

Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



Diputación
Provincial
de Alicante

EVALUACION DE LOS RECURSOS
HIDRICOS SUBTERRANEOS Y
PROPUESTA DE NORMAS DE
EXPLOTACION DE LA UNIDAD DE
SOLANA . (Junio de 1992).
TOMO I: MEMORIA



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

31983

EVALUACION DE LOS RECURSOS
HIDRICOS SUBTERRANEOS Y
PROPUESTA DE NORMAS DE
EXPLOTACION DE LA UNIDAD DE

SOLANA . (Junio de 1992).

TOMO I: MEMORIA

31983

SUPER PROYECTO	AGUAS SUBTERRANEAS		Nº	542/E
PROYECTO AGREGADO			Nº	
TITULO PROYECTO				
<p style="text-align: center;">" ESTUDIOS DE EVALUACION Y PROTECCION DE RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS DE LA PROVINCIA DE ALICANTE "</p>				
Nº PLANIFICACION		Nº DIVISION AGUAS, G.A.		
FECHA EJECUCION	INICIO	27-XI-91	FINALIZACION	26-VI-92

INFORME (Título) :	
<p style="text-align: center;">" EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS Y PROPUESTA DE NORMAS DE EXPLOTACION DE LA UNIDAD DE SOLANA "</p>	
CUENCA(S) HIDROGRAFICA(S)	JUCAR
COMUNIDAD(ES) AUTONOMA(S)	VALENCIANA
PROVINCIAS	ALICANTE

Este estudio ha sido realizado por el Instituto Tecnológico y Geominero de España y la Diputación Provincial de Alicante en el marco del convenio de cooperación existente entre ambos organismos, con la colaboración de TEYGE,S.A., como empresa contratista.

ITGE.-

Ramón Aragón Rueda. Director del estudio.

DPA.-

Luis Rodríguez Hernández. Director del estudio.

TEYGE,S.A.

Joaquín Barba-Romero Muñoz.

Emilio Orejudo Ramírez.

Ernesto García Sánchez.

Enrique Vázquez Suñé.

Enrique Martí Requena.

José María Catalán Alonso.

INDICE MEMORIA.

	Pág.
1. <u>SITUACION GEOGRAFICA.</u>	8
2. <u>CLIMATOLOGIA.</u>	10
2.1. TEMPERATURA.	11
2.2. PLUVIOMETRIA.	13
2.3. EVAPOTRANSPIRACION.	15
3. <u>HIDROLOGIA.</u>	17
4. <u>GEOLOGIA.</u>	21
4.1. ESTRATIGRAFIA.	22
4.2. TECTONICA.	25
5. <u>HIDROGEOLOGIA.</u>	27
5.1. CARACTERISTICAS LITOLOGICAS.	28
5.2. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS.	29
5.2.1. Formación Superior (C ₂₁).	30
5.2.2. Formación Inferior (C ₂₃).	34
5.2.3. Acuífero Cuaternario (Q).	34
5.3. CARACTERISTICAS PIEZOMETRICAS.	35
5.3.1. Formación Superior (C ₂₁).	35
5.3.2. Formación Inferior (C ₂₃).	37
5.3.3. Acuífero Cuaternario (Q).	38
5.4. PARAMETROS HIDRODINAMICOS.	39
5.4.1. Formación Superior (C ₂₁).	39
5.4.2. Formación Inferior (C ₂₃).	40

5.4.3. Acuífero Cuaternario (Q).	40
5.5. CAPTACIONES EXISTENTES.	40
5.5.1. Formación Superior (C ₂₁).	41
5.5.2. Formación Inferior (C ₂₃).	42
5.5.3. Formación superior e inferior.	42
5.5.4. Acuífero Cuaternario (Q).	43
5.6. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO.	44
5.6.1. Formación Superior (C ₂₁).	44
5.6.2. Formación Inferior (C ₂₃).	45
5.6.3. Acuífero Cuaternario (Q).	48
5.7. BALANCE HIDRICO.	49
5.7.1. Acuífero cretácico de La Solana.	49
5.7.2. Acuífero Cuaternario (Q).	53
5.8. GRADO DE EXPLOTACION DEL ACUIFERO.	54
5.9. RESERVAS EXPLOTABLES.	56
6. <u>HIDROQUIMICA.</u>	57
7. <u>EVALUACION DE VOLUMENES DE AGUAS RESIDUALES GENERADOS.</u>	60
8. <u>ANALISIS DEL USO DEL AGUA. VOLUMENES DISPONIBLES Y DEMANDAS.</u>	63
8.1. USO DEL AGUA.	64
8.2. ESTIMACION DE LA DEMANDA.	64
9. <u>ANALISIS DE INFRAESTRUCTURAS.</u>	74
10. <u>NORMAS DE EXPLOTACION.</u>	81
10.1. NORMATIVA GENERAL.	82

10.2. ZONIFICACION.	84
10.3. PERIMETRO DE PROTECCION.	85
11. MODELO DE FLUJO	87
11.1. ANTECEDENTES.	88
11.2. DISEÑO CONCEPTUAL	88
11.3. SIMULACION EN REGIMEN PERMANENTE.	97
11.4. CALIBRACION EN REGIMEN TRANSITORIO.	97
11.5. CONCLUSIONES AL MODELO DE FLUJO.	99
12. MODELO ESTOCASTICO	102
12.1. METODOLOGIA.	103
12.2. MODELIZACION LINEAL.	110
12.3. IDENTIFICACION DEL MODELO LINEAL.	131
12.4. CALIBRACION DEL MODELO LINEAL.	152
12.5. ANALISIS DE RESIDUOS Y VERIFICACION.	160
12.6. EXPLOTACION DEL MODELO.	163
12.7. CONCLUSIONES AL MODELO ESTOCASTICO.	171
13. RESUMEN Y CONCLUSIONES	177

INDICE PLANOS

- PLANO 1. CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA.
- PLANO 2. CARACTERISTICAS PUNTOS DE AGUA.
- PLANO 3. ESBOZO ISOHIPSAS BASE FORMACION C₂₁.
- PLANO 4. ESBOZO ISOHIPSAS BASE DEL MIOCENO.
- PLANO 5. ESBOZO ISOHIPSAS BASE DEL CUATERNARIO.
- PLANO 6. PIEZOMETRIA ABRIL 1974.
- PLANO 7. PIEZOMETRIA ABRIL 1980.
- PLANO 8. PIEZOMETRIA ABRIL 1986.
- PLANO 9. PIEZOMETRIA ABRIL 1992.
- PLANO 10. USOS DEL SUELO.
- PLANO 11. PERIMETRO DE PROTECCION.
- PLANO 12. CORTES HIDROGEOLOGICOS.

INDICE ANEJOS

- ANEJO 1. DATOS METEOROLOGICOS. PLUVIOMETRIAS
Y BALANCES.**
- ANEJO 2. DATOS HIDROLOGICOS. AFOROS Y CONCESIONES.**
- ANEJO 3. DATOS CAMPAÑA GEOFISICA.**
- ANEJO 4. FICHAS INVENTARIO PUNTOS DE AGUA.**
- ANEJO 5. ANALISIS QUIMICOS.**
- ANEJO 6. FICHAS ABASTECIMIENTO URBANO POR TERMINO
MUNICIPAL.**
- ANEJO 7. FICHAS CONSUMO AGRICOLA POR TERMINO
MUNICIPAL.**
- ANEJO 8. PASADA FINAL DEL MODELO MATEMATICO DEL ACUIFERO
DE SOLANA(1972-1991)**

1.- SITUACION GEOGRAFICA.

Las zonas de afloramiento de los materiales que constituyen el acuífero de Solana se sitúan en la provincia de Alicante, excepto un pequeño sector que se incluye en la de Valencia. Abarca parte de los términos municipales de Villena, Cañada, Campo de Mirra, Benejama, Biar, Fontanares, Bocairente y Bañeres, incluidos en su mayoría en la comarca del Alto Vinalopó.

Morfológicamente lo integran las alineaciones montañosas de dirección NE-SW de la Sierra de La Solana y de la Sierra de la Villa. La cota topográfica de afloramientos oscila entre los 1004 m.s.n.m del pico Ascensión y los 500 m.s.n.m del fondo de valle.

Entre las sierras de Fontanella y Peñarrubia y la Sierra de la Solana, se extiende el valle del río Vinalopó, bajo el cual a cientos de metros de profundidad se continúan los materiales acuíferos.

2. - CLIMATOLOGIA.

Los datos meteorológicos utilizados para determinar los parámetros climatológicos de la zona de estudio corresponden a las estaciones termopluviométricas de Villena y Benezama y a la estación pluviométrica de Bañeres. Para el cálculo de dichos parámetros se han utilizado series de datos desde 1956 a 1991 en las tres estaciones, excepto los correspondientes a temperaturas de la estación de Benezama que únicamente dispone de registro desde 1977 a 1991.

2.1.- TEMPERATURA.

La temperatura media anual en la estación de Villena es de 14,2 °C y en la estación de Benezama de 14,45 °C. El rango de oscilación de los valores medios mensuales en la estación de Villena es de 16,2 °C, con un máximo de 23 °C en los meses de Julio y Agosto y mínimos de 6,8 °C en el mes de Enero. En la estación de Benezama, el máximo se produce en el mes de Agosto con 23,65 °C y el mínimo en Enero con un valor de 6,6°C, lo que supone una diferencia de 17,05 °C.

La tabla 1 y fig.1 muestra la distribución media mensual de la temperatura en las estaciones termométricas, para los períodos anteriormente indicados.

TABLA 1.Distribución mensual de temperaturas para la media del período(1977-1991).

MES	VILLENA T(°C)	BENEJAMA T(°C)
Enero	6.8	6.6
Febrero	7.6	7.9
Marzo	9.8	10.25
Abril	11.8	11.8
Mayo	15.6	15.25
Junio	19.7	20
Julio	23	23.5
Agosto	23	23.65
Septiembre	19.8	20.8
Octubre	15.4	15.45
Noviembre	10.34	10.35
Diciembre	7.4	7.9
VALOR MEDIO	14,2	14,45

Para los cálculos de evapotranspiración potencial se han utilizado los datos de la estación termométrica de Villena, por disponer de una serie más completa y con el fin de simplificar los cálculos. De todas formas como puede observarse en la tabla nº 1 la diferencia de temperaturas entre la estación de Villena y Benejama es muy pequeña, generalmente del orden de unas décimas.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
(°C)

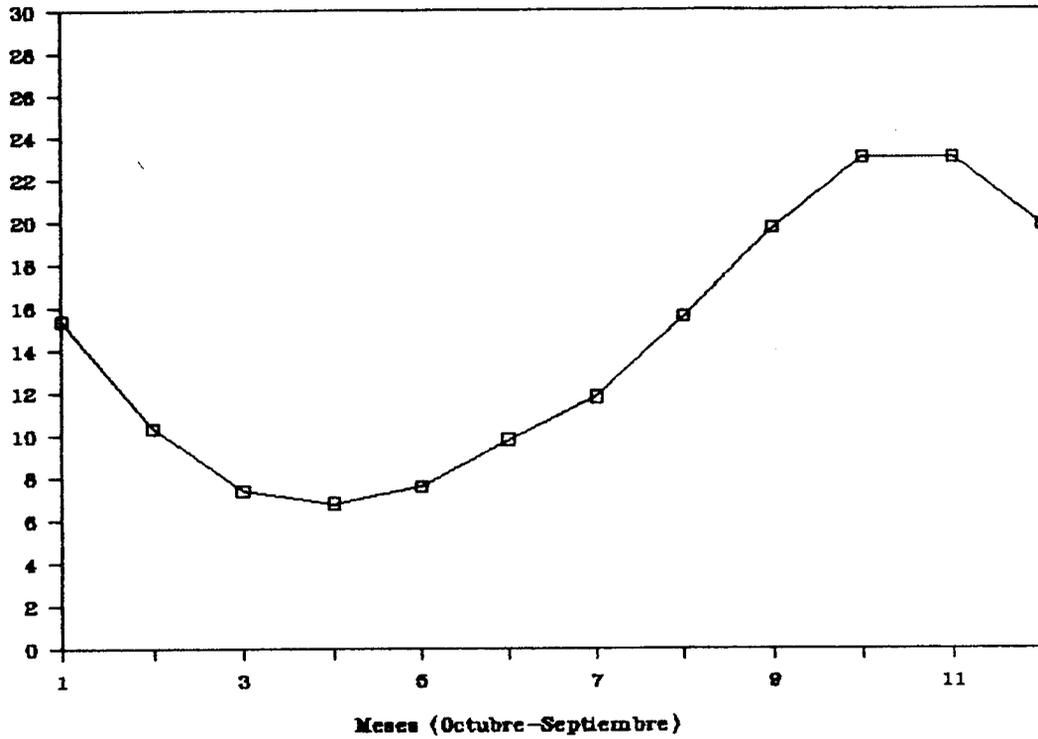


Fig. 1 TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES

2.2.- PLUVIOMETRÍA.

Para el cálculo de la pluviometría media de la zona se ha realizado la poligonal de Thiessen a partir de las tres estaciones pluviométricas; Villena, Benejama y Bañeres. Obteniéndose un valor de pluviometría media para el período 1955-1991 de 456 mm. Siendo la estación de Benejama la que tiene la pluviometría media más alta (520.42 mm) y la estación de Villena la pluviometría media más baja (375.08 mm).

La tabla 2 muestra las pluviometrias medias del período, 1955-91 y las del año más seco y más húmedo en las tres estaciones.

	Villena P(mm)	Benejama P(mm)	Bañeres P(mm)
Media 1955-91	375.08	520.42	478.06
Año más seco	222.2(77-78)	335.6(62-63)	245.20(77-78)
Año más húmedo	659 (58-59)	801.1(76-77)	926.1 (85-86)

TABLA 2. Pluviometría media, mínima y máxima.

La distribución de los máximos de las medias mensuales se concentran en los meses de Octubre-Septiembre y Abril-Mayo-Junio, es decir coincidiendo con el otoño y la primavera, siendo los meses de verano los que registran menor precipitación. Este fenómeno se hace mas patente en la estación de Villena.

La tabla 3 muestra la pluviometría media mensual del período 1955-1991, para las diferentes estaciones ubicadas en la zona de estudio.

MES	Villena P(mm)	Benejama P(mm)	Bañeres P(mm)
Octubre	49.47	70.61	64.11.
Noviembre	35.14	43.22	31.71
Diciembre	29.73	54.58	47.96
Enero	25.07	42.36	50.80
Febrero	20.91	42.48	30.34
Marzo	33.40	47.18	41.81
Abril	39.47	47.22	44.22
Mayo	43.28	52.90	43.69
Junio	39.15	41.85	32.10
Julio	6.93	13.56	11.72
Agosto	16.85	17.33	12.59
Septiembre	40.68	47.12	47.00
TOTAL	375.08	520.42	478.06

TABLA 3. Pluviometrías medias mensuales.

En la figura 2 se representa la evolución mensual de las precipitaciones para la media del período en las estaciones antes indicadas; el mes de Julio es el de menor precipitación oscilando ésta entre los 6,93 mm de Villena y los 13,56 mm de Benejama. Por el contrario el mes más lluvioso es el de Octubre, registrándose valores que oscilan entre los 49,47 mm de Villena y los 70.61 mm de Benejama.

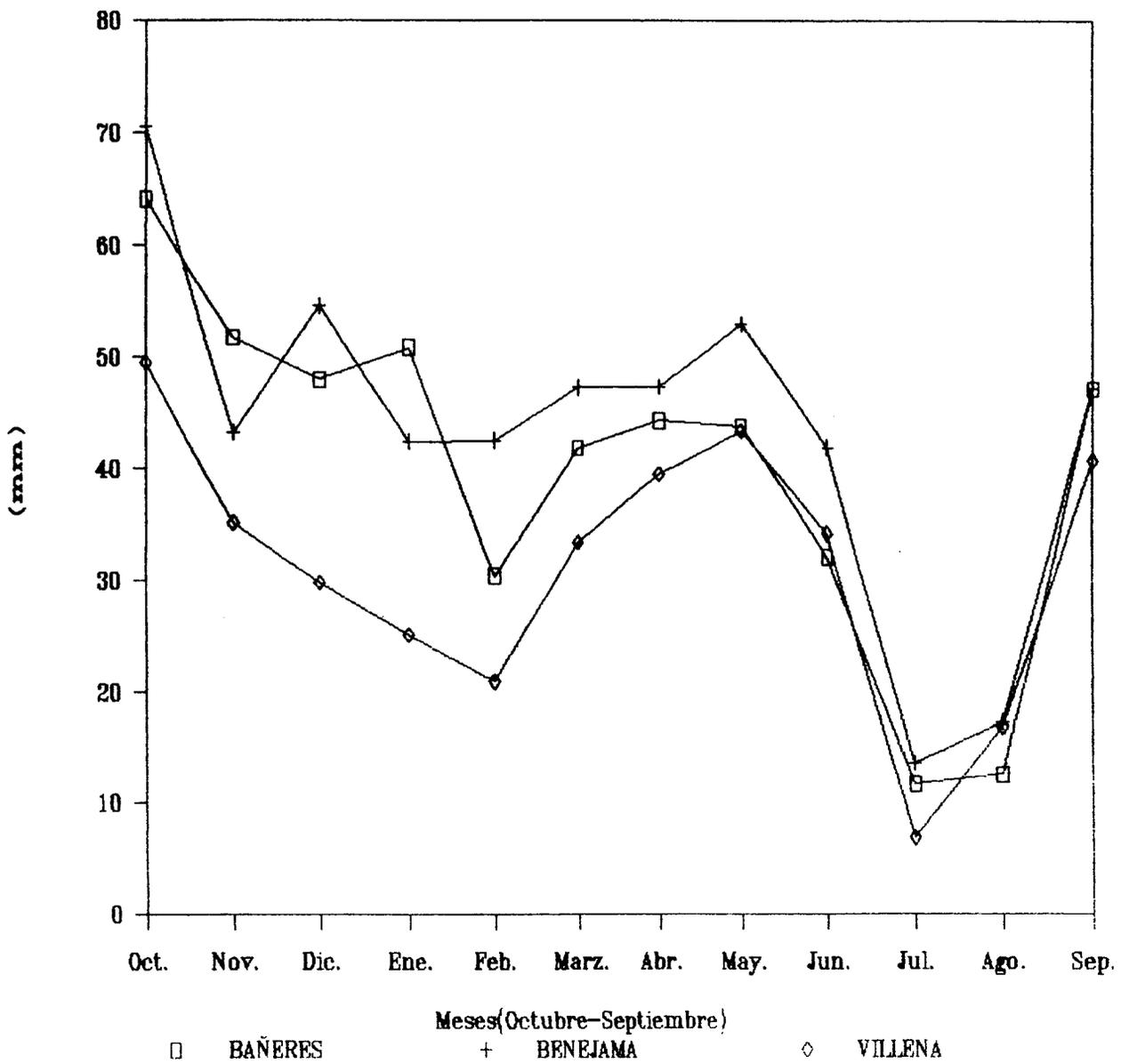


Fig. 2 PLUVIOMETRIAS MEDIAS MENSUALES

2.3.- EVAPOTRANSPIRACION.

La evapotranspiración potencial basada en el método de Thornthwaite se ha calculado en base a los datos de temperatura de la estación termométrica de Villena, puesto que la serie de datos registrada es más larga en el tiempo y las diferencias con respecto a la estación de Benejama, en el período registrado en ésta última, son poco importantes.

La evapotranspiración potencial media anual es de 1115.90 mm; su distribución mensual para un año medio se muestra en las figuras 3, 4 y 5 y los valores en la tabla 4.

MES	E.T.P. (mm)
Octubre	80,68
Noviembre	33,12
Diciembre	17,33
Enero	15,42
Febrero	18,96
Marzo	38,03
Abril	58,16
Mayo	109,02
Junio	168,79
Julio	226,93
Agosto	210,29
Septiembre	139,18
TOTAL	1115,90

TABLA 4. Distribución mensual de la Evapotranspiración mensual media.

ESTACION METEOROLOGICA VILLENA

Balance del año medio

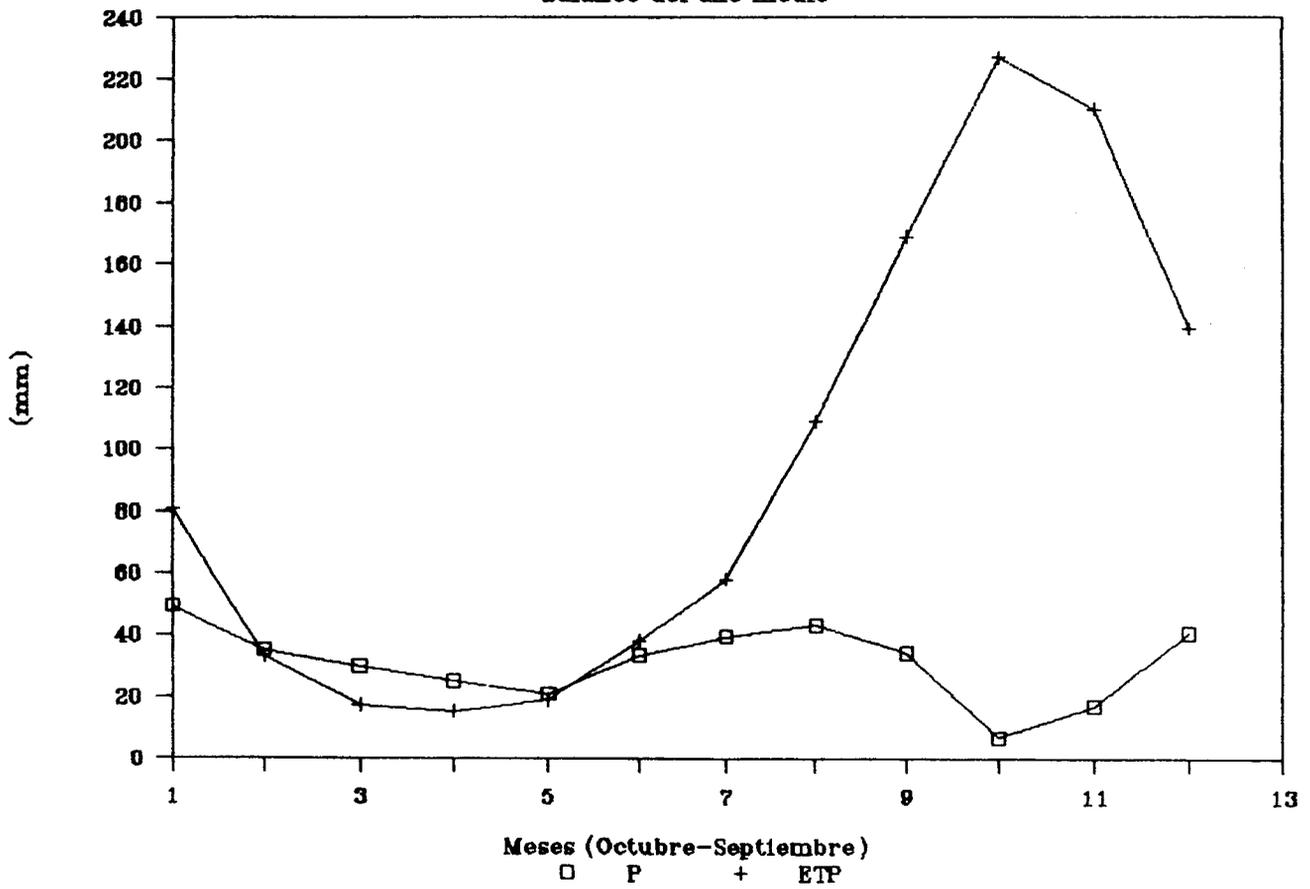


Fig. 3 EVAPOTRANSPIRACION MEDIA MENSUAL
ESTACION METEOROLOGICA DE VILLENA

ESTACION METEOROLOGICA BENEJAMA

Balance del año medio

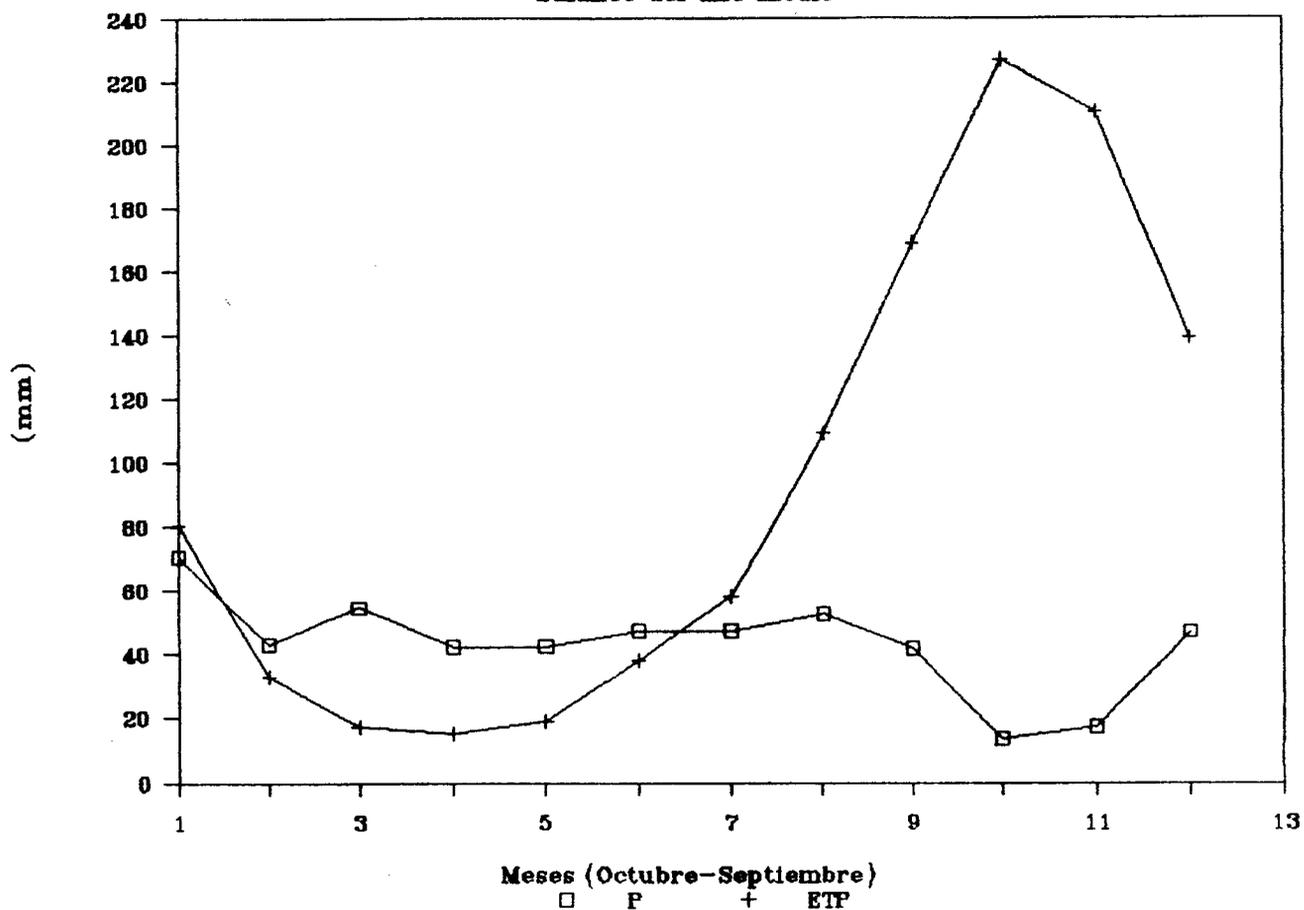


Fig. 4 EVAPOTRANSPIRACION MEDIA MENSUAL
ESTACION METEOROLOGICA DE BENEJAMA

ESTACION METEOROLOGICA BAÑERES

Balance del año medio

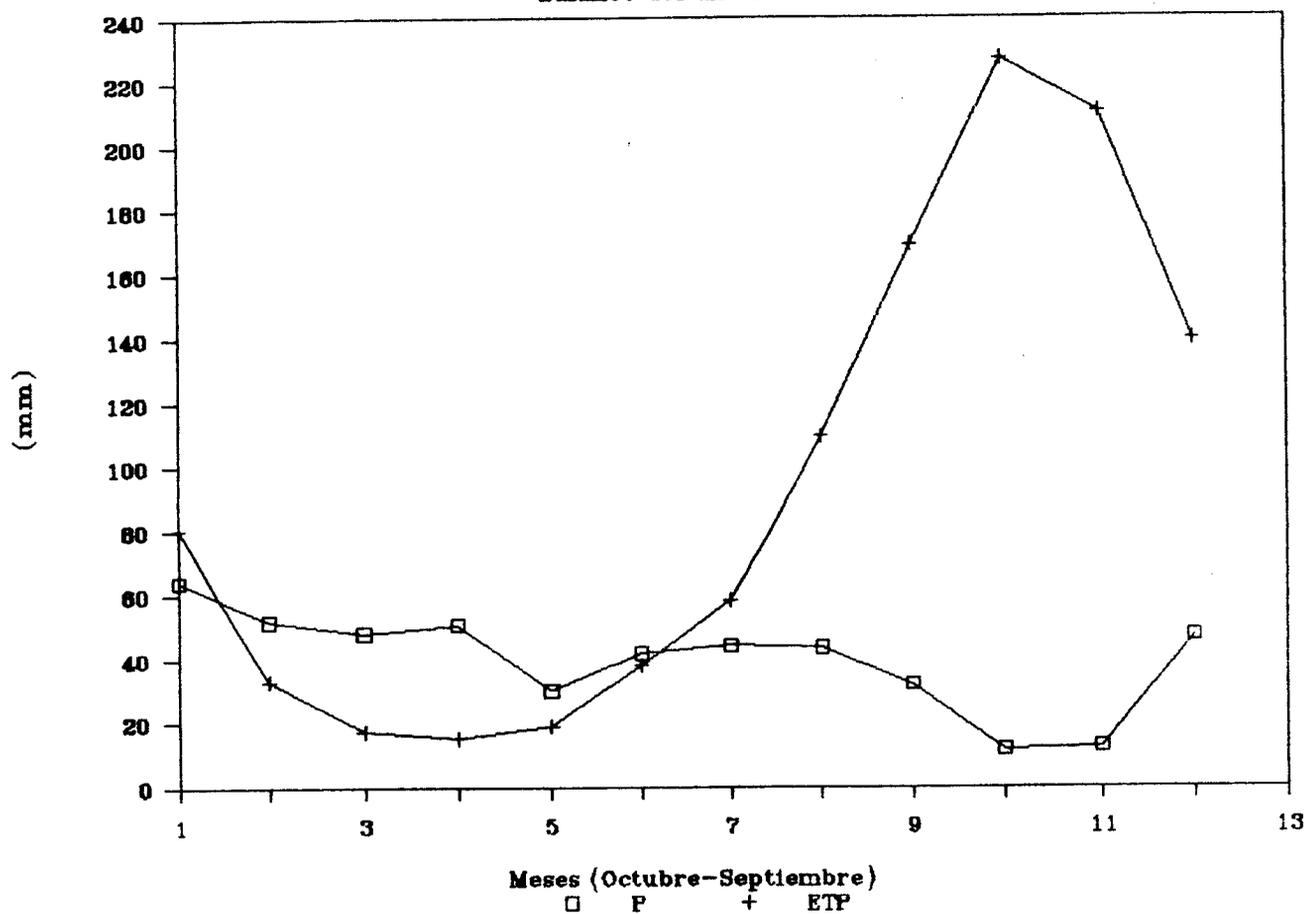


Fig. 5 EVAPOTRANSPIRACION MEDIA MENSUAL
ESTACION METEOROLOGICA DE BAÑERES

La evapotranspiración real iguala a la evapotranspiración potencial entre los meses de Noviembre y Marzo, el resto del año la evapotranspiración real equivale a la precipitación, existiendo un déficit de agua en el suelo. En la estación de Villena el período de déficit de agua en el suelo es más amplio, puesto que la evapotranspiración real iguala a la Evapotranspiración potencial sólo entre los meses de Noviembre y Febrero.

La figura 3, 4 y 5 muestran el balance para la media del período en las tres estaciones incluidas en la zona estudiada. En ellas se puede observar que la lluvia util se genera normalmente entre los meses de noviembre a Marzo, produciéndose en ellos fundamentalmente la recarga del acuífero.

3. - HIDROLOGIA.

El río Vinalopó circula en dirección NE-SO siguiendo el Valle de Biar sobre los depósitos aluviales del acuífero cuaternario. Este río nace a pocos kilómetros, en la sierra de Mariola.

Antiguamente existía una estación de aforos en el río Vinalopó, en la Colonia Santa Eulalia, la estación número 81, controlada por la Comisaria de Aguas del Júcar, actualmente está abandonada, entre otras causas porque no circula por ella el agua de forma continua. Sin embargo, se tiene registro de las aportaciones del río en los periodos muestreados, la tabla 5 muestra los volúmenes aportados.

AÑO	APORTACION Hm ³	CAUDAL (m ³ /s)
1942-43	38,8	1,235
1943-44	60,9	1,925
1944-45	51,3	1,628
1945-46	59,8	1,895
1946-47	65,8	2,087
1947-48	92,6	2,928
1948-49	82,1	2,603
1949-50	28,1	0,892
1950-51	10,9	0,347
1951-52	11,0	0,349
1952-53	6,9	0,219
1966-67	0,8	0,030
1967-68	1,1	0,030
1968-69	6,9	0,220
1969-70	10,1	0,322
1970-71	7,7	0,246

TABLA 5. Aportaciones del río Vinalopó.

Por otra parte existen derivaciones de agua del río según concesiones otorgadas por Confederación Hidrográfica del Júcar, que totalizan 255 l/s del río Vinalopó repartidas entre los términos municipales de Bañeres, Benejama y Bocairente, y unos 25 l/s de la cuenca del Vinalopó, concedidos en término municipal de Biar para la Comunidad de Regantes de San Cristóbal de Biar.

Además de estas derivaciones mencionadas, el agua del río es aprovechada en numerosos saltos para producción de energía hidroeléctrica en el término municipal de Bañeres.

Se ha observado que el agua no empleada aguas arriba se infiltra posteriormente en las gravas y arenas cuaternarias,

recargando el acuífero cuaternario del Valle de Biar. Este volumen no está cuantificado.

4. GEOLOGIA.

4.1. ESTRATIGRAFIA.

En la zona además del Cuaternario, Mioceno y Triásico afloran casi exclusivamente materiales cretácicos y, de éstos, se puede decir que en su casi totalidad corresponden al Cretácico Superior.

La serie tipo del acuífero ha sido elaborada mediante la unión de dos cortes estratigráficos realizados en la Sierra de la Solana, siendo, estratigráficamente, el uno continuación del otro. Estos dos cortes son "Alto del Corzo" de coordenadas X= 861,750 Y= 466,800 y "Alto Cruz" de coordenadas X= 862,450 Y= 466,350.

Sobre las facies "UTRILLAS" constituida por arcillas rojas, verdes y arenas caoliníticas muy finas, con estratificación cruzada y numerosas costras ferruginosas de unos 30 m de espesor, existen unas arcillas verdes de edad discutida; para unos corresponden aún al Albiense Superior y para otros al Cenomaniense Inferior.

Encima de las arcillas verdes se puede diferenciar de muro a techo:

-60 m de dolomías grises muy fracturadas masivas atribuibles al Cenomaniense Inferior Medio.

-90 m de alternancia de dolomías arcillosas y arcillas dolomíticas atribuibles al Cenomaniense Superior. Se presenta siempre como una alternancia bien marcada de dolomías margosas amarillentas y margas dolomíticas amarillas, dando en conjunto un tramo blando entre los escarpes correspondientes a las dolomías de la base y el Senoniense. En el techo existen dos a tres gruesos bancos de dolomías cristalinas negras ocasionalmente muy carstificadas.

-30 m de dolomías de color oscuro atribuibles al Turoniense.

Hasta aquí, el corte "Alto del Corzo".

En el corte "Alto Cruz", sobre estas dolomías oscuras se observa:

-330 m de calizas blancas que corresponden a biomicritas con intraclastos negros ("cailloux noirs") o calizas "trufadas" y calcarenitas. Los elementos detríticos están irregularmente repartidos. Hacia la parte alta se intercalan niveles de dolomías. Las calizas han librado fauna de Rudistas, Miliólidos, Lacazinas, etc. Todo este tramo es de edad Senoniense Inferior. De estos 330 m. corresponden aproximadamente 180, 60 y 100 m. respectivamente al Coniaciense, Santoniense y Campaniense.

La totalidad de la serie se dispone como una masa calcárea, bien estratificada, con muy escasos niveles margosos y pátina blanca bien visible.

En resumen, el paquete consta de una alternancia de biomicritas, calcarenitas bioclásticas con cemento de micrita y microesparita, intrabiomicritas y raras pasadas de calcarenitas gruesas bioclásticas con cemento de esparita, más frecuentes en Santoniense y Campaniense.

Los aportes detríticos se distribuyen desigualmente, tanto en la serie como por sus propias características, pues existen niveles que son difícilmente diferenciables de las propias arenas albienses y otros de calizas arenosas y areniscas con cemento calcáreo y ferruginoso. Los tamaños varían entre arena y grava, siendo muy frecuentes los cantos grandes -3 cm.- muy planos.

La fracción dominante es el cuarzo, existiendo igualmente grandes proporciones de feldespato y ocasionalmente (cantos y gravas) de cuarcita. El material bien seleccionado y rodado, presenta con frecuencia estratificaciones gradadas.

Tanto los elementos detríticos como los grandes intraclastos negros constituyen sin duda alguna el carácter más llamativo y diferencial de este Senoniense.

Si los límites exactos entre piso y piso no son muy fáciles de marcar en las columnas estratigráficas, no es menos cierto que

las asociaciones de Foraminíferos permiten reconocer los tres pisos citados.

-25 m de arcillas rojas (facies "Garumnense") y un nivel calcarenítico en el techo. Su edad es Maestrichtiense.

La figura 6 muestra el corte geológico tipo de la zona.

Todo el Cretácico Superior constituye el nivel permeable mas importante del acuífero que como se observa supera los 500 m de potencia y el impermeable es base es la facies "UTRILLAS" más las arcillas verdes que hay sobre ellas.

4.2. TECTONICA.

La Sierra de la Solana es un anticlinal en materiales del Cretácico Superior de dirección típicamente bética, NE-SW. En el núcleo llega a aflorar la facies "UTRILLAS" en dos pequeños afloramientos en Tejar de la Zafra y Alto del Corzo. El flanco septentrional de esta estructura está cabalgando hacia el N y sus estratos llegan a invertirse.

Este anticlinal hunde su eje hacia el NE y por su parte occidental está fallado, por fallas normales.

El flanco sur buza poco, pero rápidamente se inclinan sus estratos hasta hacerse verticales, incluso invertidos, esto ocurre casi coincidiendo con el contacto del Cretácico con el

ACUIFERO DE LA SOLANA

CORTE EN ALTO DEL CORZO Y ALTO DE LA CRUZ

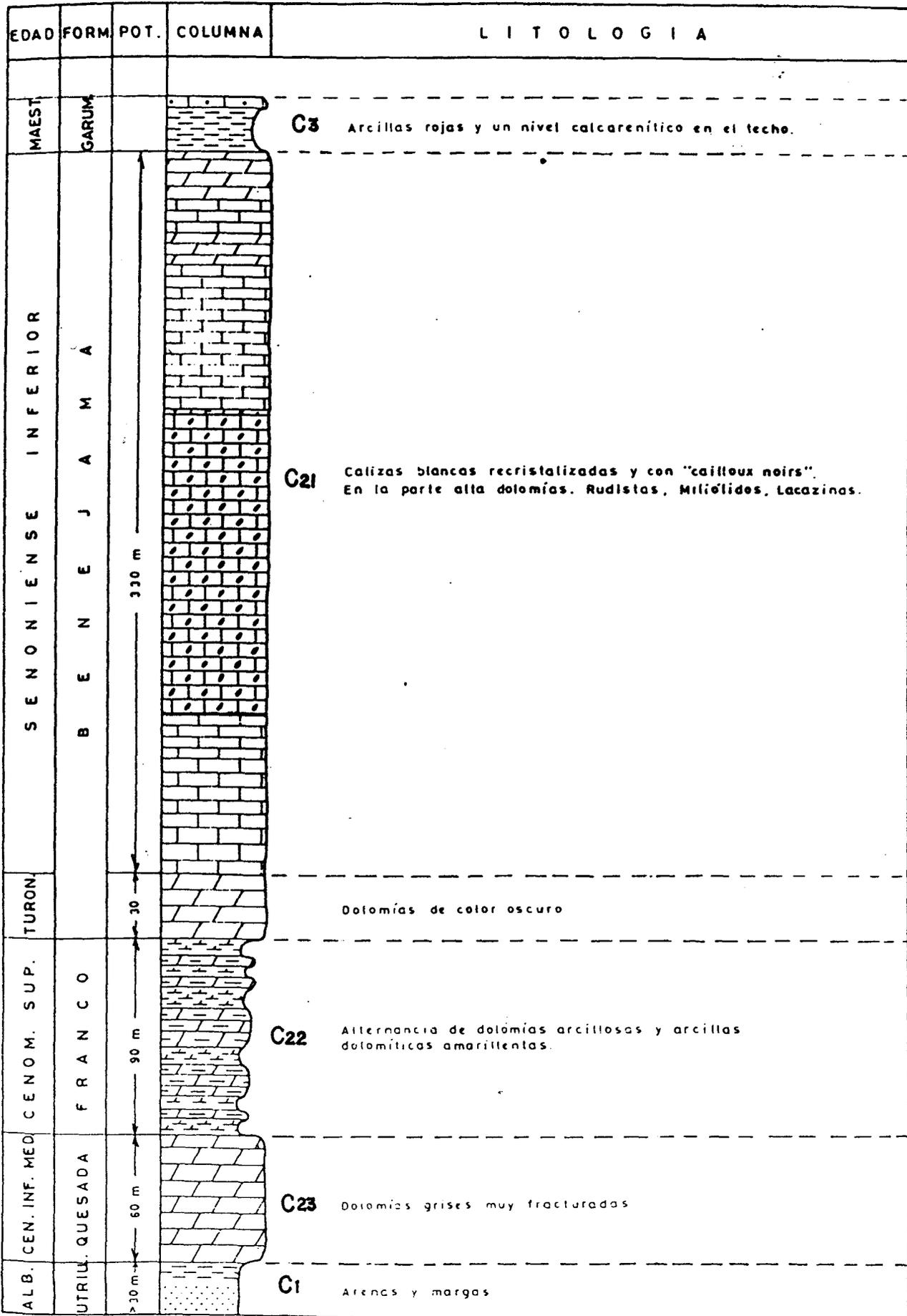


Fig. 6.1 COLUMNA LITOLÓGICA

Cuaternario. Este cambio de buzamiento tan brusco se produce más hacia el NE y se suaviza hacia el SW. Por tanto, la Sierra de la Solana es un anticlinal en "champiñón" cuyo flanco N está cabalgado.

