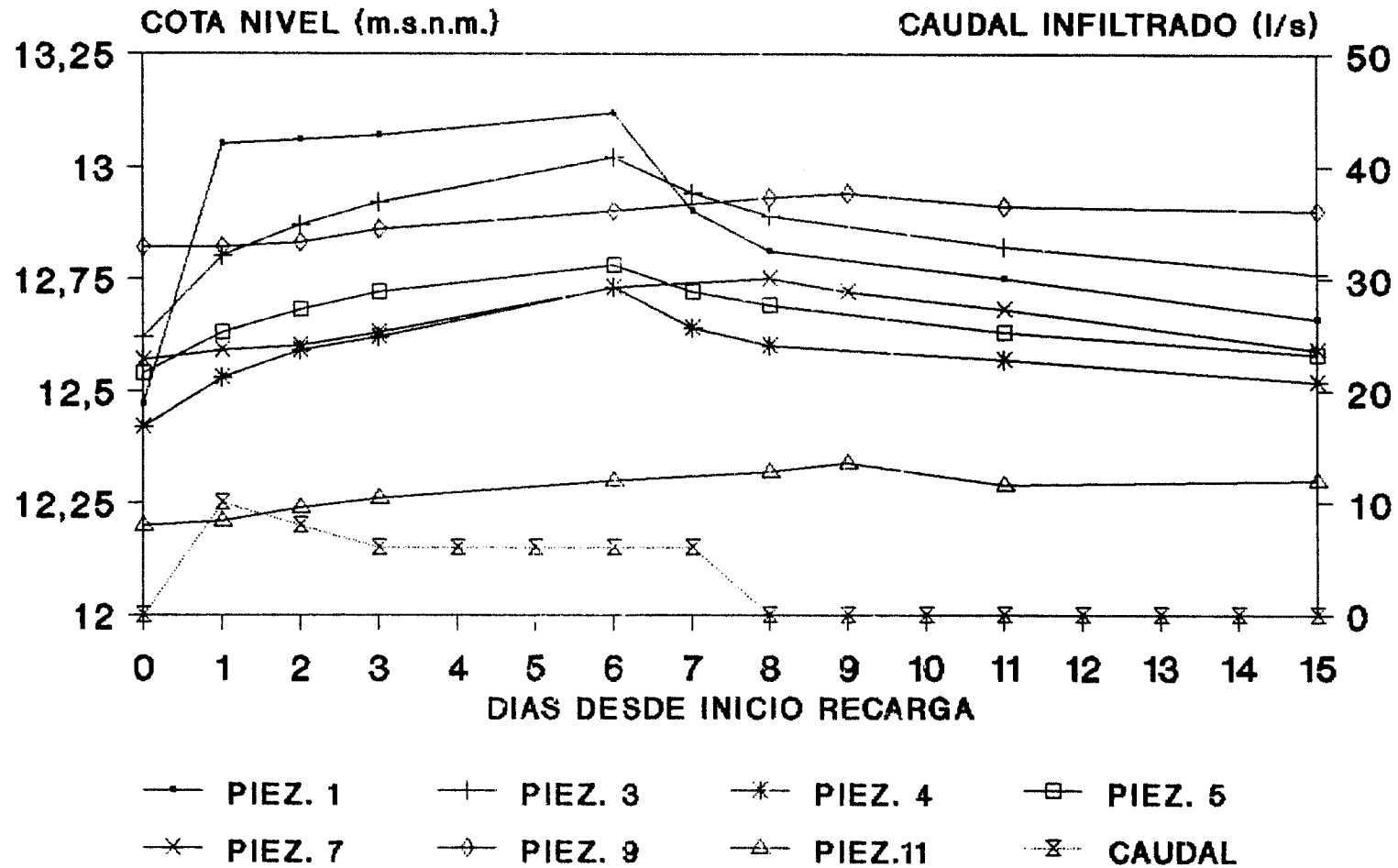


FIGURA 23

CUADRO n° 7**EVOLUCION DE NIVELES. ENSAYO DE RECARGA EN PROFUNDIDAD**

PIEZOMETRO NUMERO	DISTANCIA A Balsa DE INFILTRACION (m)	ASCENSO MAXIMO (m)	ASCENSO RESIDUAL (m)
1	14	0,65	0,19
2	34	0,62	0,17
3	44	0,40	0,16
4	47	0,31	0,10
5	53	0,24	0,04
6	36	0,55	0,10
7	90	0,11	0,08
8	155	0,13	0,12
9	175	0,11	0,08
10	35	0,62	0,13
11	110	0,12	0,10

- El valor indicado, para el ascenso residual, corresponde a los 8 días de la finalización del ensayo de recarga.

VALORACION DE RESULTADOS. METODOLOGIA PROPUESTA

9.- CONCLUSIONES: VALORACION DE RESULTADOS Y METODOLOGIA PROPUESTA.

9.1.- VALORACION DE RESULTADOS.

A la vista de los resultados obtenidos, en los diferentes ensayos realizados, se puede afirmar que **el método de recarga artificial resulta técnicamente viable y altamente eficaz para mejorar la regulación de los recursos hídricos en la unidad acuífera de las calcarenitas de Carmona.**

La interpretación de los datos obtenidos mediante el seguimiento de los diferentes ensayos llevados a cabo, permiten suponer que, **para futuras experiencias de recarga artificial de larga duración, se pueden conseguir, en la unidad de las calcarenitas de Carmona, valores medios de tasa de infiltración superiores a los 5 metros/día, e incluso superiores a los 10 metros/días, si dichas experiencias se localizan en las zonas de mayor densidad de fracturación.**

Los coeficientes de infiltración obtenidos en el ensayo mediante métodos de profundidad (recarga en pozo) son superiores a los obtenidos mediante los métodos de superficie (recarga en balsa). Aunque la corta duración de la experiencia de recarga en pozo, resta representatividad a los resultados de la misma, parece lógico pensar que, mediante ambos métodos, y en experiencias de duración prolongada, se podrían obtener tasas de infiltración similares.

Con dichas tasas de infiltración, y considerando períodos de recarga de 4 meses/año, se ha calculado el volumen anual subceptible de ser recargado, para distintos valores de superficie útil de infiltración. Ver figura nº 24.

A la vista de dicha figura, puede observarse que, **para una hipótesis conservadora, considerando coeficientes medios de infiltración de 5 m/día, sería necesaria una superficie útil de infiltración de 1.5 hectáreas para recargar los 9.5 hm³/año, en que se evalúa el déficit actual para la totalidad de la unidad de las calcarenitas de Carmona, en**

**VOLUMEN RECARGADO (Hm³/año) EN FUNCION
DEL COEFICIENTE DE INFILTRACION Y DE LA
SUPERFICIE UTIL DE RECARGA CONSIDERADOS**

