



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

Nota Técnica nº 393

ACUIFERO COSTERO DE ALMUÑECAR.  
SINTESIS DE LOS ESTUDIOS REALIZA-  
DOS, SITUACION ACTUAL Y PERSPECTI  
VAS FUTURAS.



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

30679

SUPER PROYECTO	AGUAS SUBTERRANEAS		Nº	9005
PROYECTO AGREGADO	ASESORAMIENTO A ORGANISMOS DE CUENCA Y COMUNIDADES AUTONOMAS		Nº	335
TITULO PROYECTO	PROYECTO PARA APOYO A LAS ADMINISTRACIONES PUBLICAS EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA SUR (ANDALUCIA)			
Nº PLANIFICACION	Nº DIVISION AGUAS, G.A.			
FECHA EJECUCION	INICIO	1.989	FINALIZACION	1.992

<p>INFORME (Título):</p> <p>ACUIFERO COSTERO DE ALMUÑECAR.  SINTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS, SITUACION  ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS Y APOYO AL  PLAN HIDROLOGICO.</p>	
CUENCA (S) HIDROGRAFICA (S)	SUR
COMUNIDAD (S) AUTONOMA (S)	ANDALUCIA
PROVINCIA (S)	GRANADA

I N D I C E  
=====

Pág.

1.- GENERALIDADES.....	1
2.- CARACTERISTICAS GEOLOGICAS.....	2
3.- CLIMATOLOGIA.....	2
3.1.- PLUVIOMETRIA.....	5
3.2.- TEMPERATURA.....	6
3.3.- EVAPOTRANSPIRACION.....	7
4.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	10
4.1.- CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS VERDE Y SECO.....	10
4.2.- APORTACIONES DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS VERDE Y SECO.....	11
5.- HIDROGEOLOGIA.....	21
5.1.- CARACTERISTICAS SEDIMENTOLOGICAS Y GEOMETRICAS..	21
5.2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	25
5.3.- USO Y EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA.....	25
5.4.- PARAMETROS HIDRAULICOS.....	28
5.5.- PIEZOMETRIA.....	29
5.6.- BALANCE HIDRAULICO.....	42
5.7.- CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS. EVOLUCION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.....	43
5.8.- INTRUSION MARINA.....	52
5.9.- DISCUSION SOBRE LAS POSIBILIDADES DE ACTUACION..	54
6.- RESUMEN.....	56
7.- BIBLIOGRAFIA.....	58

## 1.- GENERALIDADES

El sistema acuífero aluvial de Almuñécar pertenece a las cuencas hidrográficas de los ríos Verde y Seco, y se encuentra situado en el Suroeste de la provincia de Granada al pie de la Sierra de Almijara, junto al mar Mediterráneo (Figura 1). La extensión de ambas cuencas es de unos 117 Km<sup>2</sup>, que se distribuyen entre el río Verde, (96 Km<sup>2</sup>) y el río Seco (21 Km<sup>2</sup>). De estos 117 Km<sup>2</sup>, 5 Km<sup>2</sup> corresponden al aluvial, que forma dos estrechas vegas de dirección prácticamente Norte-Sur encajadas en relieves que acusan fuertes pendientes; las altitudes de ambas cuencas son superiores a los 1700 m. en el Norte, descendiendo hasta el nivel del mar, y siendo la altitud media de 460 metros.

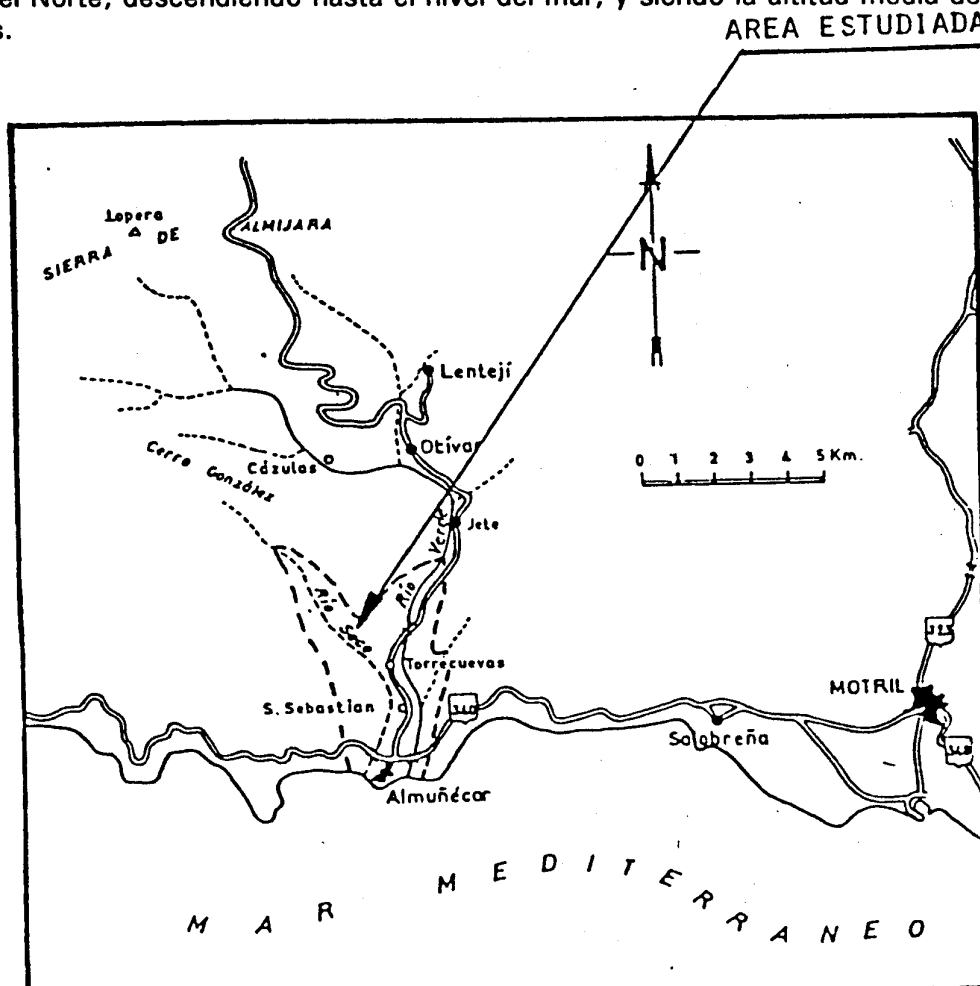


Figura 1: Localización geográfica.

El aluvial del río Verde alcanza una cierta anchura desde Jete, a cota ligeramente superior a los 100 metros. Por su parte, el aluvial del río Seco muestra alguna entidad desde Torrecuevas. Ambos aluviales están comunicados cerca de Almuñécar, aunque en la misma costa están separados por un afloramiento del substrato metamórfico.

Los principales núcleos de población situados en el aluvial son Almuñécar y Jete, a los que siguen en importancia el barrio de San Sebastián y Torrecuevas.

La principal actividad de la zona se centra en la agricultura, especialmente en cultivos subtropicales; también cabe destacar el turismo aunque de menor importancia que en otros puntos de la costa. La agricultura, en su totalidad de regadío, emplea aguas superficiales que se derivan del río Verde y aguas subterráneas de pozos y sondeos; los abastecimientos de núcleos urbanos se realizan a través de aguas subterráneas.

El acuífero aluvial de Almuñécar viene siendo estudiado desde 1974 por diversos organismos, entre ellos el ITGE, ENADIMSA, la Comisaría de Aguas y la Universidad de Granada, realizándose actualizaciones periódicas de los datos hidrogeológicos.

## **2.- CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS**

El acuífero situado en los valles de los ríos Seco y Verde, está constituido en su mayor parte por depósitos aluviales (gravas, arenas y limos), encajados en un potente conjunto de materiales paleozoicos ligados a los mantos béticos de Sierra Almirajara que constituyen el substrato impermeable.

Con una superficie conjunta de unos 5 Km<sup>2</sup>, el aluvial del río Verde alcanza mayor desarrollo -unos 3,7 Km<sup>2</sup> entre Jete y el mar-, que el del río Seco (1,4 Km<sup>2</sup>).

El substrato paleozoico, al que se atribuye globalmente un carácter impermeable, está constituido por terrenos incluidos en el complejo Alpujarride (Figura 2).

En este área los materiales alpujarrides están representados casi exclusivamente por el manto de Salobreña, constituido por una secuencia monótona de metapelitas y metarenitas con intercalaciones carbonatadas, y hacia el techo, metapelitas carbonatadas. La edad de estos materiales comprende desde el paleozoico inferior hasta el permotriás.

Al Norte del área estudiada, afloran mármoles con tremolita, calizas y dolomías, de edad triásica. En el sector de Otívar, los mármoles correspondientes al manto de Salobreña llegan a ponerse en contacto con el acuífero aluvial y podría existir una alimentación procedente del acuífero carbonatado hacia el aluvial (BENAVENTE 1981).

## **3.- CLIMATOLOGIA**

La síntesis de estos datos se ha efectuado fundamentalmente a partir de la documentación del Inventario de Recursos Hidráulicos publicada por el Centro de Estudios Hidrográficos, complementada para los años más recientes con datos obtenidos directamente de la Comisaría de Aguas del Sur, y con los procedentes del Avance -1980 del Plan Hidrológico Nacional - Cuenca Sur-. También se han utilizado datos procedentes del Instituto Nacional de Meteorología.

Los trabajos de investigación hidrogeológica realizados en la zona por el equipo de la Cátedra de Hidrogeología de la universidad de Granada, han sido también consultados y utilizados, especialmente los de J. BENAVENTE (1982) y A.PULIDO (1979).

Por último, los estudios realizados anteriormente por el propio ITGE, recopilados en la "Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (Sector occidental), informe final de síntesis" (1983) y en concreto los Informes Técnicos nº 10 (Acuíferos carbonatados de Sierra Almirajara -Sierra de Lújar), nº 11 (Acuíferos costeros) han servido

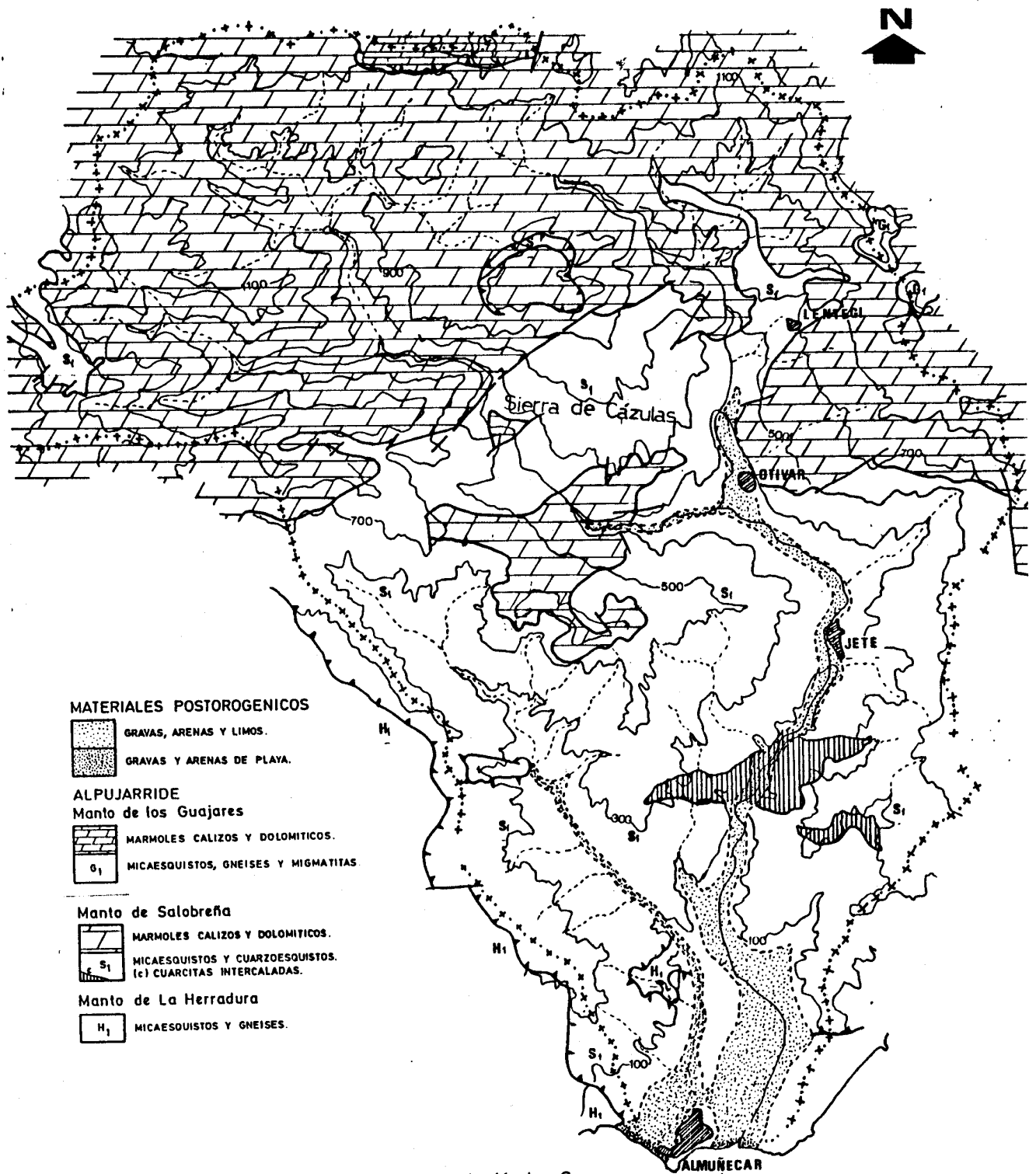


Figura 2: Esquema geológico de las cuencas de los ríos Verde y Seco.