Al Sur de esta Sierra existe un sinclinal de dirección también NE-SW cuyos flancos llegan a invertirse, y el flanco Sur está cabalgado, hacia el Norte, por las sierras de Peñarrubia, Fontanella y Mariola. La Sierra de la Villa es un anticlinal dentro de este sinclinal y hunde su eje hacia el NE.

Se trata, pues de un sinclinal en "champiñón" en su parte oriental, y sinclinal con repliegue anticlinal en su parte occidental.

Además de estos cabalgamientos, hacia el Norte, se observan en la Sierra de la Solana, fallas normales generalmente paralelas a la dirección de la estructura principal y algunos repliegues sin importancia.

5.- HIDROGEOLOGIA DEL
ACUIFERO CRETACICO DE
SOLANA.

5.1. CARACTERISTICAS LITOLOGICAS.

Los materiales acuíferos más importantes de la unidad pertenecen al Cretácico Superior, diferenciándose en él dos tramos permeables, denominados en la cartografía hidrogeológica C₂₁ (antiguamente Fm. Benejama) y C₂₃ (antiguamente Fm. Quesada), separados por un acuitardo C₂₂ (antiguamente Fm. Franco).

La formación acuífera principal (C₂₁) la constituyen 360 m. de calizas blancas recristalizadas que en la parte alta y a muro son dolomías. Está limitada a techo por las arcillas rojas del Maestrichtiense. La base de la formación la constituyen alternancia de dolomías arcillosas y arcillas dolomíticas amarillentas del Cenomaniense Superior que constituyen un acuitardo.

Existe un segundo nivel acuífero (C₂₃) del Cenomaniense Inferior y Medio, constituido por 60 m. de dolomías grises muy fracturadas. Limitada a techo por la alternancia de dolomías arcillosas y arcillas dolomíticas amarillentas, que constituyen el nivel acuitardo. del Cenomaniense Superior de 90 m. de potencia. El impermeable de base son las arenas y arcillas del Albiense (Fm. Utrillas).

Sobre los materiales cretácicos se deposita un relleno Miopliocuaternario compuesto por una alternancia de gravas, arenas y arcillas, que en la zona de Caudete-Villena con la profundidad adquieren un carácter más arcilloso, considerándose que por debajo de los 100 m., prácticamente no existen tramos permeables. Por otra parte, en el interior de los valles de Benejama y Biar estos materiales presentan en conjunto y de forma general menor proporción de tramos permeables, adquiriendo un carácter más arcilloso. La potencia de estos materiales es muy variable, desde más de 200 m. en el valle de Cudete-Villena hasta prácticamente desaparecer a la altura de la población de Bañeres. En el plano nº 9 se muestra el esbozo de las isohispsas de la base del Cuaternario, a partir del cual se puede estimar fácilmente la potencia de estos materiales en cualquier punto del acuífero.

5.2. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS.

El acuífero Cretácico de Solana presenta forma alargada en dirección NE-SO, con longitud de 27 Km y anchura variable desde 18 Km en el límite Oeste hasta los 4 Km del límite Este, lo que supone una extensión de 280 Km², de los que 90 Km² corresponden a afloramientos de material permeable.

Comprende las Sierras de Solana y la Villa. Las cotas topográficas oscilan entre los máximos de Sierra Solana, Ascensión (1004 m.s.n.m.), Aguila (982), Loma Llana (989) y Alto Cruz (955)

y los mínimos situados en el Valle del Vinalopó a cota 500 m.s.n.m.

La estructura geológica de la zona con pliegues en champiñón y estructuras cabalgantes, conforman una disposición geométrica de los materiales de gran complejidad. Como puede observarse en el mapa de isohipsas de la base del C₂₃ o techo de las arcillas Albienses (Plano 7), existen dos profundos surcos que coinciden con los valles de Benejama y de Biar, separados por un umbral, Sierra de La Villa, que hacia el Este se pierde en profundidad desapareciendo el relieve de la misma en las proximidades de Campo de Mirra. La profundidad del techo de los materiales albienses en el Valle de Benejama es superior a los 1.000 m, lo cual implica buzamiento de los materiales cretácicos del orden de 40°. Algo similar sucede en el Valle de Biar en donde la profundidad de los materiales albienses supera también los 1.000 m.

El techo de los materiales cretácicos también denota la complejidad estructural de la zona. Estos están recubiertos por las margas Tap del Mioceno que constituyen el impermeable de techo de la formación C₂₁ en los valles de Benejama y de Biar. El mapa de isohipsas de la base del Mioceno o techo de la formación C₂₁ (Plano 8) refleja la existencia de un potente recubrimiento Mioceno que alcanza profundidades superiores a los 600 m. en ambos valles.

Los límites de los acuíferos cretácicos son los siguientes:

5.2.1 Formación superior (C₂₁).

El límite septentrional del acuífero, está constituido en su parte occidental por el cabalgamiento de Fontanares que pone en contacto los materiales cretácicos de Sierra Solana con la potente formación margosa del Mioceno; y en su parte oriental por el levantamiento del impermeable de base(C₂₂) por encima de la superficie piezométrica. Este límite se considera cerrado en toda su longitud.

El límite meridional está definido por el cabalgamiento de Peñarrubia, en el cual los materiales cretácicos situados al Sur de éste cabalgan sobre las margas Tap miocenas, bajo las cuales se dispone la formación C₂₁; es probable que a través de esta fractura se haya inyectado el Keuper. Todo ello hace suponer que se trata de un límite cerrado. Únicamente existía la duda en su parte occidental, en la que se consideraba posible la comunicación con el Jurásico de Peñarrubia, aunque existen consideraciones geológicas que hacen muy poco probable esta hipótesis, estas son: Inyección a través de la fractura del Keuper, circunstancia indicada con anterioridad para el resto del límite; disminución de la permeabilidad por la presión litostática que soportan los materiales permeables del Cretácico del acuífero de Solana; y que posiblemente no exista contacto físico suficiente para la

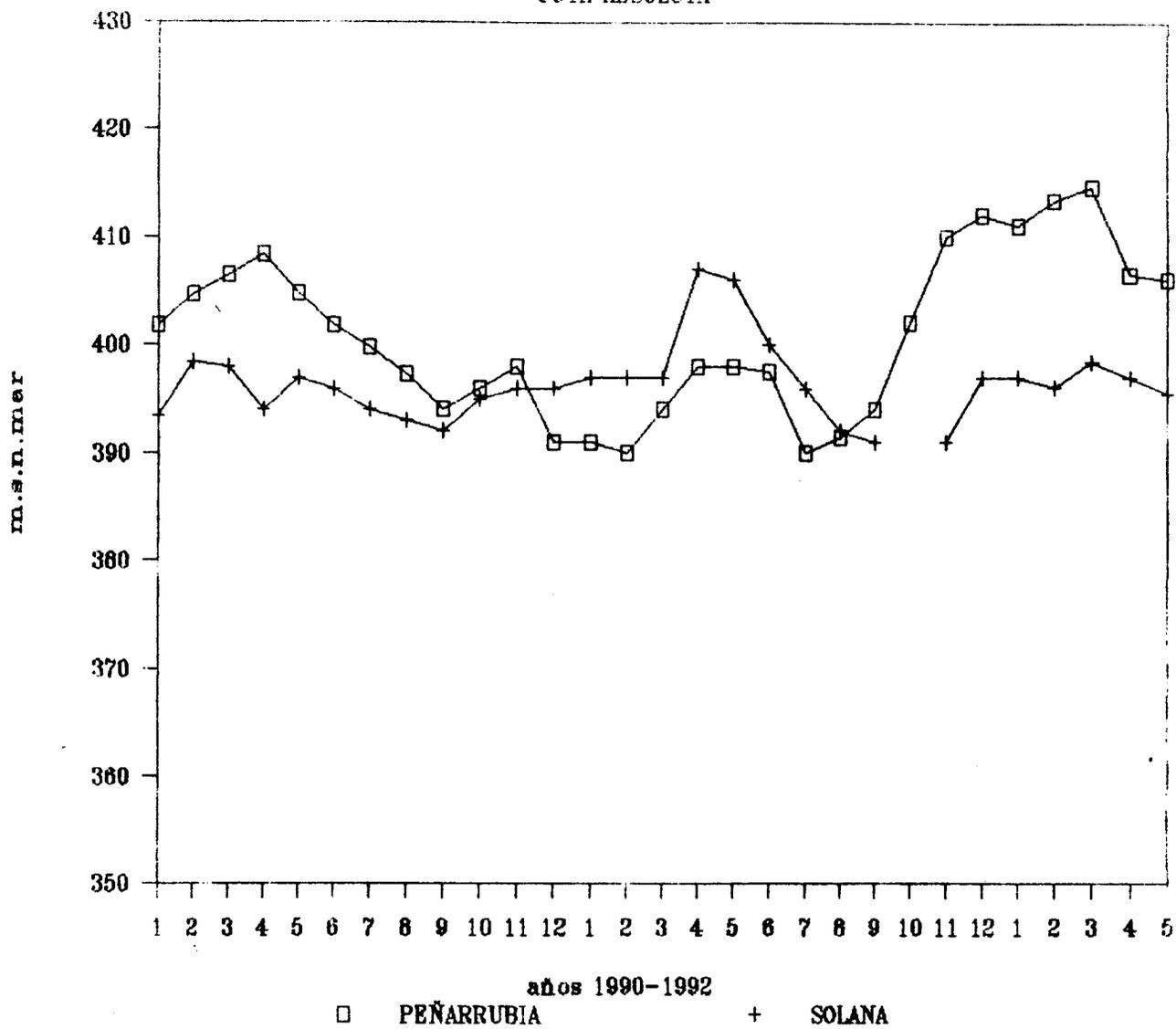
transferencia de agua entre éstos y los jurásicos permeables del acuífero de Peñarrubia.

Existen datos que parecen avalar esta posible desconexión con Peñarrubia, éstos son los correspondientes a la evolución piezométrica observada por Aguas Municipalizadas de Alicante en las captaciones de su propiedad situadas en ambos acuíferos. Nosotros, durante la ejecución del estudio, no hemos podido tener acceso a ésta información histórica, a pesar de haberla solicitado reiteradamente; sólo nos ha sido facilitada la correspondiente a los tres últimos años(1990-1992), fig.7, notoriamente insuficiente para descartar o comprobar la citada comunicación.

El límite Este del acuífero es cerrado en su sector septentrional por levantamiento del impermeable de base y supuestamente abierto en la zona en la que la formación C₂₁ se hunde bajo las margas del Mioceno en facies Tap. Sin embargo, se considera que en este último sector debido a la verticalidad que adopta la formación cretácica; la profundidad a la que se ubica, bajo el potente recubrimiento mioceno (unos 350 m. en el SEV nº 4 que se realizó en las proximidades de Bocairente), y la comparación de los piezómetros del acuífero de La Solana, con los situados al Este del supuesto límite (puntos 283230006 y 283240023), que muestran evoluciones distintas en el período (1980-1990). No se produce un aporte muy importante de agua subterránea, ya que en líneas generales en la zona oriental no se

EVOLUCION PIEZOMETRICA

COTA ABSOLUTA



EVOLUCION JURASICO PEÑARRUBIA Y ACUIFERO SOLANA (AMA)

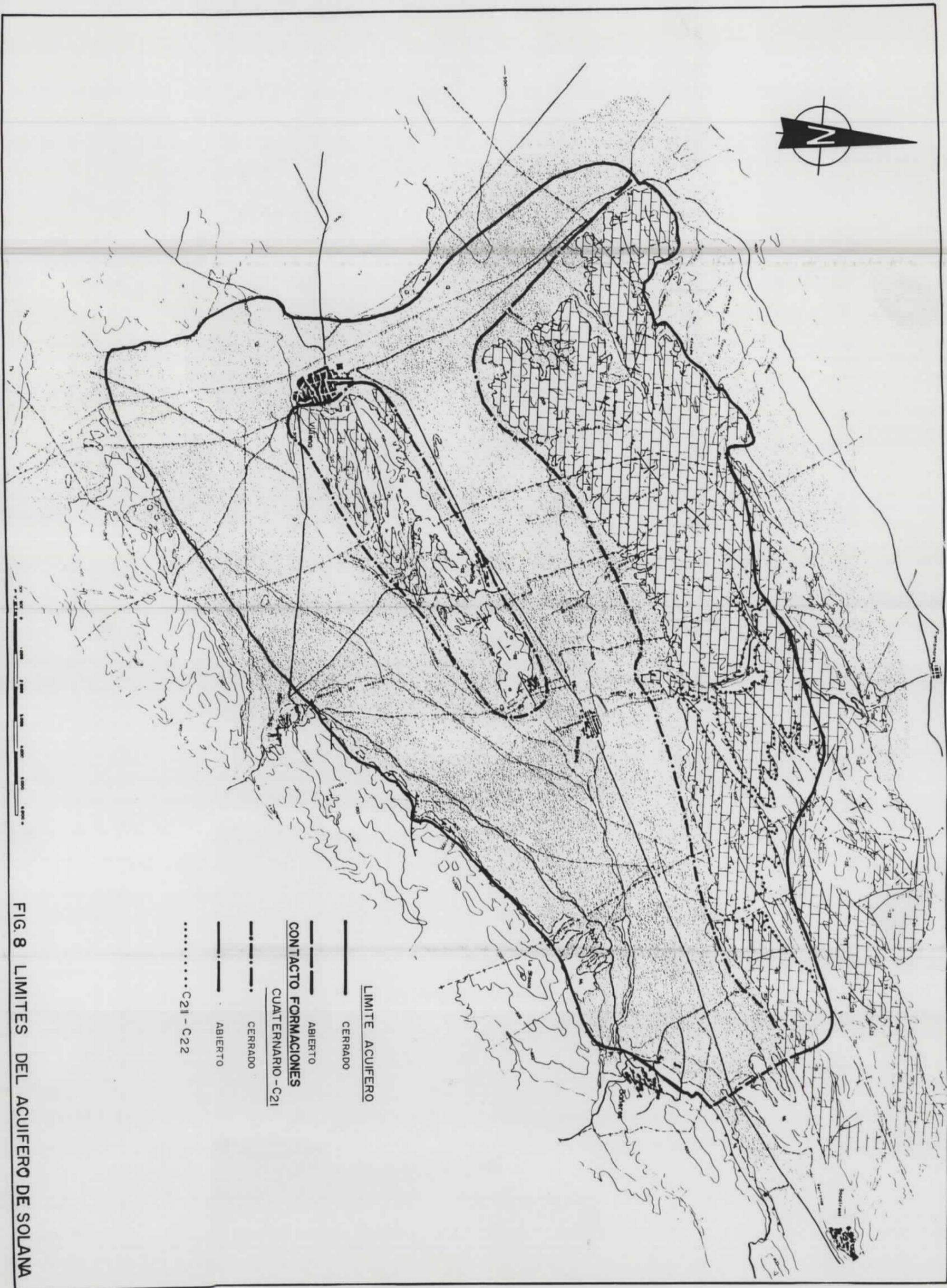


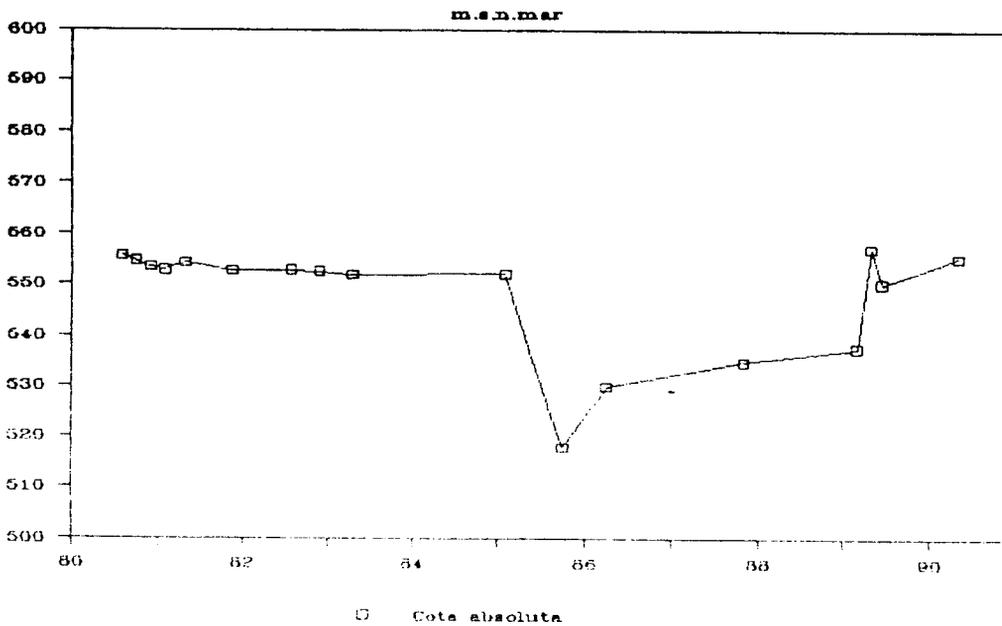
FIG. 8 LIMITES DEL ACUIFERO DE SOLANA

Nº de I.T.G.E.: 283230006

620 m.s.n.mar

Mes	Año	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
8	80	64,29	555,71	
10	80	65,33	554,67	
12	80	66,48	553,52	
2	81	67,11	552,89	
5	81	65,72	554,28	
11,5	81	67,38	552,62	
8	82	67,21	552,79	
12	82	67,48	552,52	
4,5	83	68,01	551,99	
2	85	67,90	552,10	
10	85	102,06	517,94	
4	86	90,13	529,87	
11	87	85,19	534,81	
3	89	82,35	537,65	
5	89	62,85	557,15	
6,5	89	69,82	550,18	
5,3	90	64,72	555,28	

NIVELES PIEZOMETRICOS

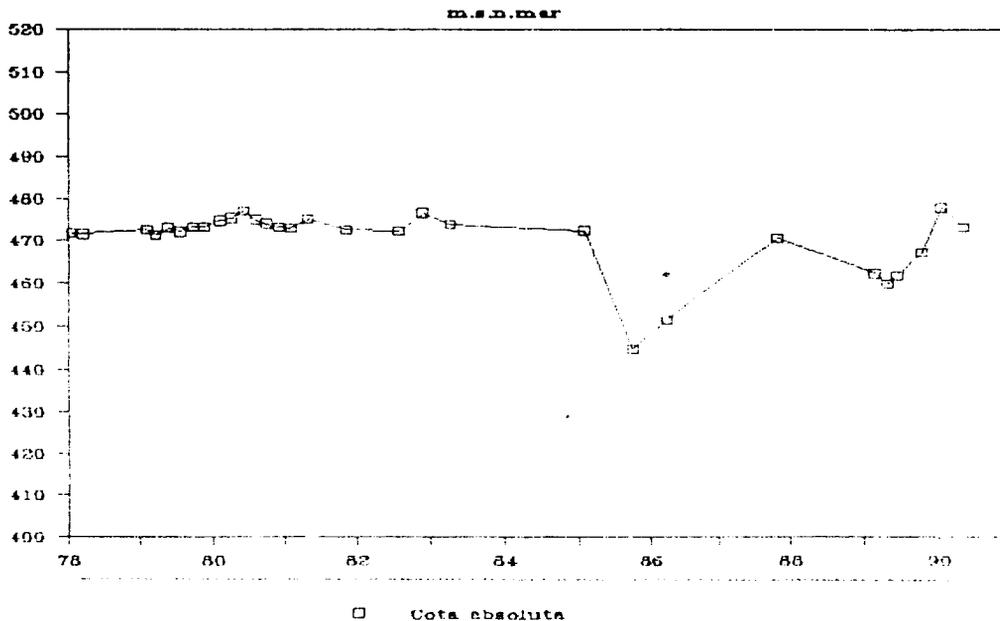


Nº de I.T.G.E.: 283240023

570 m.s.n.mar

Mes	Año	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
1,5	78	98,25	471,75	
3,5	78	98,42	471,58	
2	79	97,33	472,67	
3,5	79	98,56	471,44	
5,5	79	96,93	473,07	
7,5	79	97,82	472,18	
9,6	79	96,72	473,28	
11,5	79	96,68	473,32	
2	80	95,26	474,74	
4	80	94,68	475,32	
6	80	92,98	477,02	
8	80	95,02	474,98	
10	80	95,96	474,04	
12	80	96,77	473,23	
2	81	97,05	472,95	
5	81	94,88	475,12	
11,5	81	97,32	472,68	
8	82	97,66	472,34	
12	82	93,48	476,52	
4,5	83	96,11	473,89	
2	85	97,52	472,48	
10	85	125,28	444,72	
4	86	118,39	451,61	
11	87	99,24	470,76	
3	89	107,51	462,49	
5	89	109,9	460,10	
6,5	89	108,02	461,98	
10,5	89	102,63	467,37	
1,6	90	92,14	477,86	
5,3	90	96,65	473,35	

NIVELES PIEZOMETRICOS



produce un vaciado del acuífero, mientras que éste es patente en el acuífero de La Solana. Esta evidencia indica una posible desconexión y por tanto, que la alimentación lateral, en el caso de existir, debe ser reducida.

Por último, el límite occidental del acuífero es cerrado por el contacto de los materiales permeables con el Triás, bajo el Mioceno que sirve de base al Cuaternario de Caudete Villena. Existen, en las proximidades de este límite, sectores en los que el Cuaternario se pone en contacto con los materiales cretácicos saturados. Estos sectores constituyen zonas de transferencia de aguas subterránea del Cuaternario al Cretácico. La comunicación se produce en la franja en que el recubrimiento cuaternario saturado yace directamente sobre las calizas cretácicas y no sobre los materiales miocenos del Tap.

La campaña geofísica realizada en el Valle de Caudete-Villena, SEVs 1, 2 y 3, sugiere la existencia de una estructura fallada que pone en contacto las calizas cretácicas de La Solana con las calizas de Yecla-Villena o bien con los yesos masivos del Keuper. Sería importante la realización de un sondeo de investigación en el lado occidental del perfil (Ver Plano 12), con el fin de comprobar a que tipo de materiales corresponde el resistivo detectado. Ya que en el caso de corroborarse que son las calizas del Jumilla-Villena, existiría comunicación lateral entre ambos acuíferos por debajo de las margas del Mioceno.

La figura 8 muestra los límites del acuífero Cretácico y el tipo de contacto entre las diferentes formaciones.

5.2.2. Formación inferior (C₂₃).

El límite septentrional de esta formación, en su sector occidental, está formado por el cabalgamiento de Fontanares que la pone en contacto con la potente serie margosa del Mioceno. En el oriental por el levantamiento del impermeable de base C₁ por encima de la superficie piezométrica. Se considera el límite en su totalidad cerrado al flujo subterráneo.

El límite meridional está definido por el cabalgamiento de Peñarrubia. Se considera también cerrado al flujo subterráneo.

El límite oriental del acuífero posee características análogas a las indicadas para el nivel C₂₁.

Por último el límite occidental del acuífero, es cerrado por el contacto de los materiales permeable con las facies Keuper, por debajo del recubrimiento del acuitardo que supone la formación C₂₂.

5.2.3. Acuífero Cuaternario.

El acuífero Cuaternario se extiende sobre una superficie de 100 Km² abarcando el Valle de Caudete-Villena y los valles de Benejama y Biar, hasta las proximidades de la población de Bañeres.

Se trata de un acuífero libre dispuesto sobre el impermeable que suponen las margas Tap del Mioceno, excepto en los bordes de los valles en que los depósitos cuaternarios se sitúan directamente sobre los materiales acuíferos del Cretácico.

Los límites del acuífero son: El septentrional abierto entre Caudete y Los Alorines, y entre Alorines y el Morron y cerrado en el resto; el oriental cerrado; el meridional se considera abierto al Sur de Villena entre el Picacho de Cabreras y Biar. Por último, el límite occidental es cerrado, constituido por los afloramientos del Keuper, exceptuando la zona del Peñón Grande en donde éste es abierto existiendo un flujo de dirección Oeste-Este, hacia el acuífero Cretácico de Solana.

5.3. CARACTERÍSTICAS PIEZOMÉTRICAS.

5.3.1 Formación superior (C₂₁).

La evolución piezométrica del acuífero C₂₁ denota un descenso continuo hasta el año 1986, que se traduce en el aumento del gradiente de la superficie piezométrica desde 1974. El incremento es muy apreciable en las tres zonas que se indican a continuación. La primera, Valle de Biar, nos muestra el gradiente entre la población de Benejama y el flanco Sur de la Sierra de La Villa, a la altura del Cerro de los Purganticos. La segunda, Norte de Villena representa el gradiente entre el sondeo Barranco

Puentes (28325013) al pie de La Sierra de La Solana y el sondeo Romeral (28331003) en el flanco Norte de la Sierra de La Villa, en las inmediaciones de Cañada. Por último un tercer gradiente el del Valle de Benezama muestra el valor entre el piezómetro 28326016 y el pozo del Ayuntamiento de Benezama (28326010) o en su defecto el Sondeo Nogueral (28326004) en las inmediaciones de Benezama. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

AÑO	Valle Biar	Norte Villena	Valle Benezama
IV-74	0,1%	2,8%.	1,2(?)%.
IV-77	0,86%.	3,6%.	?
IV-80	1,3%.	6,8%..	4,6%.
IV-83	1,3%.	6,6%.	6,3%.
IV-86	1,20%.	7,6%.	6,6%.
IV-89	1,36%.	7%.	6,2%.
IV-91	1,36%.	5,8%.	?
IV-92	1,36%.	6,2%.	?

TABLA 6. Gradientes piezométricos en la formación C21.

El incremento en la pendiente de la superficie piezométrica se hace ostensible hasta el año 1986, a partir del cual ésta no sigue aumentando, sino que se estabiliza o incluso se atenúa, este hecho es reflejo de la estabilización en los niveles piezométricos, como muestra la tabla 7 y las figuras 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4 adjuntas.

POZO PEÑETES (Niveles estáticos)

Nº I.T.G.E. 28325013

Cota sondeo : 570 m.s.n.mar

Fecha	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
IV-77	77,50	492,50	
IV-78	83,70	486,30	
IV-79	114,40	455,60	
IV-80	124,10	445,90	
IV-81	129,40	440,60	
IV-82	140,10	429,90	
IV-83	148,00	422,00	
IV-84	144,90	425,10	
IV-85	160,50	409,50	
IV-86	161,10	408,90	
IV-87	159,10	410,90	
IV-88	157,20	412,80	
IV-89	159,90	410,10	
IV-90	157,90	412,10	
IV-91	153,80	416,20	
IV-92	154,10	415,90	

NIVELES PIEZOMETRICOS

m.s.n.mar

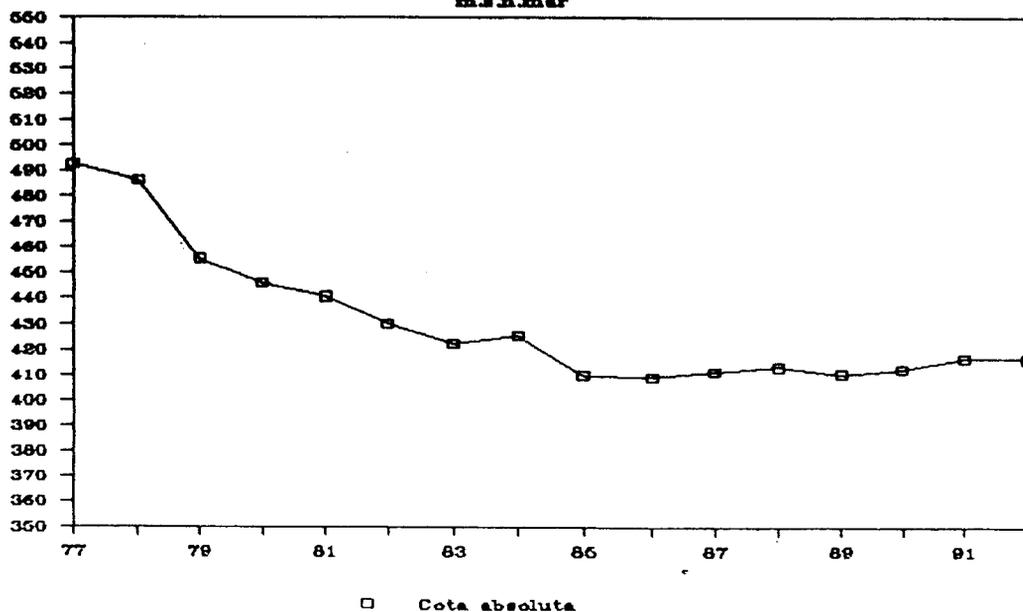


Fig. 9.1 PIEZOMETRO REPRESENTATIVO DE LA FORMACION C2I

POZO CANDELA (Niveles estáticos)

Nº I.T.G.E. 28331006

Cota sondeo : 575 m.s.n.mar

Fecha	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
IV-74	67,60	507,40	
IV-75	66,40	508,60	
IV-76	65,00	510,00	
IV-77	84,20	490,80	
IV-78	93,80	481,20	
IV-79	129,00	446,00	
IV-80	136,60	438,40	
IV-81	139,60	435,40	
IV-82	146,90	428,10	
IV-83	156,10	418,90	
IV-84	153,00	422,00	
IV-85	165,20	409,80	
IV-86	172,00	403,00	
IV-87	169,40	405,60	
IV-88	167,00	408,00	
IV-89	169,00	406,00	
IV-90	154,80	420,20	
IV-91	151,00	424,00	
IV-92	151,30	423,70	

NIVELES PIEZOMETRICOS

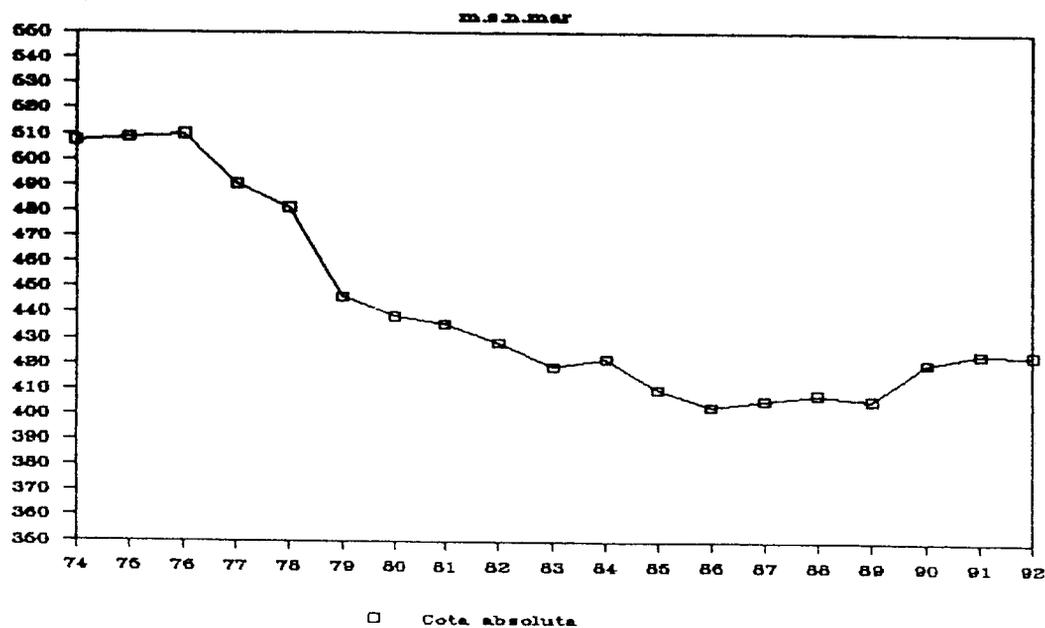


Fig. 9.2 PIEZOMETRO REPRESENTATIVO DE LA FORMACION C2I

POZO ALORINES II (Niveles estáticos)

Nº I.T.G.E. 27328023

Cota sondeo : 560 m.s.n.mar

Fecha	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
IV-72	69,60	490,40	
IV-73	69,00	491,00	
IV-74	67,00	493,00	
IV-75	67,50	492,50	
IV-76	65,00	495,00	
IV-77	67,20	492,80	
IV-78	68,40	491,60	
IV-79	79,70	480,30	
IV-80	82,50	477,50	
IV-81	87,00	473,00	
IV-82	91,00	469,00	
IV-83	93,60	466,40	
IV-84	96,00	464,00	
IV-85	100,80	459,20	
IV-86	106,50	453,50	
IV-87	109,50	450,50	
IV-88	111,30	448,70	
IV-89	113,80	446,20	
IV-90	110,90	449,10	
IV-91	114,70	445,30	

NIVELES PIEZOMETRICOS

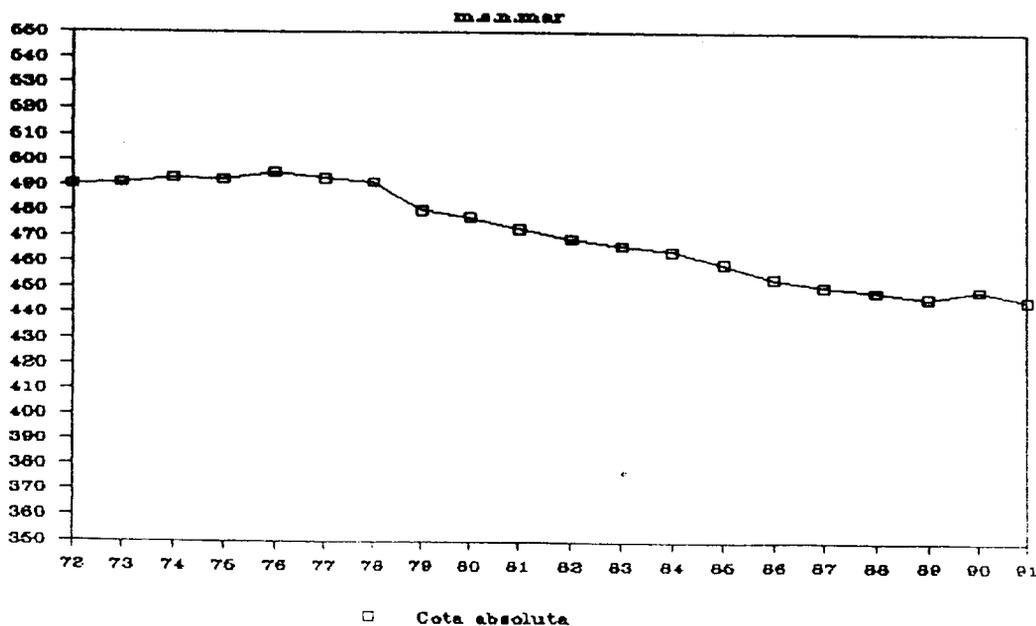


Fig. 9.3 PIEZOMETRO REPRESENTATIVO DE LA FORMACION C21 Y C23

POZO BARRANCO PUENTES (Niveles estáticos)
 Cota sondeo : 585 m.s.n.mar

Nº I.T.G.E. 28325003

Fecha	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
IV-72	91,60	493,40	
IV-73	85,20	499,80	
IV-74	85,40	499,60	
IV-75	85,50	499,50	
IV-76	85,70	499,30	
IV-77	87,10	497,90	
IV-78	90,30	494,70	
IV-79	104,50	480,50	
IV-80	104,00	481,00	
IV-81	110,50	474,50	
IV-82	114,30	470,70	
IV-83	116,00	469,00	
IV-84	117,90	467,10	
IV-85	136,60	448,40	
IV-86	136,50	448,50	
IV-87	134,00	451,00	
IV-88	136,30	448,70	
IV-89	129,70	455,30	
IV-90	139,10	445,90	
IV-91	132,20	452,80	
IV-92	139,50	445,50	

NIVELES PIEZOMETRICOS

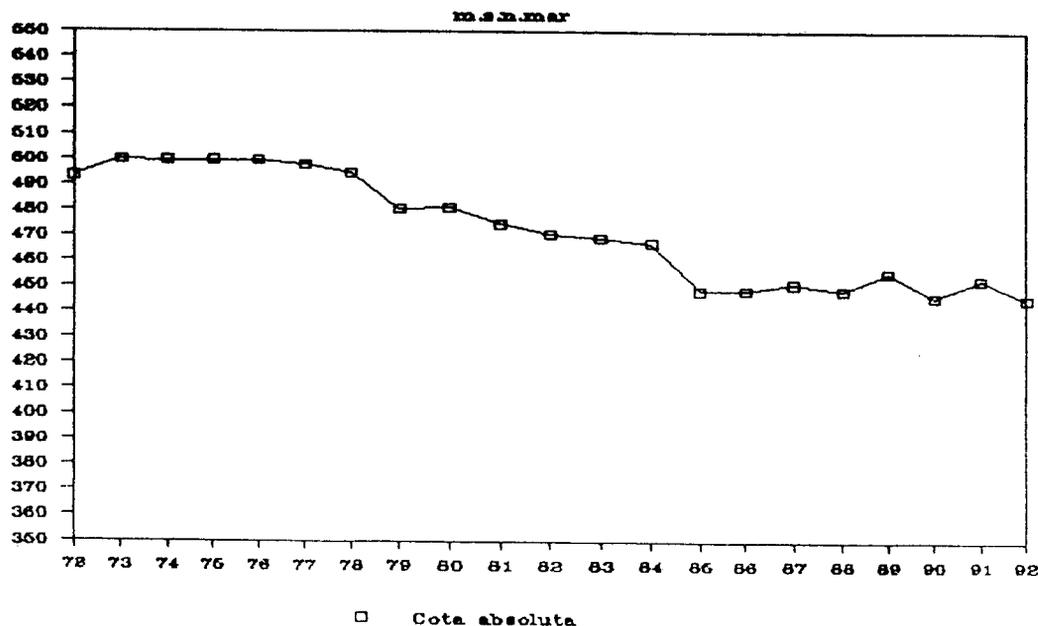


Fig. 9.4 PIEZOMETRO REPRESENTATIVO DE LA FORMACION C21 Y C23

CAPTACION	1972-77	1977-82	1982-86	1986-91
2732 80023(C ₂₁ -C ₂₃)	-0,48	4,76	3,9	1,64
2832 50003(C ₂₁ -C ₂₃)	-0,9	5,44	5,55	-0,86
2833 10003(C ₂₁ -C ₂₃)	0,2	8,16	7,1	-2,7
2832 50013 (C ₂₁)	-	12,5	5,25	-1,5
2833 10006 (C ₂₁)	-	12,5	6,3	-4,2
2832 60016 (C ₂₁)			2,1	

TABLA 7. Descenso medio anual del nivel piezométrico en metros.

Los planos 3, 4, 5 y 6 muestran las piezometrías para distintos años: Abril de 1974, Abril de 1980, Abril de 1986 y Abril de 1992.

Durante la campaña de inventario, Marzo-Abril de 1992, la superficie piezométrica de la formación C₂₁, estaba comprendida entre los 470 m.s.n.m. en las proximidades de Bocairente, en el límite oriental del acuífero (283230015), los 448 m.s.n.m. de Casa Gallús, en el límite noroccidental del acuífero, los 445 m.s.n.m. del sondeo Barranco Puentes (2832 50003) y los 419 m.s.n.m. en la población de Villena (2833 10055).

5.3.2. Formación Inferior (C₂₃).

Del acuífero C₂₃ no existen prácticamente medidas puesto que son pocos los sondeos que extraen únicamente agua del mismo. Un

punto que afecta a este acuífero es el sondeo 273340045 de abastecimiento a Villena con 442 m.s.n. m.

El registro histórico de que se dispone en los sondeos que explotan la formación C₂₃ es de únicamente dos años, por lo cual es difícil extraer conclusiones.

Existe un conjunto de sondeos que explotan las dos formaciones acuíferas. La evolución piezométrica es idéntica a la que se observa en los sondeos que explotan únicamente la formación C₂₁.

En la tabla 7 se indican los descensos medios del nivel piezométrico en los sondeos que captan ambas formaciones.

5.3.3. Acuífero Cuaternario.

La piezometría del acuífero es más alta en el interior de los valles y más baja en la zona Sur de Villena. Así ésta varía entre 504 m.s.n.m. en el piezómetro 28325007, situado en el valle de Benejama a la altura de la población de Cañada, los 475 m.s.n.m. al NO de la población de Villena y los 409 m.s.n.m. en el extremo Sur del acuífero, sondeo 28338019.

El gradiente deducido de los datos disponibles es cercano al 7 por mil entre el acuífero Yecla-Villena y Los Alorines, cercano al 1% en el Valle de Benejama, mientras que en el de Biar no se dispone de datos suficientes para cuantificarlo, aunque es de suponer que sea similar al deducido en el valle de Benejama. Por

último, en le Valle de Caudete-Villena el gradiente es del orden del 1,5 por mil.

La evolución piezométrica indica que mientras en el interior del valle de Benezama no se ha producido variación del nivel piezométrico, en el de Caudete-Villena (piezómetro 27328001) entre 1980 y 1989, el nivel piezométrico descendió del orden de 40 m., produciéndose este descenso entre 1983 y 1985.

5.4.- PARAMETROS HIDRODINAMICOS.

Las características hidráulicas de las formaciones del acuífero cretácico, se han deducido a partir de los caudales específicos de los sondeos en explotación.

5.4.1.- Formación Superior (C₂₁).