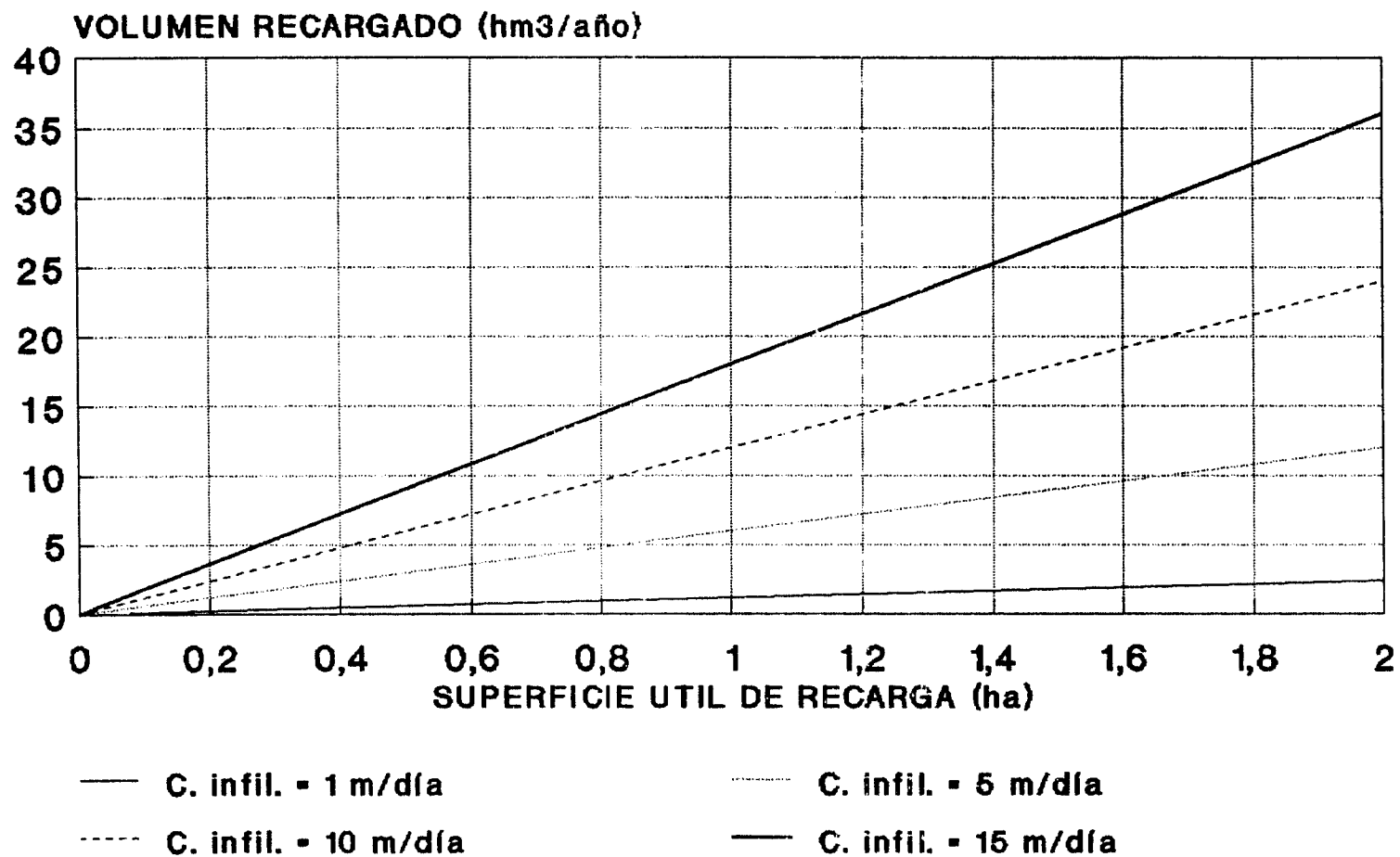


FIGURA 24

un período de operación de 4 meses/año.

En las zonas en las que las calcarenitas afloran, o el recubrimiento de material poco permeable, sea de espesor inferior a los tres metros, se debe emplear, de manera preferente, la recarga artificial mediante métodos de superficie; mientras que en aquellas zonas, en las que las calcarenitas se encuentren recubiertas por sedimentos de baja permeabilidad con espesores superiores a los tres metros, se debe emplear el método de recarga en profundidad.

Para minimizar los fenómenos de colmatación, se requiere someter las aguas de recarga, a un proceso de decantación previa. El cálculo del tiempo óptimo de retención, y el dimensionado de las balsas de sedimentación, necesarias para ello, deberá hacerse en base a ensayos de laboratorio.