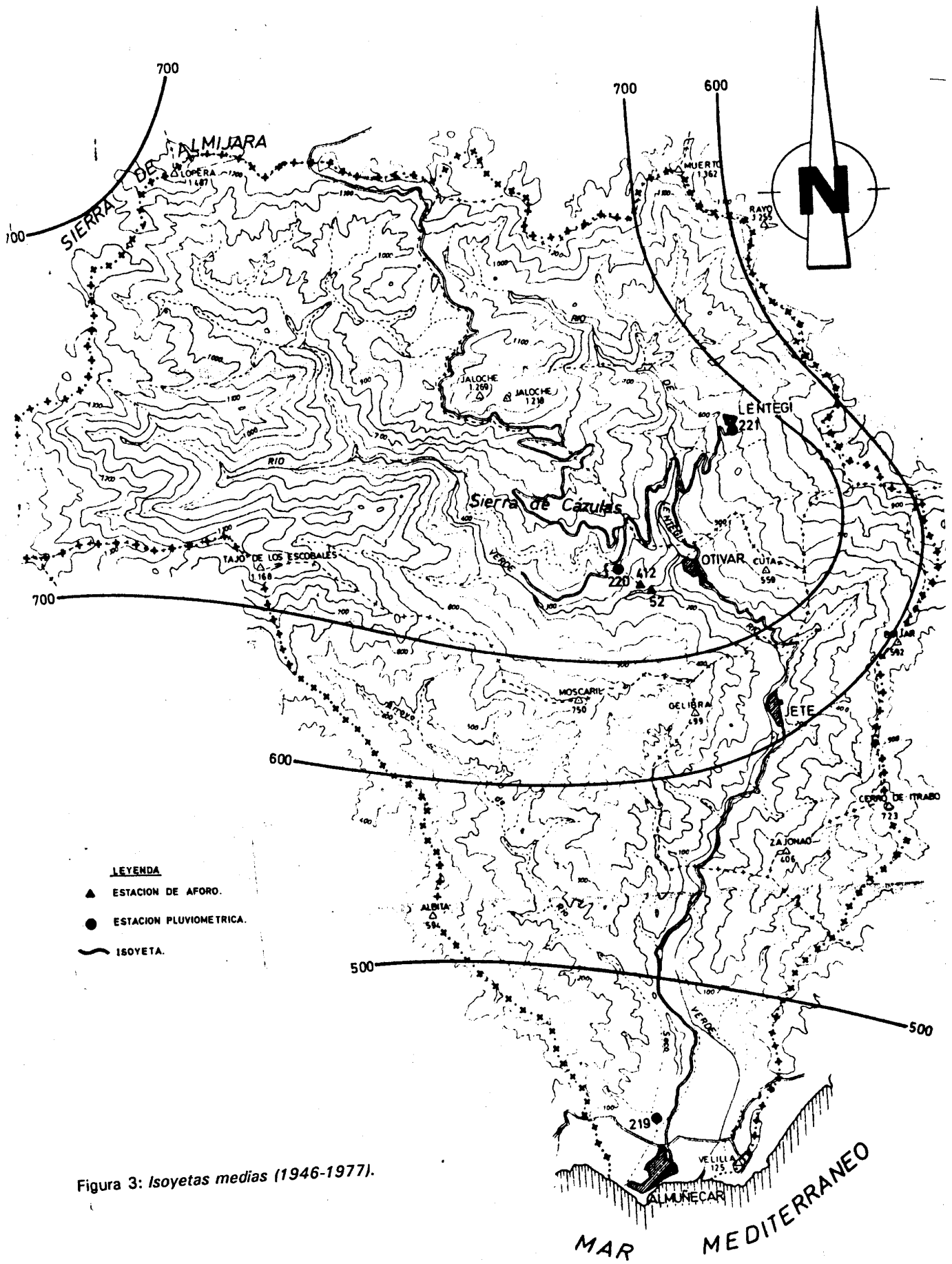


Figura 3: Isoyetas medias (1946-1977).

de base para la elaboración de esta síntesis de datos climatológicos e hidrológicos. Además, se ha incluido información procedente del "Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª, 2ª y 3ª fase).

### 3.1.- PLUVIOMETRIA

Las principales características de las estaciones pluviométricas existentes en las cuencas de los ríos Verde y Seco se exponen en el Cuadro I, extraído del "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes"(1ª y 2ª fase) IGME, al igual que el plano de isoyetas medias de la Figura 3.

NOMBRE	LONGITUD	COORDENADAS		ALTITUD (m)	PERÍODO DE OBSERVACIÓN	PRECIPITACIONES ANUALES (mm)			DATOS
		LATITUD				MEDIA	AÑO SECO	AÑO HÚMEDO	
Almuñecar (R. California)	0°00'10" W	36°44'30"		38	48-47/76-77	469	314 (1)	554 (2)	PT
Cázuas Central	0°00'25" W	36°48'45"		340	58-59/76-77	772	492 (1)	1151 (2)	P
Lentegí	0°00'50" E	36°50'10"		631	50-51/76-77	831	494 (1)	1142 (2)	P
Cerro Muerto	0°00'35" W	36°52'35"		1320	68-89/76-77	781	675 (1)	1050 (2)	P
Navachica	0°08'10" W	36°50'20"		1451	71-72/76-77	-----	650 (1)	-----	P

P Estación pluviométrica.  
PT Estación termoplumiométrica.  
(1) 1974-75  
(2) 1959-60

CUADRO I: Características de las estaciones pluviométricas de las cuencas de los ríos Verde y Seco.

Para el trazado de isoyetas medias y cálculo de precipitaciones características se seleccionó el periodo 1946-1963, ya que era el único del que se disponía información tratada estadísticamente; las series pluviométricas hasta 1977 se utilizaron de forma orientativa.

Para la cuenca del río Seco, se calculó una precipitación media de 578 mm/año para el periodo 1946-63, lo que se traduce en 12 hm<sup>3</sup>/año. Para la cuenca del río Verde, la precipitación media para el mismo periodo se calculó en 737 mm/año o 71,1 hm<sup>3</sup>/año. ESQUITINO y FERNANDEZ-RUBIO (1975), calcularon una media anual para ambas cuencas de 720 mm, equivalente a 84 hm<sup>3</sup>/año para el periodo 48-49/71-72.

En la Figura 4 se muestra la distribución mensual de las precipitaciones medias (cantidad e intensidad) en las principales estaciones de la cuenca del río Verde para el periodo 1955-56/79-80, extraídas de la tesis doctoral de BENAVENTE.

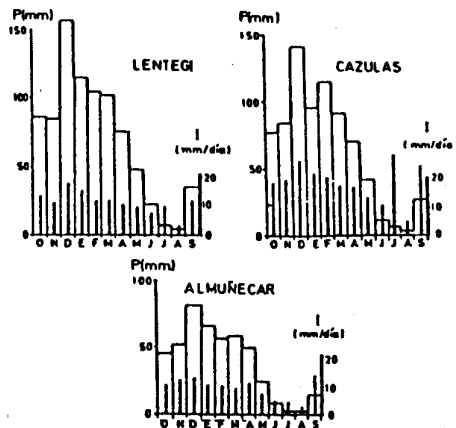


Figura 4: Precipitaciones medias mensuales y su intensidad (periodo 1955-56/1979-80), en las estaciones de la cuenca del río Verde (Fuente: BENAVENTE, 1982).



La estación de Almuñécar presenta un máximo cercano a los 80 mm en el mes de Diciembre, y un mínimo inferior a 5 mm en los meses de Julio y Agosto.

La estación de Lentejé refleja un comportamiento similar, aunque con valores de precipitación más elevados (se llegan a superar los 150 mm en Diciembre).

La estación de Cázulas muestra una distribución bimodal, con dos máximos, ambos por encima de los 100 mm en los meses de Diciembre y Febrero, el primero de los cuales es el más importante. El valor mínimo se registra en el mes de Agosto, y es del orden de 5 mm.

En lo que a intensidad de precipitación se refiere, en la estación de Almuñécar la distribución se asemeja bastante a la anteriormente comentada, para la cantidad de lluvia precipitada, con la notable excepción de que el máximo absoluto se localiza en el mes de Septiembre, lo que significa que gran parte de la lluvia de este mes tiene lugar en forma de tormentas, en intervalos de tiempo reducidos, lo que también es aplicable a las exiguas precipitaciones registradas en los meses de Junio, Julio y Agosto.

Tales características, aunque algo más amortiguadas en relación a la cantidad de precipitación, son extensivas a las estaciones de Lentejé y Cázulas, si bien esta última registra tres máximos claramente diferenciados, todos ellos superiores a 20 mm/día en los meses de Diciembre, Julio y Septiembre. El primero de ellos es consecuencia lógica de ser el mes con mayor cantidad de precipitación. En los otros dos meses, al ser la precipitación mensual mucho más reducida, significaría que toda el agua precipitada durante el mes, lo hace en un intervalo corto de tiempo, que puede tener desastrosas consecuencias (BENAVENTE, FERNANDEZ-RUBIO y PULIDO, 1982).

### 3.2.- TEMPERATURA

La única estación en la cuenca que dispone de un periodo de registro suficientemente representativo es la de Almuñécar.

En la Figura 5 se representan los valores medios mensuales para el periodo 1961-62/79-80.

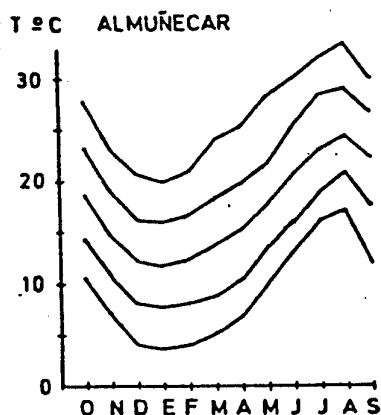


Figura 5: Valores medios mensuales en el periodo 1961-62/1979-80 para la estación de Almuñécar de: Temperaturas máximas absolutas, máximas medias, medias, mínimas medias y mínimas absolutas (BENAVENTE, 1982).

Las temperaturas máximas absolutas raramente sobrepasan los 35° C, mientras que las mínimas extremas solo en contadas ocasiones bajan de los 3° C. Sus valores medios, a lo largo del periodo son: 33,4° C en Agosto y 3,7° C en Enero.

Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 11,4° C en Enero y 24,4° C en Agosto, con un valor medio anual de 17,3° C.

### **3.3.-EVAPOTRANSPIRACION**

#### **3.3.1.- Evapotranspiración potencial (ETP)**

En la Figura 6 se muestra un plano con la distribución de la ETP anual media, extraído del "Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes" (1ª y 2ª fase). Para la elaboración de este plano, se han tomado valores calculados por el método de Thornthwaite, que se basan en datos de nueve estaciones termopluviométricas, ninguna de ellas está situada dentro de las cuencas que ocupan este estudio.

BENAVENTE, FERNANDEZ-RUBIO y PULIDO, 1982, calculan, por el método de Thornthwaite, una media de 901mm/año de evotranspiración potencial para la estación de Almuñécar, y estiman que la mayoría de la cuenca presenta una ETP comprendida entre 700 y 900 mm/año.

#### **3.3.2.- Evapotranspiración real (ETR)**

ESQUITINO y FERNANDEZ-RUBIO, en 1975, calcularon, mediante el método de Turc una ETR anual media para las cuencas de los ríos Verde y Seco de 588 mm, equivalentes a 69 hm<sup>3</sup>/año.

BENAVENTE, FERNANDEZ-RUBIO Y PULIDO, 1982, calculan por los métodos de Turc y Coutagne, valores comprendidos entre los 400-600 mm/año y 400-500 mm/año respectivamente, y por el método de Thornthwaite, para capacidades de campo de 25,50 y 100 mm, valores de 357, 402 y 452 mm/año.

En la Figura 7 se representa gráficamente el balance hídrico para un valor de 50 mm, como reserva de agua utilizable por las plantas.