Los parámetros hidrodinámicos varían de unas zonas a otras, así el valor de transmisividad en la zona de "El Morrón" se estima en unos 5.000 m²/día. En la parte Sur del acuífero, en el valle de Biar, a la altura del Cerro de Los Purganticos el valor de transmisividad se estima en unos 3.000 m²/día.

La porosidad eficaz se ha estimado por comparación con otros acuíferos de similares características y a partir de las observaciones de superficie, se considera que ha de ser alta con un valor de un 2% e incluso superior.

5.4.2. Formación Inferior (C₂₃).

Las características hidráulicas se han deducido únicamente en la zona de Villena estimándose un valor de transmisividad de unos 2.000 m²/día.

La porosidad eficaz cabe suponer que ha de ser similar a la formación C₂₁, debido a la similitud de las características litológicas.

5.4.3. Acuífero Cuaternario.

Los parámetros hidrodinámicos de estos materiales varían sustancialmente dependiendo de las características litológicas de los mismos. Se aprecia una gran variación entre los materiales de los valles del interior que son prácticamente impermeables y los correspondientes al de Caudete-Villena donde se alcanzan valores próximos a 240 m²/día.

5.5. CAPTACIONES EXISTENTES.

De las 70 captaciones cuyo inventario se ha actualizado, 22 sondeos explotan la formación superior del Cretácico, 7 la formación inferior del Cretácico y 8 ambas formaciones del Cretácico. La ubicación de los mismos está indicada en el Plano nº2 de Características de Puntos de Agua.

5.5.1. Formación Superior (C₂₁).

De los 22 sondeos, que explotan la formación superior tres de ellos están fuera de servicio. Sus profundidades oscilan entre los 120 y 466 m, siendo la profundidad media de 310 m. La mayoría de ellos sólo están entubados en la primera centena de metros, estando el resto sin entubar en el contacto con la formación acuífera.

Exceptuando el pozo de abastecimiento a Benejama, 3 sondeos del A.M.A. y dos captaciones propiedad del IRYDA, el agua extraída se emplea para consumo agrícola.

La propiedad de los pozos es la siguiente:

- Ayto. de Benejama	1
- FINCA LA TORRE	3
- C.R. BENEJAMA	2
- IRYDA	4
- S.A.T. 3.563 LEVANTE	
Y CABEZUELAS	3
- SAT ARMONIA	1
- Particulares	4
- A.M.A.	3

5.5.2. Formación Inferior (C₂₃).

Los sondeos que explotan esta formación están ubicados en los alrededores de la población de Villena o en el mismo casco urbano.

Se trata de 8 sondeos todos ellos en activo. La profundidad de los mismos oscila entre 194 y 300 m, con un valor medio de 265 m.

Frente a la formación acuífera los sondeos se encuentran sin entubar.

La propiedad de los pozos es la siguiente:

Ayto. de Villena	2
C.R. Huertas y Partidas	6

El agua es dedicada al abastecimiento urbano de Villena y a regadío de una amplia zona situada al Sur de Villena.

5.5.3. Formaciones Superior e Inferior (C₂₁ y C₂₃).

Son 8 sondeos que captan las dos formaciones cretácicas aquí estudiadas. La profundidad de los mismos oscila entre 202 y 350, siendo la profundidad media de 290 m. Como en los casos anteriores, éstos están sin entubar frente a las formaciones acuíferas poniéndolas en comunicación.

La propiedad de los sondeos es la siguiente:

IRYDA:	7
Ayto. de Villena:	1

El agua extraída es dedicada al consumo agrícola, excepto en el caso del sondeo del Ayto. de Villena que se emplea para abastecimiento urbano.

5.5.4. Acuífero Cuaternario.

Los pozos y sondeos que captan el acuífero Cuaternario se ubican principalmente en las inmediaciones de Villena, entre Villena y Caudete, y entre Villena y Biar. Son escasos o prácticamente inexistentes los pozos o sondeos ubicados en los valles del interior.

El agua extraída en la mayoría de ellos es dedicada a satisfacer la demanda agrícola de pequeñas explotaciones agrarias. Únicamente un par de sondeos en este acuífero se utilizan para abastecimiento urbano; se trata de los sondeos 28331018 y 28331019 que suministran agua a la población de Elche.

5.6.- FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO.

5.6.1 Formación superior (C₂₁).

La circulación del agua en este nivel acuífero tiene una marcada componente NEE-SWW, paralelamente a las estructuras tectónicas que la delimitan, introduciendo el anticlinal que forma la sierra de La Villa, una divisoria en el fjujo. Este esquema general de circulación se ve afectado en el límite Oeste siendo la circulación en esta zona de sentido Norte-Sur o NE-SW. En la figura 10 se muestran esquemáticamente las direcciones y sentidos de la circulación del agua en el acuífero.

La recarga de la formación C₂₁, se realiza fundamentalmente por infiltración de agua de lluvia en las zonas de afloramiento, es decir, Sierras de la Solana, principalmente y de la Villa en menor cuantía. Esta recarga se realiza fundamentalmente en el período de Noviembre-Marzo del año hidrológico.

Existen otros tipos de recarga, aunque de menor cuantía, que se producen por el límite NO y E. La primera, procedente del acuífero cuaternario de Caudete-Villena, al encontrarse la cota piezométrica en éste más alta que en el acuífero cretácico. La segunda, a través de los materiales cretácicos subyacente a la facies Tap del valle de Benejama. Estas transferencias, son difíciles de cuantificar y por ello se han obtenido a partir del modelo de flujo realizado.

Las zonas de extracción de la formación C₂₁, se concentran en el borde Oeste de la misma, a ambos lados de la Sierra de la Villa y bajo el Cuaternario del Valle de Benezama en la prolongación de la Sierra de La Villa (plano 2).

La mayor parte de las extracciones son para consumo agrícola, por tanto se concentran en el período de Abril-Septiembre de cada año, mientras las extracciones para abastecimiento urbano se distribuyen de manera regular durante todo el año.

En la tabla 8 se muestran las extracciones anuales distribuidas por sondeos, para el año 1991, así como la formación captada.

5.6.2. Formación Inferior (C₂₃).

La formación C₂₃, no tiene prácticamente zona de afloramiento, ésta es del orden de unos 1,5 Km², por tanto, la recarga por infiltración de lluvia es muy escasa. Su alimentación debe producirse básicamente a través del acuitardo C₂₂, a través de captaciones que atraviesen ambos niveles permeables del Cretácico y por la transferencia lateral que pueda existir en el límite oriental.

Esta formación se explota directamente en la población de Villena, además de en algunos sondeos dispersos que captan ambas formaciones.

La mayor parte de las extracciones son para consumo agrícola, por tanto se concentran en el período de Abril-Septiembre de cada año, mientras las extracciones para abastecimiento urbano se distribuyen de manera regular durante todo el año.

En la tabla 8 se muestran las extracciones anuales distribuidas por sondeos, para el año 1991, así como la formación captada.

Nº Inventario I.T.G.E.	Extracción (m ³ /año)	Formación
283250010	29.808	C21 (?)
283250013	1.132.837	C21
283260004	9.720	C21
283260009	289.350	C21
283260010	315.790	C21
283310005	1.550.197	C21
283310006	1.967.558	C21
283310048		
283310049	8.640.393	C21
283310050		
273280037	1.390.500	C21
273280038	945.540	C21
273280039	182.848	C21
273280035	272.430	C21
273280091	108.000	C21
273340093	993.600	C21
273380020	435.888	C21
283260010	97.000	C21
283260011	151.000	C21
283310003	208.305	C21 C23
283310055	1.175.060	C21 C23
283310064	1.311.706	C21 C23
283250003	486.045	C21 C23
273280002	909.533	C21 C23
273280023	909.533	C21 C23
273280078	574.442	C21 C23
273340042	988.848	C23
273340045	1.175.040	C23
273340046	1.202.760	C23
273340048	988.200	C23
273340049	823.500	C23

Formación	Extracción Total (m ³ /año)
C21	17.512.459
C23	5.178.348
C21 y C23	5.574.604

TABLA 8. Extracciones del acuífero cretácico (año 1991).

5.6.3. Acuífero cuaternario.

La circulación del agua en el acuífero tiene una marcada dirección NE-SE desde los valles de Biar y Benezama hacia la zona de Caudete-Villena. En ésta la circulación presenta otras componentes Oeste-Este en la parte Norte, y N-S en la parte Sur motivadas por los bombeos existentes en las zonas de descarga.

La recarga del acuífero se realiza fundamentalmente por infiltración de agua de lluvia sobre la superficie del mismo, ya sea por infiltración directa o a través de cursos superficiales ya sean continuos o esporádicos. Actualmente en menor cantidad por excedentes de riego, aunque en el pasado debió tener una mayor importancia.

Las extracciones se realizan en los meses de verano, concentrándose básicamente en la parte Norte de Villena, al Sudeste de dicha población y en la zona conocida como Los Frutales, en donde la extracción se realiza durante todo el año, por dedicarse parte de ella al abastecimiento de la población de Elche.

5.7. BALANCE HIDRICO.

5.7.1. Acuífero cretácico de Solana.

Como consecuencia de no poder diferenciar con precisión las extracciones realizadas en cada una de las formaciones permeables del acuífero, se considerará éste como un todo unitario a la hora de elaborar el balance.

La alimentación procede básicamente de la infiltración de agua de lluvia en las zonas de afloramiento de los materiales permeables ya sean las calizas y dolomías cretácicas o depósitos cuaternarios bajo los cuales no existen las margas del Táp Mioceno. Los excedentes de riego son despreciables, pues la zona regada se extiende en los fondos de los valles, sobre materiales cuaternarios, que descansan a su vez sobre el Mioceno.

Existe una tranferencia lateral del acuífero Cuaternario de Caudete-Villena al acuífero Cretácico entre la zona de Alorines y El Morrón. Esta transferencia se ha calculado para la media del período(1972-1991) en $6,43 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Por otro lado en el límite oriental, considerado supuestamente abierto, existe un flujo de entrada estimado también mediante el modelo en $0,40 \text{ hm}^3/\text{año}$ de valor medio.

La descarga conocida del acuífero se produce mediante bombeos, ya que parece estar descartada la comunicación con el Cuaternario de Fontanares y el Jurásico de Peñarrubia. Los datos

de bombeo se han obtenido a partir del inventario exhaustivo que se realizó en la 1ª etapa de ejecución del proyecto. La extrapolación hacia atrás en el tiempo se hizo en base a los registros históricos de las entidades que gestionan la captación. La mitad de las extracciones se conocen con precisión puesto que existen contadores en la salida de la captación, en otros casos se ha estimado la extracción en base a hectareas regadas y/o población abastecida.

El balance medio para el período 1972-1991, deducido del modelo matemático de flujo realizado, cuya pasada final se incorpora en el anejo 7, es el siguiente:

Entradas (Hm³/año). (Período 1972-1991)

*Infiltración de lluvia	14,7
*Excedentes de riego:	0,30
*Transferencia lateral Caudete-Villena	6,43
*Transferencia lateral Bocairente	0,40
TOTAL	21,83

Salidas (Hm³/año). (Período 1972-1991).

*Bombeos:

a) Extracciones de la formación C ₂₁	17,51
b) Extracciones de la formación C ₂₃	5,18
c) Extracciones de ambos C ₂₁ y C ₂₃	5,57

TOTAL **28,26**

El balance para la media del período presenta un déficit medio de $-6,46 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo que indica claramente la sobreexplotación a que está sometido el acuífero.

Para un subperíodo seco esta sobreexplotación se acentúa aún más. El balance medio del acuífero para el 1982-1987 es el siguiente:

Entradas ($\text{Hm}^3/\text{año}$). (Período 1982-1987)

*Infiltración de lluvia	8,56
*Excedentes de riego:	0,10
*Transferencia lateral Caudete-Villena	7,52
*Transferencia lateral Bocairente	1,54
TOTAL	17,62

Salidas ($\text{Hm}^3/\text{año}$). (Período 1982-1987)

***Bombeos:**

a) Extracciones de la formación C ₂₁	19,92
b) Extracciones de la formación C ₂₃	5,18
c) Extracciones de ambos C ₂₁ y C ₂₃	5,57
TOTAL	30,67

Por tanto en el subperíodo seco considerado la variación media de reserva anual ha sido de $-13,05 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En la tabla nº 9 se indica el balance obtenido del modelo para el período 1972-1991.

TABLA Nº 9: ACUIFERO CRETACICO DE SOLANA. BALANCE 1972-1991. DEDUCIDO DEL MODELO DE FLUJO SIMPLIFICADO.

PERIODO	Entradas($\text{hm}^3/\text{año}$)			Salidas($\text{hm}^3/\text{año}$)		Variación Reservas ($\text{hm}^3/\text{año}$)
	Infiltración	Tsub. Caudete	Tsub. Bocairente	Bombeos	Tsub. Bocairente	
1972-1977	20,79	3,16	--	24,10	1,89	-2,04
1977-1980	14,06	6,24	--	31,45	0,24	-11,39
1981	19,37	7,18	--	30,67	0,16	-4,27
1982	6,21	4,90	0,53	31,62	--	-19,98
1983	14,09	6,33	0,90	31,78	--	-10,46
1984	4,09	8,45	1,64	32,24	--	-18,06
1985	10,94	9,77	1,90	31,94	--	-9,33
1986	9,73	7,06	1,98	28,70	--	-9,93
1987	6,94	8,65	2,32	27,79	--	-9,88
1988	15,59	8,75	2,26	25,32	--	+1,28
1989	17,26	8,80	2,15	27,36	--	+0,85
1990	14,76	8,80	2,16	25,72	--	0,0
1991	19,42	8,96	1,97	28,93	--	+1,41
MEDIA	14,99	6,43	0,94	28,26	0,54	-6,46

5.7.2. Acuífero Cuaternario.

La alimentación del acuífero procede básicamente de la infiltración de lluvia y por los retornos de riego en la amplia zona de regadío que constituyen los valles de Caudete-Villena, Benejama y Biar. Por otra parte, existe un flujo subterráneo del acuífero Yecla-Villena que se puede estimar, suponiendo una Transmisividad de $240 \text{ m}^2/\text{día}$ y un gradiente del 7 por mil y una longitud de contacto de 5 Km, así la transferencia lateral del acuífero Yecla-Villena se puede cifrar en $3 \text{ Hm}^3/\text{año}$. En el Valle de Biar existe también la recarga actualmente no cuantificada del río Vinalopó.

La descarga se produce fundamentalmente por bombeos y transferencia lateral al acuífero cretácico de Solana.

El balance medio del acuífero para el período 1981-1991 es el siguiente:

Entradas ($\text{Hm}^3/\text{año}$). (Período 1981-1991)

*Infiltración de lluvia	10,2
*Excedentes de riego:	3,5
*Transferencia lateral Yecla-Villena	3
*Infiltración del río Vinalopó	?
TOTAL	>16,7

Salidas (Hm³/año). (Año 1991)

*Bombeos:

a) Bombeos agrícolas	6,0
b) Bombeos urbanos	1,5
c) Transferencia lateral Solana	9,0
TOTAL	16,5

5.8. GRADO DE EXPLOTACION DEL ACUIFERO.

Siguiendo el razonamiento del apartado anterior, en este capítulo se evaluará el grado de explotación del acuífero cretácico de manera conjunta, debido fundamentalmente a tres aspectos:

- a) La dificultad que entraña separar las extracciones de ambas formaciones.
- b) El desconocimiento real del mecanismo de comunicación entre ambas formaciones permeables a través del acuitardo C₂₂.
- c) La falta de registro piezométrico específico de la formación C₂₃.

Como puede observarse en la tabla nº 9, que se adjunta, los volúmenes anuales bombeados en el acuífero han variado, para el período 1972-1991, desde un mínimo de 23,4 hm³/año en el 1972 a un

máximo próximo a 32,2 hm³/año en el 1984. Posteriormente ha decrecido el volumen anual de extracción hasta el 1990 a unos 26 hm³/año, incrementándose otra vez en el 1991 a unos 29 hm³/año.

El consumo estimado de reservas durante el período indicado ha sido de unos 116 hm³/año, desglosados tal como se indica en la tabla 9 adjunta.

En consecuencia en los puntos representativos de la formación C₂₁, el descenso del nivel piezométrico ha sido del orden de 90 m durante el período 1977-86, presentándose posteriormente una ligera recuperación cercana a los 8 m en el período (1986-91). Todo ello indica la sobreexplotación a que ha sido sometida esta formación durante los últimos 19 años, especialmente desde 1977 a 1987.

En la formación C₂₃ según referencias de usuarios de la Comunidad de Regantes de Huertas y Partidos, el nivel piezométrico ha descendido unos 80 m en el período 1977-86.

La situación actual muestra que la piezometría del nivel C₂₃ es del orden de 20 m. por encima del correspondiente al nivel de la formación C₂₁, en las proximidades de Villena, único lugar en el que es posible diferenciar la piezometría de ambas formaciones. Este hecho resulta curioso debido a que la explotación actual de la formación C₂₃ se estima el 25% de la explotación total de ambas formaciones, y sin embargo su recarga directa por infiltración de lluvia es prácticamente nula. La recarga de la formación C₂₃ debe

realizarse también a través del acuitardo y posiblemente en menor medida por transferencia lateral a través del límite oriental.

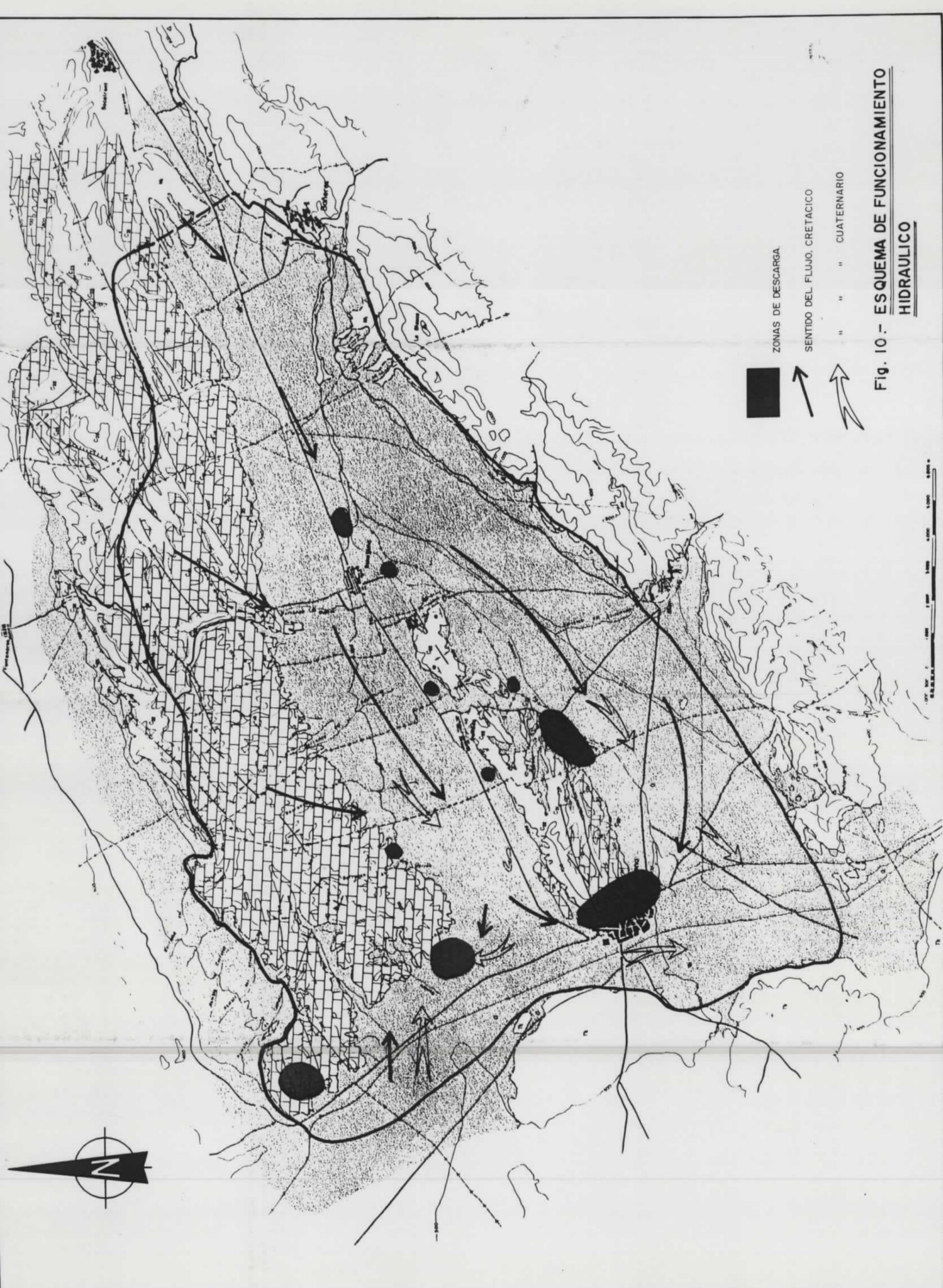
Por otra parte la formación C₂₁ recibe la mayor parte de su recarga por infiltración de lluvia y sus extracciones son del orden de 22 Hm³/año, y sin embargo, como ya se ha comentado con anterioridad, el nivel piezométrico está 20 m. por debajo del nivel de la formación C₂₃, en las proximidades de Villena.

Hay que indicar que en el resto del acuífero existen sondeos que explotan ambas formaciones y su nivel piezométrico está en consonancia con los niveles de los sondeos que únicamente explotan el acuífero C₂₁, de ahí que sea posible que ambos acuíferos estén conectados a través de fracturas en el valle de Benejama y en el valle de Biar, aunque quizás en las proximidades de Villena ambos estén separados hidráulicamente lo que podría explicar la diferencia de nivel piezométrico observada.

5.9. RESERVAS EXPLOTABLES. ✓

Para el cálculo de las reservas explotables se ha utilizado el mapa de isohipsas de la base de la formación C₂₃ y la posición actual de la superficie piezométrica, realizándose el cálculo para las dos formaciones que componen el acuífero. Se ha estimado una porosidad eficaz del 2%.

Las reservas movilizables del acuífero con la profundidad actual de las captaciones es de unos 140 Hm³ aproximadamente.



ZONAS DE DESCARGA

SENTIDO DEL FLUJO, CRETACICO

" " " CUATERNARIO

Fig. 10.- ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
HIDRAULICO

0 1.000 2.000 3.000 4.000 5.000 6.000 7.000 8.000

6. - HIDROQUIMICA.

Para la definición de la facies hidroquímica del agua subterránea se han realizado 15 análisis de agua, de los cuales 11 corresponden al acuífero cretácico de La Solana, 1 al acuífero cuaternario del valle de Benejama, 1 al acuífero de Mariola, 1 al acuífero de Yecla-Villena y otro se ha realizado en las inmediaciones de la población de Bocairente. Además se ha contado con los datos de la red de calidad química que tiene establecida la Diputación de Alicante.

En este capítulo no se hará la distinción entre formación superior C₂₁ y formación inferior C₂₃, puesto que en ambas, la calidad del agua es muy similar, como puede observarse en las figuras 11.1, 11.2, 11.3 y 11.4.

Con el objeto de determinar las facies hidroquímicas del agua de ambas formaciones, se han representado en diagramas de Piper los análisis realizados. Los resultados muestran una clara agrupación en los tres casos siguientes: captaciones de la formación C₂₁, captaciones de la formación C₂₃ y captaciones que afectan a ambas. De ahí que se aborde el capítulo de una manera común para ambas formaciones acuíferas.

La facies hidroquímica es bicarbonatada cálcico-magnésica. Unicamente existe un punto dentro del acuífero en el cual el agua

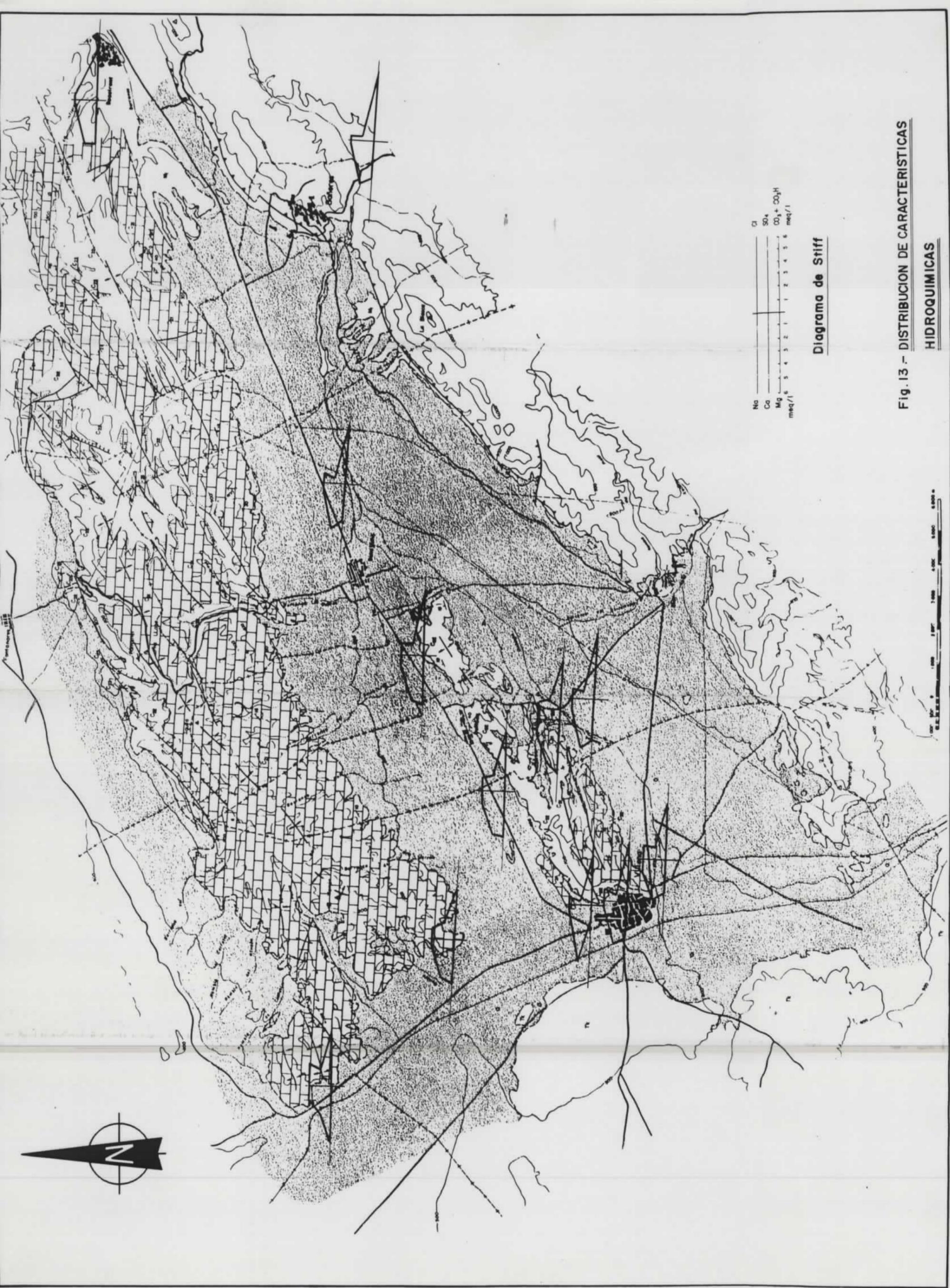


Fig. 13 - DISTRIBUCION DE CARACTERISTICAS

HIDROQUIMICAS

DIAGRAMA DE PIPER

CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

(IV-1.992)

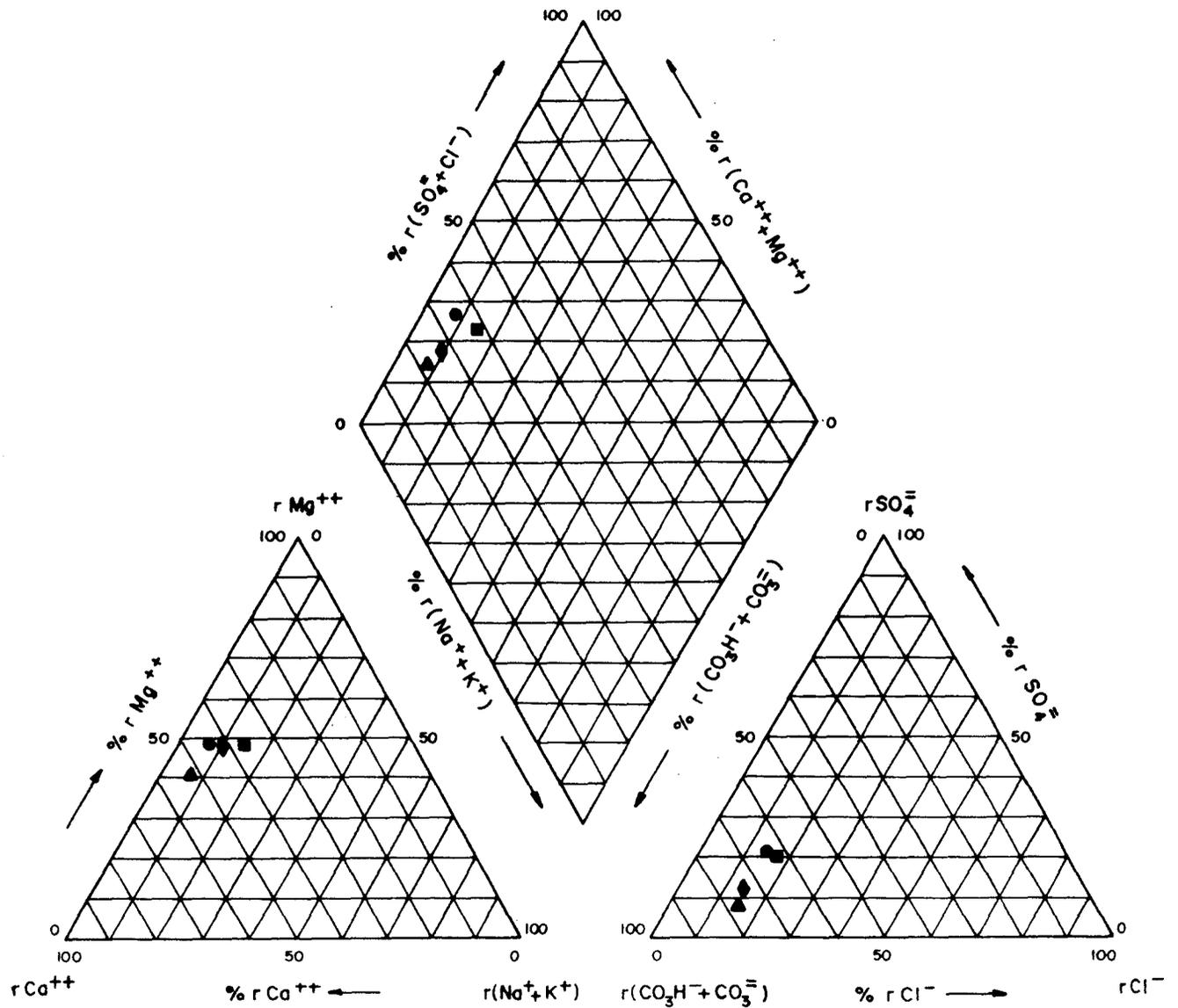


Fig. II.1 ACUIFEROS CRETACICOS DE LA SOLANA
FORMACION C₂₁

- ◆ 283250013 (Peñetes)
- ▲ 283260010 (Ayto. de Benezama)
- 273280038 (Marrón II)
- 283310006 (Candela)

DIAGRAMA DE PIPER

CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

(IV-1.992)

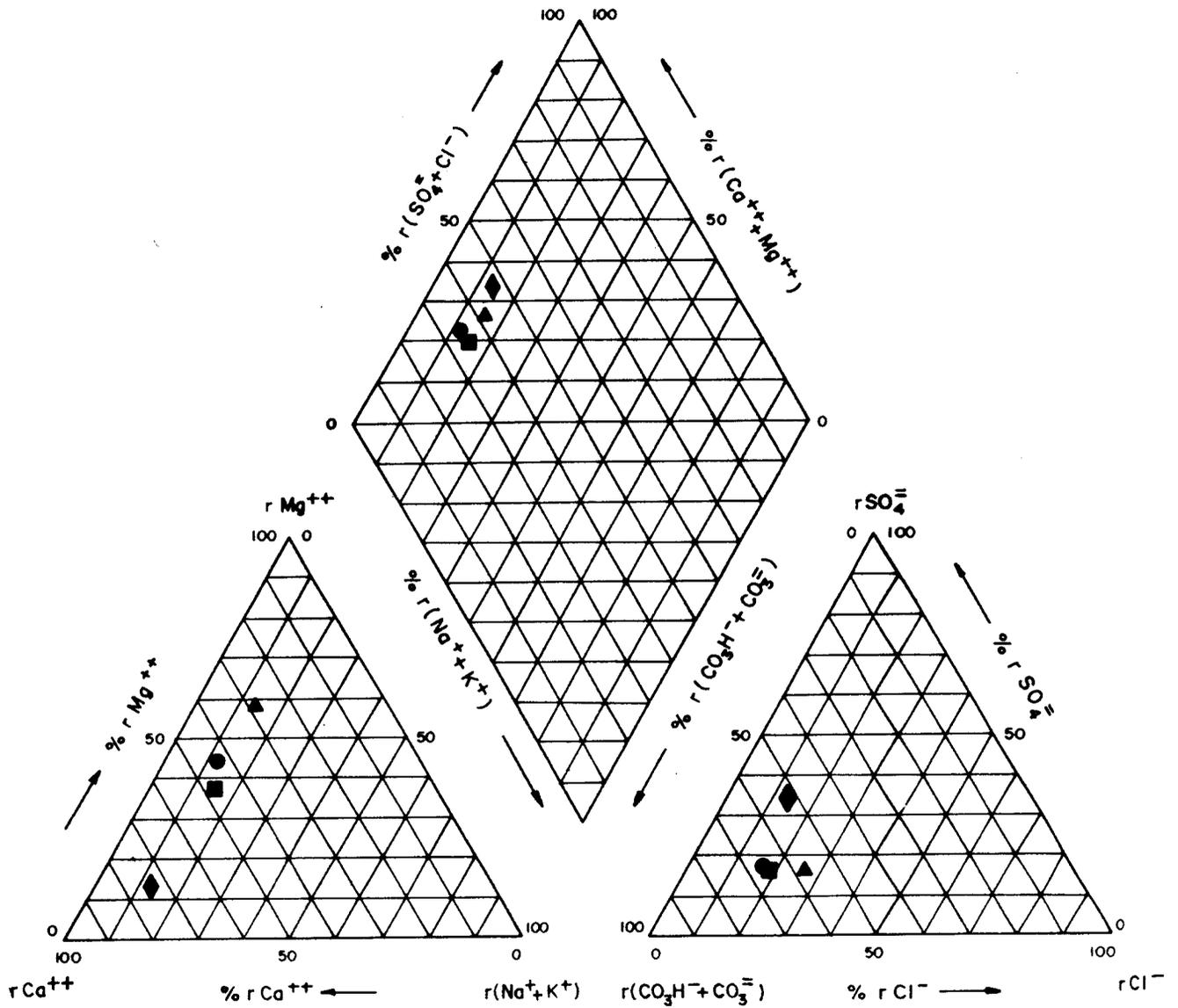


Fig. 11.2 ACUIFEROS CRETACICOS DE LA SOLANA
FORMACIONES C21 Y C23

- ▲ 273280023 (Alorines II)
- 283310003 (Romeral)
- ◆ 283310048 (Calera)
- 283310055 (San Francisco)

DIAGRAMA DE PIPER

CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

(IV-1.992)

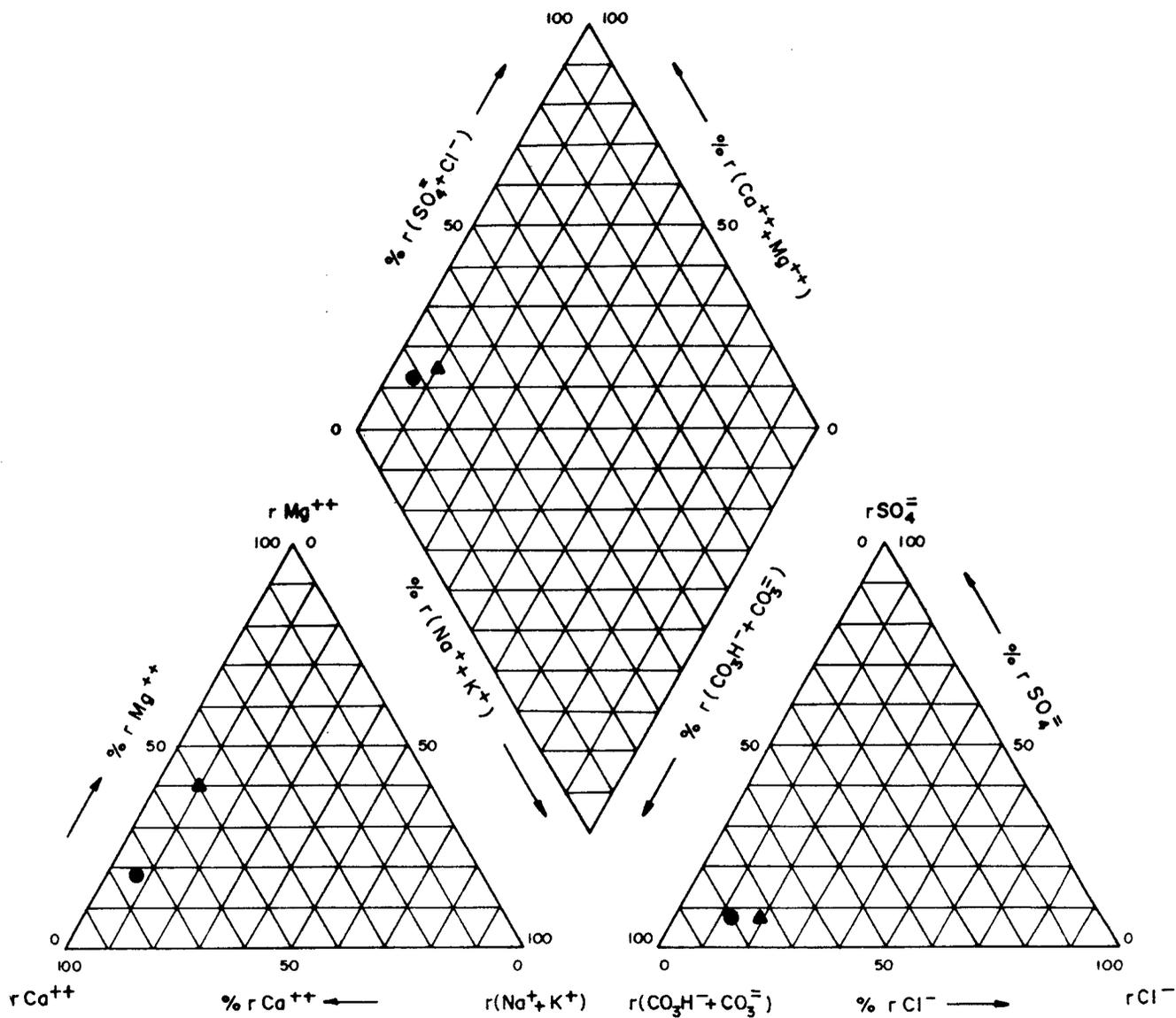


Fig. 11.3 ACUIFEROS CRETACICOS DE LA SOLANA
FORMACIONES C23

● 273340042 (Mina Rosario)

▲ 273340045 (Pozo Fisura)

DIAGRAMA DE PIPER

CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA

(IV-1.992)

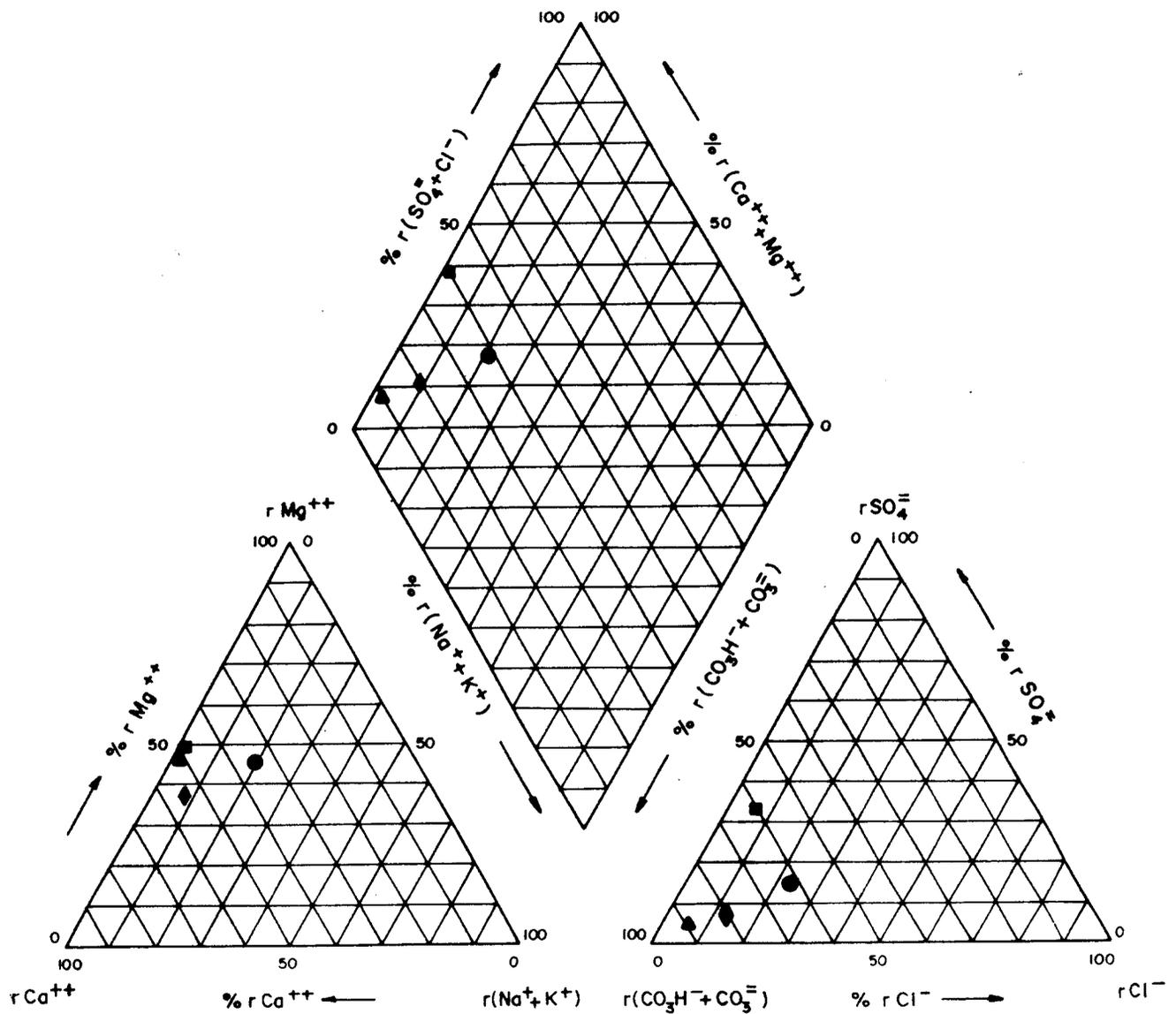


Fig. II.4 PUNTOS EXTERIORES AL CRETACICO DE LA SOLANA

- (San Miguel)
- ◆ 273280034 (El Puntal) (ACUIFERO CUATERNARIO CAUDETE-VILLENA)
- ▲ 283270003 (Peña Roja) (SIERRA MARIOLA)
- 283230015 (Bco. del Infierno)

se muestra bicarbonatada sulfatada con claridad, se trata del sondeo 283310048. En líneas generales hay que indicar que el diagrama de Piper muestra una clara agrupación de las muestras, lo que da idea de la homogeneidad de la facies hidroquímica.