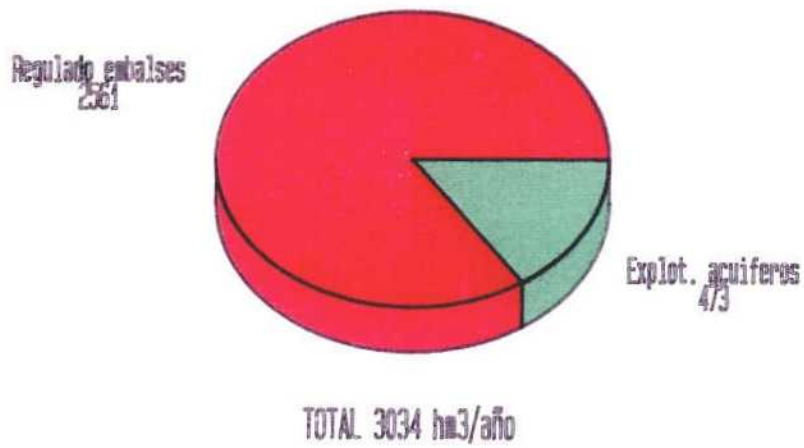
En base a los valores de radios de influencia calculados, las obras de explotación, para la recuperación/aprovechamiento del agua recargada, deberán ubicarse a distancias inferiores a los 750 metros del área o áreas de recarga.

En el caso de que se realicen experiencias de recarga artificial en pozos o sondeos, los propios puntos de infiltración y/o inyección pueden ser empleados, en los períodos de no recarga, consiguiéndose de ésta forma, la descolmatación de los mismos.

Para el conjunto de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir, en la que la regulación actual asciende, según puede verse en la figura nº 25, a 3.034 hm³/año, se estima que, mediante la realización de experiencias de recarga artificial a gran escala, en unidades acuíferas situadas en zonas en las que existen excedentes superficiales y en las que el aumento de regulación por métodos convencionales (pantanos o embalses) no resulta viable, se podría conseguir aumentar la regulación en unos 100 hm³/año.

REGULACION ACTUAL Y FUTURA DE LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR

REGULACION ACTUAL



REGULACION FUTURA

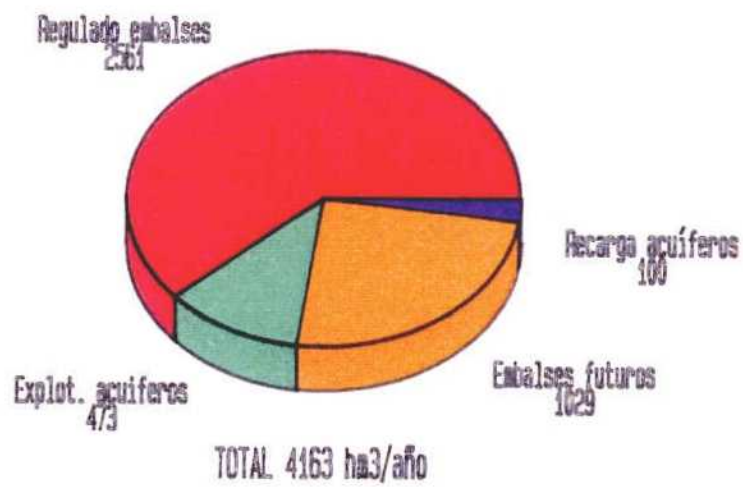


FIGURA 25

9.2.- METODOLOGIA PROPUESTA.

En éste epígrafe, y en base a la experiencia acumulada durante la realización del Proyecto, se propone una metodología de trabajo para el diseño, puesta en funcionamiento y seguimiento de futuras experiencias de recarga artificial. Dicha metodología comprende los siguientes aspectos:

A.- Realización de estudios previos.

A.1.- Estudios técnico-económico-sociales para la selección del área de recarga.

Comprende, ésta fase, la realización de estudios que permitan determinar las zonas en las que, siendo viable desde el punto de vista técnico, la ejecución de experiencias de recarga artificial, **existe un interés social y económico** que hace plenamente justificable su aplicación.