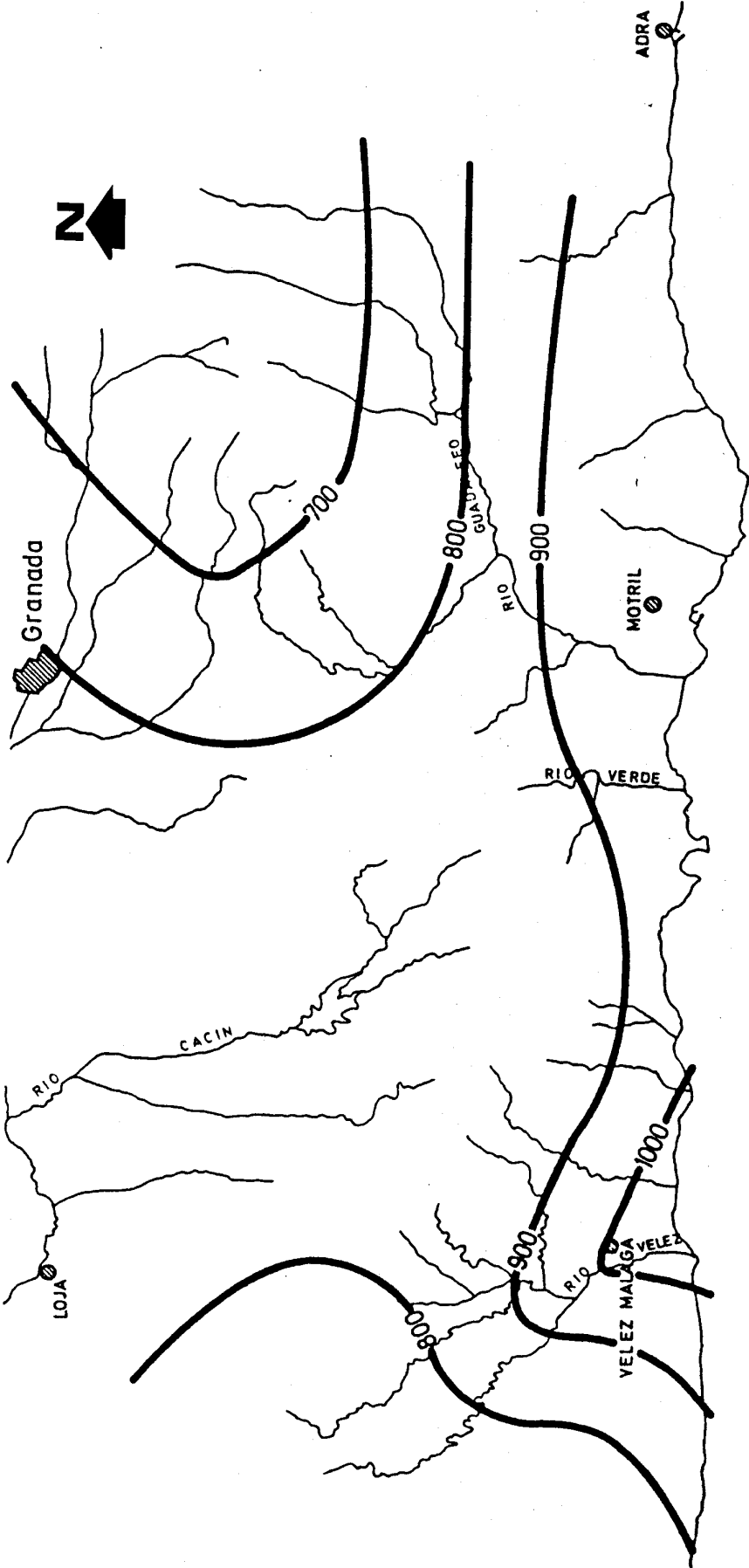
#### **3.3.3.- Lluvia útil**

ESQUITINO y FERNANDEZ-RUBIO en 1975, calculan una lluvia útil media anual para ambas cuencas de 140 mm (16 hm<sup>3</sup>/año).

En el "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase) (nota técnica nº 353)", ITGE, 1989, se calcula la lluvia útil por el método Thornthwaite en las estaciones de Lentejé y Almuñécar. El método empleado permite determinar, mediante la aplicación de un programa de cálculo automático, los valores de la lluvia útil diaria y distribuirla entre sus componentes (infiltración y escorrentía) de acuerdo con una ley empírica que se ha comprobado que es válida en diversas áreas. Los cálculos se han llevado a cabo partiendo de supuestos de reserva útil del suelo ("C. de campo") de 0, 25, 50, 75 y 100 mm.

Como datos de base para los cálculos correspondientes a cada estación meteorológica se ha partido siempre de las precipitaciones medias en la propia estación. Los valores de temperatura utilizados son también los de la propia estación cuando está dotada de termómetro. Si no es así o faltan datos de algún periodo, se han completado las series con las medidas existentes en las estaciones más cercanas.

En la estación de Almuñécar se llevó a cabo el cálculo para el periodo de 1964-65 a 1981-82 y el año 1987-88.



M A R M E D I T E R R A N E O

Figura 6: Isolíneas de evapotranspiración potencial (mm/año).

Escala 1:500,000

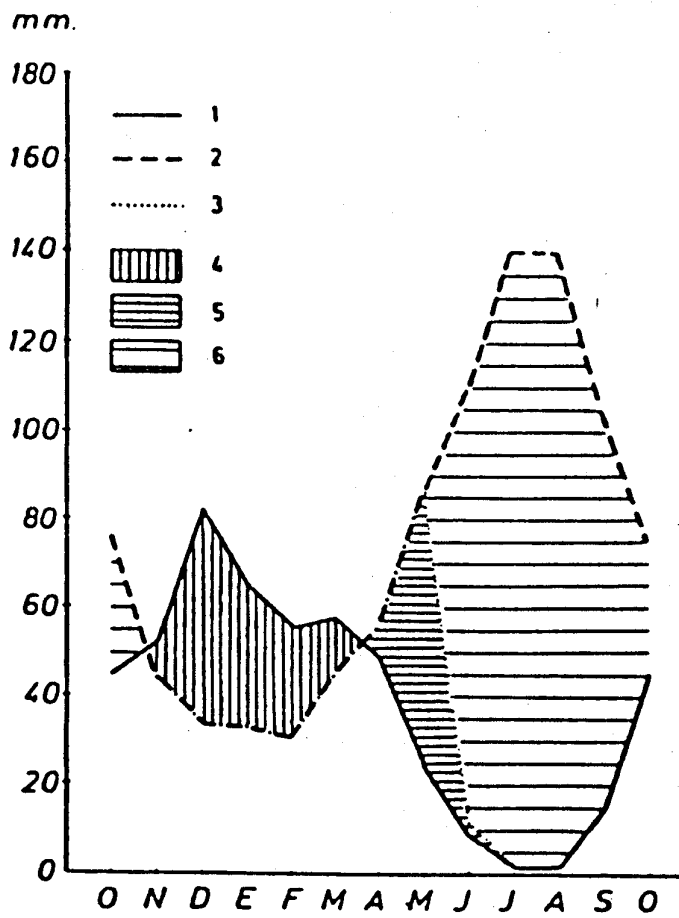


Figura 7: Balance hídrico en la estación de Amuñécar (reserva de agua utilizable: 50 mm). Leyenda.- 1: precipitación; 2: evapotranspiración potencial; 3: evapotranspiración real; 4: excedente y llenado de reserva; 5: utilización de la reserva; 6: deficit. (Fuente: BENAVENTE, 1982).

En la estación de Lentej se calculó el periodo de 1985-86 a 1986-87 utilizando las temperaturas medias de la estación de Salobreña. Las medias obtenidas para ambas estaciones de Lluvia útil (LU), Infiltración (INF) y Escorrentía (ESC), se exponen en el Cuadro II.

	RU = 25			RU = 50			RU = 75			RU = 100		
	LU	INF	ESC	LU	INF	ESC	LU	INF	ESC	LU	INF	ESC
ALMUÑECAR 1964-65/81-82 Y 87	242.5	165.2	77.3	196.6	134.6	62	168.4	114.1	54.3	144.8	97.5	47.3
LENTEJI 1985-86/86-87	404.7	242.9	161.8	341.3	204.5	136.8	312.4	188.7	123.7	287.4	170.1	117.3

Cuadro II: Valores de lluvia útil, infiltración y escorrentía (mm) para las estaciones de Almuñecar y Lentej.

#### 4.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL

##### 4.1.- CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS VERDE Y SECO

El río Verde nace en el macizo de Sierra Almirajara, y discurre encajado los primeros kilómetros de su recorrido, adquiriendo sus depósitos aluviales entidad aguas abajo de Otívar, encajándose otra vez en el sector de Las Angosturas, a partir del cual forma la vega de Almuñecar.

El río Seco es más una rambla de régimen temporal que un verdadero río. Discurre bastante encajado hasta 500 metros abajo de Torrecuevas y, a partir de ese punto, se desarrolla su vega aluvial.

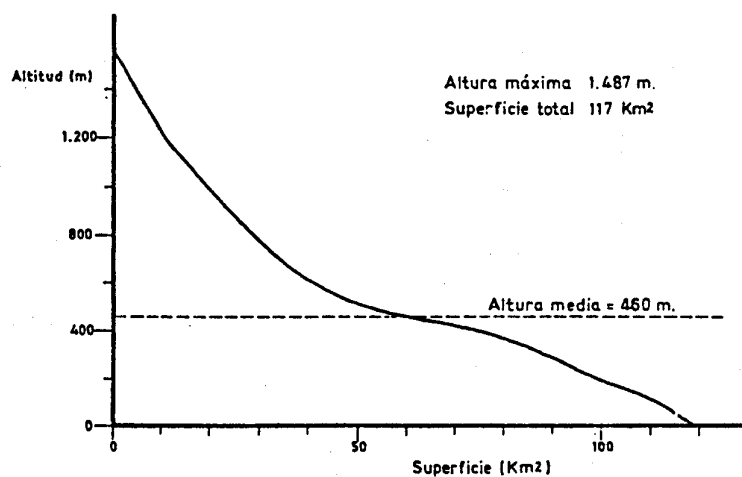


Figura 8: Curva hipsométrica.

En la Figura 8 se representa la curva hipsométrica para la cuenca de ambos ríos. De ella se deduce una altitud media para la cuenca de 480 m. El coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc), que determina el comportamiento de la escorrentía superficial, es:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 2,6$$

donde P = Perímetro de la cuenca  
A = Superficie de la cuenca

que es un valor bajo (para Kc = 1, la cuenca sería circular), lo que puede justificar el carácter impetuoso de muchas de las crecidas de esta cuenca.

Los cauces principales de la cuenca están controlados, en su génesis, por la existencia de fallas con dirección N 30° a 20° E y N 30° a 45° W, ésta última de menor entidad. En cambio, los cauces afluentes de segundo orden, no parecen estar controlados por factores de pendiente regional, estructura o litología, y definen un modelado dendrítico, con cursos irregulares y frecuentes inflexiones.

En cuanto a la densidad de drenaje, se diferencian dos zonas, condicionadas por la litología de los materiales aflorantes. La parte meridional de la cuenca presenta una red densa, determinada por la presencia de metafitas impermeables y fácilmente erosionables. La zona septentrional, en cambio, presenta menor densidad, motivada por el afloramiento de rocas compactas, permeables, y más difíciles de erosionar, como son los mármoles, y las calizas y dolomías (ESQUITINO y FERNANDEZ-RUBIO, 1975).

## 4.2.- APORTACIONES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS VERDE Y SECO

### 4.2.1.- Aforos en los manantiales de cabecera de cuenca

Como se indicó anteriormente, la cuenca alta de los ríos Verde y Seco está ocupada por materiales carbonatados permeables, donde se encuentran una serie de surgencias cuyos caudales son bastante constantes. Estas surgencias fueron inventariadas y aforadas en 1981 por BENAVENTE. Las más septentrionales están situadas en la cabecera del río Verde, concretamente en los dos cursos de agua que al confluír originan el mismo (río Nacimiento y río Chorreras), y que son prácticamente inaccesibles, por lo que no suelen aparecer en los diversos planos hidrogeológicos existentes. Los caudales procedentes de ambos ríos son recogidos por el canal de la central hidroeléctrica de Cázulas, y destinados a la producción de energía eléctrica.

Aguas abajo, existen otras surgencias situadas en el mismo cauce del río, que suelen denominarse de Cázulas I y Cázulas II.

En Septiembre de 1959, la Comisaría de Aguas del Sur de España aforó todos estos manantiales con los siguientes resultados:

Situación del aforo	Caudal (l/s)
1.- Final del río Nacimiento	159
2.- Final del río Chorreras	157
3.- Río Verde (Central de Cázulas)	385

Hay que tener en cuenta que aguas arriba del punto 3 se derivaba del río Verde un

caudal de unos 50 l/s.

BENAVENTE, en Septiembre de 1981, estima de manera aproximada caudales de 130 l/s para cada uno de los ríos, y un caudal conjunto del orden de 100 l/s para los manantiales antes denominados Cázulas I y Cázulas II.

Durante los años 83-84, 85-86 y 87, el IGME controló periódicamente los caudales de estos manantiales. Los resultados se exponen en el Cuadro III.

NOMBRE	N°	N° INVENTARIO	COTA DE EMERGENCIA	CAUDALES MEDIOS		
				1983-84	1985-86	1987
Cázulas I	17	1944-2-014	400	53.8	37.77	41.15
Cázulas II	18	1944-2-015	440	29.45	33.69	41.57
Canal de la central de Cázulas	19	-----	-----	236.17	226.59	255.59
Galería de las Angosturas	20	1944-3-055	82	117(1)(2)	100.2(2)	78.36(2)

(1) Corresponde a una única medida realizada en Julio de 1984.

(2) Hay que sumar 20 l/s que se derivan para abastecimiento de Almuñecar.

Cuadro II: *Medidas de caudales en los manantiales de la cuenca alta del río Verde.*

La situación de los puntos aforados se expone en la Figura 9.