Los análisis del agua utilizada en abastecimiento público se han representado en un diagrama de barras verticales con los límites que fija la RTS para abastecimiento público. En ello se puede observar que las aguas son químicamente potables. Como muestran las figuras 12.1 y 12.2.

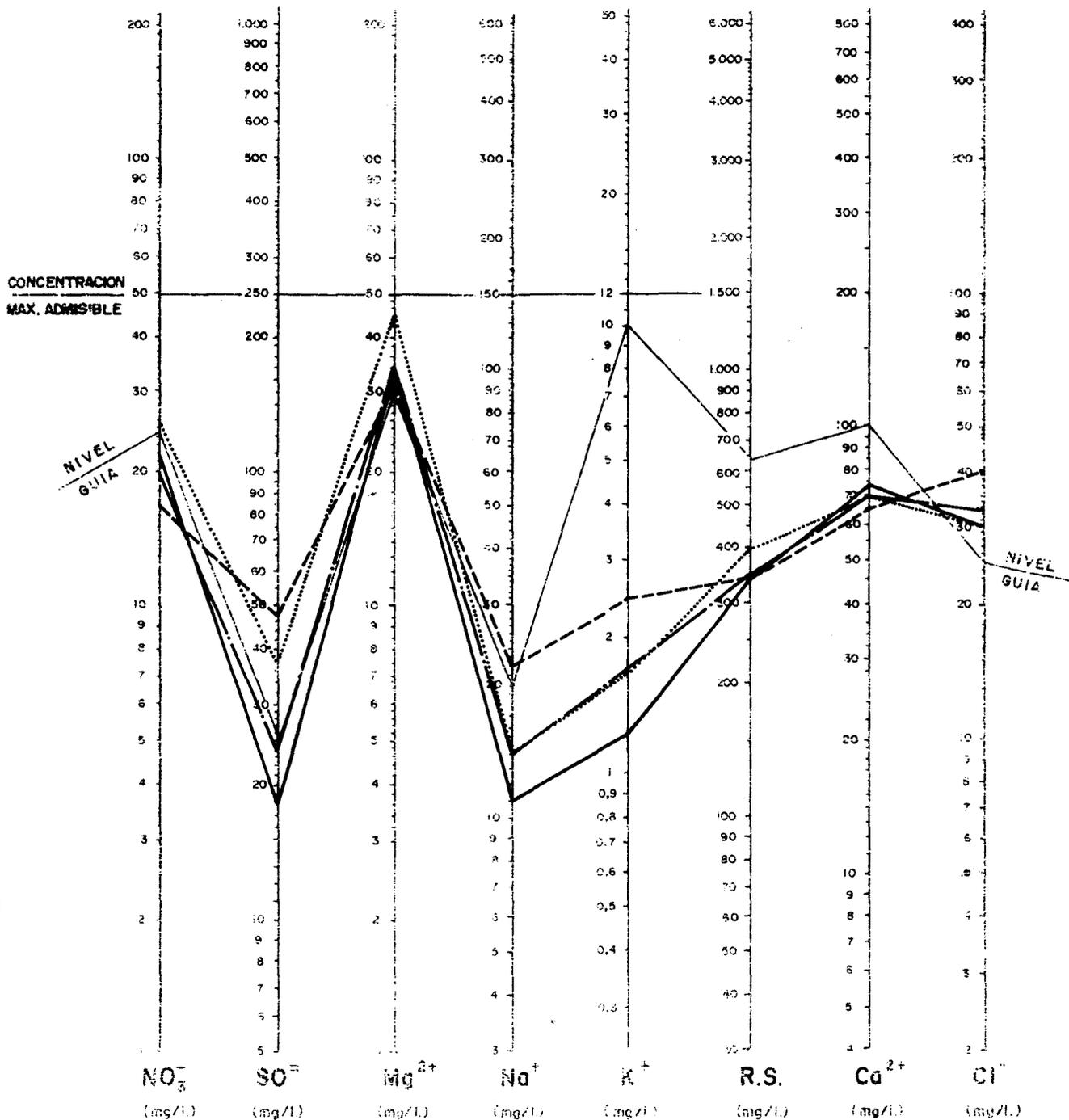
En la figura 13 se han situado los diagramas de Stiff en los puntos muestreados, no parece observarse ninguna distinción clara de facies hidroquímica.

En el anejo 4 se muestran los análisis químicos utilizados en la elaboración del presente capítulo.

DIAGRAMA DE POTABILIDAD QUIMICA

(IV - 1.992)

- (283260010) Abastecimiento a Benejama y Campo de Mirra.
- · — · (273340045) Abastecimiento a Villena.
- - - - (283310055) Abastecimiento a Villena.
- (283250013) Abastecimiento a Cañada



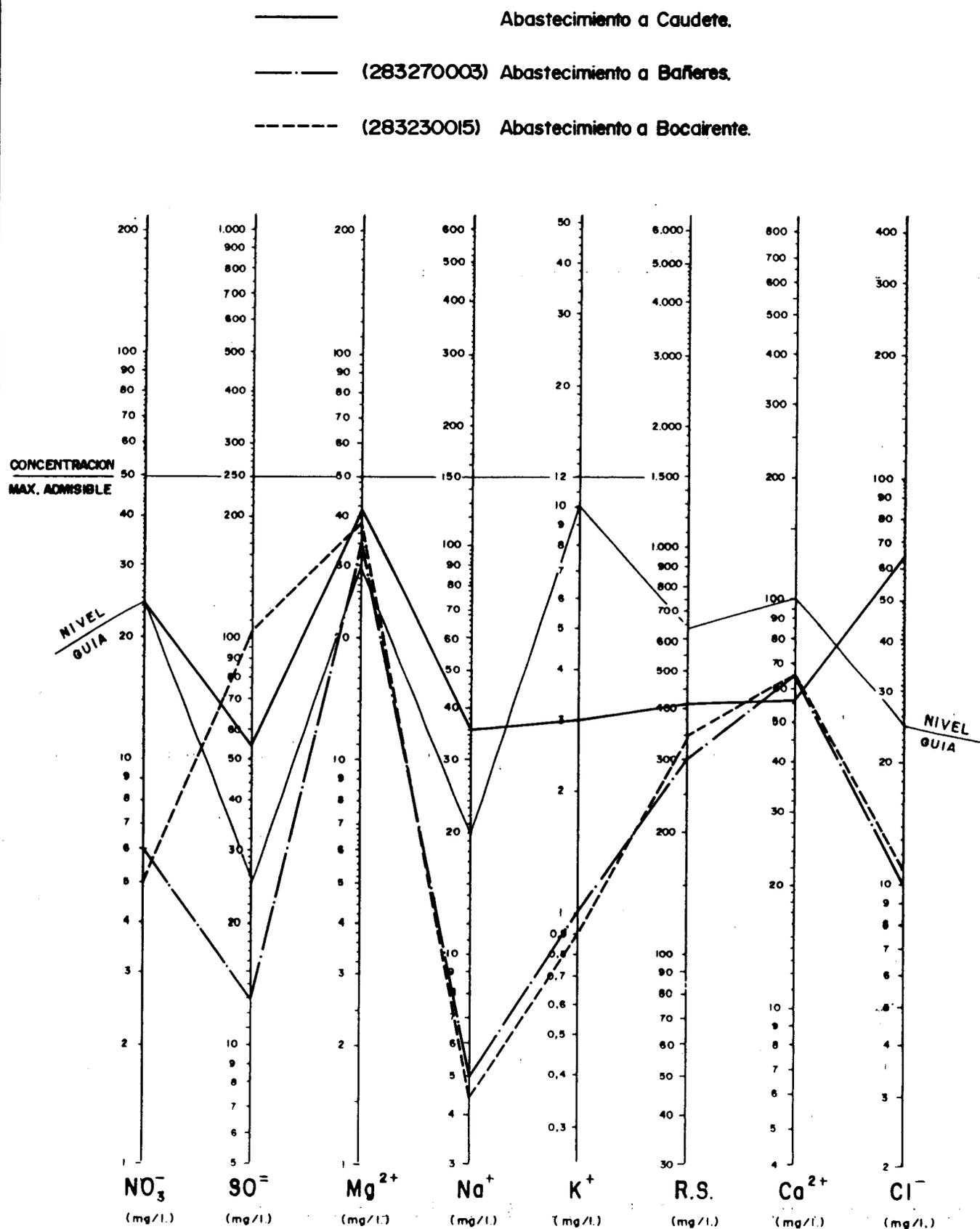
R.D. 11381/1990 de 14 Septiembre

Aguas físico-químicamente potables: Las que no sobrepasen la concentración máxima admisible

Niveles guía: Correspondientes a una calidad deseable en el agua potable

Fig. 12.1 ACUIFERO DE LA SOLANA

DIAGRAMA DE POTABILIDAD QUIMICA (IV-1.992)



R.D. 11381 1.990 de 14 Septiembre

Aguas físico-químicamente potables : Las que no sobrepasen la concentración máxima admisible

Niveles guía : Correspondientes a una calidad deseable en el agua potable

Fig. 122 FUERA DE ACUIFERO CRETACICO DE LA SOLANA

7. EVALUACION DE VOLUMENES
DE AGUAS RESIDUALES
GENERADOS.

Las aguas residuales producidas en la zona reciben diferentes tratamientos dependiendo del municipio en que se generan, aunque el destino final de todas ellas sea su empleo en riego. Los municipios cuyas aguas residuales son utilizadas en la zona son: Bañeres, Biar, Benejama, Cañada, Campo de Mirra y principalmente Villena.

Todas ellas son vertidas directamente a cauces públicos o acequias de riego, sin ningún tipo de tratamiento. El uso que posteriormente se les da, de una manera directa o bien mezcladas con aguas de otras procedencias, es el de riego. En Bañeres son vertidas en el río Vinalopó, mezclándose con las aguas del río, las cuales son captadas posteriormente, en término municipal de Benejama para reutilizarlas en el riego del amplio valle de Benejama.

En las poblaciones de Benejama, Campo de Mirra, Cañada y Biar, éstas son mezcladas con aguas de sondeos o manantiales y empleadas en el riego.

Volumétricamente importantes son las aguas generadas por la población de Villena, del orden de 2 Hm³/año, las cuales son vertidas a la acequia del Rey, al SO de la población. En épocas de demanda para riego éstas son vertidas de aquí a las acequias de

distribución de agua para riego de la zona Sur del valle de Villena, siendo empleadas para este fin. El volumen de agua estimado de esta procedencia que se utiliza en el abastecimiento de regadíos es de aproximadamente 0,8 Hm³/año.

8. ANALISIS DEL USO DEL
AGUA. VOLUMENES DISPONIBLES
Y DEMANDADOS.

8.1. USO DEL AGUA.

El agua extraída es empleada fundamentalmente para satisfacer las demandas urbanas y agrícolas de los municipios instalados sobre el acuífero. Estos son: Villena, Benezama, Campo de Mirra, Cañada y Bocairente, o próximos al mismo, Biar y Fontanares.

Es importante destacar también el volumen de agua exportado a otras zonas alejadas del lugar de captación. En este sentido cabe destacar por la importancia de su volumen, a Aguas Municipalizadas de Alicante y a la S.A.T. nº 1205 de Monforte del Cid.

El sector industrial establecido en la zona no consume cantidades de agua significativas, pues se trata básicamente de industrias derivadas del calzado.

En el plano 10 se esquematiza el uso del suelo en la zona reconocida, desde el punto de vista fundamentalmente agrícola.

8.2. ESTIMACION DE LA DEMANDA.

8.2.1. Abastecimientos urbanos.

Los municipios existentes en la zona tienen las necesidades completamente cubiertas. El volumen anual empleado en este concepto asciende a 3.154.857 m³/año. Según datos de 1991

facilitados por los organismos responsables del abastecimiento, que suministran a una población total de 39.370 habitantes.

En el anejo 5 se acompañan las fichas del abastecimiento de cada municipio. La tabla 10 es un resumen del agua empleada en cada municipio por este concepto.

Municipio	Volumen anual (m ³)
Villena	2.350.080
Benejama y Campo de Mirra	315.790
Cañada	94.697
TOTAL	2.760.567

TABLA 10. Volumen de agua empleado sobre la superficie del acuífero en uso urbano. (año 1991).

Además de estos municipios que se abastecen exclusivamente del agua del acuífero existen otros, Fontanares, Alicante y poblaciones limítrofes que esporádicamente emplean agua de los acuíferos cretácicos de Solana para cubrir sus necesidades. El volumen anual empleado, según datos de 1991, se muestra en la tabla 11.

Municipio	Volumen anual (m3)
A. M. A. Fontanares	9.640.393 76.149
TOTAL	9.716.542

TABLA 11. Volumen de agua para abastecimiento urbano empleado fuera del acuífero. (año 1991).

Volumétricamente importantes son las extracciones realizadas por la empresa A.M.A. para abastecimiento del municipio de Alicante y poblaciones limítrofes. El volumen explotado en los últimos años se representa en la tabla 12.

Mes	Volumen(m ³)	
	1990	1991
Enero	360.788	454.880
Febrero	526.305	424.516
Marzo	871.198	368.490
Abril	809.871	409.868
Mayo	798.496	549.505
Junio	882.351	942.534
Julio	833.846	945.052
Agosto	905.965	1.181.425
Septiembre	869.971	964.212
Octubre	874.885	1.124.357
Noviembre	308.870	754.278
Diciembre	498.130	521.270
Total	8.540.682	8.640.393**

**AMA consume también un millón de metros cúbicos al año, que compra de la Comunidad de Huertas y Partidas.

TABLA 12. Distribución mensual de las extracciones de A.M.A.

8.2.2. Abastecimiento agrícola.

Para cubrir las necesidades agrícolas de la zona se emplea agua de varios orígenes: subterránea extraída de los acuíferos cretácicos de Solana, acuífero Plio Cuaternario de Caudete-Villena y acuífero Jurásico de Peñarrubia; y superficiales de concesiones en la cuenca del río Vinalopó.

La superficie total cultivada es del orden de 16.000 Has. distribuidas según refleja la tabla 13 por términos municipales.

TERMINO MUNICIPAL	Superficie cultivada. (Has)	
	Regadio	Secano
Villena	4.750	2.105
Biar	826	2.698
Benejama	590	1.250
Campo de Mirra	164	862
Cañada	213	874
Bañeres	0	1.740
Caudete	450	1.530
TOTAL	6.993	11.059

TABLA 13. Distribución de la superficie cultivada (1991).

La Tabla 14 refleja el tipo de cultivos implantados en la zona:.

	Cultivos	Sup. cultivada
Regadio	Huerta	6.204
	Frutal	789
Secano	Olivo	2.498
	Vid	4.955
	Almendro	3.606

TABLA 14. Tipos de cultivos implantados sobre el acuífero. (año 1991).

De la superficie total de hectareas indicadas como huerta sólo un 70% se encuentra cultivada, el resto se supone en barbecho o abandonadas.

La dotacion media empleada es de 5.000 m³/ha/año para toda la zona regada, lo que supone un volumen anual de 25,7 Hm³/año.

La procedencia del agua es variada, distribuyéndose según muestra la tabla 15.

PROCEDENCIA	VOLUMEN ANUAL
Acuíferos Cretácicos:	9.281.953 m ³ /año.
Acuífero Caudete-Villena:	5.892.465 m ³ /año.
Agua superficial*:	5.014.200 m ³ /año.
Acuífero Jumilla-Villena:	≈1.700.000 m ³ /año.
Acuífero Peñarrubia:	≈4.000.000 m ³ /año.
TOTAL	25.888.618 m³/año

* Se produce fundamentalmente desde 1980.

TABLA 15. Procedencia del agua utilizada en el abastecimiento agrícola sobre la superficie del acuífero. (año 1991).

En el anejo se muestran las fichas sobre el estado del abastecimiento agrícola por términos municipales, especificando la distribución mensual.

Por último señalar que existen volúmenes importantes de agua que son extraídos del acuífero cretácico de Solana y son exportados hacia zonas del bajo Vinalopó. Concretamente la S.A.T.

1205 de Monforte del Cid toma un volumen anual que en 1991 alcanzó 5.276.603 m³/año y por otra parte la S.A.T 3563 Levante y Cabezuelas emplea una extracción de 2.518.888 m³/año para riego de 340 Has. situadas en el borde Este del acuífero Cretácico de Jumilla-Villena.

En la tabla 16 se detallan las áreas de aplicación del agua extraída del acuífero cretácico de La Solana destinada al riego.

Area de Aplicación	Volumen (m ³ /año)
Norte de Villena	4.127.277
Sur de Villena	3.003.308
Valle Benejama	1.271.228
Valle Biar	880.140
Monforte del Cid	4.987.461
Zona Este Jumilla-Villena	2.518.888
TOTAL	16.788.302

TABLA 16. Areas de aplicación de las extracciones de los acuíferos cretácicos de Solana. (año 1991).

8.2.3. Demanda global de la zona y extracciones totales.

Tabla 17. Agua extraída de los acuíferos cretácicos de Solana y aplicadas sobre la superficie del acuífero de Solana. (año 1991).

USO	VOLUMEN. (m ³ /año)
Abastecimiento Urbano	
Villena	2.350.080
Benejama y Campo Mirra	315.790
Cañada	94.697
Aplicación agrícola	
Norte Villena	4.127.277
Sur Villena	3.003.308
Valle Benejama	1.023.228
Valle Biar	880.140
Total	11.794.520

Tabla 18. Agua extraída de los acuíferos cretácicos de Solana y aplicadas fuera de la zona. (año 1991).

USO	VOLUMEN (m ³ /año)
Abastecimiento urbano.	
Fontanares	76.149
A.M.A.	9.640.393
Aplicación agrícola	
Monforte del Cid	4.987.461
Jumilla-Villena (cabezos)	2.518.888
Total	17.222.891

Tabla 19. Agua superficial aplicada en la superficie del acuífero de Solana.

USO	VOLUMEN. (m ³ /año)
Aplicación agrícola.	
Derivación río Vinalopó:	4.500.000
Cuenca río Vinalopó	514.200
Total	5.014.200

Tabla 20. Extracciones del acuífero Pliocuaternario de Caudete-Villena y aplicadas sobre la superficie del acuífero. (año 1991).

USO	VOLUMEN. (m ³ /año)
Aplicación agrícola	
Valle Caudete-Villena (Norte)	4.613.000
Valle Caudete-Villena (Sur)	879.465
Valle de Benejama	400.000
Total	5.892.465

Tabla 21: Extracciones del acuífero de Peñarrubia y aplicada sobre la superficie del acuífero de Solana. (año 1991).

USO	VOLUMEN (m ³ /año)
Aplicación agrícola	
Valle Biar Sur Villena	1.864.000 2.000.000
TOTAL	3.864.000

Tabla 22. Extracciones del acuífero Jumilla-Villena aplicadas sobre la superficie del acuífero de Solana. (año 1991).

USO	VOLUMEN (m ³ /año)
Aplicación agrícola	
Norte Villena	1.865.000
TOTAL	1.865.000

9. ANALISIS DE
INFRAESTRUCTURAS.

Sobre la superficie del acuífero cretácico de Solana existen un gran número de infraestructuras hidráulicas relacionadas con la captación y distribución del agua, tanto superficial como subterránea, ya sea para abastecimiento municipal como para regadío.

9.1. INFRAESTRUCTURAS AGRICOLAS.

El sistema de captación de agua está compuesto por un gran número de sondeos que explotan diferentes acuíferos. En función de sus características, cabe destacar los que explotan el acuífero cretácico de La Solana, que poseen profundidades superiores a los 250 m. en la mayor parte de los casos e incluso alguno alcanza los 400 m. Por otra parte, los pozos o sondeos que explotan los acuíferos cuaternarios, con profundidades sensiblemente menores, que rondan los 80 m. de media, algunos de los cuales alcanzan incluso los 200 m. en la zona Sur de Villena.

El gran número de sondeos dedicados a abastecimiento agrícola provoca que exista una compleja red de tuberías y canalizaciones para distribuir el agua. Además han proliferado en los últimos años, como consecuencia del descenso de los niveles piezométricos y por tanto el consiguiente incremento en el precio

de elevación del agua, un gran número de balsas para almacenar el agua extraída en las horas de menor coste de la energía eléctrica.

En cuanto a las infraestructuras dedicadas al almacenamiento de agua, se puede indicar que cada sociedad o comunidad de riego posee una o varias balsas, éstas están situadas en las cercanías de los sondeos. La capacidad de las mismas es muy variable, desde las de tamaño pequeño, 1000 m³ de capacidad, hasta la balsa de Comunidad de Regantes del Valle de Benezama con capacidad para 270.000 m³, aunque la mayoría de ellas tienen una capacidad comprendida entre los 10.000 y 25.000 m³.

La red de distribución es muy compleja y está muy jerarquizada para poder conducir el agua a todos los lugares en donde se precisa, así es muy difícil estimar el recorrido total de tuberías instaladas en la zona. Una de las redes más extensas es propiedad de Comunidad de Regantes de Huerta y Partidas que ocupa una extensión de casi 10 Km², regando una vasta superficie al Sur de la población de Villena.

Los propietarios de esta compleja infraestructura hidráulica son las Comunidades de regantes, las Sociedades Agrarias de Transformación y el antiguo IRYDA. A continuación se indican las comunidades de riego y sociedades agrarias más importantes instaladas en la zona.

1) Comunidad de regantes de Huerta y Partidas (Villena).

Dispone de 6 sondeos y una balsa de 50.000 m³ de capacidad. Estos sondeos se ubican en la población de Villena y captan el acuífero C₂₃.

2) Comunidad de regantes del Valle de Benezama.

Dispone de dos sondeos y una concesión de aprovechamiento de aguas superficiales. Balsa con capacidad de 150.000 m³. Actualmente los sondeos no están equipados, son los sondeos 283250010 y 283250011.

3) Comunidad de regantes del Valle de Biar.

Dispone de varios sondeos y aprovechamiento de aguas superficiales de distintos manantiales. Todos ellos se sitúan en el acuífero de Mariola.

4) S.A.T. Levante y Cabezuelas.

Dispone de tres sondeos que explotan el acuífero cretácico de La Solana. Se sitúan en la zona conocida como el Morrón, corresponde a los números de inventario 273280037, 273280038 y 273280039.

5) Finca Los Frutales.

Disponen de tres sondeos que explotan el acuífero Cuaternario situado al Sur de Villena, con ellos se riega una extensión de 8 Km², se trata de los sondeos 283310017, 283310018 y 283310019.

Existe un conjunto de Sociedades Agrarias de Transformación que no disponen de sondeos propios pero que toman el agua de la infraestructura hidráulica del IRYDA. son las siguientes:

- 1) S.A.T. 3568 San Cristóbal (Biar).
- 2) S.A.T. 3567 Santiago Apóstol (Villena).
- 3) S.A.T. 6830 La Baldona (Villena).
- 4) S.A.T. 3492 San Juan Bautista (Benejama).
- 5) S.A.T. 1747 Almirra (Benejama).
- 6) S.A.T. 3544 Pinar Alto (Villena).
- 7) S.A.T. 6507 Borrel-Pontarvo (Biar).

Es importante resaltar la conducción de agua de la S.A.T. 1205 de Monforte del Cid, puesto que lleva un volumen anual cercano a los 4 Hm³/año. Con una capacidad de transporte cercana a los 400 l/s, durante los meses de verano.

Por último hay que anotar un conjunto de sociedades agrarias y particulares, de mayor o menor entidad, que disponen de una infraestructura propia, normalmente se trata de un sondeo o pozo que explota, en la mayor parte de los casos, el acuífero cuaternario de Caudete-Villena, una pequeña balsa y una red de distribución que abarca superficies no superiores a los 3 o 4 Km².

9.2. INFRAESTRUCTURAS DE ABASTECIMIENTO URBANO.

Las infraestructuras hidráulicas dedicadas al abastecimiento urbano son particularmente importantes en la zona estudiada, debido a que se abastecen de este acuífero las poblaciones de Alicante y su cinturón, a través de las captaciones la empresa Aguas Municipalizadas de Alicante. AMA dispone de unas baterías de pozos y de una conducción que recorre la zona de Norte a Sur siguiendo la dirección del río Vinalopó. Los caudales transportados por la conducción deben ser superiores a los 500 l/s.

Existe otra empresa Finca Los Frutales S.A. que dispone de dos captaciones en el acuífero cuaternario de Caudete Villena 283310018 y 283310019 que extraen agua para abastecimiento municipal a la población de Elche. Dispone de una conducción hasta la población mencionada. La capacidad de transporte de la conducción debe ser de 200 l/s.

De menor importancia que las precedentes se encuentran las redes de distribución y depósitos de regulación de las poblaciones instaladas en la zona, esto es Villena, Cañada, Campo de Mirra y Benejama.

10. - NORMAS DE EXPLOTACION.

10.1. NORMATIVA GENERAL.

10.1.1. Sectorización.

La normativa que se adopta en este informe incluye las dos formaciones cretácicas definidas, C₂₁ y C₂₃, tratándolas como un sólo conjunto debido básicamente a que la información existente permite determinar que existe comunicación hidráulica entre ambas, y por otra parte no está claramente diferenciada la explotación que se hace de cada una de ellas.

10.1.2. Volumen máximo de explotación.

El volumen máximo deseable de explotación es equivalente a los recursos propios de los acuíferos explotados y que son del orden de 22 Hm³/año para la media del período 1972-1991).

10.1.3. Captaciones de escasa importancia.

Dado que el acuífero se considera actualmente desequilibrado, a pesar de la aparente estabilización experimentada en el subperíodo húmedo 1988-1991, se considera

conveniente no autorizar ningún tipo de nueva captación, incluida en ellas las de escasa importancia.

10.1.4. Prescripciones generales de orden técnico.

Se establece de forma obligada la inclusión de algunos elementos constructivos de rango menor, que permitan ejercer el adecuado control sobre las concesiones actuales de agua subterránea.

Estas deberían equiparse con los siguientes elementos:

- Tubo piezométrico.
- Contador.
- Espita de toma de agua a la salida de la tubería.

Los objetivos perseguidos son de dos tipos, por una parte facilitar, el desarrollo de estudios y trabajos posteriores y, por otra, poder verificar los condicionantes impuestos a las explotaciones.

En otro orden de cosas y para el caso de abandono de pozos y sondeos, se deberá imponer también con carácter general la obligatoriedad de proceder a las oportunas actuaciones que requerirán el cierre hermético de la captación. Si la perforación fuese negativa y no presentase especiales problemas

hidrogeológicos, se procederá a su relleno con terreno natural , cementando solamente el tramo superior de la misma.

Si en la ejecución del sondeo se hubiera atravesado el acuífero cuaternario de Caudete-Villena o el de los valles de Benezama y Biar, será necesario cementar el anular en el tramo de acuífero cuaternario, con el fin de evitar conexiones verticales entre éste, más sujeto a problemas de contaminación, y los acuíferos cretácicos.

10.2. ZONIFICACION.

Dado el carácter de desequilibrado que ha tenido hasta el momento el acuífero, a la hora de establecer las normas, para la concesión de nuevas explotaciones, se clasifica toda la superficie del acuífero como ZONA NO AUTORIZADA, no debiéndose permitir en ella nuevas autorizaciones concesionales.

Debido a que las zonas próximas a los límites abiertos del acuífero no se conocen con suficiente detalle, especialmente el límite Este, y que a través de ellas se produce una importante alimentación al acuífero, conviene definir estas zonas como CONDICIONADAS con el fin de no reducir los aportes laterales subterráneos al acuífero Cretácico de Solana. Estas son:

En el límite NO, el Cuaternario de Caudete-Villena ya posee un perímetro de protección oficial que data de 1957, únicamente deberían cumplirse las restricciones que éste impone.

En el límite Este del acuífero se establece una ZONA CONDICIONADA, en la cual la ejecución de nuevas obras de captación estará condicionada a la previa realización de estudios de detalle. Esta zona estaría enmarcada en la poligonal siguiente:

PUNTO	X	Y	Z (m)
D	702.500	4293.150	880
E	704.700	4290.200	760
D'	705.450	4294.950	710
E'	707.750	4292.250	700

10.3. PERIMETRO DE PROTECCION.

El perímetro de protección que se propone abarca toda la superficie del acuífero, su situación se indica en el plano 11 y sus coordenadas a continuación en la Tabla nº 23.

Tabla 23. Coordenadas del perímetro de protección propuesto.

PUNTO	X	Y	Z (m)
A	679.700	4287.400	580
B	686.700	4290.400	650
C	694.100	4292.550	961
D	702.500	4293.150	880
E	704.700	4290.200	760
F	703.100	4286.700	800
G	694.700	4278.450	700
H	685.700	4272.200	485

Existe un perímetro protección oficial en la zona, establecido para proteger los recursos hídricos del Cuaternario de Caudete-Villena-Sax, el cual se superpone al límite Oeste del acuífero Cretácico de Solana.

11. MODELO DE FLUJO.

11.1. ANTECEDENTES.

En este trabajo se presenta un modelo digital tridimensional del acuífero de Solana. En primer lugar se desarrolla el modelo conceptual, indicándose el programa utilizado, la discretización espacial y temporal, las condiciones de contorno, la piezometría inicial y los datos usados para la construcción del modelo. Entre éstos últimos se especifican las salidas por bombeo, y los cálculos de recarga teniendo en cuenta las precipitaciones, la evapotranspiración, los consumos de los distintos cultivos y los retornos de regadíos.

La calibración del modelo se ha realizado en una primera fase en régimen permanente, y posteriormente en régimen transitorio, mostrando éste la respuesta del sistema a los bombeos y a las recargas.

11.2. DISEÑO CONCEPTUAL.

La ecuación diferencial en derivadas parciales que describe el movimiento del flujo monofásico del agua

subterránea a través de un material poroso es la siguiente:

(1)

donde:

- x, y, z son las coordenadas cartesianas referidas a un sistema de ejes formados por las direcciones principales del tensor permeabilidad K_{xx} , K_{yy} y K_{zz} .

- h es el nivel piezométrico(L).

- W es el flujo de agua por unidad de volumen, y representa a las entradas y salidas del agua(T^{-1})

- S_s es el coeficiente de almacenamiento o porosidad eficaz.

- t es el tiempo.

El coeficiente de almacenamiento y los tensores permeabilidad son funciones del espacio(x, y, z);

mientras que h y W son funciones del espacio y del tiempo (x, y, z, t) .

Para la elaboración del modelo de ha utilizado el programa de McDonald y Harbaugh(1984) del U. S. Geological Survey. Este programa simula el flujo subterráneo en tres dimensiones resolviendo la ecuación(1) por el método de las diferencias finitas, y se adapta a las necesidades de simulación del presenta trabajo.

11.2.1. Discretización espacial.

El acuífero de Solana está constituido por dos formaciones permeables, ambas formadas por materiales calcareos del Cretácico Superior. La formación superior denominada C_{21} y la formación inferior C_{23} , separadas por un acuitardo constituido por dolomías, dolomías arcillosas y margas, denominado C_{22} .

Sobre el conjunto se dispone una potente serie constituida por las margas del "Tap" Mioceno que constituyen el impermeable de techo.

Las margas albienses de la Formación Utrillas, constituyen el impermeable de base de los materiales acuíferos de Solana.

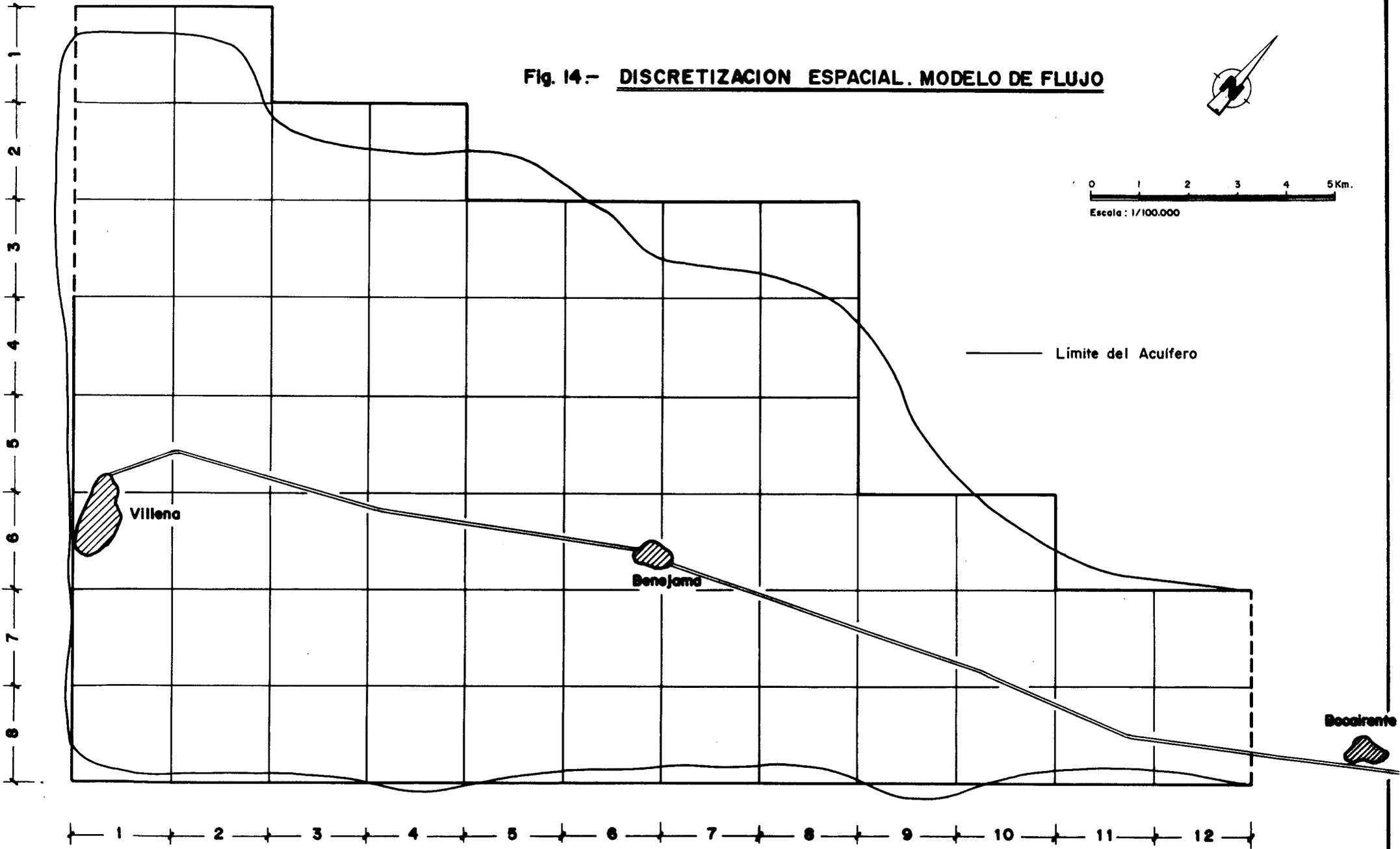
Los depósitos cuaternarios de los valles de de Benejama, Biar y Caudete-Villena se disponen suprayacentes a la formación "Tap" miocena. Existiendo comunicación local entre éstos y las formaciones cretácicas.

Dado que este es un modelo previo del acuífero, y que no se puede determinar actualmente que parte de la explotación se hace del tramo inferior y que parte del superior, ya que existen sondeos que captan ambas formaciones del Cretácico. Se ha considerado en la modelización el acuífero como monocapa, integrándose ambas formaciones permeables del Cretácico.

Para la discretización del acuífero se ha diseñado una malla de 8 filas y 12 columnas. El tamaño de las celdas es constante, cuadradas y de 2 Km. de longitud, de tal forma que la superficie ocupada por las mismas es de 4 Km². La figura 14 indica el mallado adoptado.

El acuífero se ha simulado como libre en su totalidad con dos límites abiertos, uno en el extremo Noroccidental, en contacto con el acuífero cuaternario de Caudete-Villena y otro en el extremo oriental, hacia el cretácico de Bocairente.

Fig. 14.- DISCRETIZACION ESPACIAL. MODELO DE FLUJO



11.2.2. Discretización temporal.

El período de calibración del modelo empleado en un primer momento abarcaba desde Abril de 1980 a Abril de 1991, lo que suponía un período de simulación de 11 años. La discretización temporal se realizó año a año empleando como unidad de tiempo en el modelo el día. Se escogieron los meses de Abril de cada año, puesto que se disponía de medidas piezométricas anuales realizadas en ese mismo mes.

Los buenos resultados obtenidos en la simulación para este período, nos animó a simular todo el intervalo de tiempo para el que disponíamos de datos piezométricos, es decir, desde Abril de 1972 hasta Abril de 1991. De todas formas el nuevo intervalo de simulación se agrupó únicamente en dos pasos de tiempo más, debido a la dificultad que entraña conocer con precisión los bombeos de esa época. Los dos nuevos pasos de tiempo han sido: desde Abril de 1972 hasta Abril de 1977 y desde Abril de 1977 a Abril de 1980, es decir, cinco y tres años reales respectivamente, con lo cual el total de años simulados es de 19.

11.2.3. Datos utilizados en la calibración.

En este apartado se presenta un resumen de todos aquellos datos que se emplearon en la calibración del modelo.

11.2.3.1. Condiciones de contorno.

Se han considerado dos zonas abiertas al flujo subterráneo, fig.15,: la primera el límite con el acuífero Caudete-Villena, celdas (1,1), (2,1) y (3,1) fijandose la cota piezométrica en su exterior en función del piezómetro 273280001, fig.16, y la transmisividad deducida de la información hidrogeológica disponible; la segunda en el límite oriental del acuífero, celdas (7,12) y (8,12), fijandose en ellas la cota piezométrica externa al acuífero en función de la piezometría del sondeo 283230015, pozo del Ayuntamiento de Bocairente.

11.2.3.2. Piezometría inicial.

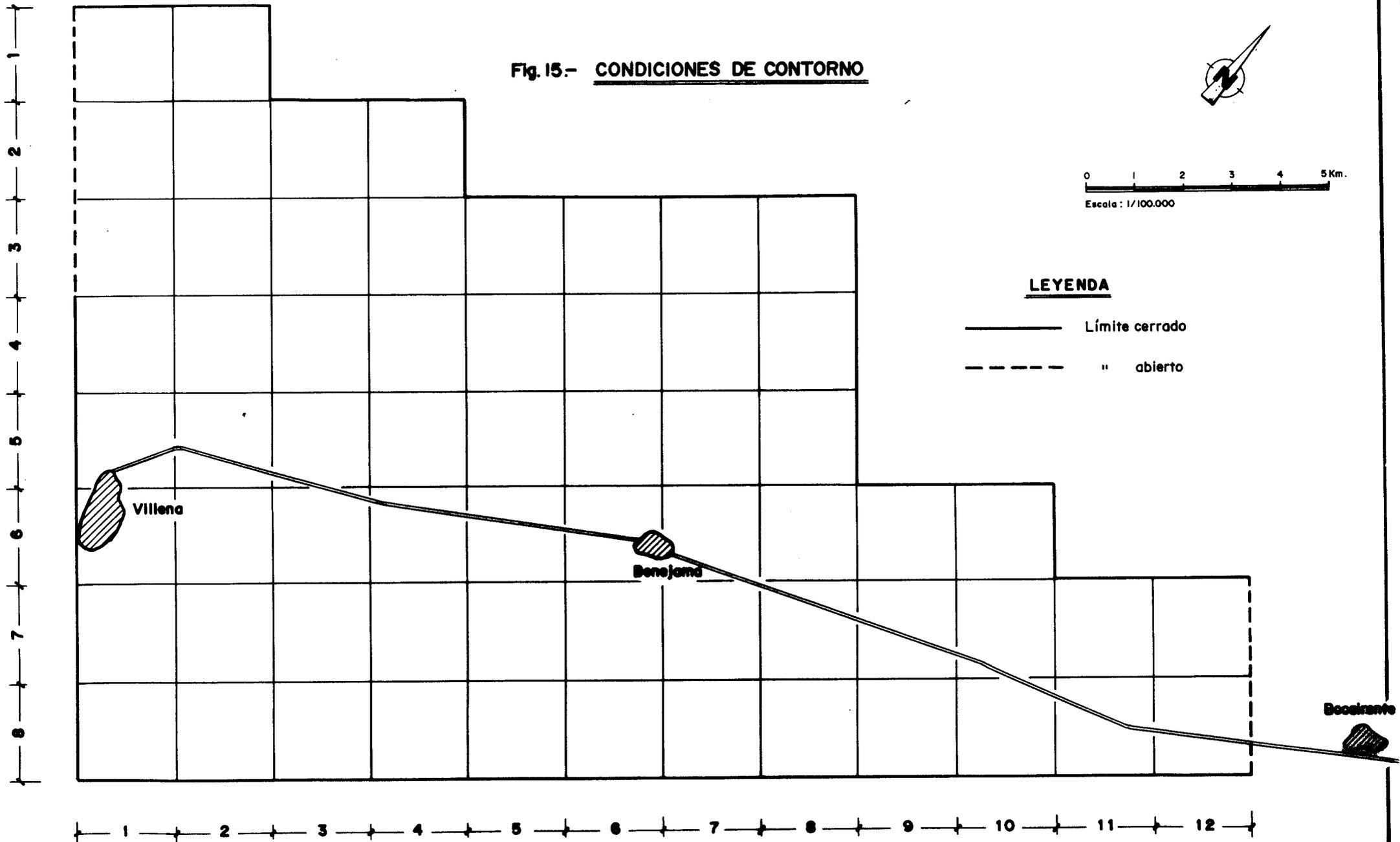
La piezometría inicial utilizada es la de Abril de 1972, definida a partir de las medidas directas realizadas por el antiguo IRYDA, y recopiladas durante este trabajo.