A.2.- Estudio hidrogeológico de detalle del área seleccionada.

Encaminado a definir las características hidrogeológicas del área de recarga seleccionado (geometría interna del acuífero, funcionamiento hidrodinámico, parámetros hidráulicos). Para ello se requiere llevar a cabo los siguientes trabajos:

- * Cartografía de afloramientos a escala 1:500 - 1:1.000
- * Inventario de puntos de agua del área y su entorno, incluida la nivelación de los puntos, la realización e interpretación de campañas piezométricas, en distintas épocas del año, así como la elaboración de los correspondientes mapas piezométricos.
- * Realización de sondeos de reconocimiento de pequeño diámetro con levantamiento de las columnas litológicas de los mismos. Durante la ejecución de éstos sondeos se deben realizar ensayos de permeabilidad a diferentes profundidades, así como ensayos geotécnicos que suministren datos sobre el comportamiento mecánico del terreno.

* Realización de sondeos de investigación de gran diámetro, que permitan la posterior realización de ensayos de bombeo de larga duración para definir los parámetros hidráulicos.

* Establecimiento del balance actualizado para la zona, en base a un estudio climático y a la cuantificación, a través de encuestas directas, de las extracciones de agua subterránea.

* Instalación de una estación meteorológica.

A.3.- Estudio hidroquímico.

Tiene por finalidad el establecimiento de las características físico-químicas y bacteriológicas del agua del acuífero que se pretenda recargar, así como del agua superficial o subterránea a emplear en la recarga.

Si el agua a recargar es de origen superficial, se realizarán, además ensayos de sedimentación natural sobre muestras representativas, tomadas en diferentes épocas del año.

A.4.- Análisis de otros factores

El análisis de factores diversos, como la accesibilidad a la zona de recarga, distancia a núcleos de población, catalogación y propiedad del suelo, tipos de cultivos existentes en la zona, topografía general del área, morfología de la red de drenaje, estudio de pendientes, etc, es necesario para evaluar la viabilidad económica de la experiencia de recarga.

A.5.- Modelización.

Los datos obtenidos, permitirán la elaboración de modelos de flujo, así como de modelos de mezcla, sobre los que analizar, para diferentes hipótesis, la efi-

ciencia de la experiencia de recarga a realizar. Los datos generados, durante la realización material de la experiencia, se incorporaran a los modelos establecido.

A.6.- Estudio de alternativas.

Como paso previo al diseño de las obras de infraestructura y control necesarias para la puesta en marcha de la experiencia, se llevará a cabo un análisis técnico-económico comparado, de las diferentes alternativas posibles, en cuanto a ubicación de la misma y sistema de recarga a adoptar. En dicho estudio, se hará, además, una valoración medioambiental preoperacional, así como una evaluación de los posibles impactos negativos que se pudieran producir, para las diferentes alternativas analizadas.

B.- Diseño de las obras de infraestructura.

Una vez determinada la ubicación más adecuada para la realización de la experiencia, así como el sistema de recarga a emplear, se llevará a cabo el diseño de las obras necesarias para su puesta en marcha y para el control de la misma. El diseño comprende los siguientes aspectos:

- * Características constructivas de las obras de derivación y, en caso necesario, características técnicas y rendimientos y consumos de los equipos de impulsión.
- * Características, dimensionado y detalle de instalación de las conducciones y/o canales necesarios para la puesta en agua en el punto o puntos de recarga.
- * Dimensionado y características de la balsa o balsas de decantación.

* Características constructivas y de equipamiento de los dispositivos de recarga.

* Descripción y características de las obras de protección (vallado de seguridad, canal de drenaje de aguas pluviales, señalización, etc) y de las instalaciones auxiliares (caseta de material, compuertas, válvulas, filtros, etc).

* Elaboración de los proyectos técnicos y económicos de las obras a realizar.