La galería de Las Angosturas capta aguas subalveas del río Verde cerca de Jete. Presenta un caudal muy variable, con puntas de 250 l/s en meses de invierno-primavera, que se reduce a 30 l/s en el estiaje.

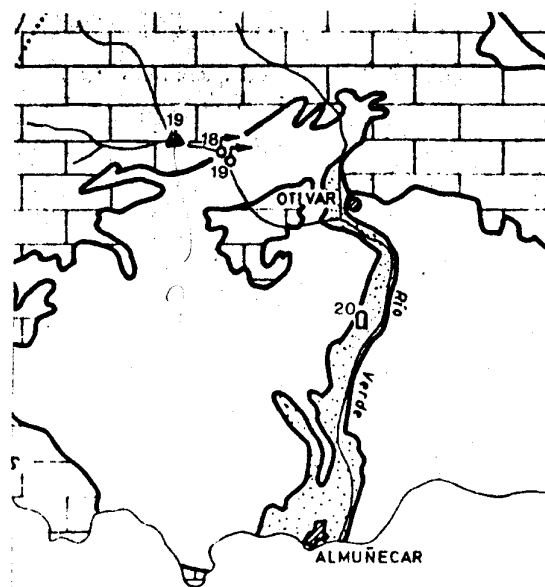


Figura 9: *Situación de los manantiales aforados.*

#### 4.2.2.- Campañas de aforos en el río Verde

Durante los años 1959 y 1960, se llevó a cabo una serie de aforos diferenciales por parte de la Comisaría de Aguas del Sur de España, en los que se observó un importante decrecimiento de caudal en el río a medida que éste penetra en el aluvial y se acerca al mar, por pasar las aguas al acuífero aluvial (Figura 10).

En 1986, el IGME realizó cinco campañas de aforos diferenciales a lo largo de

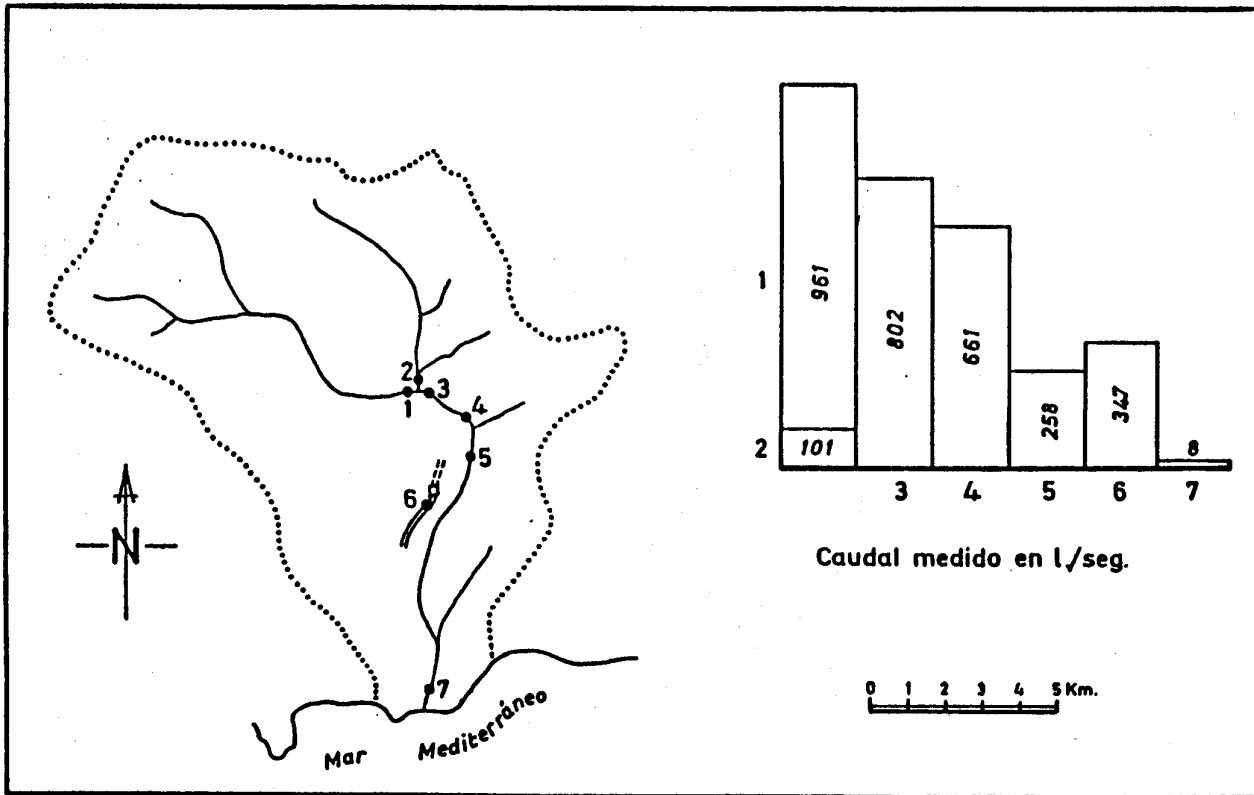


Figura 10: Valores medios de aforos en diferentes puntos de la cuenca del río Verde (1959-60) (Fuente: ESQUITINO Y FERNANDEZ RUBIO, 1975).

cauce del río Verde, desde la central de Cázulas hasta su desembocadura. Estos aforos se realizaron en los meses de Enero, Febrero, Mayo, Julio y Octubre. La campaña realizada en el mes de Febrero es la que puede considerarse como más representativa del régimen natural del río, al no haberse detectado entonces derivaciones importantes, si se excluyen los 250 l/s de la galería de Las Angosturas, que en su mayor parte son vertidos de nuevo al río.

En esta ocasión, el agua circula hasta aproximadamente 1,5 Kilómetros de la costa, donde unas excavaciones artificiales favorecen la infiltración del caudal circulante. En la Figura 11 se representan los resultados de los aforos en la campaña de Febrero, así como la localización de los mismos.

En cuanto a los aportes procedentes del río Lentejé, BENAVENTE (1981) estima un caudal del orden de 100 l/s. En las cuatro campañas de aforos en que dicho río fue controlado, se obtuvieron caudales del orden de 50 l/s.

Entre la confluencia del río Lentejé y la derivación de la Mezclochera, en dos ocasiones (Febrero y Marzo), se observó un aumento de caudal para el río Verde entre 130 y 70 l/s, lo que podría confirmar la hipótesis de una alimentación oculta desde el acuífero carbonatado hacia el aluvial, expuesta por BENAVENTE (1981) y mencionada en el apartado 1.



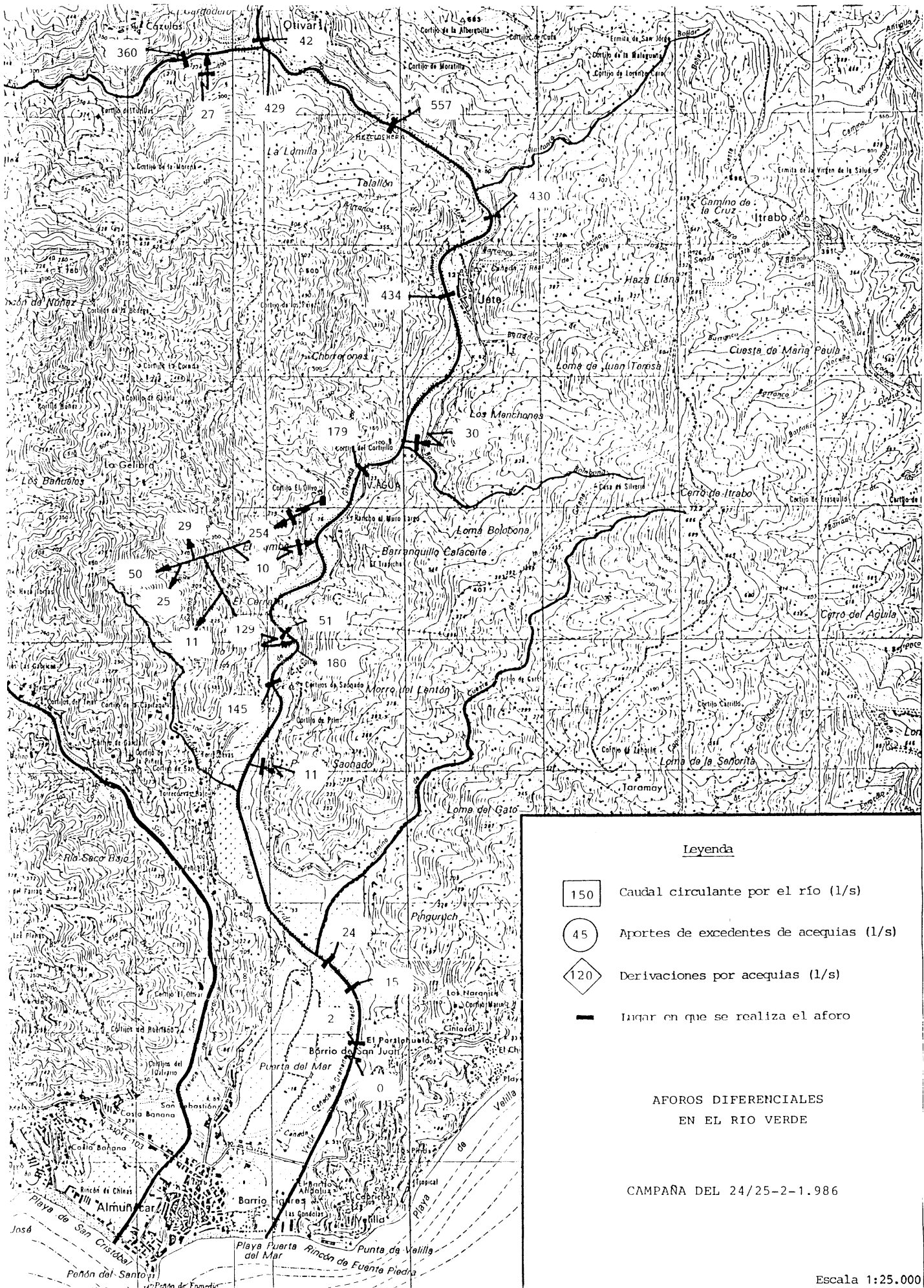


Figura 11: Valores de los aforos realizados en diferentes puntos de la cuenca del río Verde (Febrero 1986).

#### 4.2.3.- Análisis foronómicos de la estación de Cázulas

La escorrentía de la cabecera del río Verde es controlada por la estación de aforos nº 52 y por el canal (nº 412) que se deriva para la producción de energía eléctrica aguas arriba de la estación.

La aportación total de los 43 Km<sup>2</sup> de la cuenca alta del río viene determinada, en consecuencia, por la suma de los caudales que circulan por ambas estaciones, que permiten dar como valor medio el de 12,7 hm<sup>3</sup>/año, habiéndose estimado aportaciones en un 50% por exceso en años húmedos, y en un 40% por defecto.

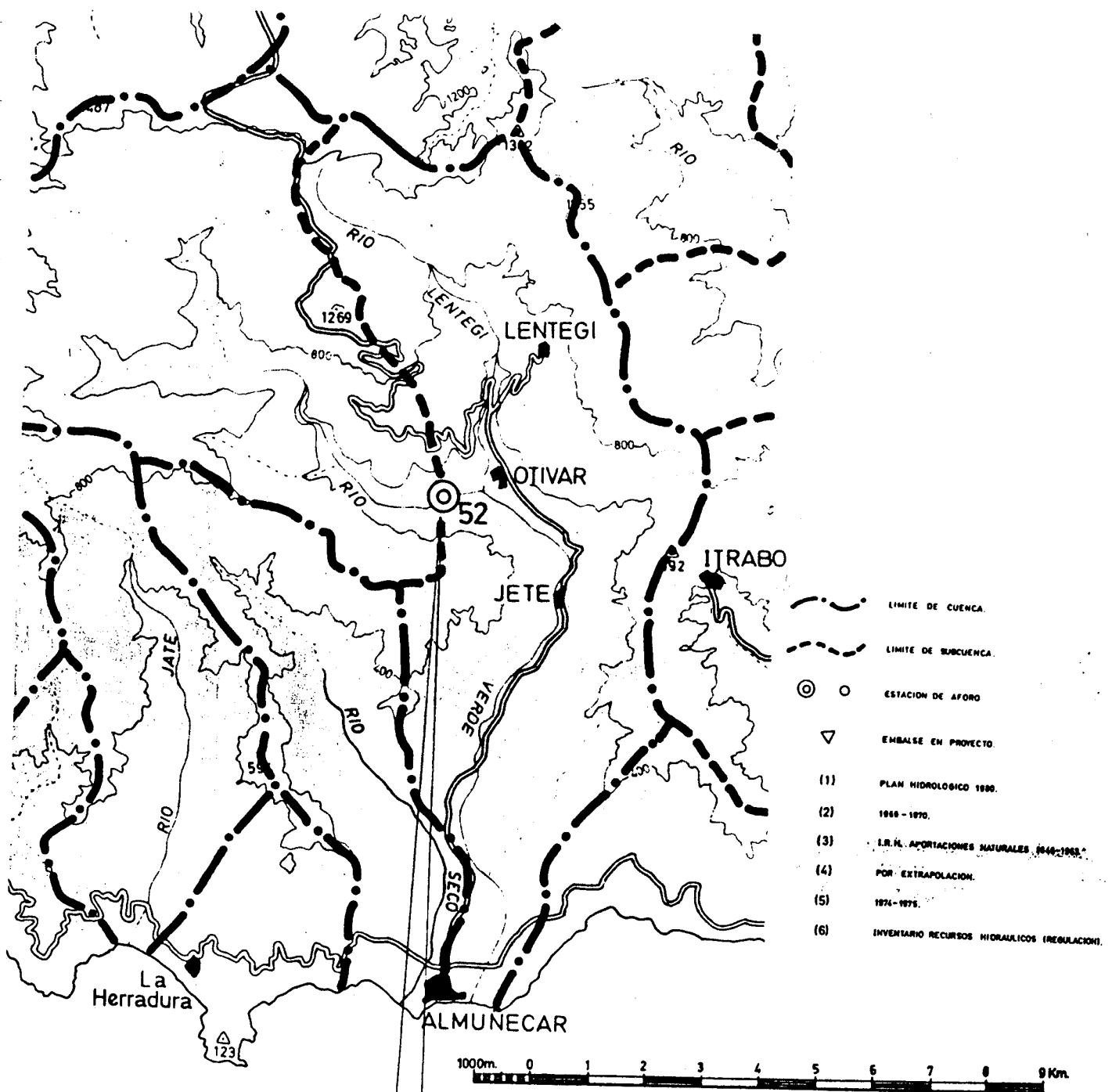
En la Figura 12, se muestra la situación de la estación nº 52 junto con sus valores característicos.