Fig. 15.- CONDICIONES DE CONTORNO



LEYENDA

- Límite cerrado
- - - - " abierto



Nº de I.T.G.E.: 273280001 (Acuífero Caudete-Villena)

520 m.s.n.mar

Mes	Año	Profundidad	Cota absoluta	Observaciones
8	80	39.82	480.18	
10	80	40.69	479.31	
12	80	40.92	479.08	
2	81	40.85	479.15	
5	81	39.36	480.64	
11.5	81	40.99	479.01	
2	82	39.96	480.04	
8	82	40.37	479.63	
12	82	38.76	481.24	
4.5	83	39.85	480.15	
2	85	79.92	440.08	
10	85	81.36	438.64	
4	86	79.96	440.04	
7.5	86	80.88	439.12	
11.5	86	70.16	449.84	
3	87	75.28	444.72	
5	87	77.36	442.64	
10	87	79.25	440.75	
5.5	88	80.57	439.43	
12	88	88.52	431.48	
3	89	86.69	433.31	
5	89	85.42	434.58	
6.5	89	84.73	435.27	

NIVELES PIEZOMETRICOS

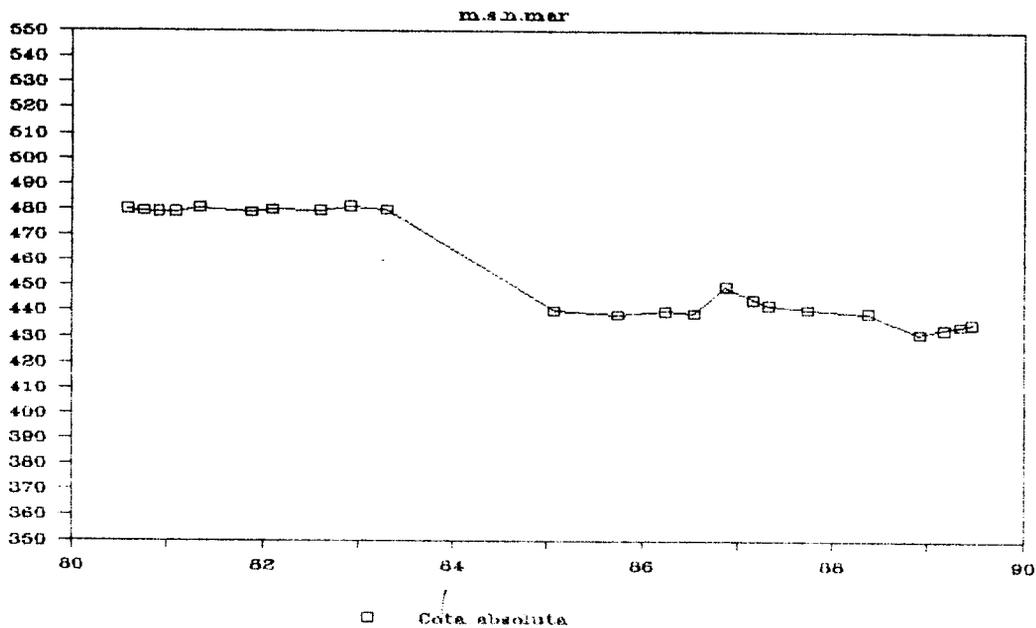


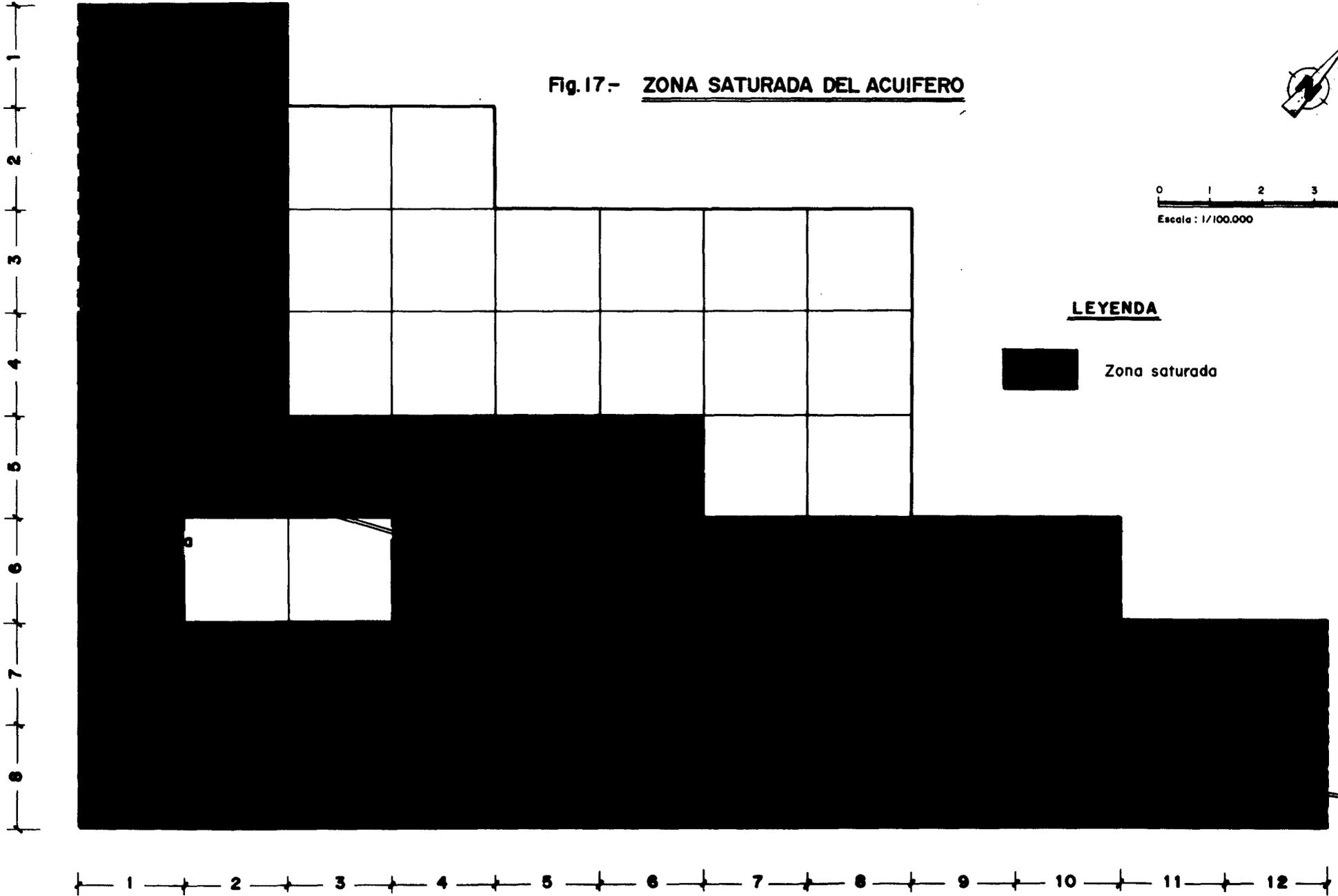
Fig.- 16

Fig.17.- ZONA SATURADA DEL ACUIFERO



LEYENDA

 Zona saturada



Bocairante

11.2.3.3. Salidas por bombeo.

Los valores de bombeos en las celdas se han estimado del inventario realizado, en el que se han tomado datos históricos del período simulado.

Es importante resaltar que a medida que nos desplazamos hacia atrás en el tiempo la imprecisión de los bombeos se hace mayor. Las celdas con salidas por bombeo se indican en la figura 18.

11.2.3.4. Entradas por recarga.

La recarga aplicada es el sumatorio de los siguientes conceptos:

a) Recarga por infiltración de lluvia en terrenos sin vegetación y sin riego.

b) Recarga por infiltración de lluvia en terrenos con vegetación y sin riego.

c) Recarga por excedentes de riego.

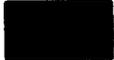
Los datos para el primer concepto se obtienen suponiendo que se infiltra un tanto por ciento variable, de la lluvia útil obtenida del balance hídrico en suelo realizado por el método de Thornthwaite, considerando la capacidad de campo igual

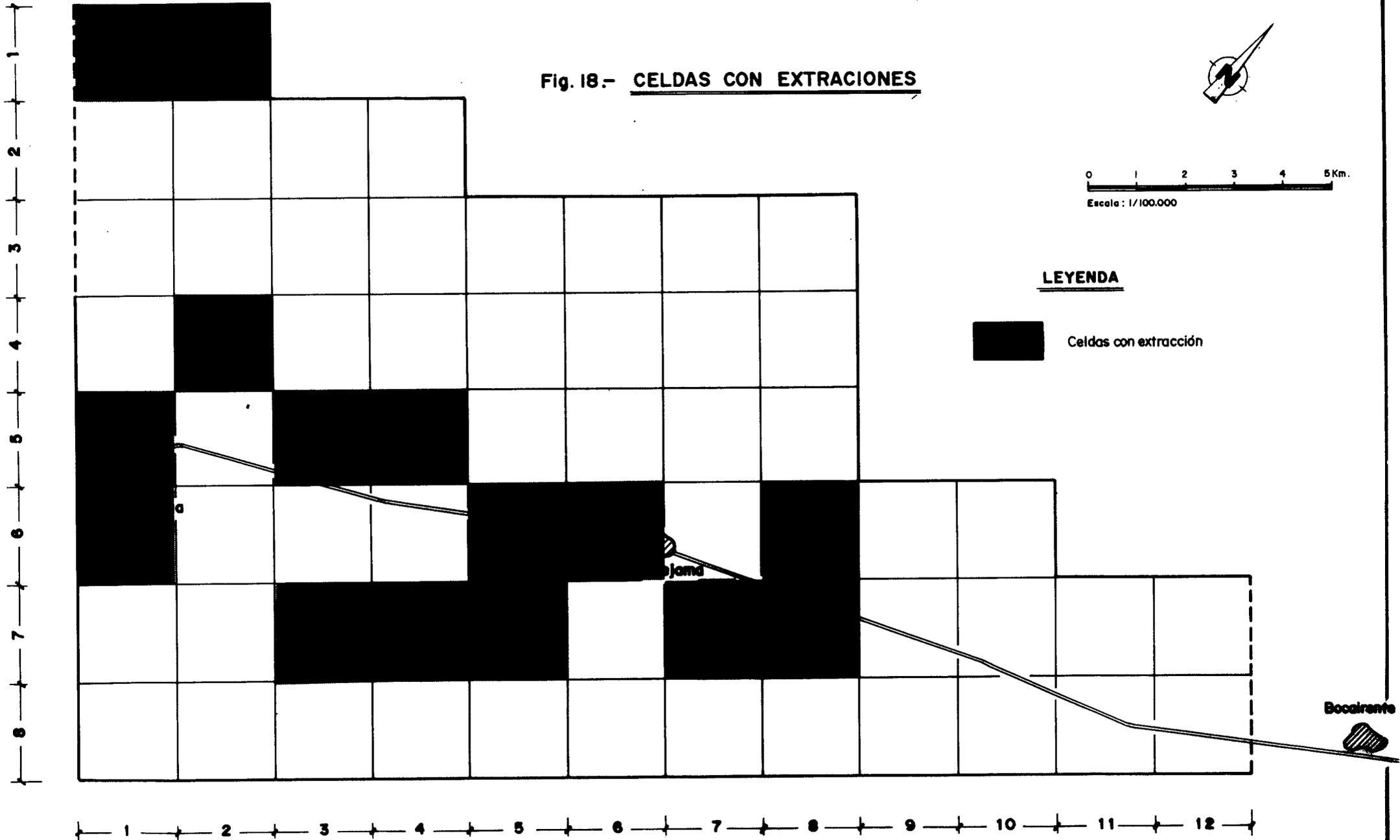
Fig. 18.- CELDAS CON EXTRACCIONES



0 1 2 3 4 5 Km.
Escala: 1/100.000

LEYENDA

 Celdas con extracción



a 0. El tanto por ciento de infiltración varía entre el 10 y el 40 % en función de la topografía del terreno.

La infiltración en terrenos con vegetación y sin riego se obtienen aplicando el método de Blaney-Cridle para los distintos tipos de cultivos de secano.

En la zona se han distinguido cinco tipos de cultivos, tres de ellos vid, olivo y almendro se han incluido en el segundo grupo indicado. Los otros dos, frutal y huerta, se integran en el tercer apartado.

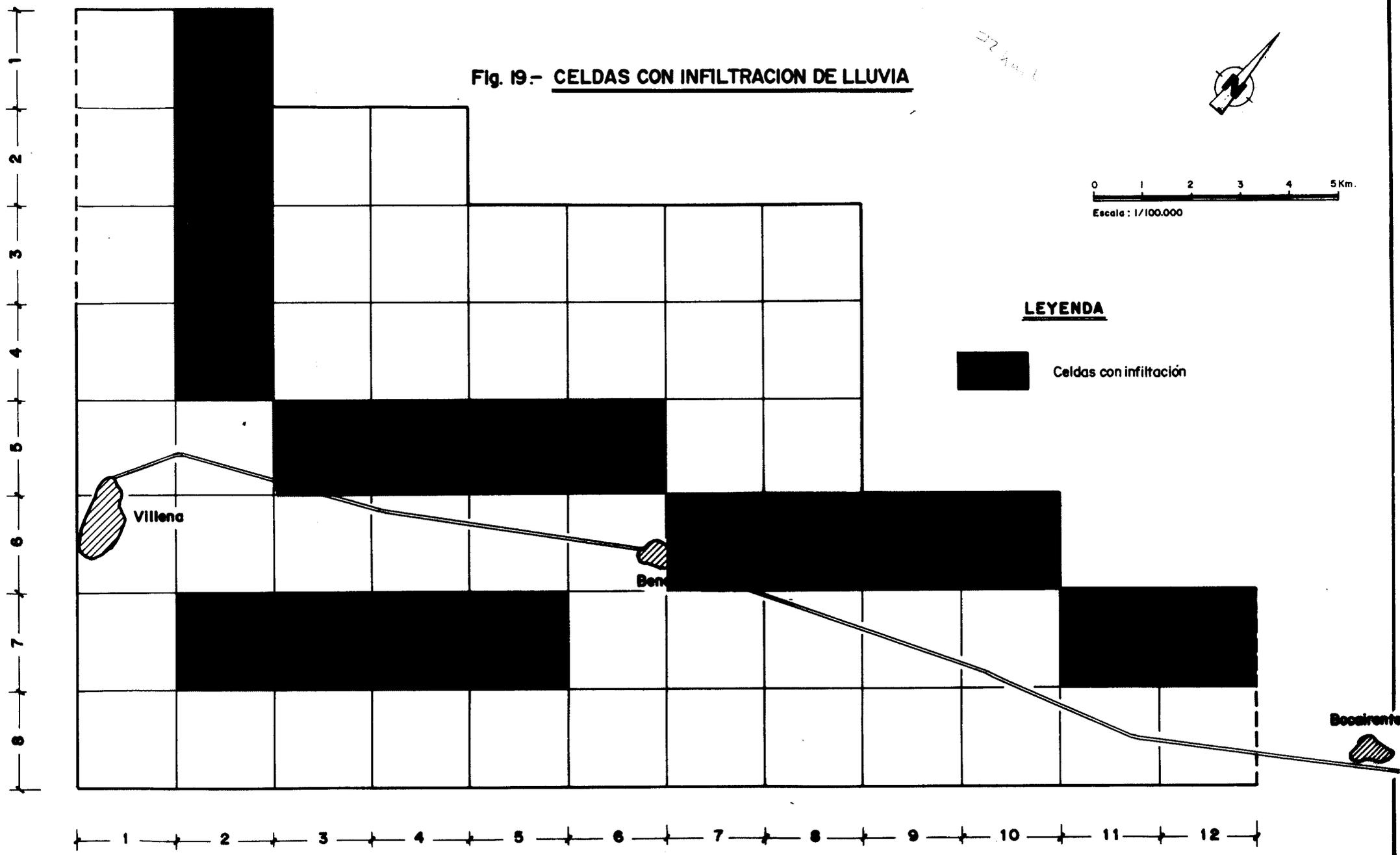
La infiltración por excedentes de riego se estimó aplicando la fórmula de Blaney-Cridle a los cultivos de huerta y frutal, y teniendo en cuenta la dotación utilizada para el riego.

De las 64 celdas que componen el mallado del modelo, únicamente 46 son activas, ya que son las únicas que están saturadas. Estas celdas absorben la recarga de lluvia de otras que no están saturadas pero que constituyen la zona de recarga del acuífero. La figura 19 muestra las celdas en las que se aplicó la recarga.

11.2.3.5. Parámetros hidráulicos.

En este apartado se describen los valores que toman los parámetros de funcionamiento del modelo, que

Fig. 19.- CELDAS CON INFILTRACION DE LLUVIA



por las simplificaciones introducidas en el mismo no tienen que coincidir con las características hidrodinámicas de las dos formaciones que componen el acuífero de Solana.

11.2.3.6. Permeabilidad global de funcionamiento.

La permeabilidad global que se obtiene de la calibración del modelo oscila entre 0,1 y 20,1 m/día, siendo el valor medio próximo a 8,75 m/día. La figura 20 muestra los valores adoptados para cada una de las celdas.

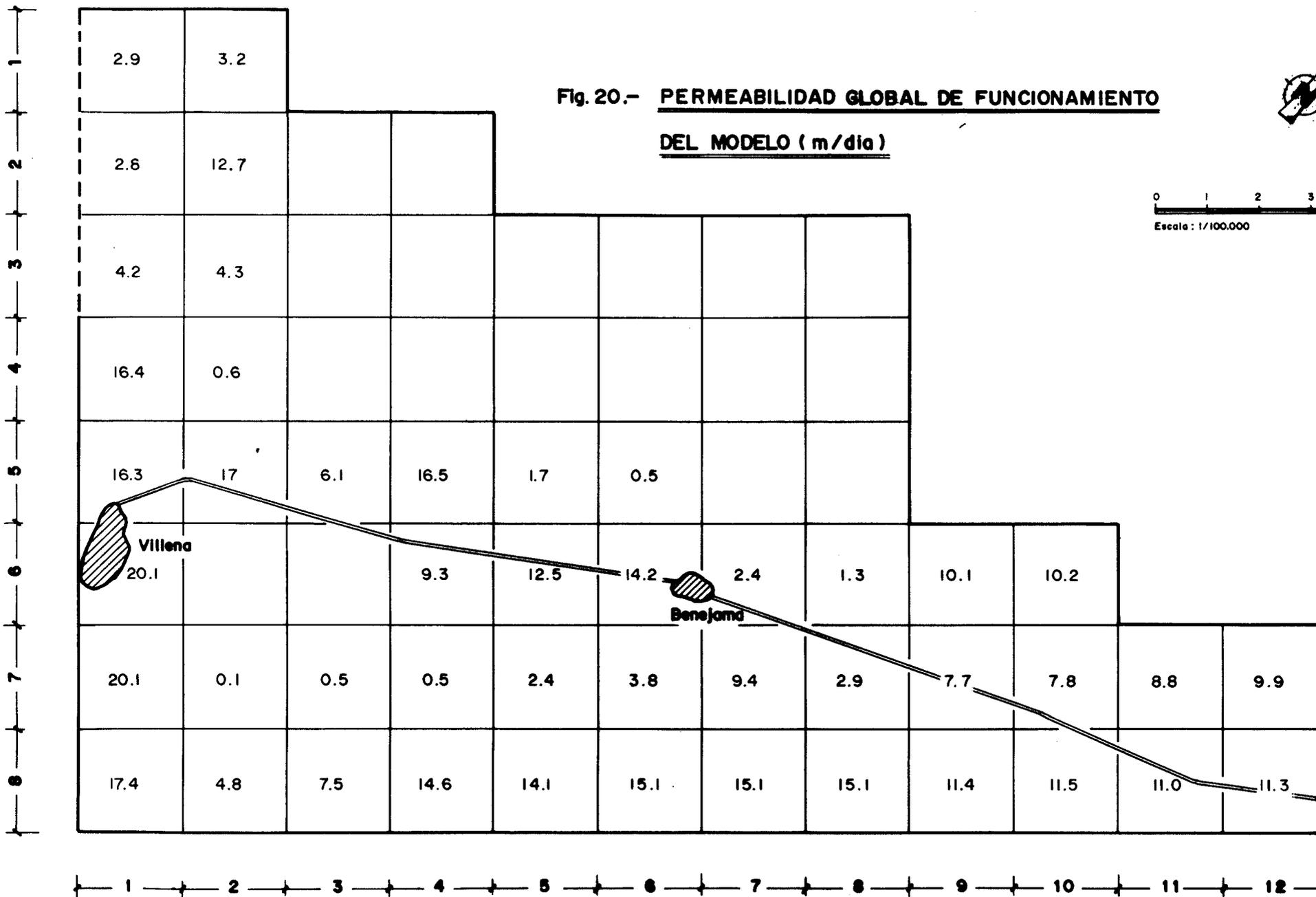
11.2.3.7. Coeficiente de almacenamiento.

Los valores que se emplean en el modelo son variables, oscilando entre 0,002 y 0,10, mayores en la parte libre del acuífero y menores en las zonas confinadas del mismo. Los valores adoptados en el modelo se incluyen en la figura 21.

11.2.3.8. Cotas de muro.

La cota de muro responde a la compleja estructura de la zona, oscilando desde valores negativos en los valles de Biar y Benejama, de incluso -400 m., hasta valores positivos que pueden alcanzar los 500 m. en las

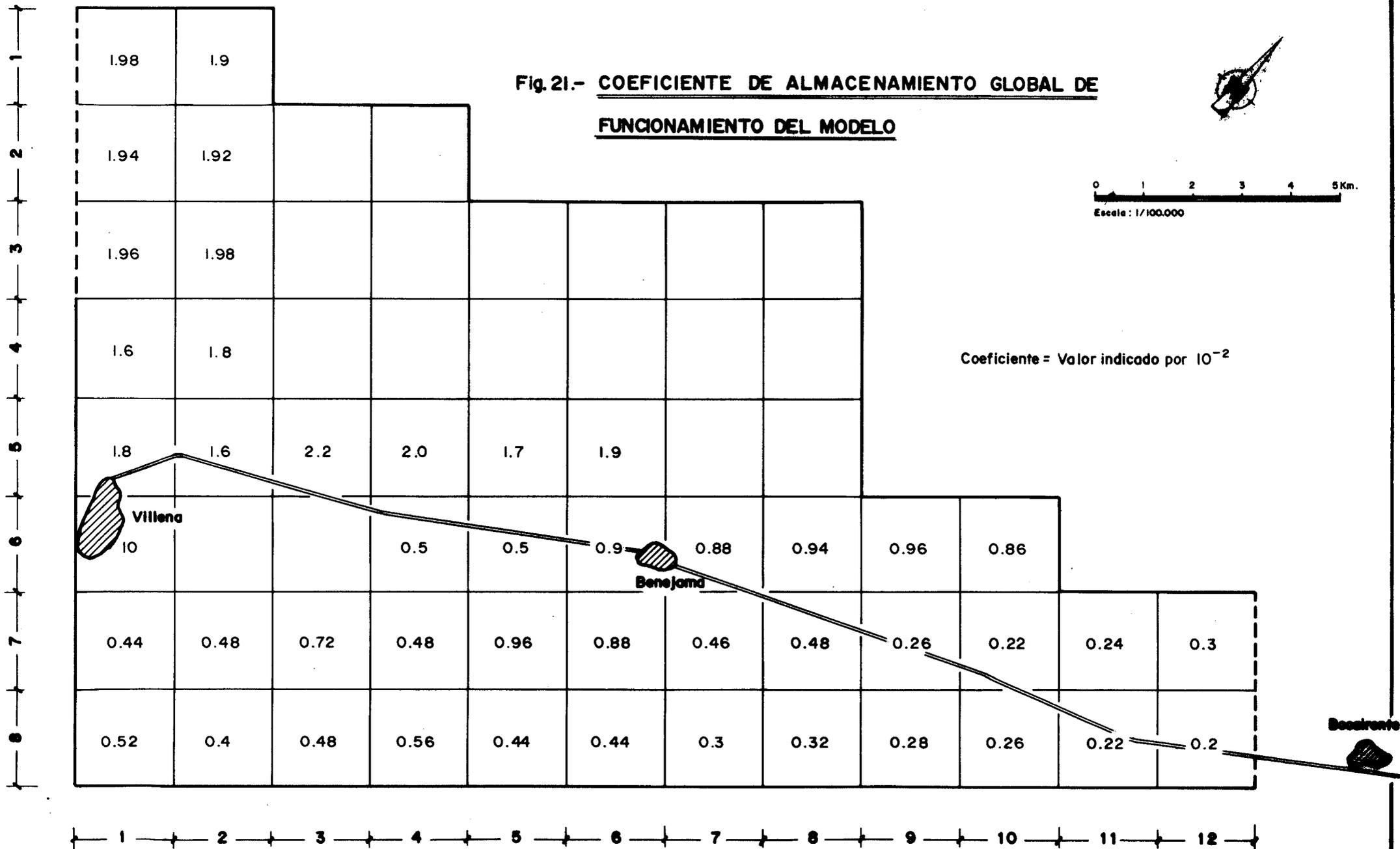
**Fig. 20.- PERMEABILIDAD GLOBAL DE FUNCIONAMIENTO
DEL MODELO (m/día)**



**Fig. 21.- COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO GLOBAL DE
FUNCIONAMIENTO DEL MODELO**



Coeficiente = Valor indicado por 10^{-2}



zonas de recarga. La figura 22 muestra los datos adoptados en el modelo.

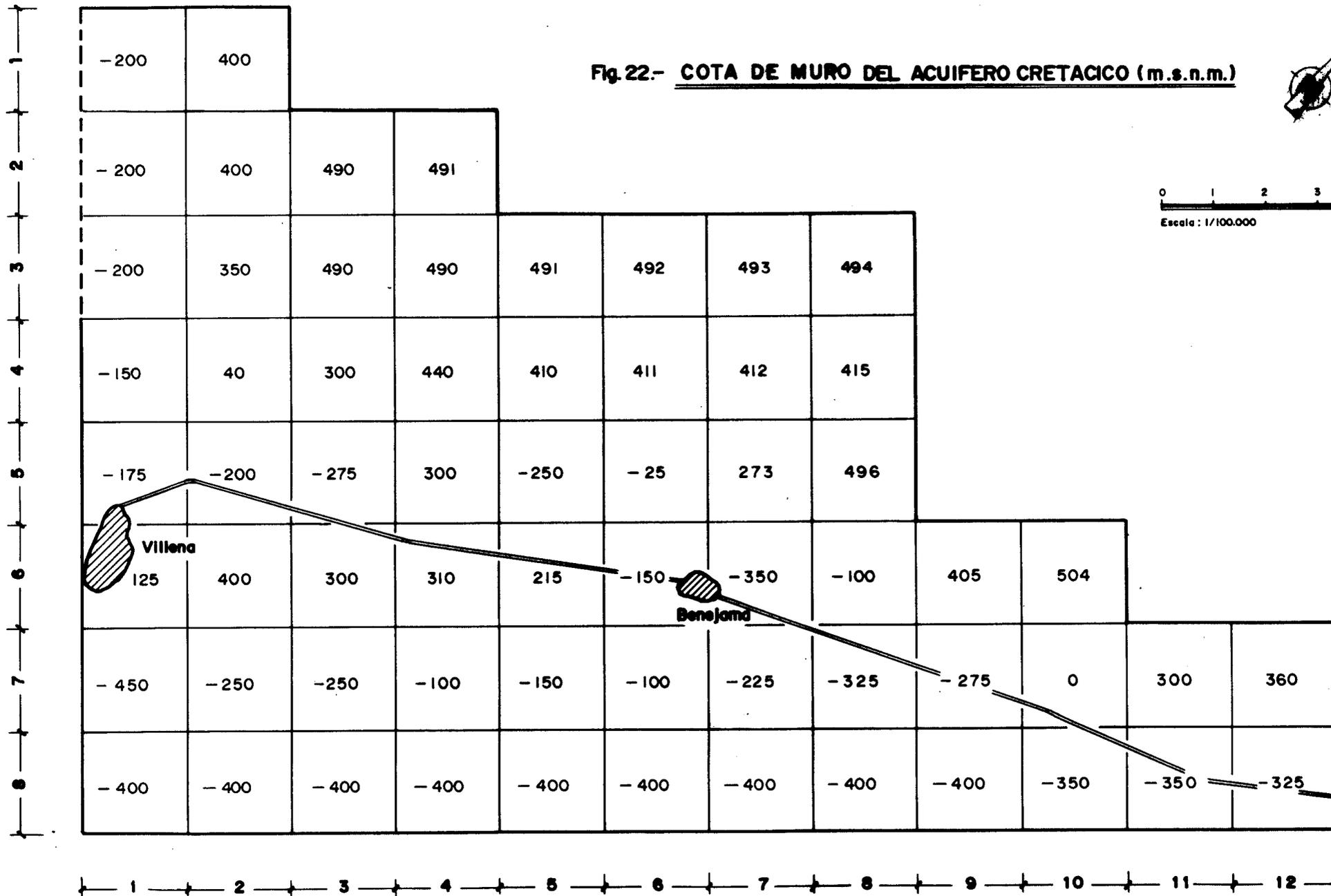
11.3.- SIMULACION EN REGIMEN PERMANENTE.

La simulación en régimen permanente se ha realizado como paso previo a la simulación en régimen transitorio, con el fin de comprobar la coherencia de las hipótesis adoptadas sobre el funcionamiento hidráulico del acuífero. También ello ha permitido obtener unos valores estimativos de la permeabilidad que han sido aplicados posteriormente para calibrar el modelo en régimen transitorio.

11.4.- CALIBRACION EN REGIMEN TRANSITORIO.

Con el objeto de calibrar el modelo se han realizado sucesivas pasadas. La que mejor ajusta a los datos piezométricos históricos es la que se ha denominado "pasada" 15, que se incluye en el Anejo 7. De ella, se han deducido los datos sobre la explotación del acuífero que se incluyen en la Tabla nº 9.

Fig. 22.- COTA DE MURO DEL ACUIFERO CRETACICO (m.s.n.m.)



11.4.1. Evolución de los descensos.

Los resultados obtenidos para las distintas mallas en la que hay un piezómetro, fig.23, se comenta a continuación:

11.4.1.1. Celda (1,2).

En la celda (1,2), piezómetro 273280023, fig.24, el ajuste que se observa es bueno en toda su evolución. La figura que se adjunta muestra la evolución de los niveles medidos y los resultantes del modelo

11.4.1.2. Celda (5,3).

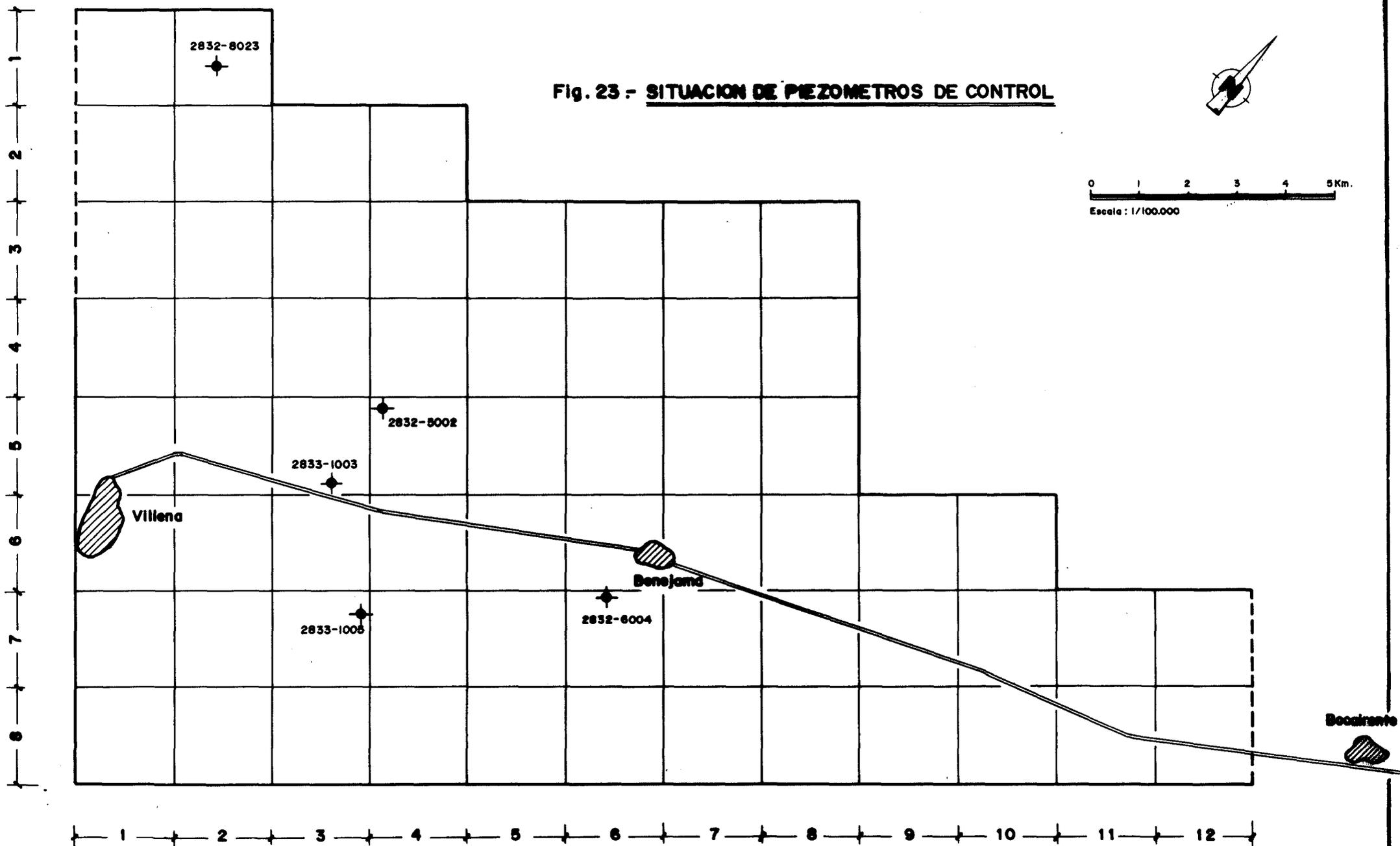
En la celda (5,3), piezómetro 283310003, el ajuste de los dos primeros periodos simulados no es bueno, lo que condiciona los resultados del período 1980-1991. En conjunto se puede indicar que tanto los resultados como las tendencias son aceptables.

La figura nº 25 adjunta muestra los niveles medidos y los resultantes del modelo.

11.4.1.3. Celda (5,4).

En la celda (5,4), piezómetro 283250002, el ajuste es bueno en toda la evolución, aunque con un ligero desfase a partir de los dos primeros periodos

Fig. 23 - SITUACION DE PIEZOMETROS DE CONTROL



NIVELES PIEZOMETRICOS EN 273280023

PASADA N° 15

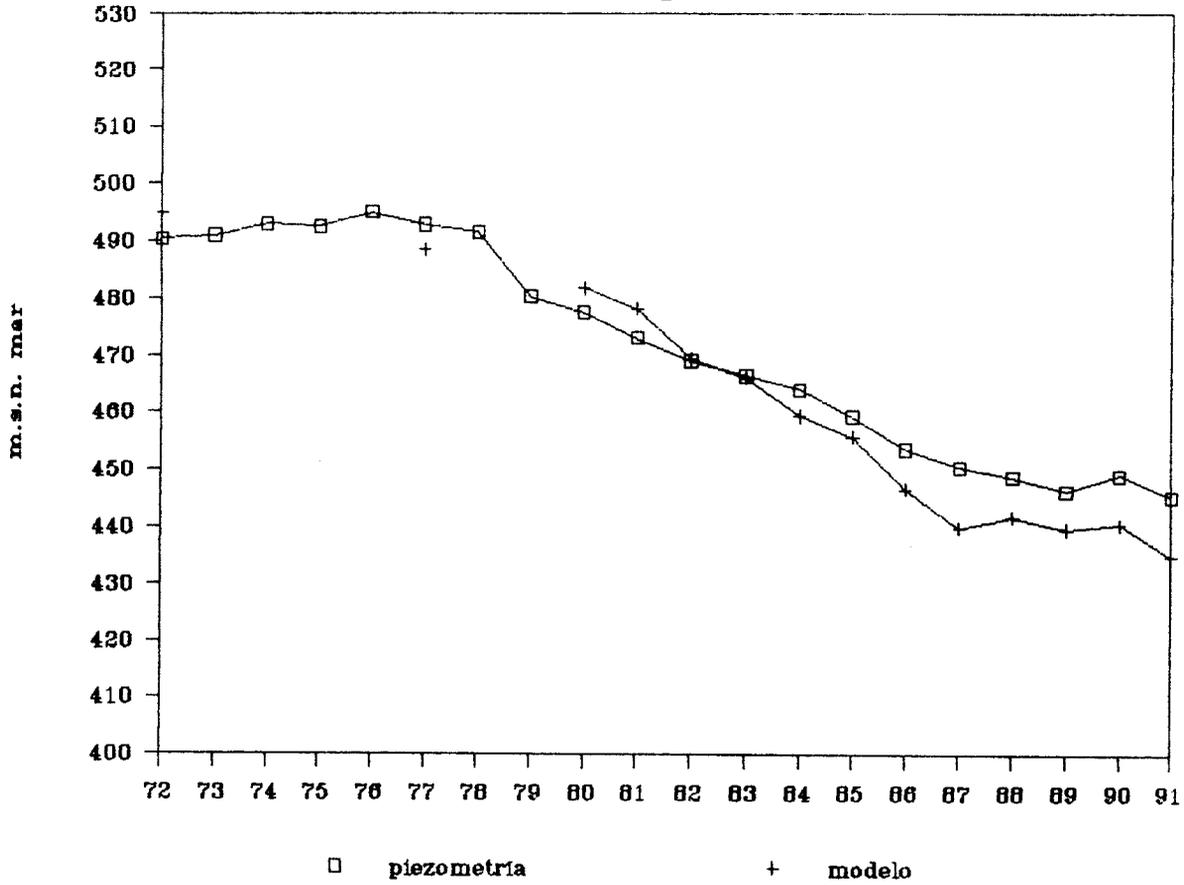


Fig. 24.- RESULTADOS DE LA CALIBRACION

NIVELES PIEZOMETRICOS 283310003

Pasada N° 15

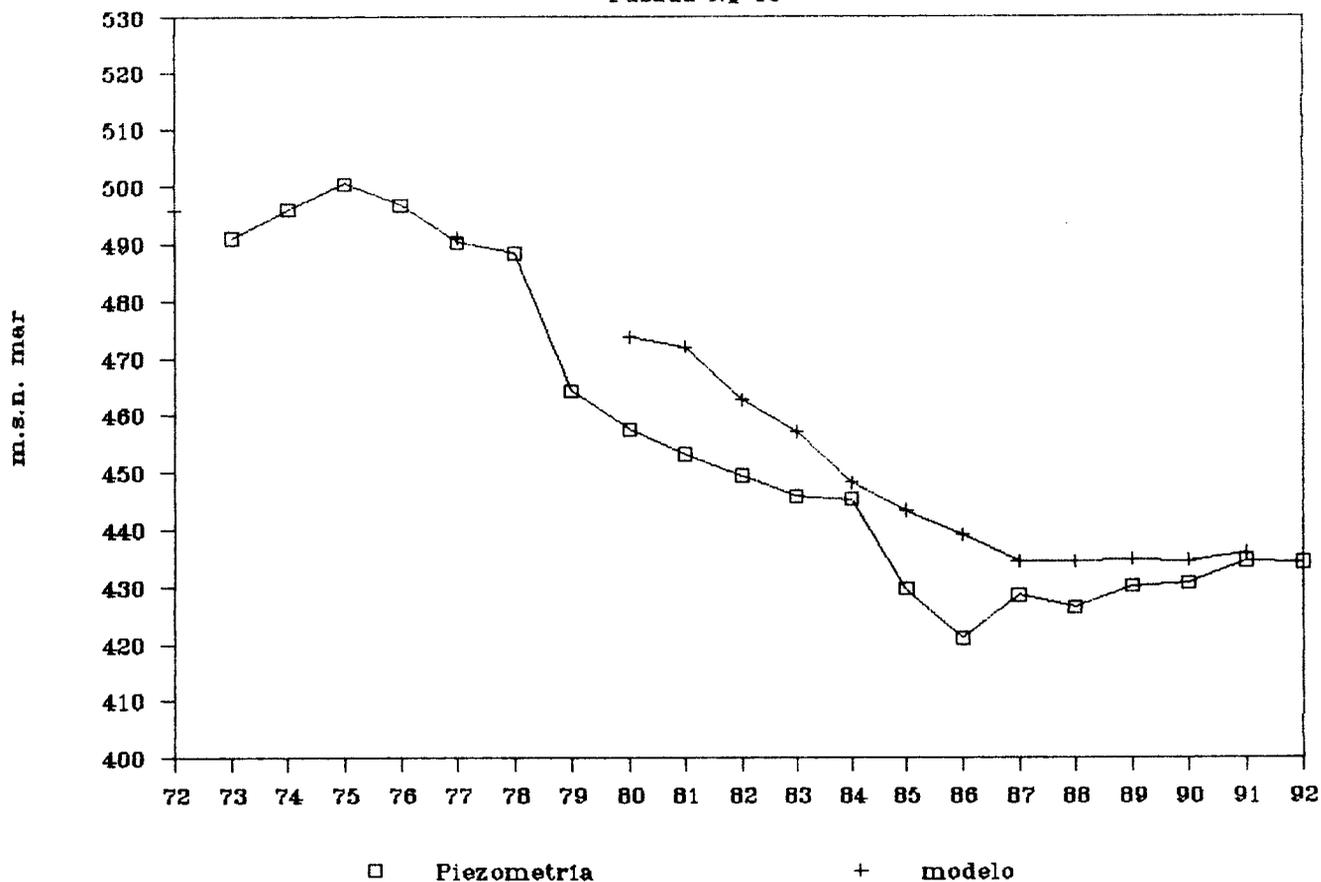


Fig. 25 - RESULTADOS DE LA CALIBRACION

PIEZOMETRIA EN 283250002

PASADA N° 15

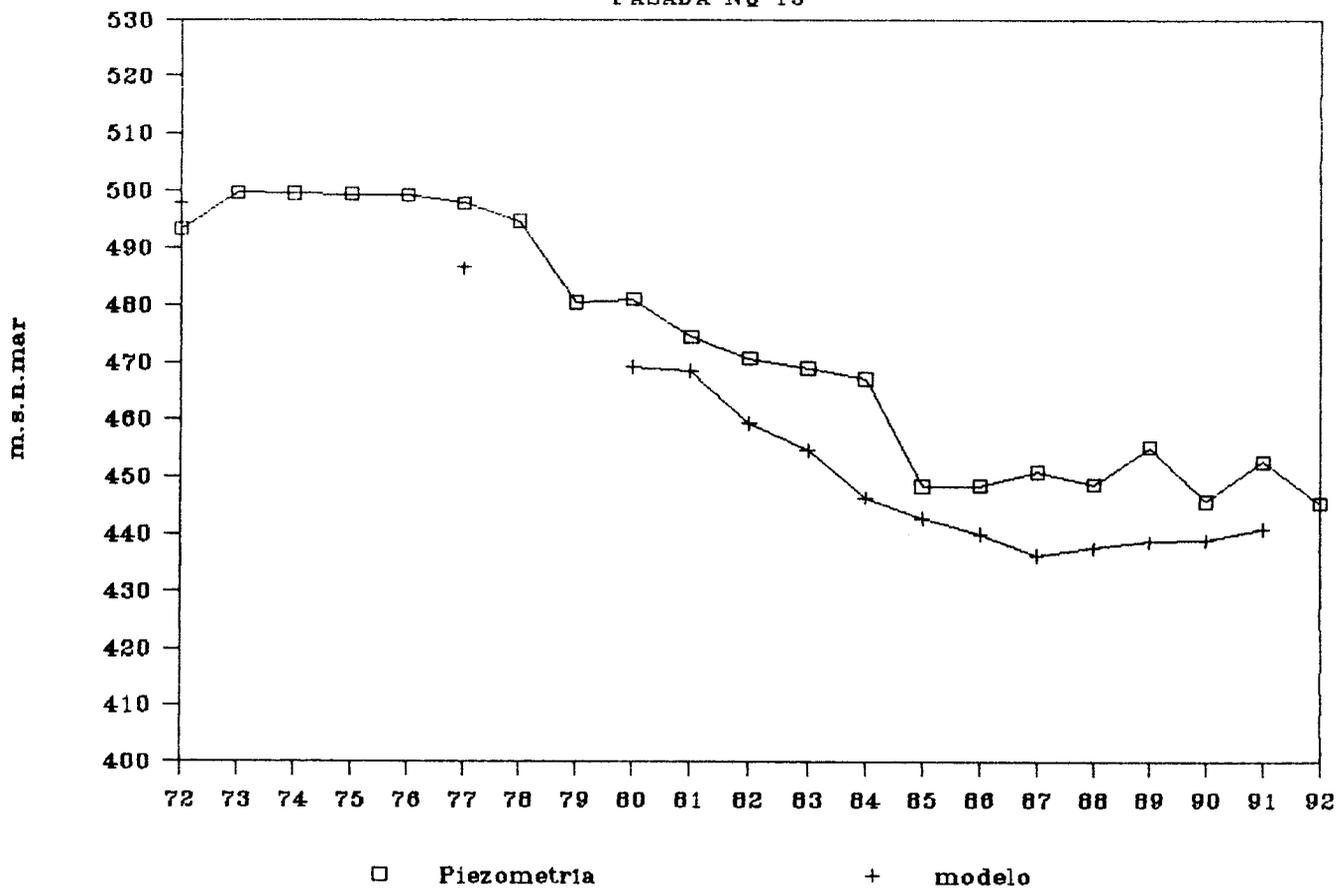


Fig. 26 - RESULTADOS DE LA CALIBRACION

simulados, paralelamente a lo que sucede en la celda (5,3). La figura 26 adjunta muestra la evolución de los niveles medidos y los resultantes del modelo.