C.- Diseño de las instalaciones de control. Instrumentación.

Comprende la definición precisa del tipo, localización, número y características constructivas y de equipamiento de las obras a realizar para llevar a cabo el seguimiento, antes, durante y después de la recarga (piezómetros, puntos de muestreo, aforadores, etc), así como de la instrumentación de control necesaria (estaciones meteorológicas, limnógrafos, medidores de parámetros hidroquímicos, etc).

La elección de los instrumentos de control, se deberá justificar con un **estudio técnico-económico**, en el que se analizarán las ventajas e inconvenientes de los diferentes equipos existentes en el mercado.

Al igual que para las obras de infraestructura, el diseño de las instalaciones y equipos de control, deberá incluir un presupuesto económico detallado.

D.- Programa de operación y seguimiento.

Finalmente, se establecerá un programa para la realización de la experiencia, en el que se definirán y valorarán económicamente, las operaciones de operación, mantenimiento y control, así como los requerimientos y costes del personal necesario para

ello.

Como paso previo a la realización de la experiencia a gran escala, es recomendable llevar a cabo, en el mismo lugar y condiciones en que ésta se vaya a desarrollar, una o varias experiencias a escala reducida que permitan establecer ordenes de magnitud sobre régimen óptimo de recarga, coeficiente de infiltración y evolución del mismo en el tiempo, morfología y evolución del domo de recarga, fenómenos de colmatación, etc.