La estación comenzó a funcionar en el año 1967, y continúa haciéndolo en la actualidad. Disponemos de datos del periodo 1967 a 1976, a excepción de los años 70/71 y 71/72, en que la estación no funcionó.

En las figuras 13, 14 y 15, se representan hidrogramas de la escorrentía superficial de la cuenca del río Verde vertiente a la estación de aforos de Cázulas. De los 43 Km<sup>2</sup> de superficie de la cuenca, 34 están sobre mármoles, calizas y dolomías del complejo Alpujarride, de naturaleza permeable, y el resto sobre terrenos paleozoicos impermeables. Debe reseñarse que entre el canal de la central de Cázulas y la estación 52, se derivan acequias de riego con un mínimo de 50 l/s.

Los hidrogramas ponen de manifiesto la respuesta de la escorrentía a las precipitaciones, distinguiéndose perfectamente la aportación procedente de escorrentía superficial inmediata a las lluvias (caracterizada por fuertes puntas de caudales pero de corta duración) de la escorrentía subterránea (drenada de los acuíferos carbonatados de cabecera) de caudales menores pero que sostiene un caudal de base permanente. Así por ejemplo, en el hidrograma 1972-73, que se trata de un año medio, el caudal de base medio se estima en 0,295 m<sup>3</sup>/s para una escorrentía total media de 0,331 m<sup>3</sup>/s.

En la Figura 16 se muestra el hidrograma correspondiente a los caudales medios mensuales, junto con las precipitaciones mensuales respectivas. Como puede observarse, los valores máximos corresponden a aquellos meses en que las precipitaciones se agrupan en el tiempo. A la vista de los hidrogramas, puede estimarse un caudal base, atribuible exclusivamente a aportes subterráneos, del orden de 200-300 l/s, acorde con los valores obtenidos de los aforos de manantiales que se expone en el apartado 4.2.1.



RIO VERDE (est. 52 +412)	MEDIA	AÑO SECO	AÑO HUMEDO
APORTACION (Hm <sup>3</sup> /año)	12,7 (4)	97 (5)	26,2 (2)
APORTACION ESPECIFICA (mm/año)	295 (4)	225 (5)	609 (2)
COEFICIENTE DE ESCORRENTIA	0,38 (4)	DISPERSION 0,25 - 0,70	

Figura 12: Situación de la estación de Cázulas y valores característicos.

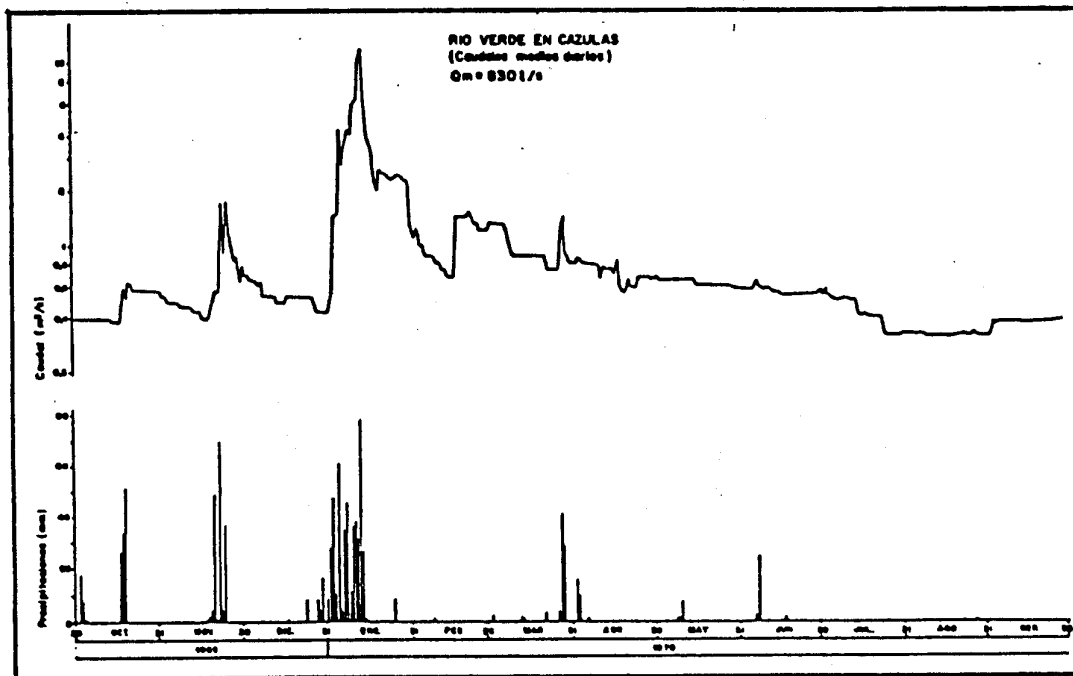
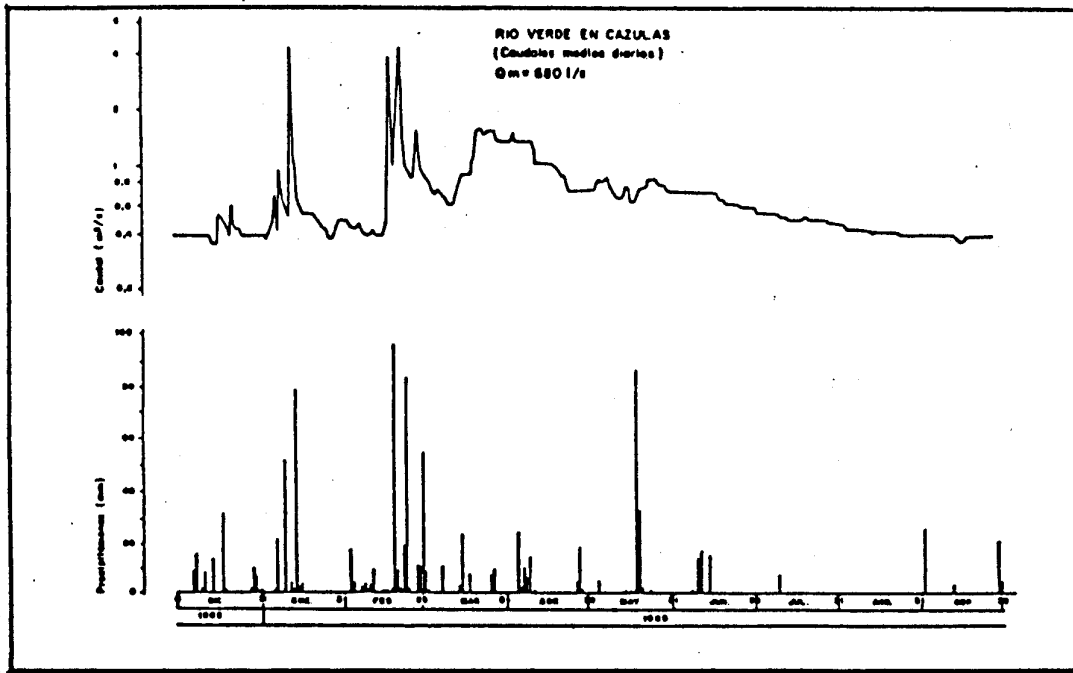


Figura 13: Hidrogramas del río Verde en Cázulas (1968/69 y 1969/70). Los valores de precipitaciones corresponden a la estación de Lentegl. (Fuente BENAVENTE, 1982).

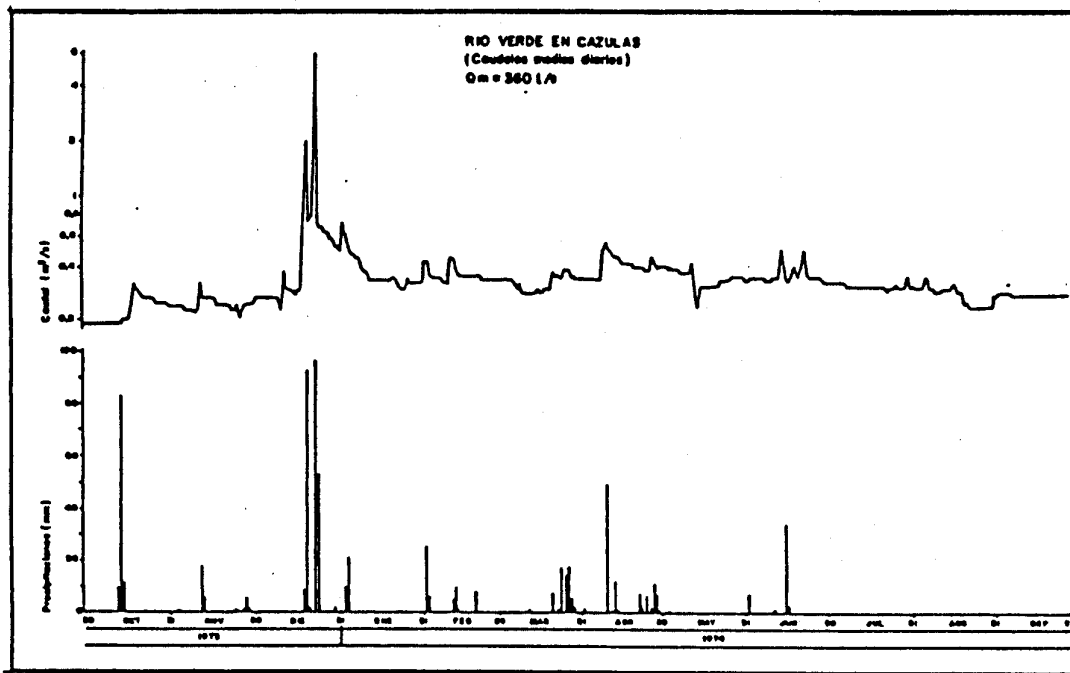
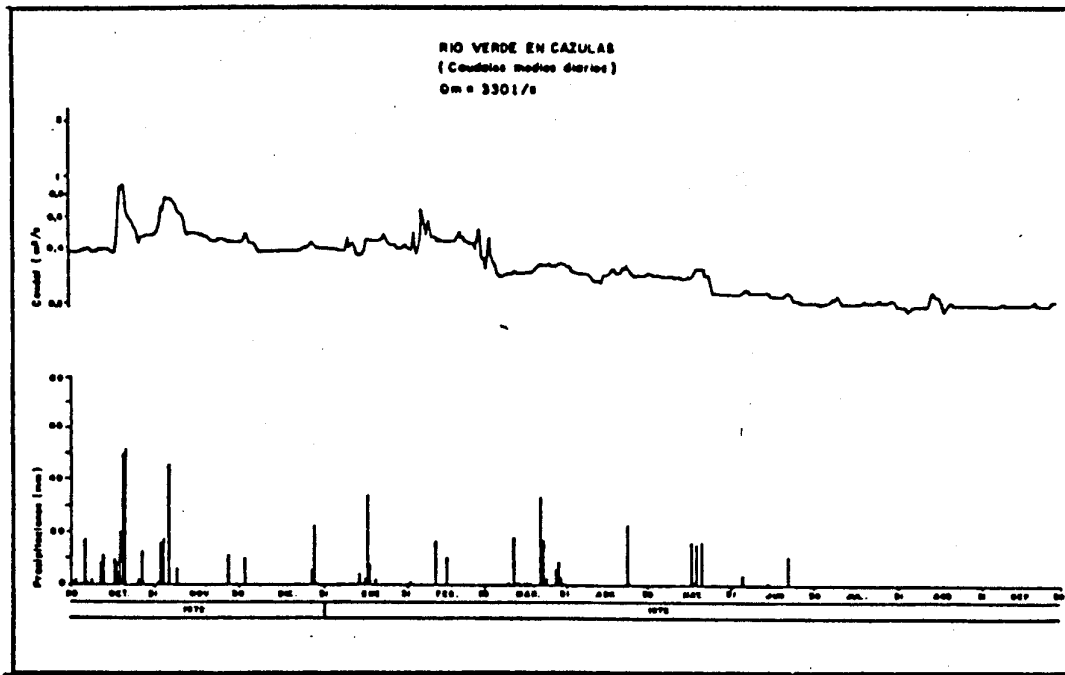


Figura 14: Hidrogramas del río Verde en Cázulas (1972/73 y 1973/74). Los valores de precipitaciones corresponden a la estación de Lentegí. (Fuente BENAVENTE, 1982).