11.4.1.4. Celda (7,3).

En la celda (7,3), piezómetro 283310005, el ajuste es bueno en toda la evolución, excepto los dos primeros periodos simulados y los dos últimos años, en que la recuperación no queda reflejada de manera clara en los resultados del modelo. La figura nº 27 adjunta muestra la evolución de los niveles medidos en campo y los resultantes del modelo.

11.4.1.5. Celda (7,6).

En la celda (7,6), piezómetro 283260004, la evolución es buena excepto, como en la celda (7,3), en los dos primeros periodos simulados y en los últimos años de simulación. La figura nº 28 adjunta muestra la evolución de los niveles de campo y los resultantes del modelo.

11.5.- CONCLUSIONES AL MODELO DE FLUJO.

El modelo realizado permite simular el acuífero de Solana de forma simplificada, pero se considera que

NIVELES PIEZOMETRICOS EN 283310005

PASADA N° 15

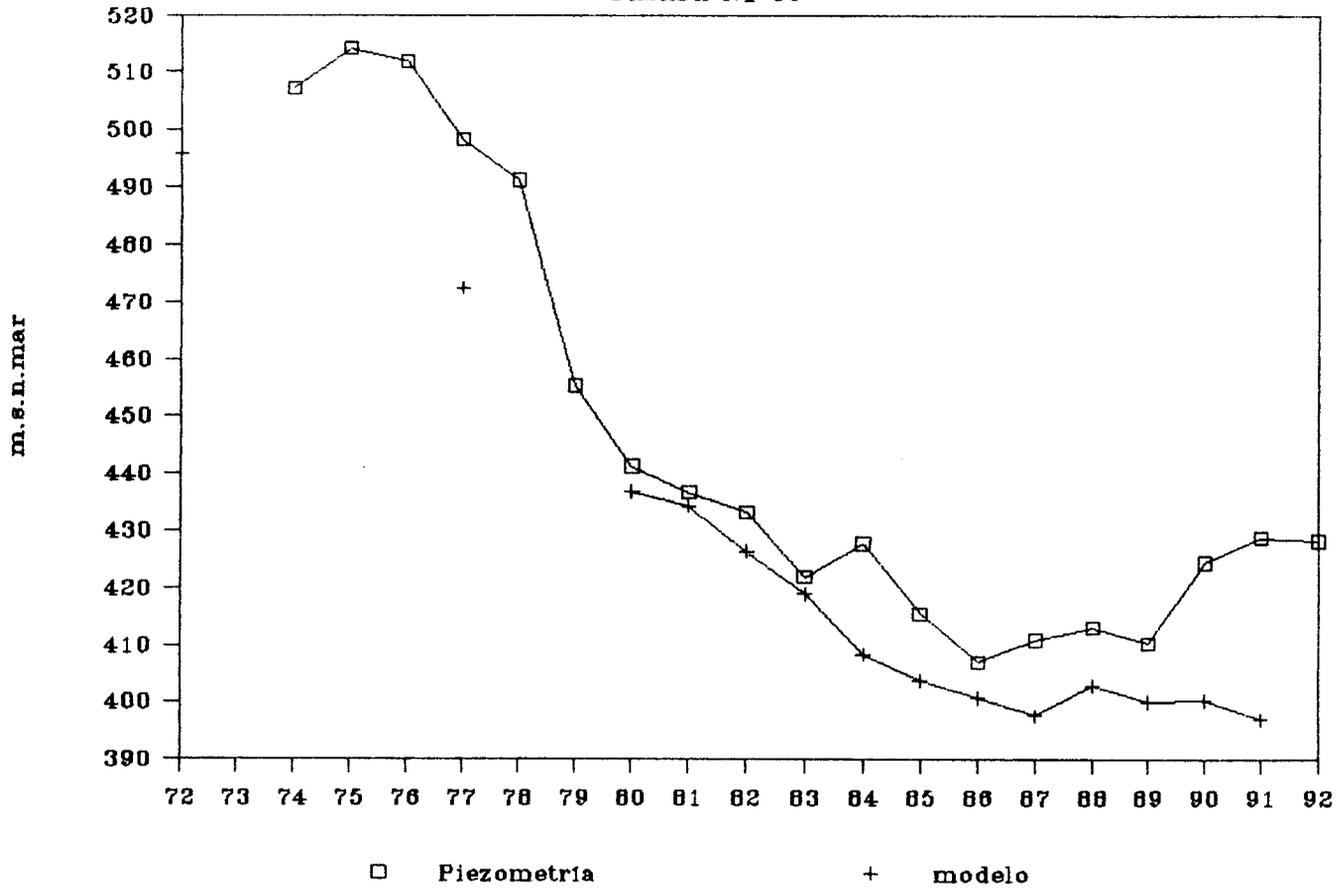


Fig. 27.- RESULTADOS DE LA CALIBRACION

NIVELES PIEZOMETRICOS EN 283260004

PASADA N^o 15

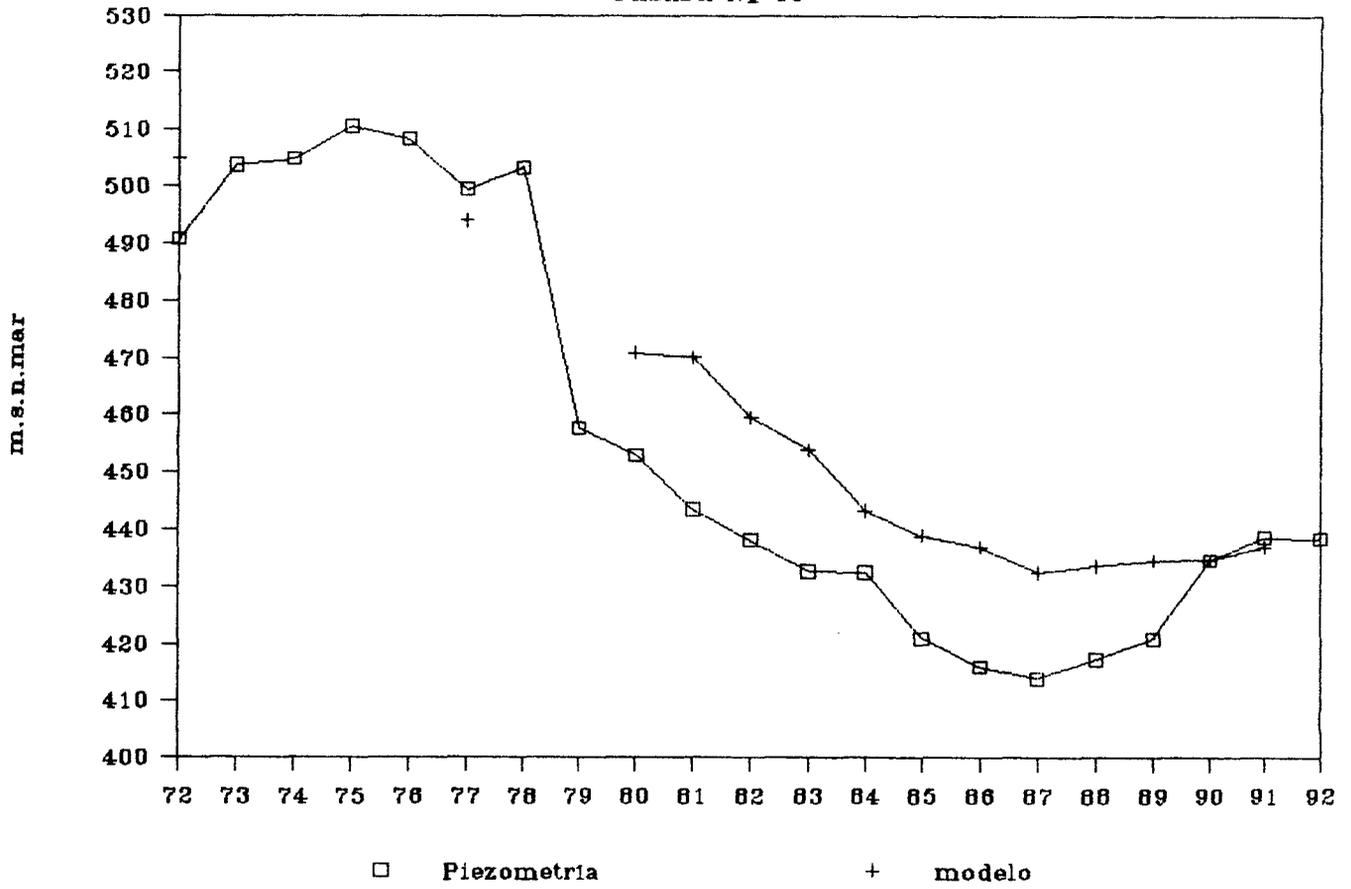


Fig. 28.- RESULTADOS DE LA CALIBRACION

bastante acertadamente a efecto de la cuantificación del balance y de la determinación de las condiciones de contorno.

Indicandose además que el ajuste realizado representa con bastante fidelidad la evolución de los niveles medidos en el campo, con la salvedad de los dos primeros períodos simulados, años 1972-1977 y 1978-1980, en los cuales los resultados del modelo difieren de los observados en las medidas de campo. Esta discrepancia es fácilmente explicable debido a la imprecisión de la cuantificación de las extracciones realizadas en ese período.

Por otro lado se observa otra pequeña discrepancia en los dos últimos años simulados 1990 y 1991, en los que los niveles simulados no se recuperan con la amplitud en que lo hacen los niveles medidos en el campo, ello es debido a que posiblemente en estos años 1989-1990, se produjo una reducción de bombeos que probablemente no quedó bien determinada con la actualización de los datos de inventario.

Por último se ha de considerar la discretización temporal del modelo que obliga a introducir los datos en unidades diarias, distribuyéndose éstos a lo largo del año de una manera constante, lo cual supone aceptar

que tanto las entradas como las extracciones siguen una ley continua u unitaria, cuando en realidad los bombeos se concentran en determinados meses del año, concretamente en los meses de estiaje y por otro lado, la infiltración se concentra en los meses de Octubre a Mayo principalmente. Esto provoca que en la superficie piezométrica resultante de la modelación aparezcan conos de bombeo en las zonas con fuertes extracciones, fenómeno éste que resulta mucho más atenuado en la superficie piezométrica real.

12. MODELO ESTOCASTICO

12.1.- METODOLOGIA.

El objetivo del trabajo es la obtención, por medio de métodos estocásticos, de un modelo que reproduzca el comportamiento del acuífero ante la influencia de valores conocidos de pluviometría y bombeos, y permita estimar sus recursos renovables ante distintas hipótesis de recarga por lluvia.

Matemáticamente, si se considera el acuífero como una caja negra con unos valores conocidos de entradas y salidas de agua, el problema es encontrar la relación funcional que explique la variación del nivel piezométrico como respuesta a los citados impulsos.

En el caso que nos ocupa se va a buscar un modelo lineal estocástico que relacione piezometrías, pluviometrías y bombeos, rechazándose cualquier otra variable de influencia, debido a que las primeras son de fácil y rápida obtención, por lo que permitirán la realización de rápidas predicciones.

Hay que señalar que el modelo se ajusta y sirve únicamente de acuerdo con la información disponible y la calidad de la misma, y que la universalidad de las conclusiones lo será en función de si los datos del período elegido para la modelización contienen en sí mismos todas las características particulares del acuífero. Es

decir, la muestra es suficientemente representativa de la población.

12.1.1.- Fases de desarrollo.

Para la realización del presente trabajo se ha seguido la metodología siguiente:

1 - Evaluación y análisis de la información disponible.

En esta fase se analizan las series de datos, se detectan los valores extraños (outlayers), se observan las características particulares de cada serie, y se establece la necesidad de aplicarles aquella transformación que ajusta los datos a la distribución normal, antes de proceder a las fases siguientes, ya que el ajuste de un modelo lineal exige ciertas condiciones que los datos han de cumplir para poder ser aplicable y ser útil en su explotación.

2 - Identificación del modelo lineal.

Una vez evaluados y analizados los datos, y realizados sobre ellos las depuraciones y transformaciones precisas para su adecuación a la modelización lineal, se ha de proceder a la identificación de dicho modelo lineal, consistente en el análisis de las relaciones que puedan existir entre las variables y el

establecimiento de los posibles retrasos en el tiempo que puedan tener las variables independientes.

El concepto de retrasos en el tiempo quiere decir, por ejemplo, que ante unas lluvias en un mes dado su manifestación como aumento de los niveles de piezometría se produce un mes, dos meses, etc... más tarde, o bién en el mismo mes en que se produce, hablando entonces de retrasos de un mes, dos meses, etc.. o 0 meses respectivamente; otro ejemplo es que ante un bombeo dado en un mes, su afección sobre los niveles piezométricos se puede manifestar en el mes posterior, o al cabo de 2 meses, etc...

Para ello en la fase de identificación del modelo lineal se selecciona el que más se ajuste a las características y peculiaridades observadas en la información disponible.

3 - Calibración del modelo lineal.

Una vez identificado el modelo, el siguiente paso es que mediante un procedimiento algorítmico de ajuste por mínimos cuadrados, calcular los parámetros de la ecuación lineal que relaciona la variable dependiente piezometría con las dos variables independientes, pluviometría y bombeos. A este proceso de cálculo se le denomina calibración del modelo, consistente, en

resumen, en el cálculo de los parámetros de la ecuación lineal seleccionada en la fase anterior de identificación del modelo.

4 - Verificación del modelo lineal y análisis de residuos.

Por último, una vez calibrado el modelo, es menester proceder a la verificación del mismo mediante la llamada metodología del análisis de residuos, para conocer el grado de ajuste de la información predicha por el modelo con los datos observados en la realidad y empleados en la construcción del mismo.

Como consecuencia de este proceso, en algunos casos se toma la decisión de la depuración de ciertos datos y la vuelta a la fase de calibración para obtener unas predicciones que se ajusten mejor a los datos observados, y por lo tanto, el modelo se ajuste mejor a la realidad y sea más válido y útil en la explotación.

12.1.2.- Parámetros estadísticos univariantes utilizados en la evaluación y análisis de la información disponible..

Para la evaluación y análisis de la información disponible, así como la determinación de las transformaciones necesarias que se le han de aplicar para ajustar los datos a las condiciones

exigidas en la modelización lineal, se utilizan los siguientes parámetros estadísticos univariantes:

* Media muestral :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

donde n es el número de los datos, y x_i , cada uno de los valores de la variable en cuestión observada.

* Varianza muestral insesgada:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Donde n es el número de los datos, \bar{x} es la media muestral, y x_i , cada uno de los valores de la variable en cuestión observada.

* Desviación típica :

$$s = \sqrt{s^2}$$

* Asimetría :

$$a = \frac{1}{n \cdot s^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

Donde a es el valor del coeficiente de asimetría muestral de Fisher, y presentará el valor 0 para una función de distribución totalmente simétrica, mayor de 0 cuando la moda se encuentre a la izquierda de la media, y menor de 0 cuando ocurra lo contrario. En líneas generales se puede aceptar la hipótesis de normalidad (totalmente simétrica) si a , en valor absoluto, no sobrepasa el valor de $2\sqrt{(6/n)}$, para el 95% de confianza.

* Kurtosis :

$$k = \left[\frac{1}{n \cdot s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \right] - 3$$

Donde k es el valor del coeficiente de apuntamiento o kurtosis muestral de Fisher, y presentará el valor 0 para distribución normal, será mayor que 0 para distribuciones apuntadas y menor de cero para distribuciones más planas. Se acepta en líneas generales la hipótesis de normalidad si k en valor absoluto es menor de $2\sqrt{(24/n)}$ para el 95% de confianza.

12.1.3.- Modelo lineal multivariante.

En el caso concreto presente, la fase de indentificación proporciona un modelo de regresión lineal múltiple, en el que la variable de piezometría sería el término dependiente, y las variables de pluviometría y bombeos los términos independientes.

La forma general de una ecuación de regresión lineal múltiple es la siguiente :

$$Y = c_0 + c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n$$

Donde y es la variable dependiente (en el caso presente la piezometría) y x_1, x_2, \dots, x_n son las diferentes variables independientes (en el caso presente, bombeos y lluvia), $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ son los coeficientes o parámetros de la ecuación del modelo lineal.

12.2.- MODELIZACION LINEAL.

12.2.1.- Información disponible

Para el ajuste de este modelo se toman los datos procedentes de los piezómetros siguientes:

<u>Número</u>	<u>Denominación</u>	<u>Período.</u>
283260004	- El Nogueral	(72 - 91).
283520013	- Peñetes	(73 - 91).
283310003	- Romeral	(77 - 91).
283310049	- Valdona	(74 - 91).
283310006	- Candela	(74 - 91).
283310048	- Calera	(77 - 91).
273280078	- Alorines I	(72 - 91).
273280023	- Alorines II	(72 - 91).
273280002	- Alorines III	(72 - 91).
283250003	- Puentes	(72 - 91).

La información piezométrica proviene de una sola medida anual, tomada en el mes de abril de cada año, desde el 1972 al 1991, y, tal como se observa en la tabla anterior, solo está completa en 5 de los puntos de control. Los datos utilizados se expresan en m.s.n.m. en Alicante.

Los datos referentes a pluviometría proceden de las estaciones meteorológicas de Bañeres, Benejama y Villena, y se expresan en litros/m². Las medidas son mensuales y abarcan desde el año 56 hasta el 91. Se emplearán las series de Benejama y Villena por ser las más completas y regulares, identificándose a

partir de ahora como PV y PV2 respectivamente para el resto del trabajo.

Se dispone de las series correspondientes de bombeos totales en el acuífero, volumen de agua extraído al año, las mismas que han sido utilizadas en el modelo de flujo realizado. Los bombeos se expresan en hm^3 , y se denomina la serie BM.

Para temporalizar las series mensuales de pluviometrías y bombeos, con las anuales de piezometrías, se han transformado estas primeras, agrupándolas en una medida anual que corresponde al total de los meses de Abril del año anterior, hasta marzo del actual, haciéndose corresponder esta medida con la medida piezométrica de cada año. Así, por ejemplo, para el año 72 se han agrupado las pluviometrías desde Abril del 71 a Marzo del 72, haciéndose igual con los bombeos.

El total de observaciones a emplear por tanto en el modelo es de 20, abarcando desde 1972 hasta 1991. La t de student para 20 casos y un 95% de margen de confianza es aproximadamente 2.09.

La hipótesis de normalidad se puede aceptar, para 20 casos, si la Asimetría y la Kurtosis se encuentran dentro de los siguientes márgenes:

$$-1,095 \leq a \leq 1,095$$

$$-2,191 \leq k \leq 2,191$$

Es decir, se admite la serie de datos como normal, si "a" en valor absoluto es menor o igual a 1,095, y "k" en valor absoluto es menor o igual a 2,191.

12.2.2.- Evaluación y análisis de la información disponible.

PIEZOMETRIAS.

La información disponible procede de las ocho captaciones indicadas con anterioridad. Estas de acuerdo con su evolución se pueden agrupar en dos grupos. El primero está compuesto por los pozos: El Nogueral, Peñetes, Romeral, Prisas, Valdona, Candela y Calera. El segundo, por Alorines I, II y III, y Puentes. La evolución de estos grupos para el período en estudio se observa en las figuras 29.1. y 29.2.

De su análisis se pone de manifiesto que la evolución hiperanual, para el período representado, presenta un agotamiento menos intenso en los pozos del segundo grupo, por estar éstos últimos en las proximidades de un límite de recarga.

Se ha seleccionado un piezómetro de cada grupo para el ajuste del modelo, además de una serie sintética formada por la

media de las medidas existentes para cada año en todos los piezómetros del grupo primero.

Se analizarán para cada una de estas series su correlación con las pluviometrías y los bombeos, seleccionándose al final como representativa del acuífero la serie que mejor resultados proporcione.

Las series empleadas se identifican para los cálculos como

PZ1, El Nogueral

PZ2, Alorines II

PZ3, Media grupo 1

En el primer grupo se selecciona el Nogueral por ser el único con los datos completos para el período de 1972 a 1991. En el segundo el de Alorines II por ser el que menos irregularidades presenta.

Como se verá a continuación, la variable dependiente a utilizar en la construcción del presente modelo lineal serán las diferencias de piezometría. Se calculan las series de diferencias para cada serie inicial seleccionada, identificándose como DPZ1, DPZ2, y DPZ3, siendo:

$$DPZ1(t) = PZ1(t) - PZ1(t-1)$$

$$DPZ2(t) = PZ2(t) - PZ2(t-1)$$

$$DPZ3(t) = PZ3(t) - PZ3(t-1).$$

En las figuras 30.1 y 30.2 se presentan las gráficas de estas nuevas series.

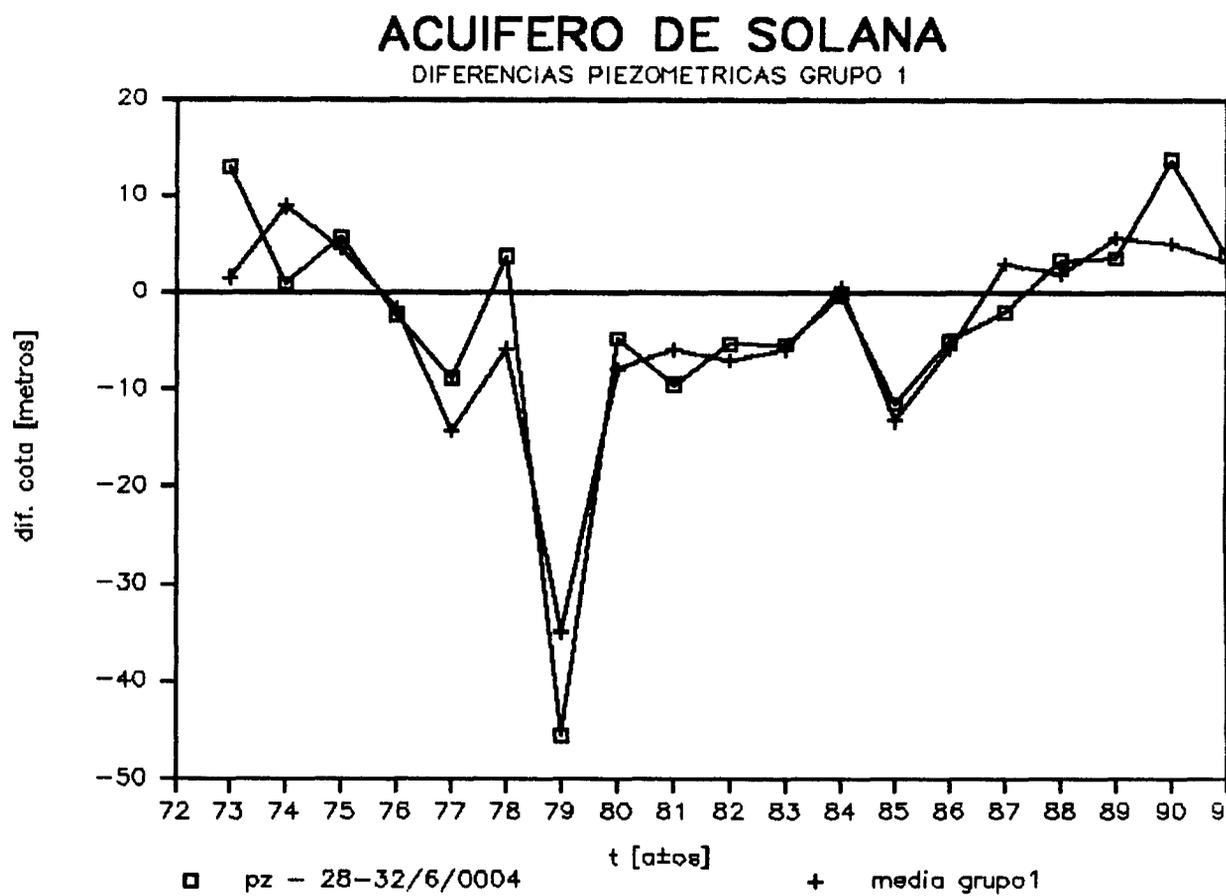


Figura 30.1 - Gráfica de diferencias de piezometría, grupo 1^o

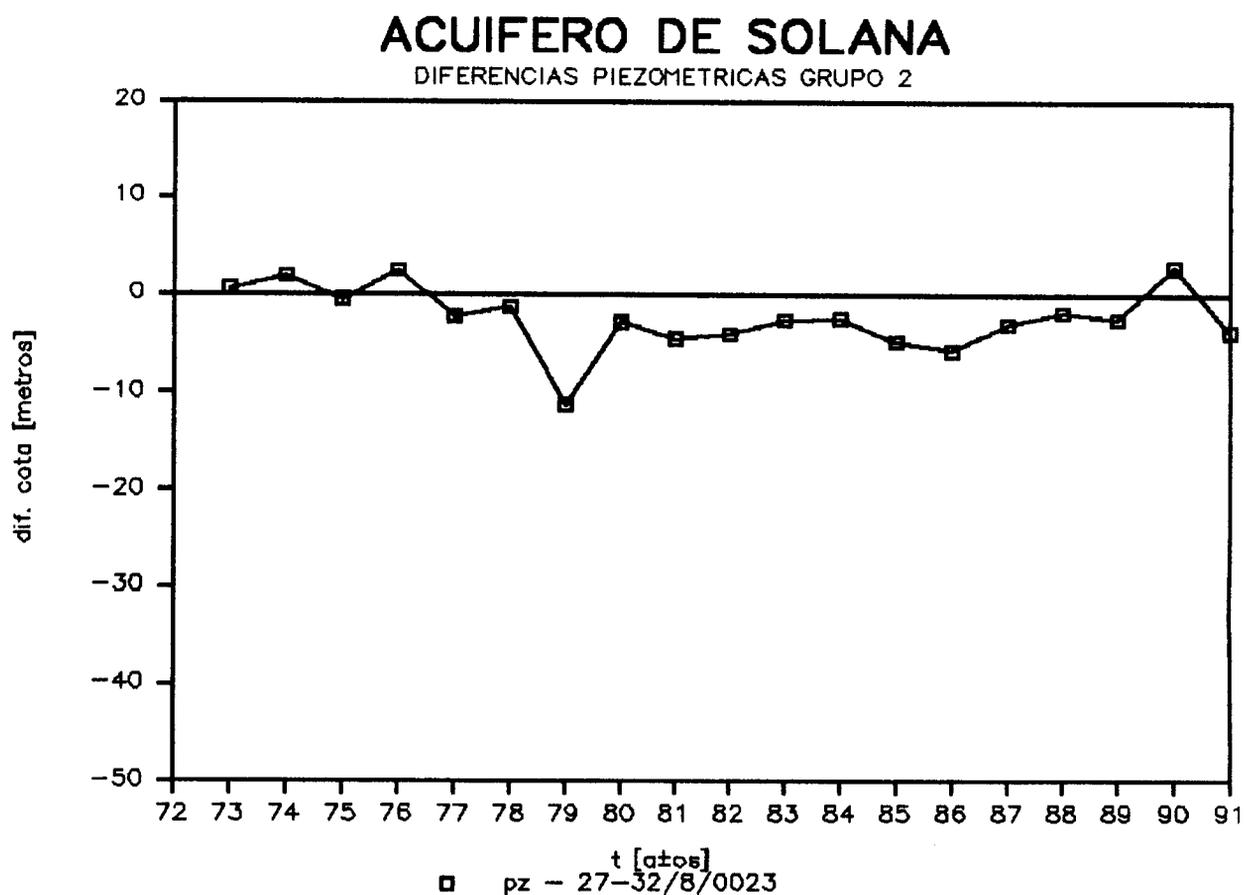


Figura 30.2 - Gráfica de diferencias de piezometría, grupo 2º

Como se observa en las figuras anteriores, 30.1 y 30.2, las series presentan una evolución similar, siendo ligeramente positivas en los 5 primeros años, presentando una diferencia negativa muy grande en el año 79, y unas diferencias negativas que disminuyen paulatinamente desde el año 80 hasta hacerse positivas en el 91. Se observa asimismo que la magnitud de las diferencias

es sensiblemente menor en la serie seleccionada del segundo grupo que en la del primero.

En la siguiente tabla 24 se presentan las series de diferencias de piezometría empleadas (DPZ1, DPZ2 y DPZ3), y su estudentización a fin de localizar los valores extraños (SPDZ1, SDPZ2 y SDPZ3), junto a las series que, como se verá a continuación, representan la transformación que más las normaliza (EDPZ1, LNDPZ2 y LNDPZ3), así como la estudentización de estas transformaciones (SEPDZ1, SLNDPZ2 y SLNDPZ3).

AA	DPZ1	SDPZ1	EDPZ1	SEPDZ1	DPZ2	SDPZ2	LNDPZ2	SLNDPZ2	DPZ3	SDPZ3	LNDPZ3	SLNDPZ3
72	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
73	13.00	1.26	19.29	2.06**	.60	.91	-2.97	.96	1.60	.51	-2.67	.43
74	1.00	.30	10.52	.12	2.00	1.34	-2.89	1.50	8.97	1.25	-1.95	1.96
75	5.80	.68	13.41	.76	-.50	.57	-3.02	.57	4.60	.81	-2.43	.93
76	-2.30	.04	8.91	-.24	2.50	1.49	-2.86	1.70	-1.73	.18	-2.87	-.01
77	-8.80	-.49	6.41	-.79	-2.20	.05	-3.10	.00	-14.25	-1.07	-3.41	-1.15
78	3.80	.52	12.12	.48	-1.20	.36	-3.05	.33	-5.76	-.22	-3.08	-.45
79	-45.60	-3.44**	1.00	-1.98	-11.30	-2.74**	-3.44	-2.45**	-34.87	-3.14**	-3.93	-2.25**
80	-4.70	-.16	7.89	-.46	-2.80	-.13	-3.13	-.19	-7.84	-.43	-3.17	-.64
81	-9.50	-.54	6.19	-.84	-4.50	-.65	-3.20	-.70	-5.84	-.23	-3.08	-.46
82	-5.30	-.21	7.65	-.51	-4.00	-.50	-3.18	-.56	-7.06	-.35	-3.14	-.57
83	-5.40	-.21	7.62	-.52	-2.60	-.07	-3.12	-.13	-5.83	-.23	-3.08	-.45
84	-.30	.20	9.85	-.03	-2.40	-.01	-3.11	-.06	.59	.41	-2.74	.29
85	-11.50	-.70	5.60	-.97	-4.80	-.75	-3.21	-.79	-13.19	-.97	-3.37	-1.07
86	-5.00	-.18	7.77	-.49	-5.70	-1.02	-3.25	-1.05	-5.79	-.23	-3.08	-.45
87	-2.00	.06	9.04	-.21	-3.00	-.19	-3.14	-.25	3.04	.66	-2.56	.66
88	3.40	.49	11.88	.42	-1.80	.17	-3.08	.13	2.04	.56	-2.64	.50
89	3.60	.51	12.00	.45	-2.50	-.04	-3.11	-.10	5.70	.92	-2.33	1.14
90	13.80	1.33	20.09	2.24**	2.90	1.62	-2.84	1.86	5.16	.87	-2.38	1.04
91	3.90	.53	12.18	.49	-3.80	-.44	-3.17	-.50	3.37	.69	-2.54	.71

(** Valores extraños)

Tabla 24 - Series de diferencia de piezometrías

Se consideran valores extraños aquellos, que en la serie estudentizada superan el valor de 2,093, la t de studente para 19 casos y un 95% de confianza. En la citada tabla nº 24 se aprecia la existencia de un valor altamente extraño en todas las series, en el año 79, que correspondería al descenso tan grande observado en todos los piezómetros en esa anualidad. Este valor, al estar presente en todas las series no puede ser considerado como un valor anómalo, producto de un error sistemático en la medición o en la transcripción. Se trata de un valor anómalo natural, producto posiblemente de la coincidencia de varios factores que han podido determinar su gran magnitud (por ejemplo, respuesta combinada a condiciones extremas de bombeos y pluviometrías, etc). Se observa que las transformaciones aplicadas, aunque no han conseguido eliminar este valor extraño, si han disminuido su importancia, acercándolo bastante al límite que marcaría la t de student antes indicada, por lo que las series se consideran aptas para su utilización en la modelización lineal.

En la tabla 25 se presentan los estadísticos de las series anteriores.

Numero de observaciones válidas = 19.00

Variable	Media	Desv. tip.	Asimetría	Kurtosis
DPZ1	-2.74	12.47	-2.24**	7.77**
EDPZ1	9.97	4.52	.65	1.19
DPZ2	-2.37	3.26	-.71	2.16**
LNDPZ2	-3.10	.14	-.12	.98
DPZ3	-3.53	9.98	-1.76**	4.52**
LNDPZ3	-2.87	.47	-.23	.33

(** Inclumplen la hipótesis de normalidad)

Tabla 25 - estadísticos de las diferencias de piezometrías

Tal y como se ha indicado anteriormente, la asimetría indica la tendencia de la mayoría de los datos a separarse de la media, siendo positiva cuando la separación es hacia los valores más pequeños, y negativa cuando lo es hacia los más grandes. Se considera como normalmente distribuida, y por tanto útil para su empleo en la modelización, aquella cuyo valor de asimetría sea, para 20 datos y un 95% de confianza, en valor absoluto menor de 1,095. Como se puede apreciar en la tabla anterior, la serie de datos brutos de diferencia de piezometría, en las series del primer grupo, incumplen este requisito de normalidad, mientras que la serie del segundo grupo, perteneciente al piezómetro de Alorines II, es, respecto a la asimetría, normalmente distribuida.

La kurtosis, o apuntamiento muestral, indica la tendencia de los datos a presentar valores similares a los de la moda, siendo positiva cuando esta tendencia es mayor de la que se esperaría en

una distribución normal, y negativa cuando ocurre lo contrario. Se considera que, para 20 casos y 95% de intervalo de confianza, la serie está normalmente distribuida si su apuntamiento es menor en valor absoluto a 2,19. Como se puede observa en la tabla anterior, las series de datos brutos de diferencia de piezometrías correspondientes al primer grupo, DPZ1, DPZ3, presentan un apuntamiento de 7.77 y 4.52 respectivamente, superior al de una serie normal, mientras que la serie del segundo grupo DPZ2, presenta un apuntamiento de 2.16, inferior al del límite establecido para el test de normalidad, por lo que esta variable se acepta como normalmente distribuida con respecto a la kurtosis.

Para normalizar las series de diferencias de piezometría, y eliminar los valores extraños, se han elegido, mediante la preparación de series de prueba y un método de tanteo, las transformaciones siguientes:

$$EDPZ1 = \exp(0,05 \cdot DPZ1 + 2.30)$$

$$LNDPZ2 = -\ln(20 - DPZ2)$$

$$LNDPZ3 = -\ln(18 - DPZ3)$$

Que además de normalizar las series y reducir los valores extraños, son las que mayor correlación presentan con las

variables independientes pluviometría y bombeos. En estas ecuaciones, \exp es la función exponencial de base e y \ln el logaritmo neperiano.

Las series de datos transformados se ha presentado ya en la tabla 24, junto a su estudentización para la comprobación de los valores extraños. Se observa que la transformación no ha eliminado por completo los valores extraños de las series de datos brutos, aunque si ha disminuido su valor de forma considerable, de manera que las series pueden aceptarse para su trabajo en la modelización lineal.

Los valores estadísticos de estas series se han presentado también en la tabla 25. En ella se observa, con respecto de la asimetría, que las series transformadas han mejorado considerablemente, pudiéndose ahora considerarse como normalmente distribuidas respecto a este parámetro, ya que todos los valores de asimetría son inferiores, en valor absoluto, al límite impuesto por la hipótesis de normalidad para este estadístico en el caso que nos ocupa. Se observa que con respecto a la kurtosis, o apuntamiento muestral, las transformaciones también han mejorado considerablemente este parámetro, siendo ahora inferiores en valor absoluto al límite impuesto por la hipótesis normalidad.

Por todo ello, las series transformadas se aceptan como normales y aptas para su empleo en la modelización lineal del acuífero de Solana.

PLUVIOMETRIAS.

Las pluviometrías se presentan en litros de agua recogida por metro cuadrado de superficie en las estaciones pluviométricas de Benezama y Villena. Estas medidas abarcan desde el año 1972 hasta el año 1991, y se presentan en la figura 31.