Sevilla, diciembre de 1.991

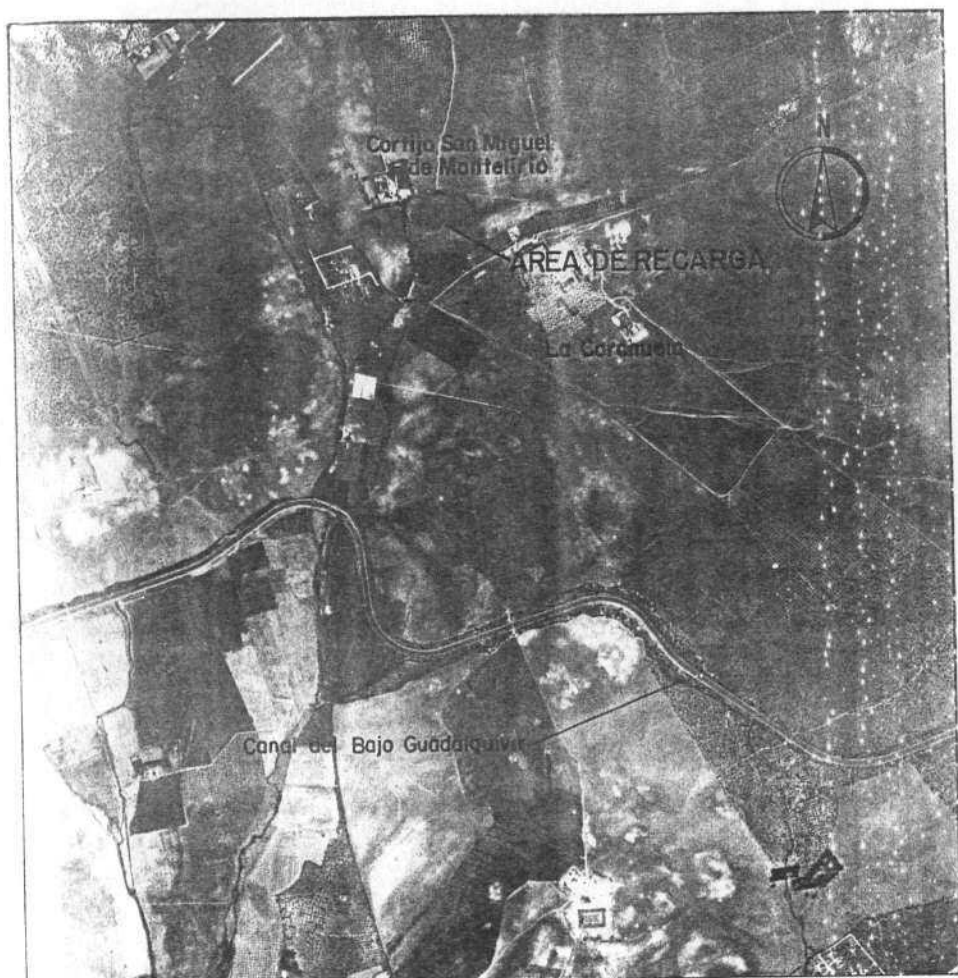


FOTO 8274

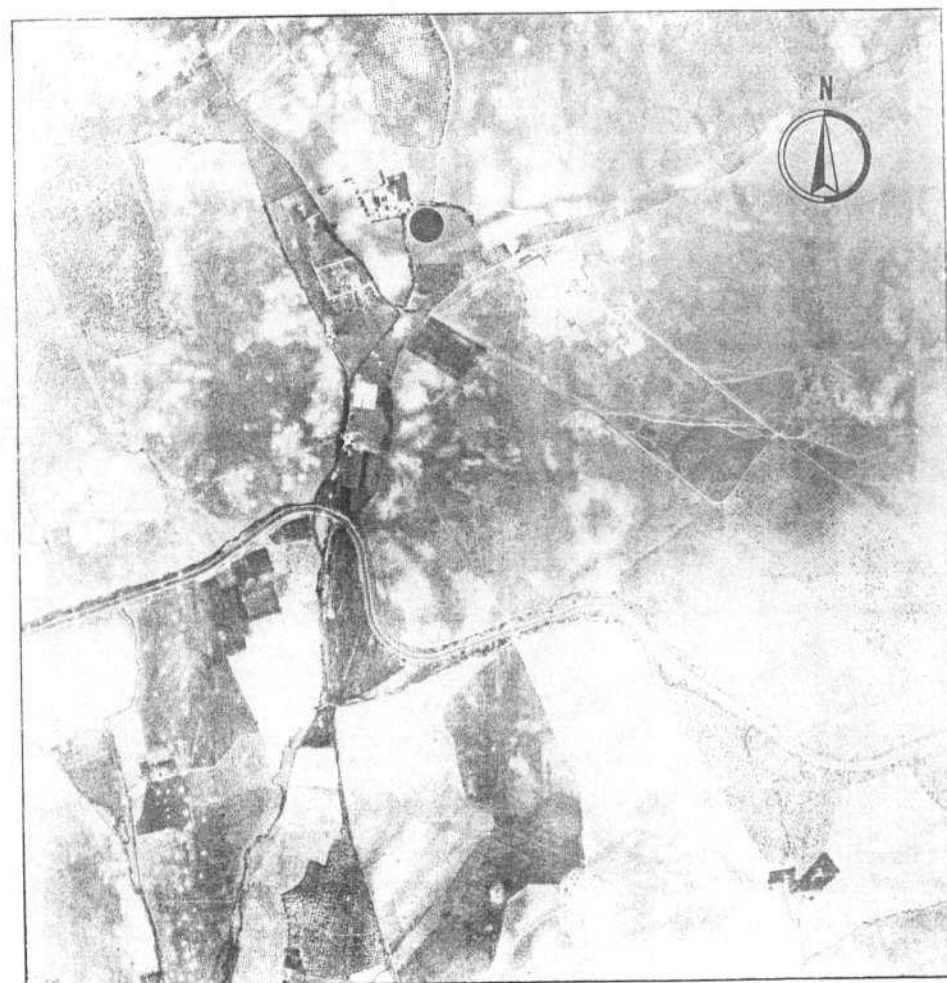


FOTO 8275

PAR ESTEREOSCOPICO DE LA ZONA DE RECARGA