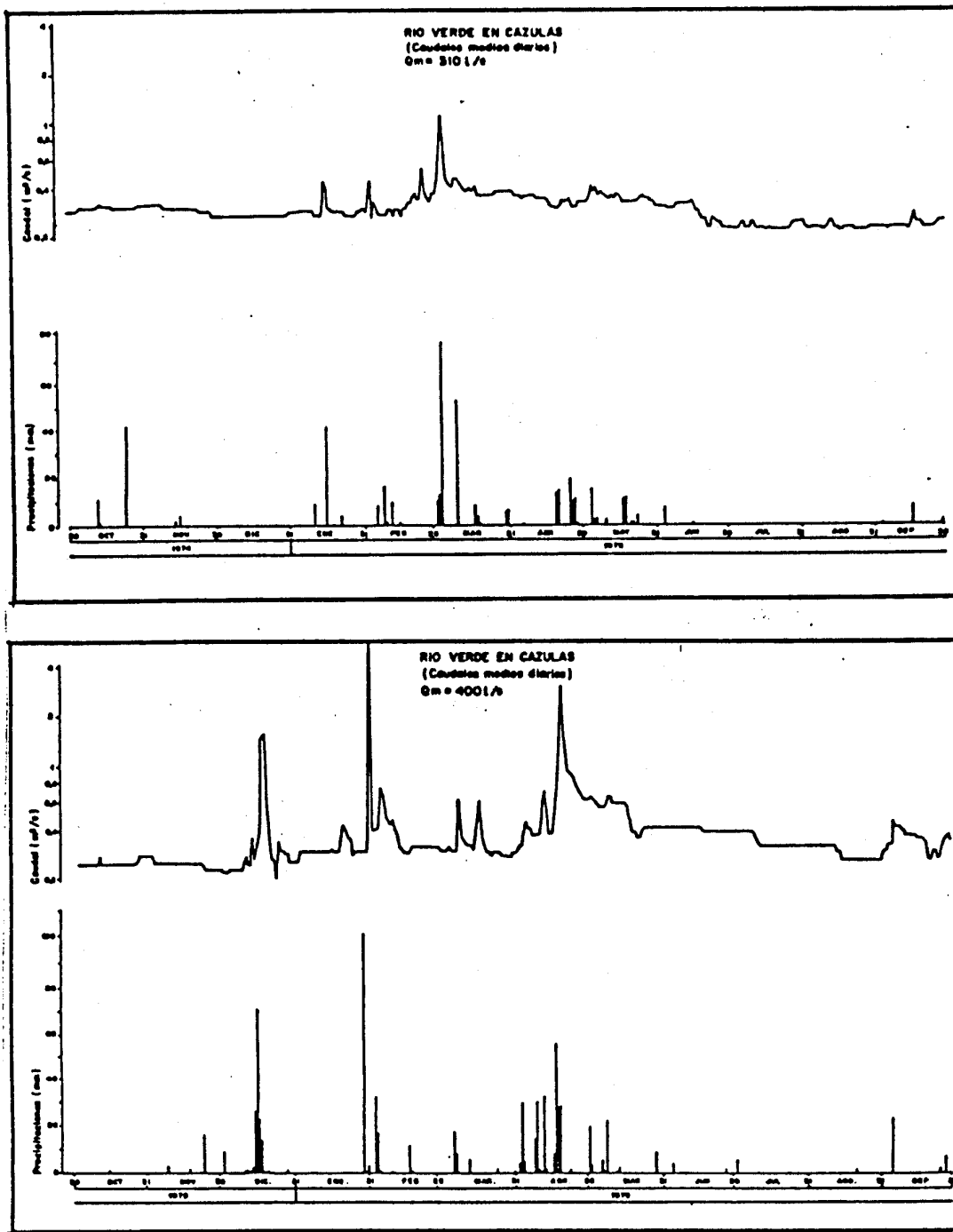


Figura 15: Hidrogramas del río Verde en Cázulas (1974/75 y 1975/76). Los valores de precipitaciones corresponden a la estación de Lentegf. (Fuente BENAVENTE, 1982).

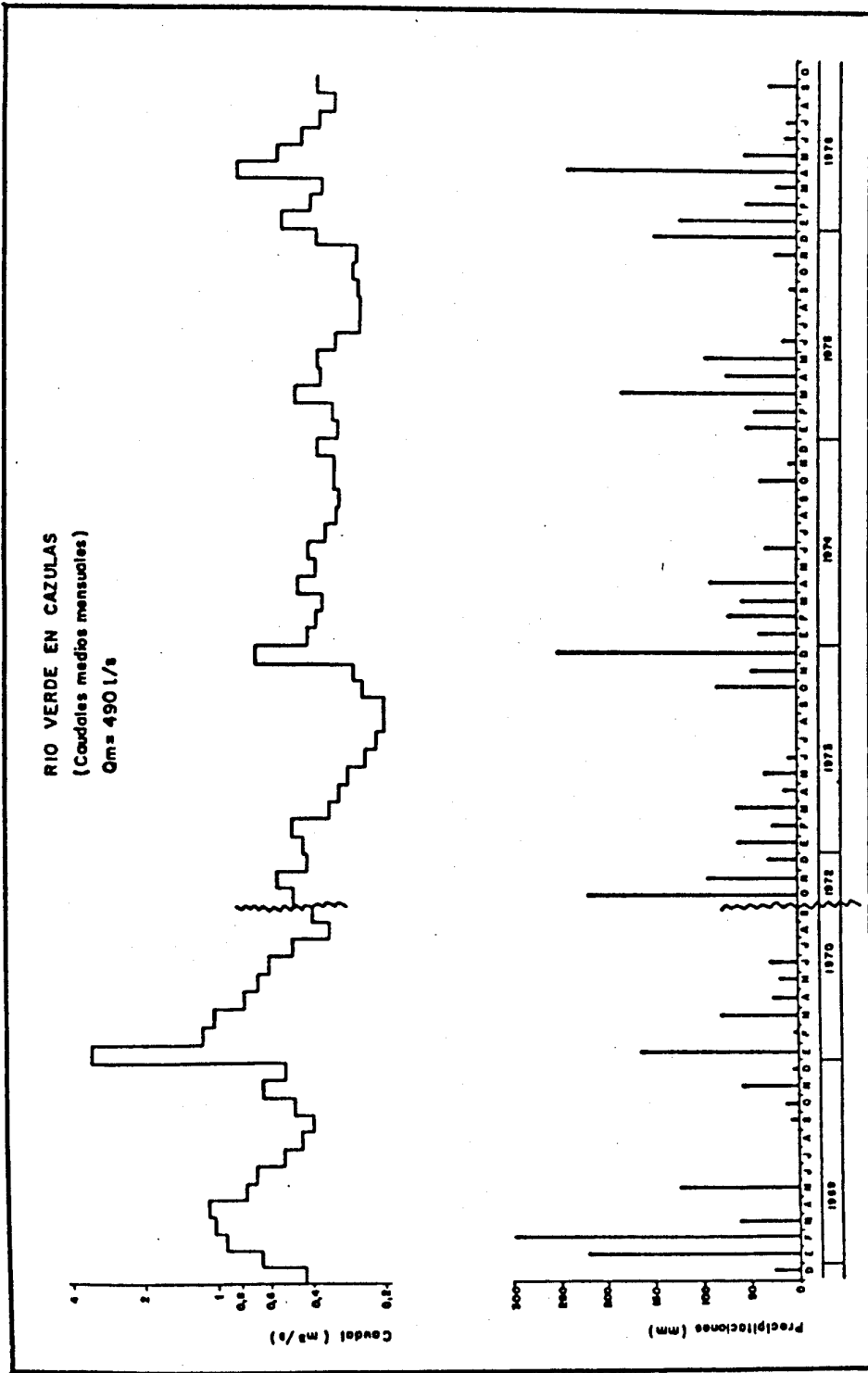


Figura 16: Caudales medios mensuales del río Verde en Cázulas. Los valores de precipitaciones corresponden a la estación de Lentegí. (Fuente BENAVENTE, 1982).

En la Figura 17 se representan las aportaciones medias mensuales para los años hidrológicos considerados, donde destaca un máximo cercano a los 900 l/s en Enero, y un mínimo del orden de 250 l/s en Octubre.

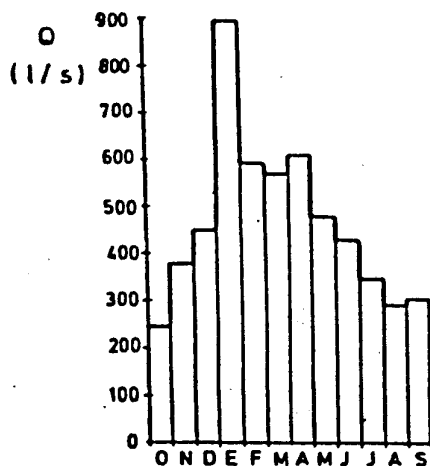


Figura 17: Aportaciones media mensuales en Cázulas (periodo 1969-1976). (Fuente: Benavente, 1982).

## 5.- HIDROGEOLOGIA

### 5.1.- CARACTERISTICAS SEDIMENTOLOGICAS Y GEOMETRICAS

El acuífero está formado en su mayor parte por depósitos de carácter aluvial a excepción de una estrecha franja costera constituida por arenas y gravas de playa. Está compuesto por arenas y gravas, algún esporádico nivel de conglomerado no muy consolidado, limos y algunos episodios arcillosos próximos a la costa.

Las variaciones litológicas se pusieron de manifiesto tras la realización, en 1977, de una campaña geofísica eléctrica en la mayor parte del aluvial del río Verde.

Bajo un recubrimiento superficial de tipo limoso, con abundante materia vegetal, con un espesor de hasta 10 metros y resistividades entre 40 y 80 ohm/m, se halla una segunda capa más resistiva (300 a 2500 ohm/m) constituida por material detrítico grueso con un espesor de 20-30 m. en la parte norte del acuífero, y entre 10 y 30 m. en los 3 Km. más cercanos a la costa. En esta zona sur, de mayor espesor aluvial (60 a 90 m.), bajo la capa resistiva se encuentra una tercera formación geoelectrica con una resistividad intermedia de 65-260 ohm/m; se observa en la 2ª y 3ª capas un decrecimiento de las resistividades cuanto más cerca del mar, lo que puede interpretarse como una disminución en la granulometría del detrítico. En el área hasta 500 m. del mar aparece la formación detrítica (130 ohm/m) alternando con capas arcillosas de baja resistividad (45-55 ohm/m).

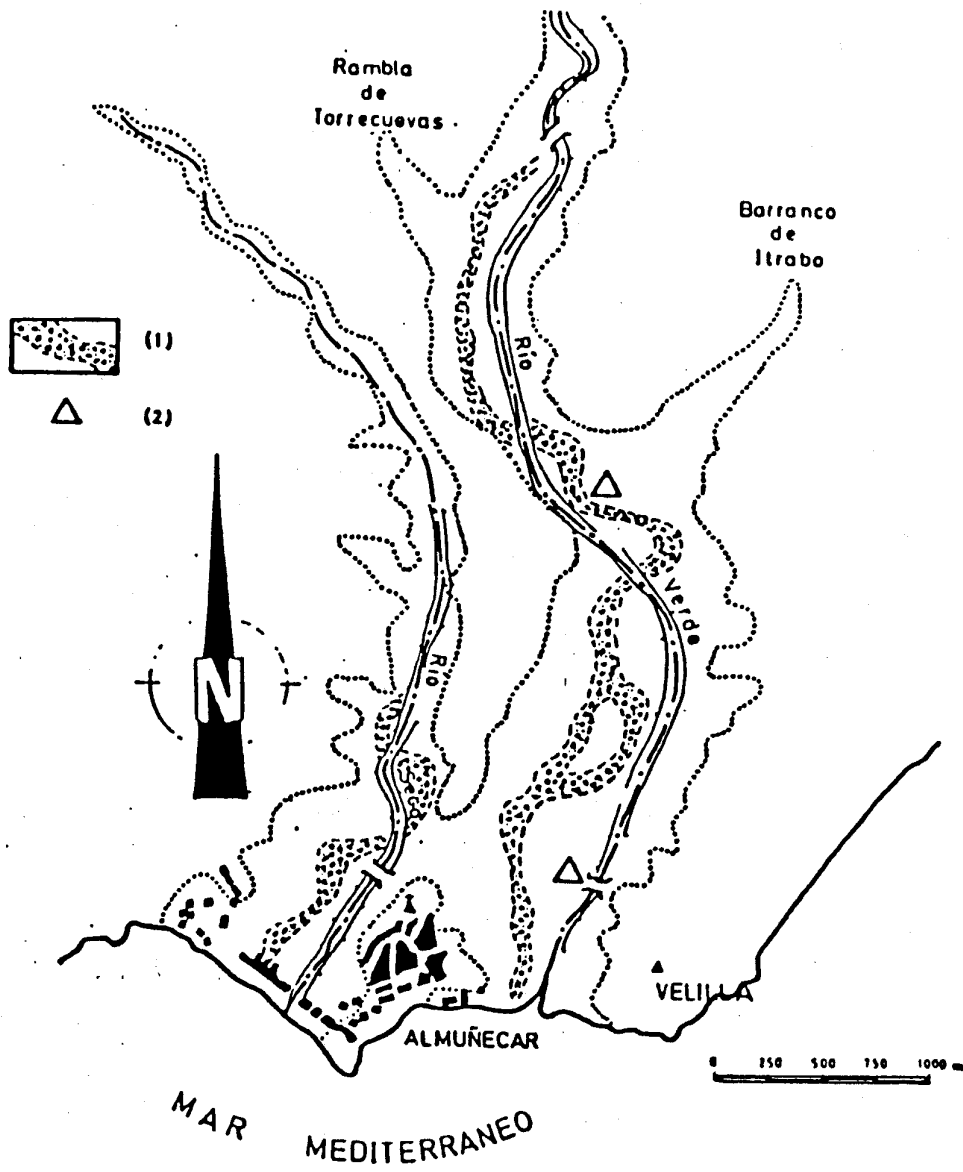
Transversalmente se detectan también variaciones de composición litológica: en la Figura 18 se localizan paleocauces de granulometría más gruesa, que dan lugar a vías preferenciales de circulación del agua subterránea.