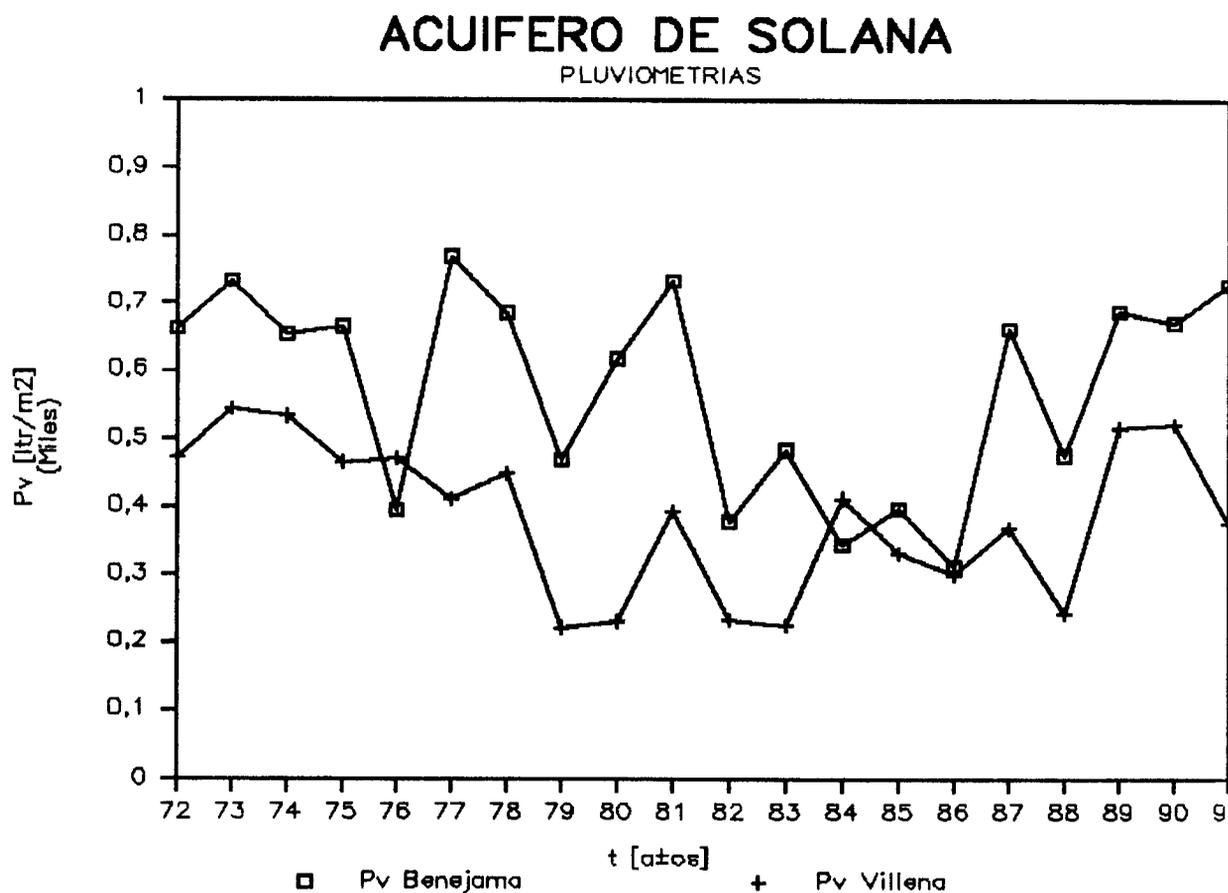


Figura 31 - Gráfica de pluviometrías

En esta gráfica se observa que las pluviometrías de la estación de Benejama son superiores en magnitud a las de la de Villena, oscilando esta diferencia alrededor de los 200 litros/m² recogidos anualmente. También se observa que difieren bastante en su distribución, y en el valor de los máximos y mínimos, sobre todo en los años 76, 77, 80, 84 y 91. Ambas series coinciden en presentar un período húmedo inicial, seguido de unos años secos, para terminar en un subperíodo húmedo. Esto indicaría la existencia en las series de una periodicidad hiperanual, que,

partiendo de los valores tratados, podría oscilar entre los 11 y 14 años.

En la tabla 26 se presentan los valores de las series de pluviometrías empleadas, junto con su estudentización, a fin de detectar los valores extraños.

AA	PV	SPV	PV2	SPV2
72	663.40	.58	473.80	.78
73	732.30	1.03	544.30	1.40
74	654.40	.52	533.90	1.31
75	665.80	.59	466.00	.71
76	395.90	-1.20	471.00	.75
77	768.60	1.28	411.70	.22
78	685.60	.72	448.60	.55
79	469.00	-.71	222.20	-1.46
80	618.60	.28	231.50	-1.38
81	731.80	1.03	394.50	.07
82	378.80	-1.31	233.50	-1.36
83	483.80	-.62	225.40	-1.44
84	344.40	-1.54	412.50	.23
85	398.40	-1.18	332.50	-.48
86	312.20	-1.76	301.50	-.76
87	663.10	.57	369.70	-.15
88	476.00	-.67	243.50	-1.27
89	688.70	.74	516.00	1.15
90	671.80	.63	522.70	1.21
91	728.90	1.01	377.00	-.09

Tabla 26- Valores de pluviometría

En esta tabla la variable PV es la pluviometría en la estación de Benejama, SPV la estudentización de esta variable; y PV2 la pluviometría de la estación de Villena, y SPV2 su

estudentización. No observándose en la misma la existencia de ningún valor extraño excesivamente grande que merezca su estudio o depuración.

En la tabla 27 se presentan los estadísticos de estas variables:

Numero de observaciones válidas = 20.00

Variable	Media	Desv. tip.	Asimetría	Kurtosis
PV	576.58	150.50	-.50	-1.38
PV2	386.59	112.30	-.24	-1.32

Tabla 27 - Estadísticos de pluviometrías

Respecto a la asimetría, se observa que las series de pluviometrías presentan valores de -0.50 y -0.24, para las estaciones de Benejama y Villena respectivamente, por lo que cumplen la hipótesis de normalidad respecto a la asimetría, que establece que la asimetría de una serie, para ser considerada como normal, no debe superar en valor absoluto la cantidad de 1.09, para 20 casos y un 95% de confianza.

Respecto a la kurtosis, se observa también que las series de pluviometrías presentan valores de -1.38 y -1.32, para las estaciones pluviométricas de Benejama y Villena respectivamente,

por lo que cumplen la hipótesis de normalidad respecto a la kurtosis, que para que una serie pueda ser considerada como normal, la kurtosis de la misma no puede ser superior en valor absoluto al valor de 2.19, para 20 casos y un 95% de confianza.

Por todo ello, las series de medidas anuales de pluviometría de las estaciones de Benejama y Villena en el periodo de 1972 a 1991 se consideran como normalmente distribuidas y útiles para su empleo en la modelización lineal del acuífero de Solana, entre los años 1972 y 1991, sin considerarse por tanto necesaria la aplicación de ninguna transformación a las mismas.

Es habitual, sin embargo, que en la modelización de los acuíferos las series de pluviometrías se transformen logarítmicamente para convertirlas en normales. Esta transformación, sin embargo, se aplica cuando las series son medidas mensuales o incluso diarias, para suavizar el efecto de la torrencialidad o intemperstividad de la pluviosidad habitual en estas zonas, efecto que no es necesario al trabajar únicamente con el total anual.

BOMBEOS

Aunque los bombeos son una variable antrópica y tecnológica, dado que el tiempo entre dos casos es muy grande (1 año), y dado

asimismo que su variación puede ser también extremadamente grande de un año a otro, se le considera y analiza como una variable estocástica.

Los bombeos vienen expresados en hm^3 de agua extraídos al año, y se representan en la figura 32.

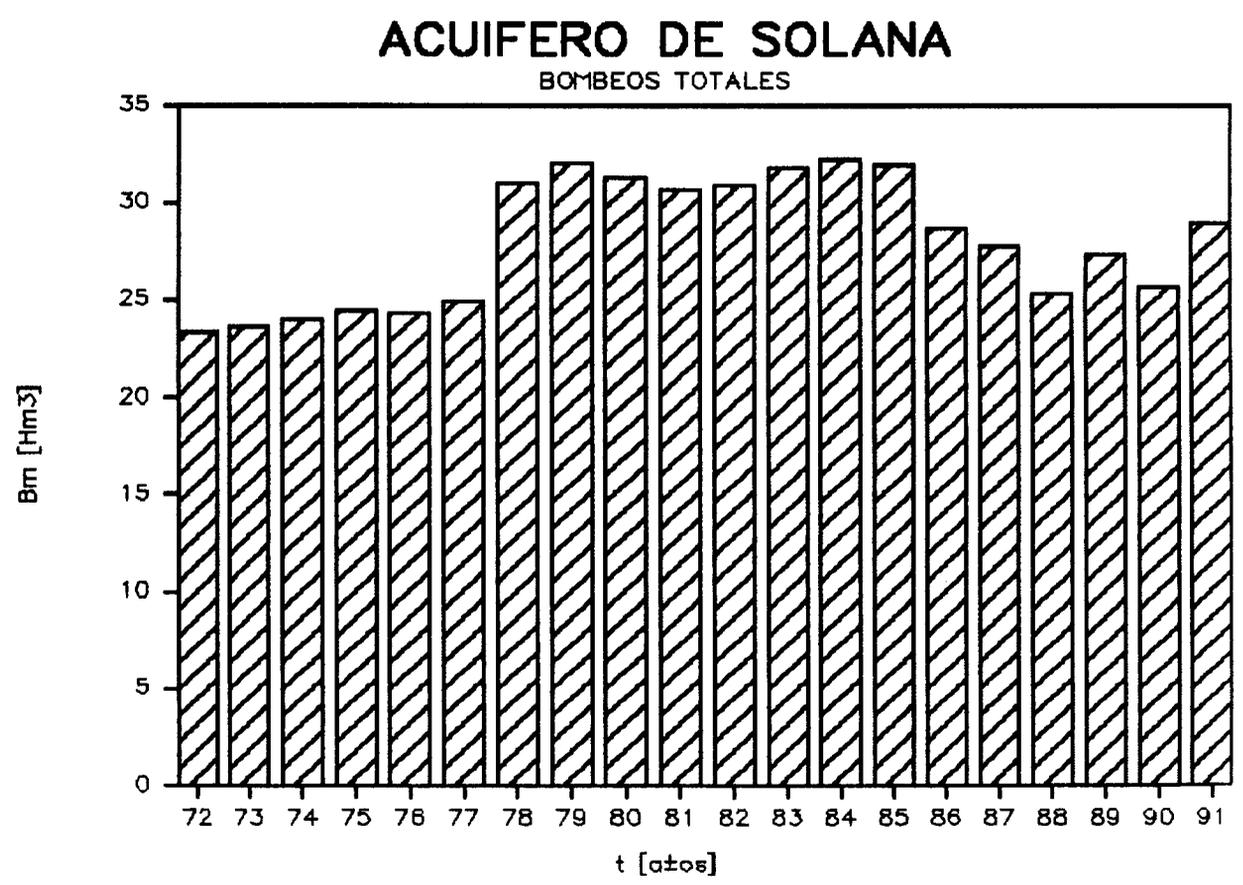


Figura 32 - Gráfica de bombeos

Se observa en la evolución de la serie, que existe un período inicial en que los bombeos eran bastante bajos <25 hm³/año, que llega hasta el año 1977; seguido de un período de bombeos bastante fuerte (31-32 hm³/año) hasta el año 1985, descendiendo posteriormente. Este período de 8 años, que denominaremos de explotación intesiva del acuífero de Solana, es debido a la puesta en explotación de todo un grupo de pozos, que posteriormente fue abandonado al descender los niveles piezométricos.

Los datos brutos de bombeos, junto a su estudentización para la apreciación de valores extraños, se presentan en la tabla 28:

AA	BM	SBM
72	23.318347	-1.42
73	23.619472	-1.33
74	23.939975	-1.24
75	24.464176	-1.08
76	24.342614	-1.11
77	24.939416	-.93
78	31.034498	.91
79	32.018223	1.21
80	31.290616	.99
81	30.670586	.80
82	30.894571	.87
83	31.784867	1.14
84	32.242402	1.28
85	31.941205	1.19
86	28.707320	.21
87	27.791182	-.07
88	25.321742	-.82
89	27.362266	-.20
90	25.718000	-.70
91	28.949000	.28

Tabla 28- Datos de bombeos

En ella la variable BM corresponde a los bombeos, y la variable SBM su estudentización. Se consideran valores extraños aquellos que, en la serie estudentizada, superan el valor de la t de student para un grupo de tamaño similar, que en el caso presente, con 20 casos y un 95% de intervalo de confianza, es de 2.09. En la tabla 28 anterior se observa que no existe ningún valor extraño lo suficientemente grande como para merecer su estudio o su depuración.

En la tabla siguiente, 29 se presentan los estadísticos de la serie de bombeos.

Numero de observaciones válidas = 20.00

Variable	Media	Desv. tip.	Asimetría	Kurtosis
BM	28.02	3.30	-.09	-1.72

Tabla 29 - Estadísticos de bombeos

En esta tabla se observa que los bombeos presentan un coeficiente de asimetría de -0.09 , casi 0, e inferior en valor absoluto al límite impuesto por la hipótesis de normalidad para la asimetría, que en este caso asciende a 1.09.

Del mismo modo se observa que el valor del coeficiente de kurtosis o apuntamiento muestral es de -1.72 ; valor también inferior en valor absoluto al límite impuesto por la hipótesis de normalidad que en este caso es de 2,19.

Por todo ello la serie se acepta como normalmente distribuida y apta para su empleo en la modelización lineal, sin considerarse necesario el aplicarle ninguna transformación.

12.3.- IDENTIFICACION DEL MODELO LINEAL

En esta fase se identifican las relaciones entre variables, a fin de establecer las que pudieran tener más influencia sobre la variable dependiente y cual es el desfase entre las mismas que proporciona la mayor correlación, así como establecer el grado de independencia entre las variables independientes.

En primer lugar se realizará el análisis de las correlaciones cruzadas entre la variable dependiente piezometría y cada una de las variables independientes, pluviometría y bombeos, seguida, en segundo lugar, del análisis de la matriz de correlación bivariante. Finalmente se seleccionarán para la construcción del modelo lineal aquellas variables que mayor peso puedan presentar, desechándose el resto.

Para que la correlación entre dos variables sea significativa se requiere, para 20 datos y el 95% de intervalo de confianza, que el coeficiente de correlación sea superior a:

$$\text{Rho} = \sqrt{(t^2 / (n-2+t^2))} = \sqrt{(4.38 / (20-2+4.38))} = 0,44$$

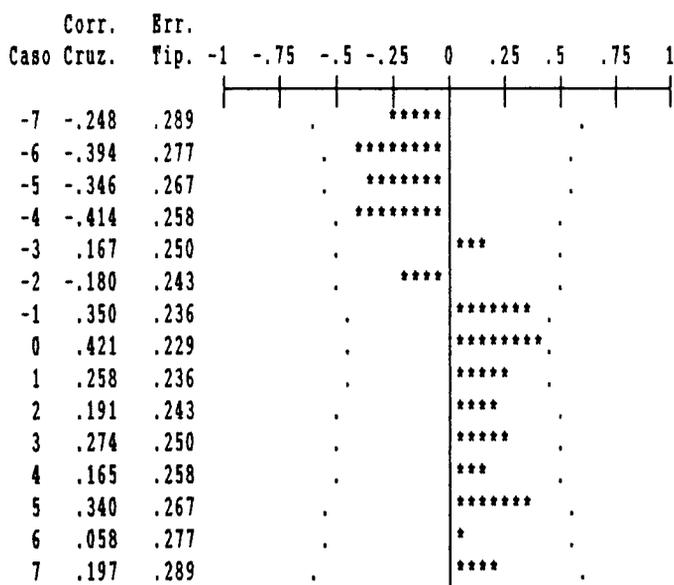
12.3.1.- Análisis de correlaciones cruzadas entre diferencia de piezometrías y pluviometría.

Ya que se han tomado dos series pluviométricas como posibles datos de entrada al modelo, se realizará el análisis de las correlaciones de las series transformadas de diferencias de piezometrías con las series de cada estación pluviométrica, eligiéndose aquella que de mejores resultados.

. Estación de Banejama

La gráfica de la función de correlaciones cruzadas de cada una de las series preparadas de diferencias de piezometrías con las pluviometrías de Banejama se presentan en las figuras 33.1, 33.2 y 33.3:

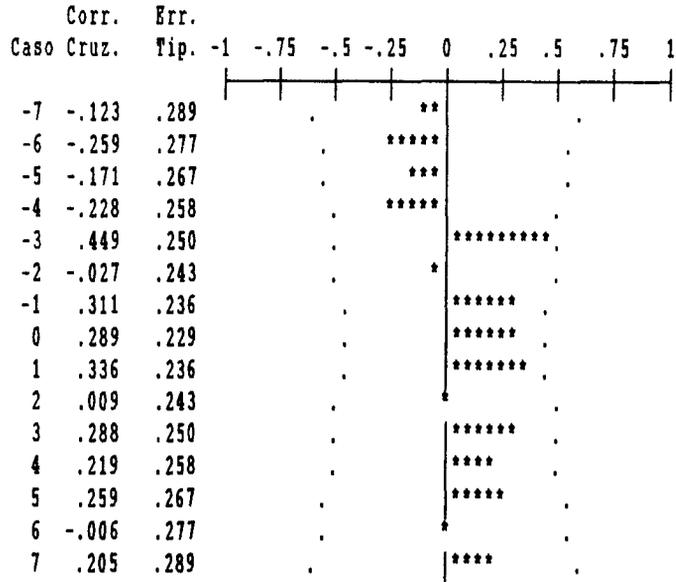
Correlaciones cruzadas : EDPZ1
PV



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico.

Figura 33.1 - Func. de corr. cruzadas piezómetro de el Nogueral,
pluviometrías Benejama

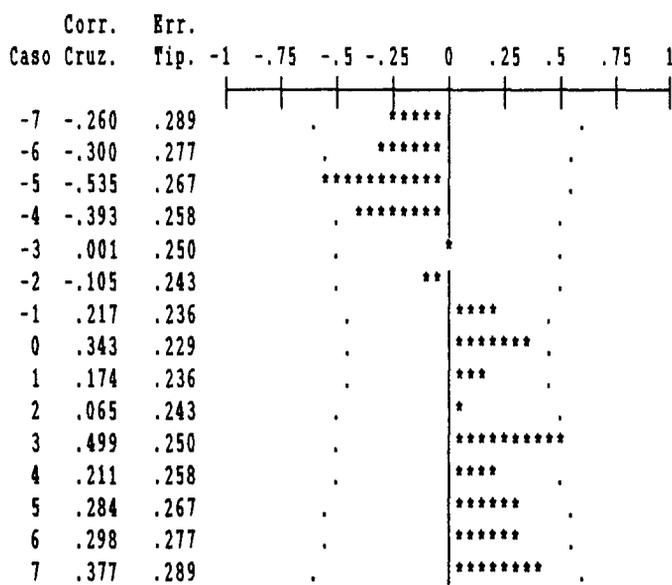
Correlaciones cruzadas : LNDPZ2
PV1



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 33.2 - Func. de corr. cruzadas piezómetro de Alorines II, pluviometrías Banejama

Correlaciones cruzadas : LNDPZ3
PV



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

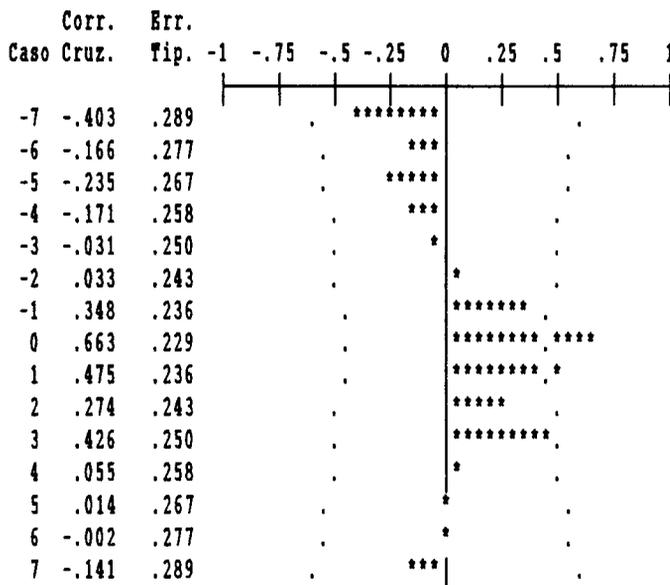
Figura 33.3 - Func. de corr. cruzadas media piezom. primer grupo, pluviometrías Benejama

Se observa en las figuras anteriores que no existe ninguna correlación significativa entre las series, con ningún desplazamiento, por lo que se concluye que las pluviometrías de la estación de Benejama no presentan influencias significativas sobre las series piezométricas.

. Estación de Villena

La gráfica de la función de correlaciones cruzadas de cada una de las series preparadas de diferencias de piezometrías con las pluviometrías de Veillena se presentan en las figuras 34.1, 34.2 y 34.3:

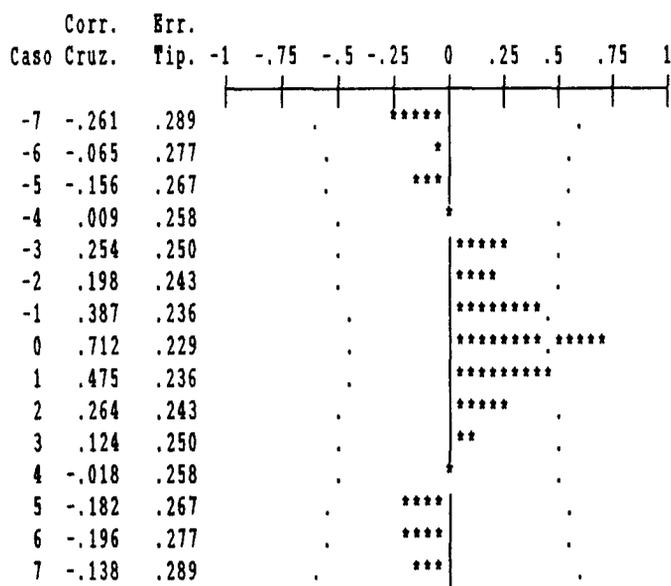
Correlaciones cruzadas : EDPZ1
PV2



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 34.1 - Func. de corr. cruzadas piezómetro de el Nogueral, pluviometrías Villena

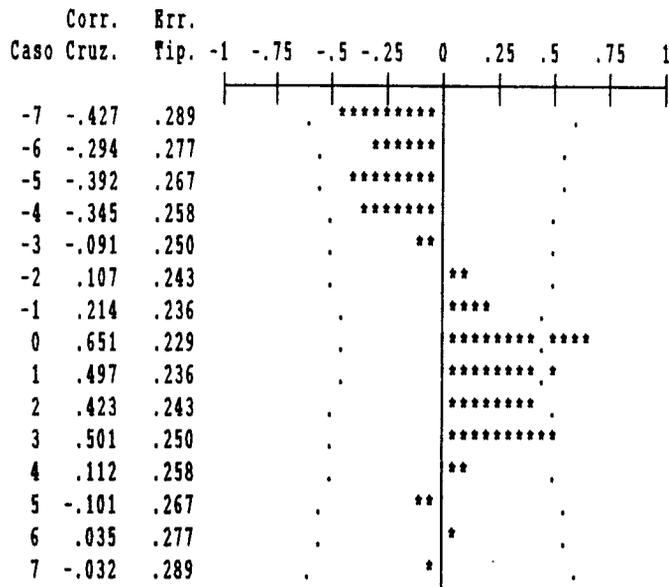
Correlaciones cruzadas : LNDPZ2
PV2



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 34.2 - Func. de corr. cruzadas piezómetro de Alorines II,
pluviometrías Villena

Correlaciones cruzadas : LNDPZ3
PV2



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 34.3 - Func. de corr. cruzadas media piezom. primer grupo, pluviometrías Villena

Se observa en las figuras anteriores la existencia de una correlación significativa positiva entre las series de diferencias de piezometría con las pluviometrías de la estación de Benejama, con un desplazamiento 0 en todas ellas, siendo mayor la correlación con la serie de diferencias de piezometrías del segundo grupo. se concluye que es la estación de Villena la que contiene las pluviometrías que más directamente influyen en las piezometrías, y que esta influencia se produce siempre en el mismo año. Es decir:

"EDPZ1(t), LNDPZ2(t) y LNDPZ3(t) son linealmente dependientes de una forma significativa con PV2(t)"

En las figuras 35.1, 35.2 y 35.3 se representan las gráficas de las variables de diferencias de piezometrías con las pluviometrías de la estación meteorológica de Villena:

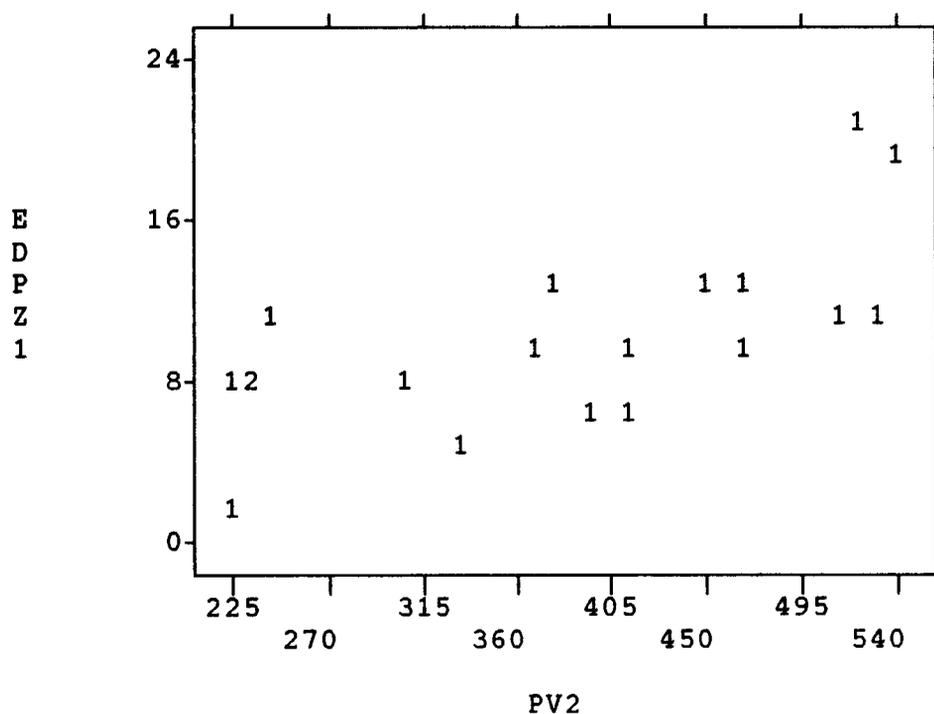


Figura 35.1 - grafica de EDPZ1 con PV2

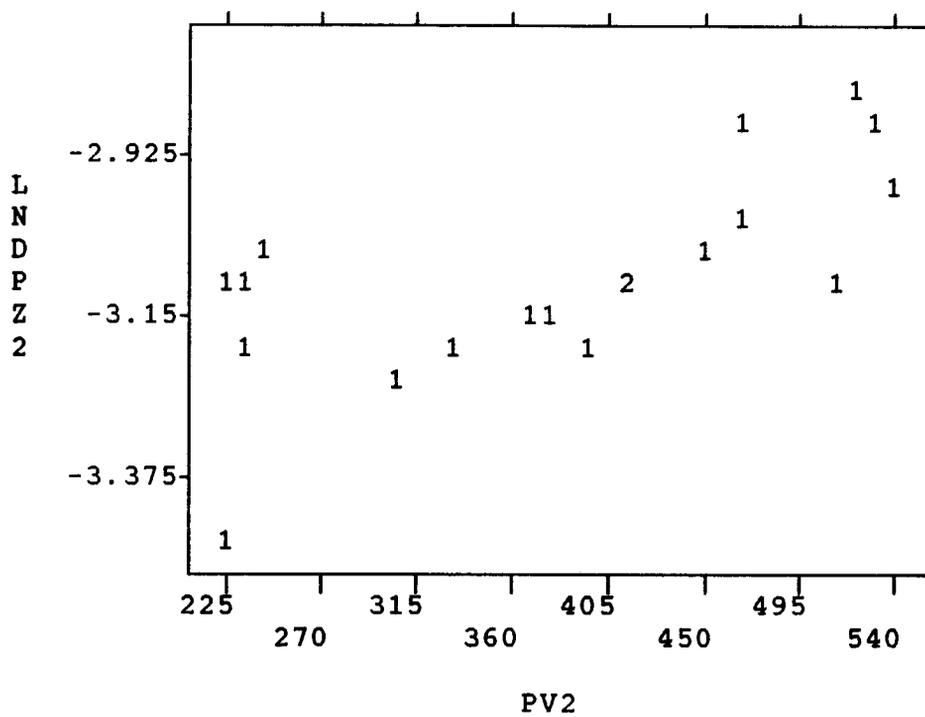


Figura 35.2 - Grafica de LNDPZ2 con PV2

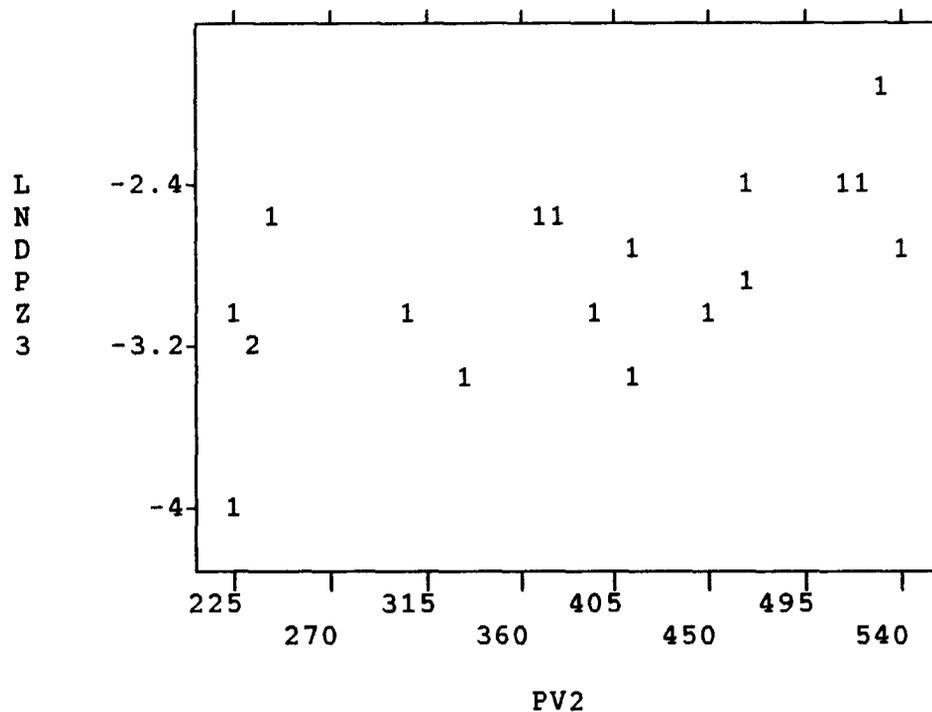


Figura 35.3 - grafica de LNDPZ3 con PV2

Se observa en las figuras 35.1 y 35.3, que en las series del primer grupo existe una mayor dispersión de los puntos, aunque se agrupan alrededor de una recta imaginaria. En la figura 35.2 se observa que la serie del segundo grupo presenta una alineación mucho mayor.

Conviene resaltar que la nube se dispersa en los valores extremos de pluviometría, indicando respuestas muy dispares sobre todo cuando la lluvia es muy baja, observándose en todas las figuras anteriores la existencia de un pequeño grupo de datos

situados a la izquierda que se salen por completo de la nube. Esto podría ser debido a la influencia de otros factores en el piezómetro cuando llueve poco, como pueden ser los bombeos.

Conclusiones

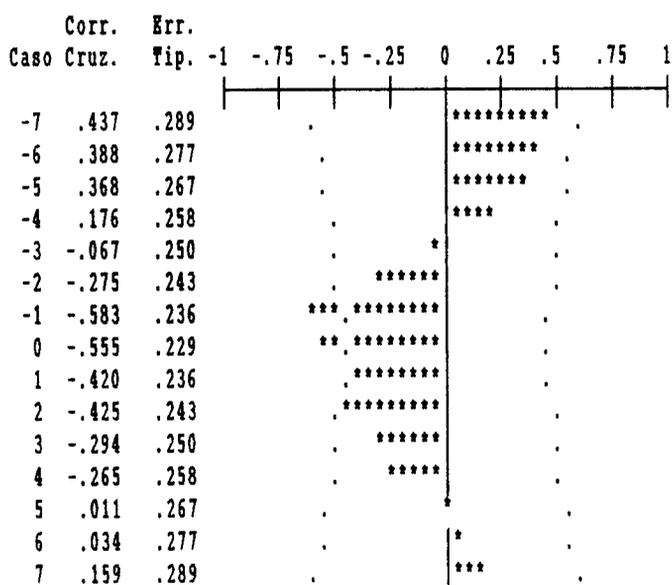
Se ha identificado la serie pluviométrica de Villena como la que más se correlaciona con las series de diferencias de piezometrías, siendo esta correlación máxima en la serie del segundo grupo de piezómetros (Alorines II), y no encontrándose correlación significativa en la serie de Benejama con ninguna de las series de piezometrías empleadas.

Así mismo se ha localizado un posible grupo de incrementos extraños que se producen cuando la lluvia es escasa y los bombeos grandes. Este grupo de cuatro casos se repite en las tres series y con la misma apariencia, coincidiendo además con el período de extracciones más fuertes.

12.3.2.- Análisis de las correlaciones cruzadas entre las diferencias de piezometría y los bombeos.

En las figuras 36.1, 36.2 y 36.3 se representan las gráficas de la función de correlaciones cruzadas entre la variable dependiente bombeos y cada una de las series de diferencias de piezometría preparadas:

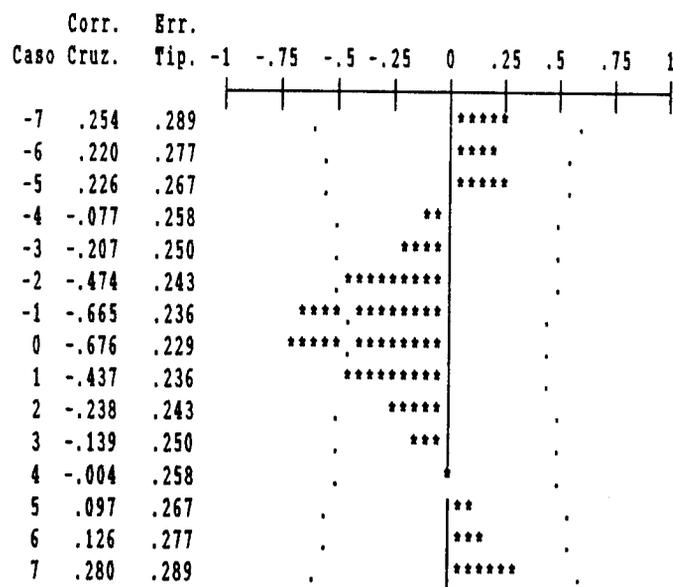
Correlaciones cruzadas : EDPZ1
BM



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 36.1 - gráfica de correlaciones cruzadas EDPZ1 con BM

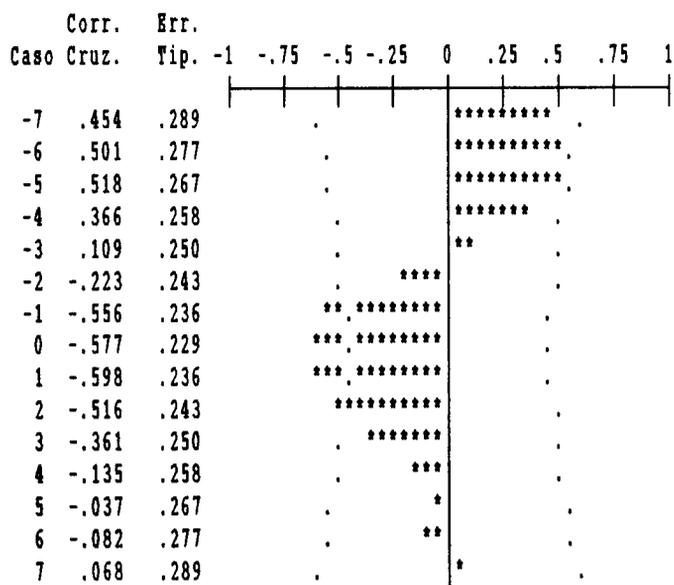
Correlaciones cruzadas : LNDPZ2
BM



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 36.2 - gráfica de correlaciones cruzadas LNDPZ2 con BM

Correlaciones cruzadas : LNDPZ3
BM



Símbolos empleados: Correlaciones * Límites del error típico .

Figura 36.3 - gráfica de correlaciones cruzadas LNDPZ3 con BM

En estas figuras 36.1, 36.2 y 36.3 se observa que existe, en todas las series preparadas de diferencias de piezoemtrías, una gran correlación significativa negativa con un desplazamiento de 0, 1 y -1 años, desplazamiento que puede ser debido a la forma en que se han agrupado los datos al calcular el total. La correlación con los bombeos es mucho mayor en la serie del segundo grupo de piezómetros (Alorines).

En las figuras 37.1, 37.2 y 37.3 se presentan las gráficas de la variable independiente bombeos con cada una de las series de diferencias de pizometría preparadas:

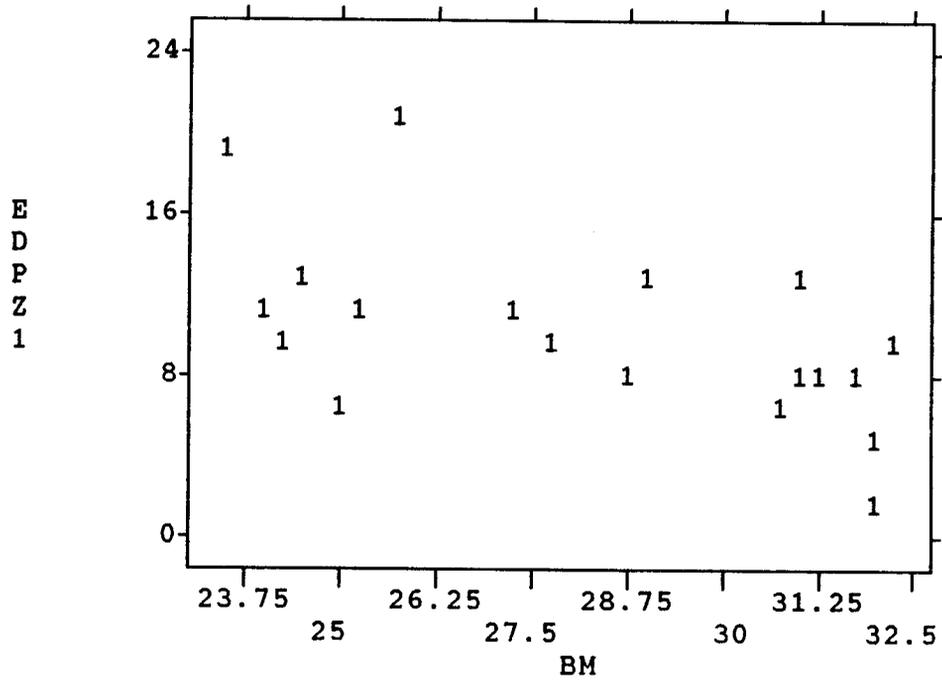


Figura 37.1 - gráfica de EDPZ1 con BM

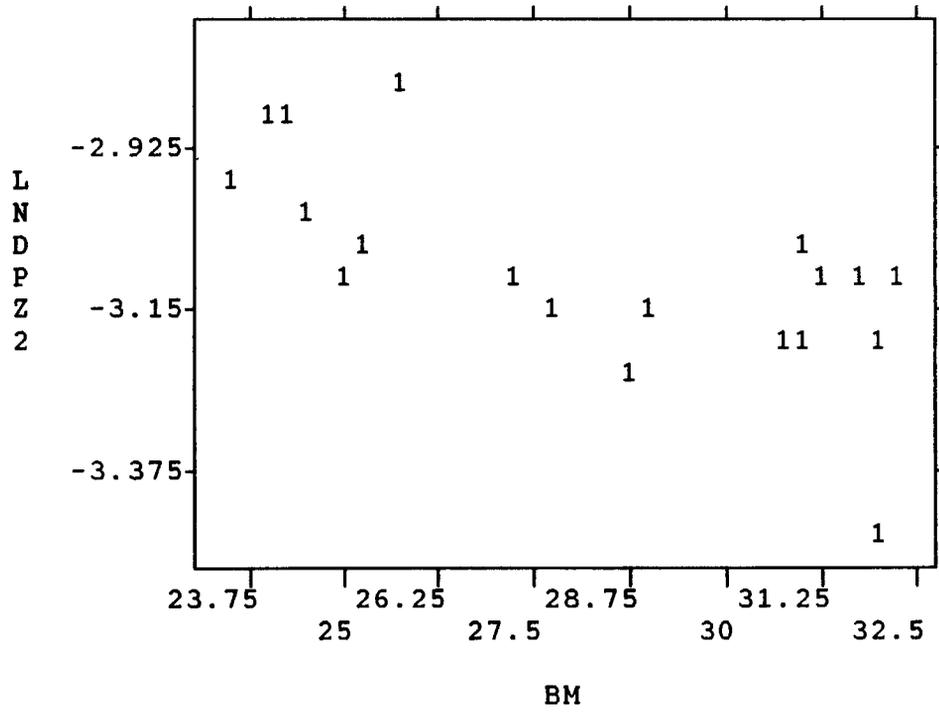


Figura 37.2 - gráfica de LNDPZ2 con BM

Conclusiones.

Se ha encontrado, al igual que en las pluviometrías, la existencia de un pequeño grupo de casos que presentan disminuciones no tan grandes ante situaciones extremas. alguna de las posibles explicaciones a este comportamiento podría estar debido a la existencia de aportes laterales al acuífero.

12.3.3. Matriz de correlaciones del modelo.

En la tabla 30 se presenta la matriz de correlaciones cruzadas entre las series empleadas :

EDPZ1	1.00000					
LNDPZ2	.73096	1.00000				
LNDPZ3	.71338	.69696	1.00000			
PV	.41382	.28455	.33782	1.00000		
PV2	.65722	.70895	.64645	.51706	1.00000	
BM	-.57421	-.69910	-.59732	-.39278	-.63313	1.00000
	EDPZ1	LNDPZ2	LNDPZ3	PV	PV2	BM

Tabla 30 - Matriz de correlaciones cruzadas

Se puede observar que las pluviometrías de la estación de Benezama no presentan correlación significativa con ninguna de las series de incrementos de piezometría. También se observa que las series de pluviometrías de Villena y los bombeos presentan una correlación significativa con todas las series de incrementos. Se

puede ver también que las pluviometrías de Villena y los bombeos presentan correlación importante entre sí, mayor incluso que la correlación de los bombeos con las series de incrementos de piezometría del primer grupo. Las correlaciones máximas entre las variables independientes y las dependientes se establece entre la serie de diferencias de piezometría de los piezómetros del segundo grupo (Alorines II), las pluviometrías de Villena y los bombeos.

12.3.4.- Conclusiones a la identificación del modelo

a) Relación de la diferencia de piezometrías con las pluviometrías

Se ha identificado la estación pluviométrica de Villena como aquella que se correlaciona en mayor grado con las series preparadas de diferencias de piezometría, en el acuífero de Solana, con medidas anuales, y para el periodo de 1972 a 1991. Se ha encontrado asimismo que es la serie de diferencias de piezometría del segundo grupo (Alorines II), la que en el periodo considerado, presenta el mayor grado de correlación.

También se ha determinado la existencia de una mayor dispersión en los datos producida cuando las pluviometrías son extremas (es decir, o muy altas o muy bajas).

Por todo ello se decide seleccionar la serie pluviométrica anual de la estación de Villena y la serie de diferencias de piezometría del segundo grupo de piezómetros (Alorines II) para la realización del modelo. Determinándose la relación entre las variables de la siguiente forma:

$$-\ln(20 - dpz(t)) \rightarrow pv(t)$$

b) Relación diferencias de piezometría con los bombeos

Se ha encontrado que, para el acuífero de Solana, con medidas anuales y en el período en estudio, la serie de diferencias de piezometría del segundo grupo de piezómetros (Alorines II) es la que presenta mayor correlación con los bombeos, decidiéndose seleccionar esta serie para la construcción del modelo del presente acuífero, y modelizándose asimismo la relación entre las variables de la siguiente forma:

$$-\ln(20 - dpz(t)) \rightarrow bm(t)$$

12.4.- FASE DE CALIBRACION DEL MODELO LINEAL

Con todo lo expuesto anteriormente, se ha seleccionado un modelo de regresion lineal multiple para representar al acuífero :

$$(i) \quad -\ln [20 - (pz(t) - pz(t-1))] = a_0 + a_1 \cdot pv(t) + a_2 \cdot bm(t)$$

Operando en (i) se tiene :

$$(ii) \quad pz(t) - pz(t-1) = 20 - \frac{1}{\exp[a_0 + a_1 pv(t) + a_2 bm(t)]}$$

donde \ln es el logaritmo neperiano, \exp la exponencial en base e , pz la piezometría, pv la pluviometría y bm los bombeos, y a_0 , a_1 y a_2 los coeficientes a calcular.

Para ello se ha empleado un algoritmo que minimiza la suma de las distancias al cuadrado de cada uno de los puntos ($\ln(20 - dpz(t))$, $pv(t)$, $bm(t)$) al plano de regresion.

En la tabla siguiente 31 se muestra el resultado de los coeficientes calculados a partir del algoritmo de ajuste, por mínimos cuadrados, en el cálculo del modelo lineal:

VARIABLE	DESV. TIPICA	CORRELACION X / Y	COEFICCIENTE		ERROR TIP. DEL COEF.	VALOR F	VALOR P
			DE LA REGRESION	COEFICIENTE STUDENTIZADO			
INDEPEND	MEDIA						
PV	382.00000	113.43125	.70895	.00056	.44451	.00026	4.82124 .04320
BM	28.26485	3.19172	-.69910	-.01876	-.41767	.00909	4.25670 .05571
DEPENDIENTE							
LNDPZ2	-3.09842	.14338					
TERMINO INDEPENDIENTE			-2.78272				
ERROR TIP. DEL TERM. IND.			.32852				
COEF. DE CORR. MULTIPLE (R)			.77918				
COEF. DE DETERMINACION (R ² R)			.60713				
ERROR TIP. DE LA ESTMACION			.09532				
DETERMINANTE DE LA MATRIZ			.59915				
NUMERO DE OBSERVACIONES			19				

Tabla 31 - Resultado del algoritmo de regresión

En dichas tablas se observa, para las variables independientes PV2, BM, que los coeficientes calculados son:

$$\text{(Término independiente) } a_0 = -2.78272 \pm 0.32852 \times 2.093 = -2.78272 \pm 0.68759$$

$$\text{(Pluviometrías) } a_1 = 0.00056 \pm 0.00026 \times 2.093 = 0.00056 \pm 0.00054$$

$$\text{(Bombeos) } a_2 = -0.01876 \pm 0.00909 \times 2.093 = -0.01876 \pm 0.01902$$

(el intervalo de incertidumbre de los coeficientes se calcula multiplicando el error estandar proporcionado por el algoritmo, por la t de estudent, que para el caso presente, con 20 observaciones y un 95% de confianza es aproximadamente de 2.093).

Se observa que el intervalo de incertidumbre del coeficiente correspondiente a la variable bombeos es parecido y ligeramente superior al propio valor del coeficiente, cosa que no ocurre con la variable pluviometrías, lo cual indica que el coeficiente de esta última variable es más significativo con respecto al intervalo de incertidumbre que el coeficiente relativo a la variable bombeos.

Por otro lado, obsérvese que el término independiente tiene un valor de -2.78, y es significativo respecto al intervalo de incertidumbre, al presentar éste un valor de solo 0.68.

Respecto a la magnitud de los coeficientes, obsérvese que el coeficiente de la pluviometría tiene un valor de 0.00056, que teniendo en cuenta el valor medio de esta variable, que aparece también en la tabla anterior 31, de 382 litros/m², multiplicando este valor por el del coeficiente nos da la magnitud de 0.21 para pluviometrías. Respecto a la variable bombeos, el valor resultante es de $0.01876 \times 28.26485 = 0.53$, ligeramente mayor que el valor

anterior de pluviometrías, con lo que las dos variables tienen una importancia similar en la predicción de la piezometría en el acuífero de Solana.

Se muestra también en dicha tabla 31 la F de Fisher para las variables en el modelo, y el valor P de probabilidad correspondiente dejado al azar, que indica la significación de dicha variable incluida en la regresión. A la vista de esta tabla se observa que la variable pluviometría tiene una F de Fisher de 4.82, que indica que es significativa, y que la probabilidad dejada al azar es de 4.3%, inferior al margen del 5%, nivel de incertidumbre con el que estamos trabajando, o lo que es lo mismo, 95% de grado de confianza. Si la probabilidad dejada al azar fuera superior al 5% la variable sería rechazada como significativa en la regresión, al estar esta probabilidad más allá del grado de confianza requerido. Respecto al valor de bombeos, se observa que presenta una F de Fisher de 4.25, que da lugar a una probabilidad dejada al azar de 5.57%, que es ligeramente superior, aunque muy similar, al 5% requerido por el grado de confianza, por lo que la variable es mínimamente significativa.

Se observa además en esta tabla que el error estandar final en la estimación es de 0.095, que al multiplicarlo por la t de student al 95% de confianza nos da un intervalo de incertidumbre de 0.19, valor similar, aunque ligeramente superior, a la

desviación típica de la variable dependiente que se quiere predecir. Así mismo se observa en la tabla que el valor del coeficiente de correlación múltiple de la regresión es de 0.60, valor suficientemente alto.

En la siguiente tabla @t5.2 se ha realizado el análisis de la varianza de la regresión:

ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA REGRESION					
FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	MEDIA CUADRADOS	VALOR F	VALOR P
ATRIBUIBLE A LA REGRESION	2	.225	.112	12.36281	.00057
DESVIACION DE LA REGRESION	16	.145	.009		
TOTAL	18	.370			

Tabla 32 - Análisis de la varianza de la regresión

En esta tabla se observa que se ha obtenido una F de Fisher de 12.36, que da lugar a una probabilidad dejada al azar inferior a 0.057%, lo que indica que la regresión es suficientemente significativa.

De esta forma, el modelo resultante es el siguiente:

$$(iii) \quad \text{LNDPZ2} = -2.78272 + 0.0056 \text{ PV2} - 0.01876 \text{ BM} + \epsilon$$

donde ϵ es el error, que varía entre $\pm 2.093 \times 0.09532 = \pm 0.1995$.

Aplicando a la anterior ecuación las transformaciones realizadas sobre las variables, y despejando el valor de la piezometría se tiene:

$$(iv) \quad \text{pz}(t) - \text{pz}(t-1) = 20 - \frac{1}{\exp(-2.78272 + 0.00056 \cdot \text{pv}(t) - 0.01876 \cdot \text{bm}(t) + \epsilon)}$$

donde \exp es la exponencial en base e , \ln el logaritmo neperiano, $\text{pz}(t)$ la piezometría en el instante t , $\text{pv}(t)$ la pluviometría, $\text{bm}(t)$ los bombeos, y ϵ el error cometido en la estimación.

En la siguiente tabla 33 se muestran los valores observados de la variable diferencia de piezometrías del segundo grupo de piezómetros (DPZ2), la transformación logarítmica empleada en el cálculo del modelo (LNDPZ2), los valores de las diferencias de

piezometría calculados por el modelo (LNDPZ2*), los residuos o diferencias entre los valores observados y los predichos ($RES = LNDPZ2^* - LNDPZ2$), y la estudentización de los residuos (SRES), a fin de poder observar los valores extraños en esta serie (residuos cuyo valor excede la variación normal del resto de los datos).

AA	DPZ2	LNDPZ2	LNDPZ2*	DPZ2*	RES
72	.	.	-2.95	490.4	.
73	.60	-2.97	-2.92	491.8	.04
74	2.00	-2.89	-2.93	493.1	-.04
75	-.50	-3.02	-2.98	493.4	.04
76	2.50	-2.86	-2.98	493.8	-.11
77	-2.20	-3.10	-3.02	493.3	.08
78	-1.20	-3.05	-3.11	490.8	-.06
79	-11.30	-3.44	-3.26	484.7	.18
80	-2.80	-3.13	-3.24	479.2	-.11
81	-4.50	-3.20	-3.14	476.2	.06
82	-4.00	-3.18	-3.23	470.8	-.05
83	-2.60	-3.12	-3.25	465.0	-.13
84	-2.40	-3.11	-3.16	461.5	-.05
85	-4.80	-3.21	-3.20	457.1	.02
86	-5.70	-3.25	-3.15	453.7	.09
87	-3.00	-3.14	-3.10	451.5	.04
88	-1.80	-3.08	-3.12	448.9	-.04
89	-2.50	-3.11	-3.01	448.6	.11
90	2.90	-2.84	-2.97	449.1	-.13
91	-3.80	-3.17	-3.11	446.6	.06

Tabla 33 - Resultados del modelo

En la figura 38 se representa la gráfica de los valores observados con los predichos.

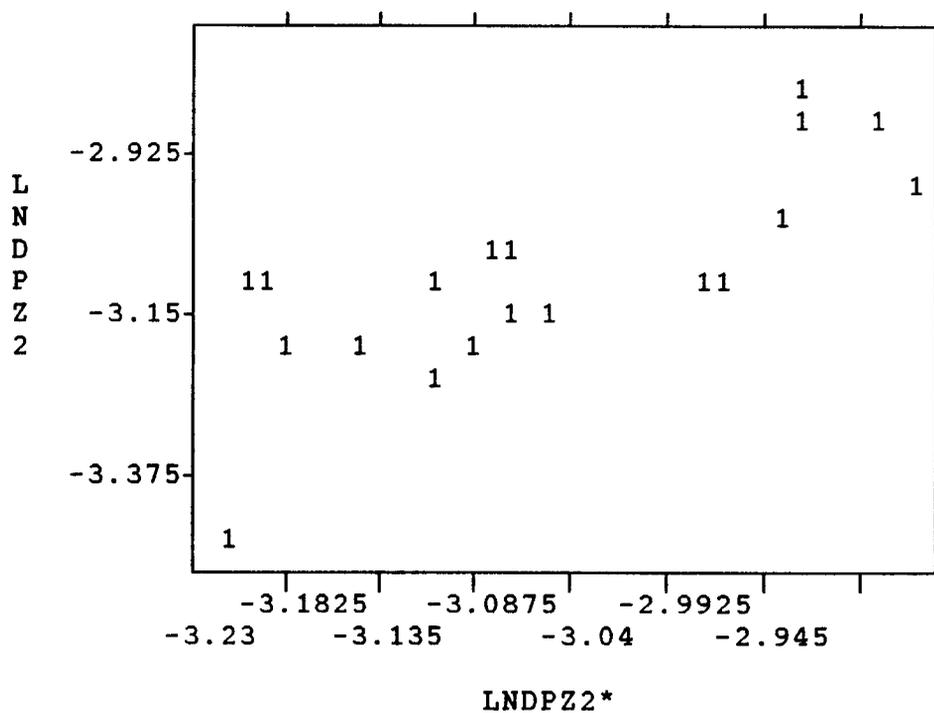


Figura 38 - Gráfica de valores observados con valores predichos

En esta gráfica se observa que los puntos se agrupan alrededor de una recta ascendente y que todos los pares se encuentran dentro de las rectas que marcan el límite inferior y superior de incertidumbre, con dos pares que se alejan ligeramente del resto, y que corresponden al grupo de valores anómalos encontrados en la fase de identificación, y que se producían cuando las pluviometrías eran extremadamente bajas. Por lo demás,

no es de observar ninguna anomalía, y parece que el ajuste es correcto.

12.5.- ANALISIS DE RESIDUOS Y VALIDACION

En la figura 39 se presenta la gráfica de los residuos frente a los valores predichos, siendo, como se ha dicho también antes, los residuos la diferencia entre los valores predichos y los observados. Es decir:

$$\text{RES} = \text{LNPZ}^* - \text{LNDPZ}$$

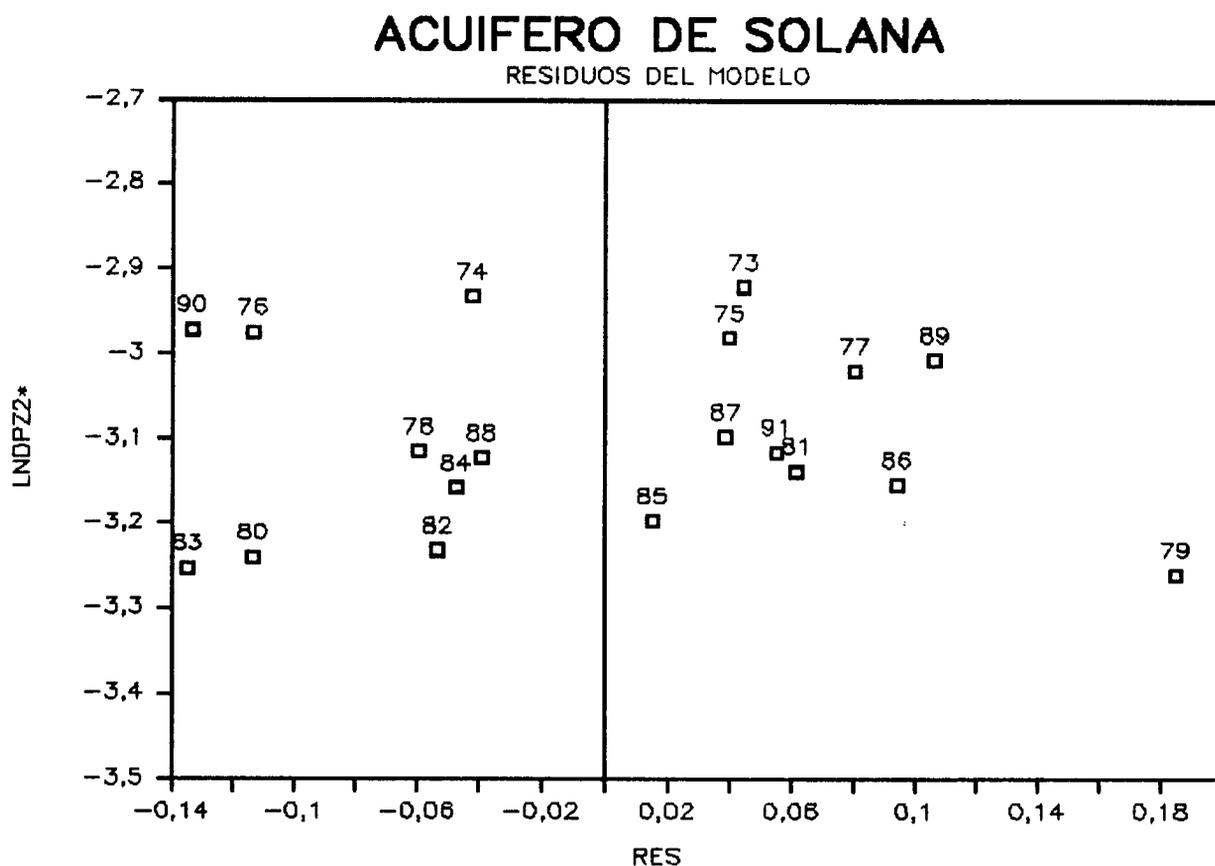


Figura 39 - Gráfica de residuos frente a valores predichos

En esta figura, el número que aparece encima de los puntos corresponde al año correspondiente a la observación.

No se observa en ella ninguna forma o configuración especial de los residuos, con lo que se puede afirmar que el ajuste respecto al modelo lineal es correcto.

En la tabla 33 del apartado anterior se han presentado los valores predichos por el modelo, así como los residuos y su estudentización, a fin de analizar los valores extraños. En estas

tablas se observa que no existen valores extraños en los residuos, es decir, ninguna desviación es mucho mayor o mucho menor que el resto.

En la tabla 34 se presenta, por último, los estadísticos que definen el test de normalidad de los residuos:

Numero de observaciones válidas = 19.00

Variable	Media	Desv. tip.	Asimetría	Kurtosis
RES	.00	.09	.13	-.69

Tabla 34 - Estadísticos de los residuos

Se aprecia en esta tabla, que los residuos poseen una media de 0, es decir, la curva de valores predichos no se encuentra ni siempre por encima (media de residuos positiva), ni siempre por debajo (media de residuos negativa). Presentan también una desviación típica de 0.09, (error estandar de la regresión del que ya se ha hablado en el apartado anterior), y una asimetría y kurtosis inferiores a los límites que requiere una distribución normal con 20 casos y un 95% de confianza. Por ello la serie de residuos se acepta como normalmente distribuida.

12.6.- EXPLOTACION DEL MODELO: BOMBEO DE EQUILIBRIO.

En la figura 40.1 se presenta la gráfica de los valores observados de las diferencias de piezometría en la serie del segundo grupo de piezómetros (Alorines II, Nº 27-32/8/0032), junto a los valores predichos por el modelo:

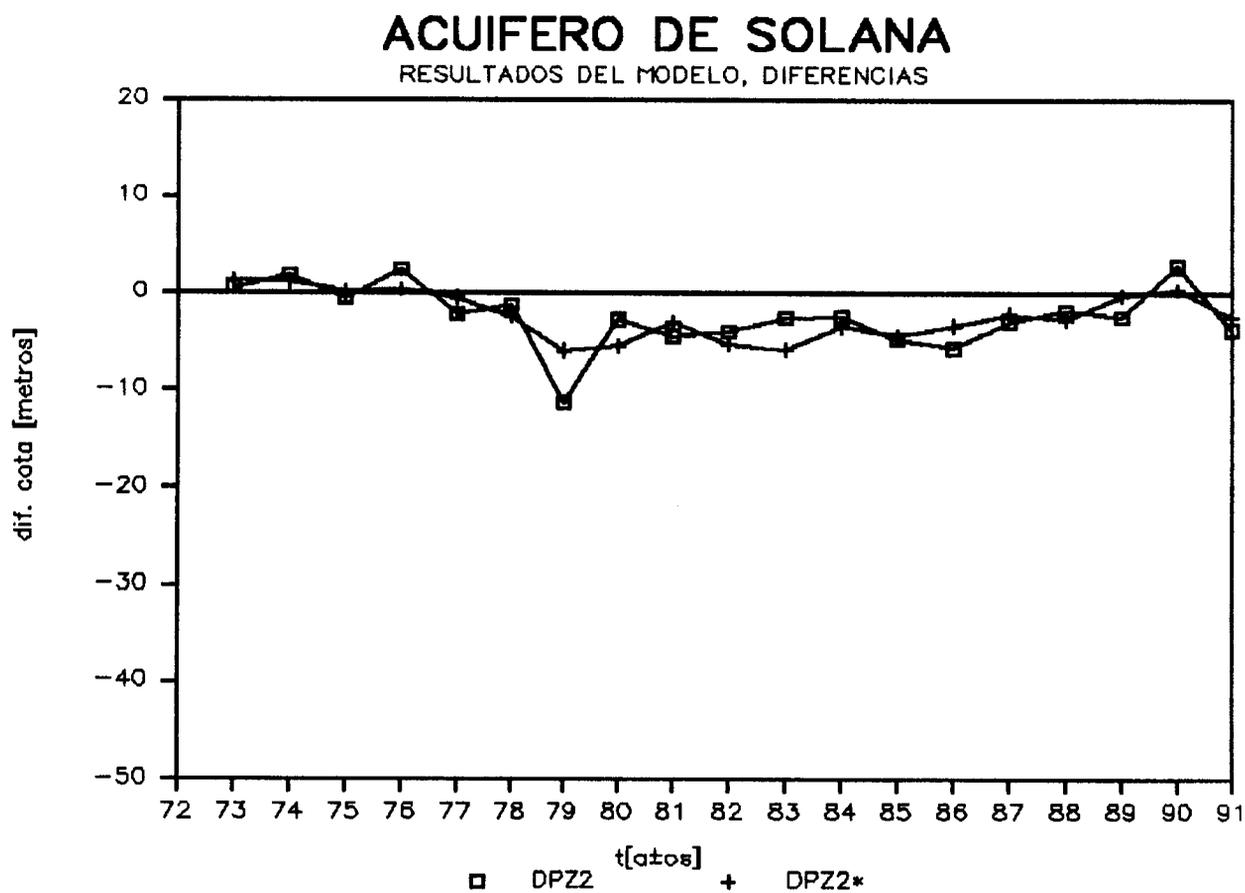


Figura 40.1 - Diferencias observadas y diferencias predichas

En esta figura se puede observar que el modelo está del lado de la seguridad, oscilando simultáneamente a la serie original pero sin llegar nunca a igualar los picos más altos.

En la figura 40.2 se presenta la gráfica de la piezometria observada junto a la predicha.

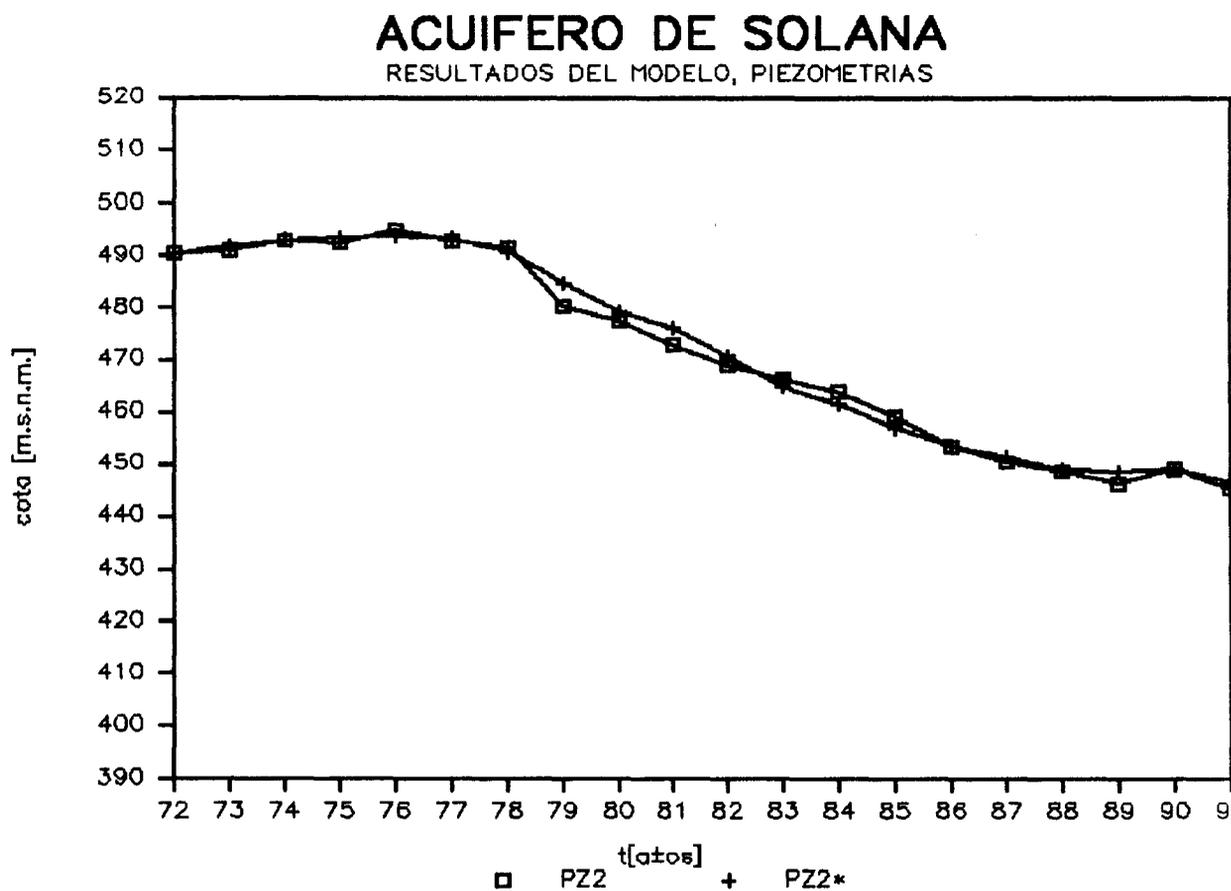


Figura 40.2 - Piezometría observada y piezometría predicha

En esta gráfica se observa que la piezometría predicha es muy similar a la observada, nunca desviándose más allá de 4 ó 5 metros, por lo que el modelo ha calado perfectamente el comportamiento de la piezometría en este acuífero, con medidas anuales y dentro del periodo de 1972 a 1991.

La ecuación obtenida del ajuste del modelo permite estimar el bombeo de equilibrio del acuífero, valor equivalente a los recursos medios renovables del período que se considere. Este concepto se define a continuación:

El bombeo de equilibrio significa aquel valor posible de bombeo en el acuífero, para que en un período determinado el incremento de piezometría entre el origen y el fin del período sea cero.

Este bombeo puede ser calculado partiendo de la ecuación (iv) obtenida en la fase de calibración (apartado 12.4), haciendo que para el período que se quiere considerar, pz inicial y pz final sean iguales. El bombeo de equilibrio, b_{mq} , es el valor constante de b_m que satisface las condiciones siguientes:

$$p_{zn} - p_{z0} = 0$$

$$(v) \quad 0 = \sum_{t=1}^{t=n} 20 - \frac{1}{\exp(-2.78272 + 0.00056 * p_v(t) - 0.01876 * b_{meq})}$$

donde \exp es la función exponencial de base e , y $p_v(t)$ es la pluviometría en el año t .

Para conocer el bombeo de equilibrio en el periodo considerado, 1972 a 1991, se introducen los valores de pluviometría año a año en la ecuación anterior (v). Ello nos permite obtener el valor de b_{meq} , que en este caso es:

$$b_{meq} = 22.257 \text{ Hm}^3/\text{año}.$$

En la tabla 35 se puede observar la diferencia entre el bombeo de equilibrio para el período, y el consumo de reservas que se halla como diferencia entre este volumen y el valor real bombeado. El consumo de reservas y el valor medio anual coincide sensiblemente con los valores deducidos con el modelo de flujo, aunque la metodología es sustancialmente diferentes.

AA	BM	BEQ	BALANCE	%
72	23.318	22.257	-1.061	-4.77
73	23.619	22.257	-1.362	-6.12
74	23.940	22.257	-1.683	-7.56
75	24.464	22.257	-2.207	-9.92
76	24.343	22.257	-2.086	-9.37
77	24.939	22.257	-2.682	-12.05
78	31.034	22.257	-8.777	-39.44
79	32.018	22.257	-9.761	-43.86
80	31.291	22.257	-9.034	-40.59
81	30.671	22.257	-8.414	-37.80
82	30.895	22.257	-8.638	-38.81
83	31.785	22.257	-9.528	-42.81
84	32.242	22.257	-9.985	-44.86
85	31.941	22.257	-9.684	-43.51
86	28.707	22.257	-6.450	-28.98
87	27.791	22.257	-5.534	-24.86
88	25.322	22.257	-3.065	-13.77
89	27.362	22.257	-5.105	-22.94
90	25.718	22.257	-3.461	-15.55
91	28.949	22.257	-6.692	-30.07

	Déficit total		-115.210 Hm ³ en 20 años	
	Déficit medio		-5.761 Hm ³ /año	

Tabla 35 - Estimación del volumen de reservas consumidas durante el período(1972-1975).

En esta tabla, AA es el año que se considera, PV2 las pluviometrías en la estación de Villena, BM la cantidad de agua bombeada en ese año, BEQ el valor de los recursos renovables estimados para el período, DIFERENCIAS el déficit o superávit existente en ese año, en Hm³ y en tanto por cien respecto al bombeo de equilibrio. Al pie de la tabla se ha calculado el déficit total para los 20 años, y el déficit medio anual.

Se observa a la vista de estos datos que el acuífero ha estado sometido a una intensa explotación en los años 1979 a 1985 principalmente.

Con la ecuación deducida para el acuífero se han simulado las condiciones siguientes, que se representan en la fig.41. Estas son:

a)Partiendo de la piezometría del año 1972, la evolución durante el período 1972-1991, si se hubiese bombeado con el volumen correspondiente de 22,26 hm³/año estimado para el bombeo de equilibrio del período considerado. En este caso se observa, simbolos PZBEQ1 del gráfico, que la piezometría inicial y final coinciden exactamente.

b)Partiendo de la piezometría final real del período 1972-1992, las evoluciones durante el período 1992-2012, si se repite la serie de pluviometrías 1972-1992, con los volúmenes de bombeo 22,26 y 28 hm³/año. La evolución con el bombeo de equilibrio es PZBEQ3 y con 28 hm³/año sería PZBEQ4.

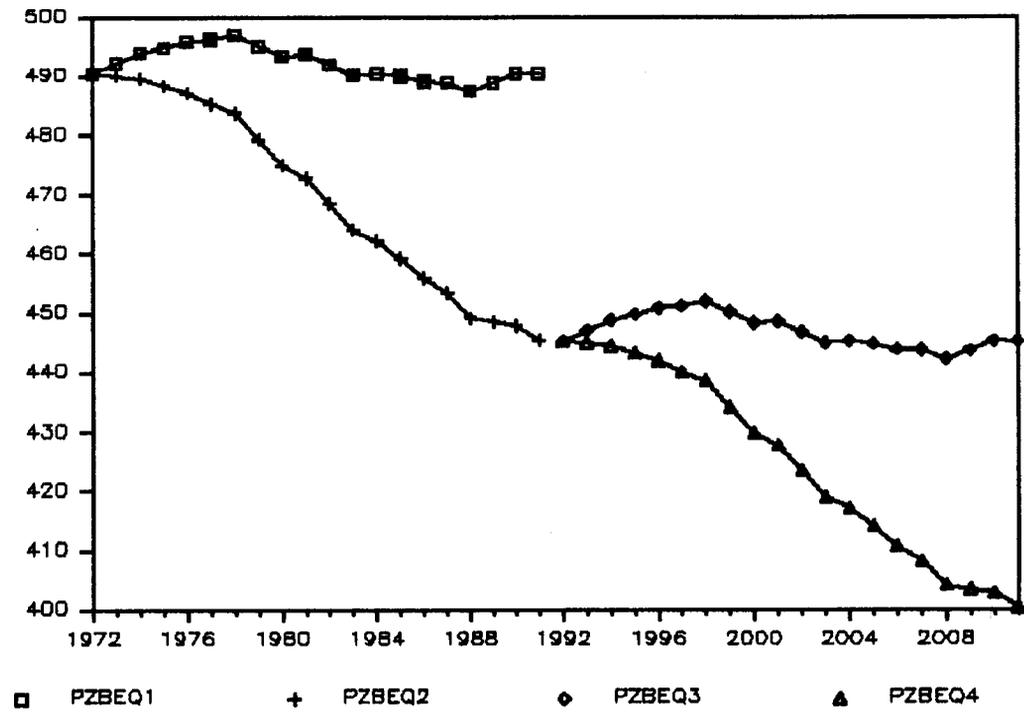


Figura 41 - Evolución piezométrica para diferentes bombeos

En esta figura se puede observar que la mínima cota alcanzada aplicando el bombeo de equilibrio y partiendo de la piezometría del año 1991 es de 442 m., mientras que la mínima cota alcanzada partiendo de la misma piezometría y con el último bombeo conocido (28 Hm³/año), es de 400 m. por lo que resultaría un descenso aproximado de 40 m. en 20 años si continua el volumen de extracción actual.

12.7.- CONCLUSIONES.

Las conclusiones y recomendaciones surgidas de los trabajos de modelización lineal de las piezometrías en función de las pluviometrías y los bombeos en el acuífero de Solana han sido las siguientes:

1º) Respecto a la calidad de la información disponible

1.1 Variable Piezometría.

a) Los datos piezométricos empleados, en líneas generales, se pueden considerar de buena calidad, tanto por el volumen de la información disponible como por la regularidad y la coherencia de la misma. De los 10 piezómetros disponibles, se ha seleccionado para la modelización el N°27-32/8/0032, denominado como Alorines II, por ser el que mayor correlación presenta con la información de pluviometrías y bombeos disponibles.

b) Se ha encontrado que la transformación que normaliza la variable diferencias de piezometría es, para el periodo 1972 a 1991, la siguiente:

$$\ln(20 - dpz(t))$$

donde $dpz(t)$ es la diferencia entre la observación de la piezometría en el momento t y el anterior $t-1$, en el pizómetro seleccionado (Alorines II), por ser la que más normaliza la serie y más se correlaciona con pluviometrías y bombeos, siendo la variable a utilizar en técnicas y modelos estadísticos.

1.2. Variable pluviometrías.

De las series de datos de pluviometrías pertenecientes a la estación pluviométrica de Bnejama y a la estación pluviométrica de Villena, se ha seleccionado ésta última por ser la que mayor correlación presentaba con las diferencias de piezometría calculadas.

Se observa que la serie de pluviometrías de Villena parece presentar, en el periodo en estudio, un comportamiento hiperanual cíclico que oscila entre los 11 y los 14 años.

1.3. Variable bombeos

Los datos de bombeos corresponden a los valores extraídos en el acuífero para el período considerado, desde el año 1972 al año 1991. Son totalmente antrópicos y tecnológicos.

2. Respecto al modelo lineal ajustado

Se ha observado que la variable transformada de diferencias de piezometría del punto N°27-32/8/0032 denominado Alorines II, se correlaciona positivamente dentro del mismo año con la variable de pluviometrías de la estación pluviométrica de Villena, en un grado del 70.89%, en el periodo estudiado de 1972 a 1991 en el acuífero de Solana, y negativamente con la variable de bombeos, en el mismo año, con un grado del 69.91%.

Igualmente, en el análisis de las correlaciones cruzadas se ha visto que las máximas correlaciones son en el mismo año, tanto con con la series de pluviometrías de la estación de Villena como con los bombeos totales del acuífero.

Como resultado del ajuste de mínimos cuadrados se ha llegado a la siguiente ecuación:

$$pz(t) - pz(t-1) = 20 \frac{1}{\exp(-2.78272 + 0.00056 \cdot pv(t) - 0.01876 \cdot bm(t) + \epsilon)}$$

donde \exp es la exponencial en base e , $p_z(t)$ la piezometría en el año t , $p_v(t)$ la pluviometría, $b_m(t)$ los bombeos, y ϵ el error cometido en la estimación, siendo el error estandar estimado de las predicciones del modelo de 0.095, y habiéndose visto por el análisis de residuos que éste modelo es correcto.

3. Explotación del modelo: bombeo de equilibrio

El modelo estocástico realizado permite reproducir la piezometría en el acuífero en función de las variables pluviométrías y bombeos. En consecuencia conociendo dos de las tres variables se puede estimar la tercera.

Desde el punto de vista de explotación la obtención del modelo permite realizar, entre otras posibles a determinar, las estimaciones siguientes:

**Cálculo del bombeo de equilibrio para un período determinado. Se establece que el incremento de piezometría entre el origen y final del período es nulo, por lo que:

$$pz_n - pz_0 = 0$$

$$(v) 0 = \sum_{t=1}^{t=n} 20 - \frac{1}{\exp(-2.78272 + 0.00056 * pv(t) - 0.01876 * bmeq)}$$

donde exp es la función exponencial de base e, pv(t) es la pluviometría en la unidad de tiempo t y bmeq es el bombeo de equilibrio para el período.

Para conocer el bombeo de equilibrio en el período considerado, 1972 a 1991, se introducen los valores de pluviometría año a año en la ecuación anterior (v), de la cual obtenemos el valor del bombeo de equilibrio resultado del modelo, que para el período (1972-1991) es de:

$$bme = 22.257 \text{ Hm}^3/\text{año}.$$

****Estimación de la piezometría a partir de una serie de bombeos y pluviometrías.** Partiendo de una piezometría inicial y series de bombeos y pluviometrías prefijadas, se puede simular la piezometría resultante en el acuífero. Con ello se podría determinar si éste tiene suficientes reservas para la

regulación y/o si las captaciones pueden movilizar
suficientes reservas sin riesgo de secarse.

14. RESUMEN Y CONCLUSIONES
AL ESTUDIO.

El acuífero cretácico de Solana está formado por dos formaciones permeables del Cretácico Superior, C₂₁ y C₂₃ separadas por un acuitardo que parece permitir la comunicación vertical entre ambas. Este hecho, parece ponerse en evidencia si se considera que el 25% de la extracción total del acuífero se realiza en el nivel inferior, y éste tiene una superficie prácticamente muy reducida de afloramiento, del orden de 1,5 km². Y todo ello, sin que se hayan detectado depresiones anómalas en esta formación; al contrario en las proximidades de Villena el nivel piezométrico está en ella unos 20 m. por encima del correspondiente a la formación superior.

Suprayacente a estas formaciones permeables se sitúa un potente recubrimiento margoso en facies "Tap", que actúa como impermeable de techo.

Los materiales cuaternarios se sitúan suprayacentes localmente al Cretácico y más generalmente sobre las facies "Tap", dando lugar a un acuífero cuyos recursos se transfieren lateralmente de forma subterránea al acuífero cuaternario de Caudete-Villena.

El acuífero Cretácico de Solana se alimenta por infiltración de lluvia, y por entradas laterales del Cuaternario de Caudete-Villena y del resto del sector Este de la unidad de Solana-Benicadel. Estas transferencias, han aumentado al producirse el vaciado del acuífero de Solana, y constituyen para el año 1991, según datos del modelo de flujo, un 36 % de las entradas totales.

El balance del acuífero para el período 1972-1991 es claramente deficitario con un consumo de reservas de unos 6,5 hm³/año de valor medio. Las entradas medias para el período son: 15 hm³/año de infiltración de lluvia; 6,4 hm³/año de transferencia subterránea de Caudete-Villena; y 0,95 hm³/año de transferencia subterránea del resto de la unidad de Solana-Benicadel. Las salidas se producen fundamentalmente mediante bombeo, ascendiendo éstos a un valor medio de 28,3 hm³/año para el período.

Durante los años 1988 a 1991 se ha producido en el acuífero una aparente estabilización del descenso, que ha inducido a pensar que los bombeos estaban equilibrados con las entradas. Este efecto es engañoso, ya que estos años corresponden a un subperíodo húmedo en el que las entradas eran ligeramente superiores a los bombeos, Tabla nº 9. La verdad, es que los recursos medios del acuífero para el período ascienden a unos 22 hm³/año; valor que ha sido deducido tanto del modelo de flujo como del estocástico realizado.

Mediante el modelo estocástico se ha podido predecir que en el caso de continuar las extracciones actuales, la piezometría del

acuífero descenderá unos cuarenta metros en el sondeo Alorines II al cabo de veinte años.

La calidad del agua subterránea del acuífero es químicamente potable, pero esta calidad puede verse alterada en el futuro por las actividades antrópicas realizadas en el cuaternario de Caudete-Villena, ya que este acuífero le alimenta de forma muy sustancial, aumentando dicha alimentación con la intensidad de la sobreexplotación.

Se han analizado, con los datos disponibles, los posibles excedentes del río Vinalopó. En las visitas de campo realizadas, se ha podido observar que el agua de este río no llega al tramo canalizado, infiltrándose con anterioridad en los materiales cuaternarios del valle de Benezama. No se ha podido cuantificar el valor de éstas infiltraciones.

A la vista del estado hidráulico del acuífero Cretácico de Solana, y vista su interrelación con el de Caudete-Villena, se proponen las actuaciones siguiente:

1º) Realizar un estudio detallado del acuífero de Caudete-Villena, que contemple, entre otros los aspectos siguientes:

*Funcionamiento hidráulico actualizado.

*Inventario de actividades potencialmente contaminantes, y de su posible incidencia sobre las aguas subterráneas a corto y medio plazo.

2º) Ejecutar un estudio detallado para estimar los posibles excedentes actuales del río Vinalopó, y las posibilidades tanto técnicas como económicas de recargar con ellos el acuífero cretácico de Solana.

3º) No efectuar nuevas explotaciones sobre los acuíferos cretácicos de Solana, favoreciendo si es posible la reducción de las extracciones actuales hasta valores próximos a los 26 hm³/año de valor medio.