La anchura del aluvial del río Verde varía entre 100 y 900 m.; su espesor viene representado en la Figura 19, realizada por M.L. CALVACHE y J. BENAVENTE en base a los datos obtenidos en la campaña de sondeos piezométricos realizada en 1984 por la Comisaría de Aguas del Sur de España.

El máximo espesor de aluvial se halla desplazado hacia el W respecto al actual cauce del río, y va aumentando desde valores máximos de 40 m., al Sur de Jete, a 60-80 m. en el área costera.

Por su parte, el río Seco presenta una anchura máxima de 750 m. en la costa, disminuyendo progresivamente hacia el interior, con un espesor de aluvial de hasta 40m.





LEYENDA: (1).- Paleocauces reconocidos a partir de fotografías aéreas.  
 (2).- Lugares de recogida de muestras superficiales en los aluviones, para efectuar análisis granulométricos.

Figura 18: Principales paleocauces reconocidos en la vega de Almuñecar (Fuente: BENAVENTE, 1982).

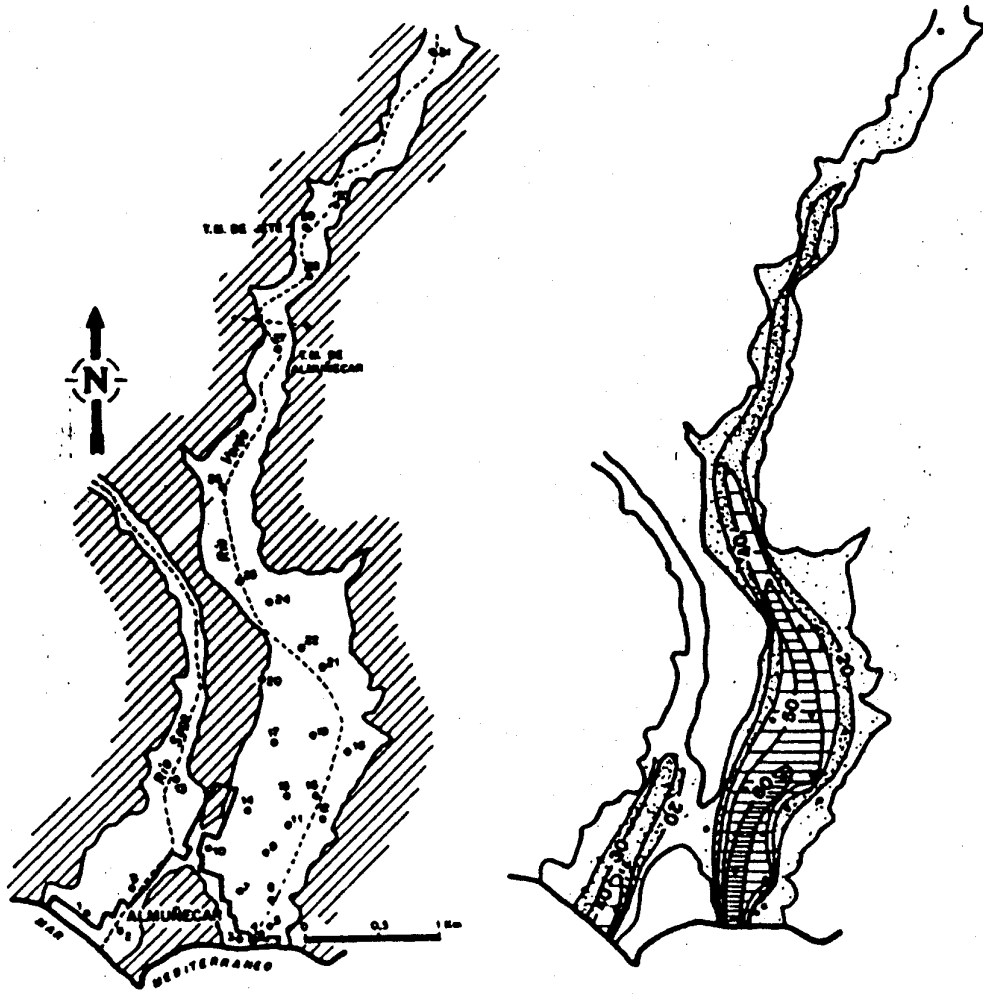


Figura 19: Situación de los piezómetros de la CASE y estimación de los espesores del acuífero (valores en metros) (Fuente: CALVACHE y BENAVENTE, 1988).

Los aluviales de los ríos Seco y Verde se hallan comunicados al Norte de Almuñécar en unos 300 m., aunque con el substrato a escasa profundidad.

En la Figura 20 se presentan dos cortes esquemáticos que ilustran sobre la geometría del acuífero realizados por M.L. CALVACHE y J. BENAVENTE (1988).

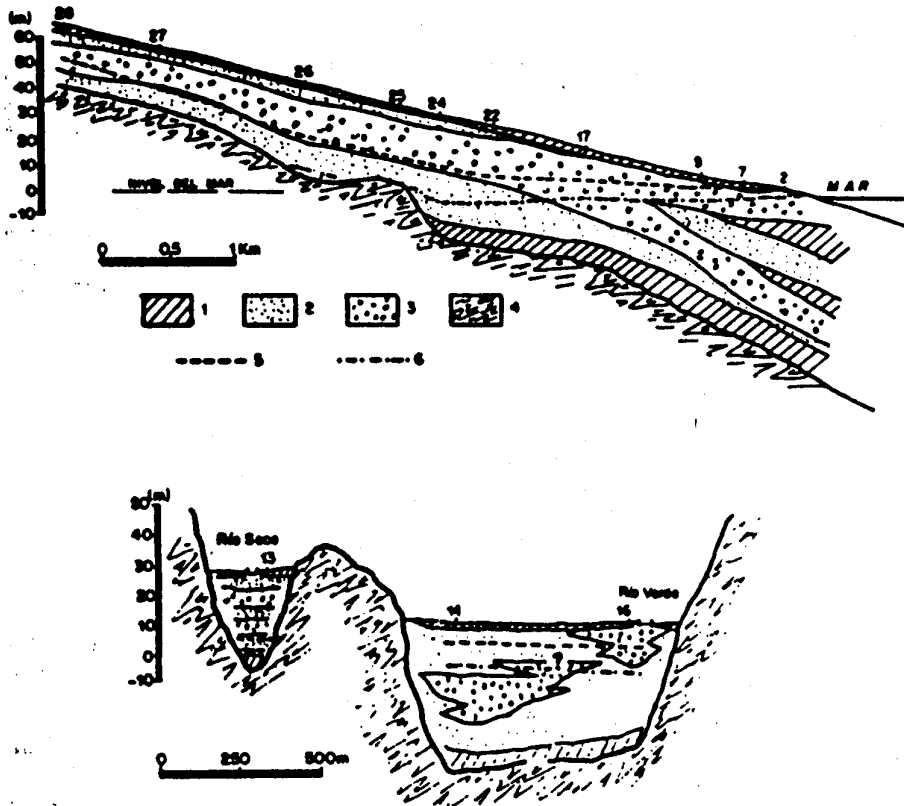


Figura 20: Cortes hidrogeológicos esquemáticos en el acuífero de Almuñécar. 1: materiales con predominio de limos y arenas finas; 2: arenas medias predominantes; 3: arenas gruesas y gravas. 4: substrato metapelítico; 5: nivel piezométrico en aguas altas; 6: nivel piezoétrico en estiaje. Los números representan sondeos piezométricos de la CASE. (Fuente: CALVACHE Y BENAVENTE, 1988).

## 5.2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

En el año 1974 se realizó un inventario exhaustivo de todos los puntos de agua existentes en las cuencas de los ríos Verde y Seco. Debido al gran desarrollo y expansión que la agricultura experimentó en esta zona, en los años posteriores se realizaron numerosas captaciones, por lo que en 1984 se llevó a cabo un nuevo inventario por parte de ENADIMSA-IGME, en el cual se actualizaron los datos existentes y se incorporaron las captaciones realizadas desde entonces.

Se han introducido además en el inventario los sondeos de investigación que la Comisaría de Aguas del Sur de España (CASE) llevó a cabo en 1984. Estos sondeos fueron realizados por el organismo mencionado para disponer de una red de piezómetros propia en la que efectuar el control sistemático del acuífero.

En la Figura 21 se presenta un plano del acuífero de Almuñécar que recoge datos de los sucesivos inventarios anteriormente descritos. Aparecen un total de 176 puntos de agua, 147 puntos en el aluvial del río Verde y 29 en el cuaternario del río Seco. De estos puntos, 103 corresponden al inventario del año 1974, 48 son nuevas captaciones, y 25 son piezómetros de la CASE.

La profundidad de los pozos varía entre 2,50 m. y 40 m., siendo la profundidad media de 12,08 m. En los sondeos varía entre 6 y 90 metros, siendo la profundidad media de 38,59 m. Sin tener en cuenta la naturaleza de la captación, la profundidad media de los puntos es de 24,59 metros.

El diámetro de los pozos no suele ser grande, estando comprendido entre 1 y 3,5 m., y siendo la media de 2,19 m. El de los sondeos oscila entre 0,30 y 0,50 m., aunque hay algunos de investigación de 60 mm de diámetro; la media es de 0,37 m. El diámetro medio conjunto de pozos y sondeos es de 1,32 metros.

La utilización del agua extraída de estas captaciones es fundamentalmente para uso agrícola, para abastecimiento urbano se utilizan 12 puntos, y 1 punto para abastecimiento y agricultura. No hay usos industriales del agua, y 63 puntos no se utilizan en la actualidad.

De los puntos inventariados, 85 cuentan con instalación de bombeo, utilizando energía eléctrica 73 de ellos; los 12 restantes tienen motores de explosión. La potencia eléctrica instalada es de 3181 CV en motores de gasoil, siendo la potencia total próxima a 3400 CV.

La relación entre la potencia instalada y el caudal extraído (2,26 CV / l/s) resulta excesivamente alta; esto sólo se comprende si se tiene en cuenta que el agua no se consume en las inmediaciones de las captaciones, sino que, en la mayoría de los casos, el agua es impulsada desde la captación a otras zonas alejadas del punto varios kilómetros, y a cotas superiores en centenares de metros.

La mayoría de las captaciones más importantes pertenecen a comunidades de regantes o asociaciones de agricultores, estando los pozos repartidos, generalmente, por acciones de una hora cada veinte días a un caudal de 20 l/s.

## 5.3.- USO Y EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA

Prácticamente la totalidad de las explotaciones se realizan en el aluvial del río Verde; del río Seco se extrae sólo un 1 o 2 por ciento del volumen total bombeado.

En 1984, simultáneamente a la actualización del inventario, se realizaron encuestas con el objeto de obtener el volumen de bombeo anual. A partir del año 85-86, el IGME estableció una red de puntos de control de explotaciones, con el fin de conocer para los sucesivos años hidrológicos las extracciones totales que se producían en el acuífero (Figura 22).

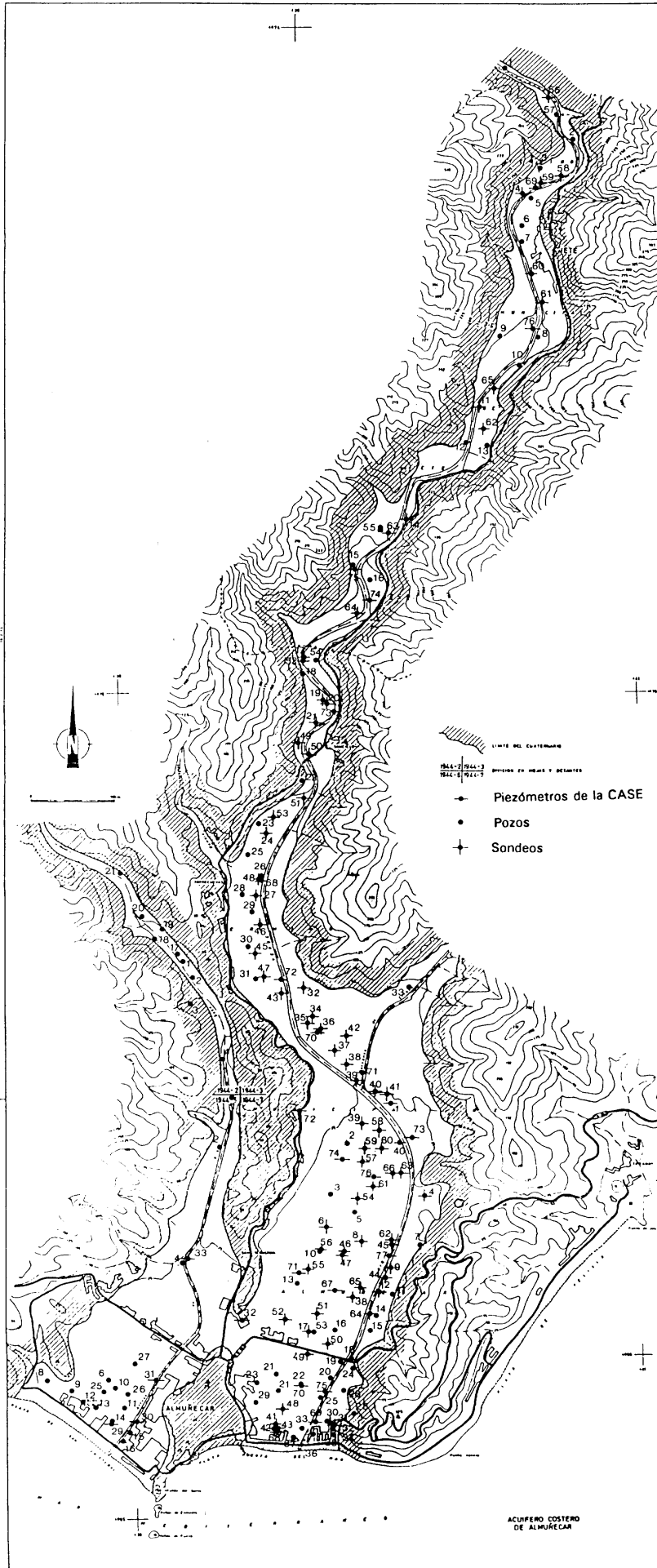


Figura 21: Inventario de puntos de agua.

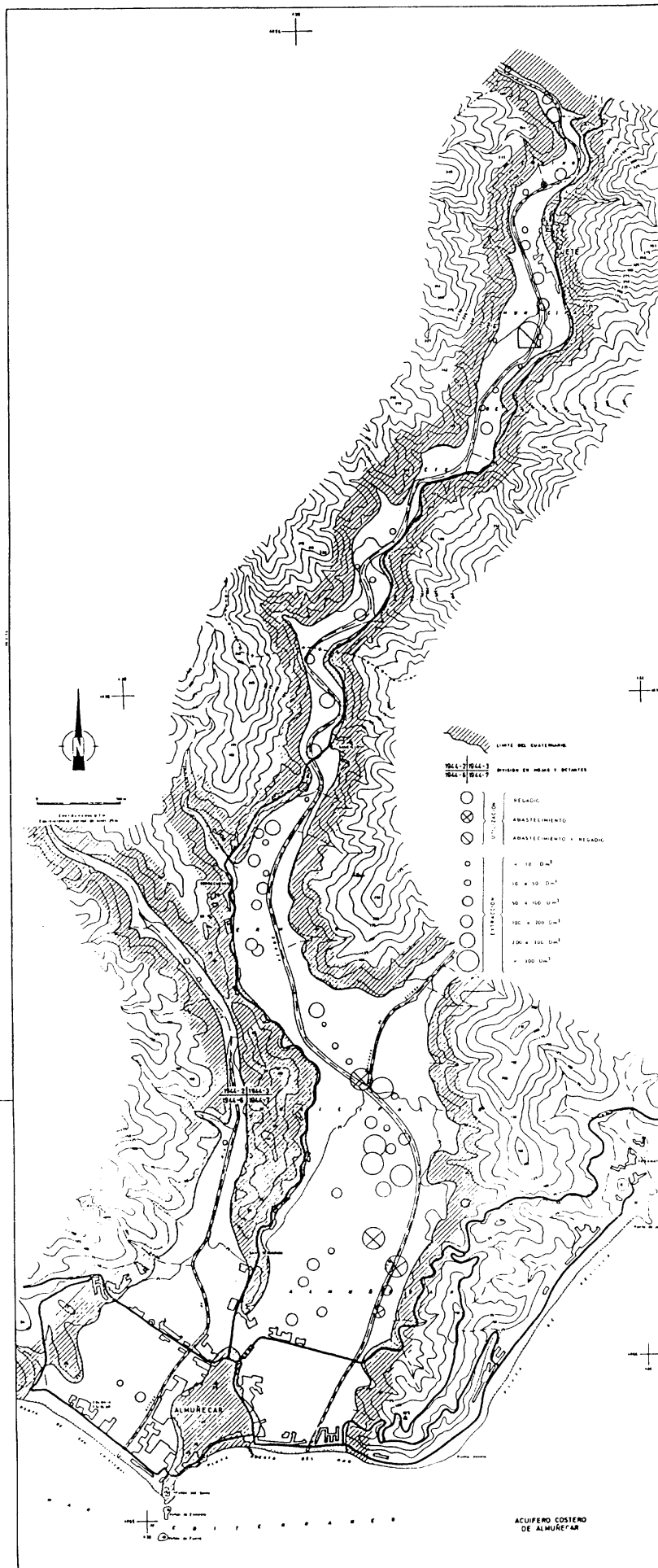


Figura 22: Situación y volúmen de las extracciones efectuadas en 1987/88.

En el Cuadro IV se exponen las extracciones para los años 1984 hasta 1991.

AÑO	TOTAL EXTRACCIONES (hm <sup>3</sup> )	EXTRACCIONES EN EL ALUVIAL DEL RIO VERDE (hm <sup>3</sup> ) INCLUIDA GALERIA DE LAS ANGOSTURAS	EXCLUIDA GALERIA DE LAS ANGOSTURAS	EXTRACCIONES EN EL ALUVIAL DEL R. SECO (hm <sup>3</sup> )
1984	-----	-----	9.90	0.10
85/86	12.40	12.23	8.75	0.17
86/87	11.79	11.62	7.74	0.17
87/88	12.89	12.66	9.90	0.18
88/89	-----	-----	9.87	0.18
89/90	-----	-----	9.74	0.23
90/91	11.69	11.43	8.80	0.28

Cuadro IV: Volumen de extracciones subterráneas en el acuífero de Almuñécar

La media total de extracciones por bombeo en los aluviales de ambos ríos para los años controlados, es de 9,9 hm<sup>3</sup>/año.

Si se suman los caudales extraídos por la galería de Las Angosturas, la media aumenta a 11,9 hm<sup>3</sup>/año, teniendo en cuenta que hay dos años en los que no se tienen datos de aforos de dicha galería.

En la Figura 22 se presenta un plano donde se sitúan los puntos de control de explotaciones y el volumen de éstas para el año 1987-88, que puede considerarse un año normal.

Entre el 60 y 70% del agua, se utiliza para regadíos. Los cultivos son principalmente frutales tropicales (aguacates, chirimoyos y nísperos) regados por el sistema de goteo. El resto del agua (30-40%) se utiliza para abastecimiento, fundamentalmente de Almuñécar, produciéndose en verano la mayor demanda de agua para este uso, a causa de que, al ser una ciudad turística, su población se ve fuertemente incrementada en esas fechas.

#### 5.4.- PARAMETROS HIDRAULICOS

Entre los años 1972 a 1981, se realizaron una serie de ensayos de bombeo en el acuífero, que fueron recopilados por J. BENAVENTE en su tesis doctoral. Mediante estos ensayos, se estiman valores de transmisividad (T) para el sector de Las Angosturas del orden de 4500 m<sup>2</sup>/día y de 300 m/día para la permeabilidad (K); en el área central de la vega de Almuñécar, las transmisividades se estiman del orden de 10.000 a 20.000 m<sup>2</sup>/día, y las permeabilidades de 100-250 m/día.

En 1988, CALVACHE y BENAVENTE, calculan las transmisividades del acuífero basándose en los datos de granulometría de las columnas litológicas de treinta sondeos efectuados por la CASE y obtienen valores medios de 390 m<sup>2</sup>/día para el sector de Las Angosturas, de 6250 m<sup>2</sup>/día para la vega de Almuñécar, y de 540 m<sup>2</sup>/día para el aluvial del río Seco.

Posteriormente, CALVACHE (1989), llevó a cabo dos ensayos de bombeo en uno de los sondeos de abastecimiento a Almuñécar, tomando medidas en dos piezómetros cercanos, y obteniendo transmisividades de 35.000 m<sup>2</sup>/día a los que corresponden valores de permeabilidad de 700 m/día.

Mediante la aplicación de un modelo matemático, CALVACHE (1989), obtuvo valores de permeabilidad para el acuífero comprendidos entre 200 y 700 m/día, observándose los valores más altos en torno a la zona central de la vega, y existiendo un sensible descenso en el área más próxima a la costa debido a la presencia de mayor proporción de sedimentos finos.

Los valores de caudal específico son más elevados en el sector central del

acuífero, siendo del orden de 50-100 l/s / m., y existiendo variaciones significativas.

En cuanto al valor del coeficiente de almacenamiento, (S), existen pocos datos. En 1981, GARCIA GARCIA et al., obtuvieron, mediante simulación matemática, un valor del 10% en el sector de Las Angosturas. Posteriormente, en 1989, CALVACHE obtiene, mediante ensayos de bombeo, un valor del coeficiente de almacenamiento del 4% en el sector de la vega de Almuñécar.

Por último, CALVACHE en su tesis doctoral (1991), estudiando los efectos de las mareas en un piezómetro situado a 330 m. de la línea de costa, obtiene valores de difusividad hidráulica (T/S) comprendidos entre 200.000 y 1.300.000 m<sup>2</sup>/día. Si se establece como transmisividad media en el sector estudiado 12.000 m<sup>2</sup>/día, se obtienen valores de coeficiente de almacenamiento que oscilan entre 0,9 y 5,6%.

## 5.5.- PIEZOMETRIA

Los acuíferos de los ríos Verde y Seco presentan un carácter libre, si bien alguno de los sondeos realizados en 1975 en la zona costera del río Verde, evidenciaron un carácter surgente. Este hecho desapareció al descender los niveles piezométricos. Ya se ha indicado antes la existencia de lentejones arcillosos en esta zona costera, que, sin duda, ocasionaron el confinamiento del nivel piezométrico en estos sondeos.

Salvo los sectores de aluvial aguas arriba de Jete y de Torrecuevas, en los que los niveles piezométricos se hallan a cotas parecidas a las de los ríos, en los sectores centrales y costeros, la superficie piezométrica se encuentra por debajo de los ríos, lo que muestra el carácter influente de éstos. Así mismo, la piezometría acusa la influencia de la infiltración de las acequias de riego.

Las primeras medidas piezométricas realizadas por el ITGE se llevaron a cabo en Junio de 1974, controlándose 16 piezómetros con periodicidad mensual. En 1975 se incrementa la red de observación hasta 26 puntos, continuando las medidas mensuales, hasta Agosto, fecha en que se abandona el control.

Desde 1977 la CASE controla mensualmente 40 piezómetros cuyos datos han sido recopilados e interpretados, hasta 1981, por J. BENAVENTE (Tesis doctoral).

En 1984 el ITGE realizó dos campañas piezométricas, en los meses de Junio y Septiembre, en una nueva red de 39 piezómetros, 10 de los cuales coinciden con la red de la CASE.

En 1985-86 se realizaron campañas de medida en los meses de Julio (1985), Mayo y Octubre (1986). En la primera campaña se midieron 74 puntos, en la segunda 37, y en la tercera 38.

En 1988 se realizaron nueve campañas de medidas de nivel, con periodicidad mensual entre Febrero y Octubre. Se midieron 44 puntos, 37 en el acuífero del río Verde y 7 en el del río Seco.

En la Figura 23, se presenta un plano isopiezométrico que ilustra sobre cual era la situación del acuífero en Mayo de 1974. Se observa un flujo subterráneo hacia el mar con unos gradientes hidráulicos del 1,5% en cabecera, de 0,4-0,5% en el sector central, y de 0,7-0,8% en la costa. Las diferencias existentes entre los dos primeros gradientes podrían deberse, más que a un cambio en la permeabilidad, al ensanchamiento que presenta la sección del acuífero en dicho sector (según la ley de Darcy y supuesto un mismo caudal subterráneo en circulación). Así, de manera muy simplificada, dicha reducción del gradiente supondría que la sección del acuífero, en el sector central, sería al menos tres veces superior al de cabecera (BENAVENTE, 1981). La reducción del gradiente en la costa probablemente se deba a una reducción en la permeabilidad, debida



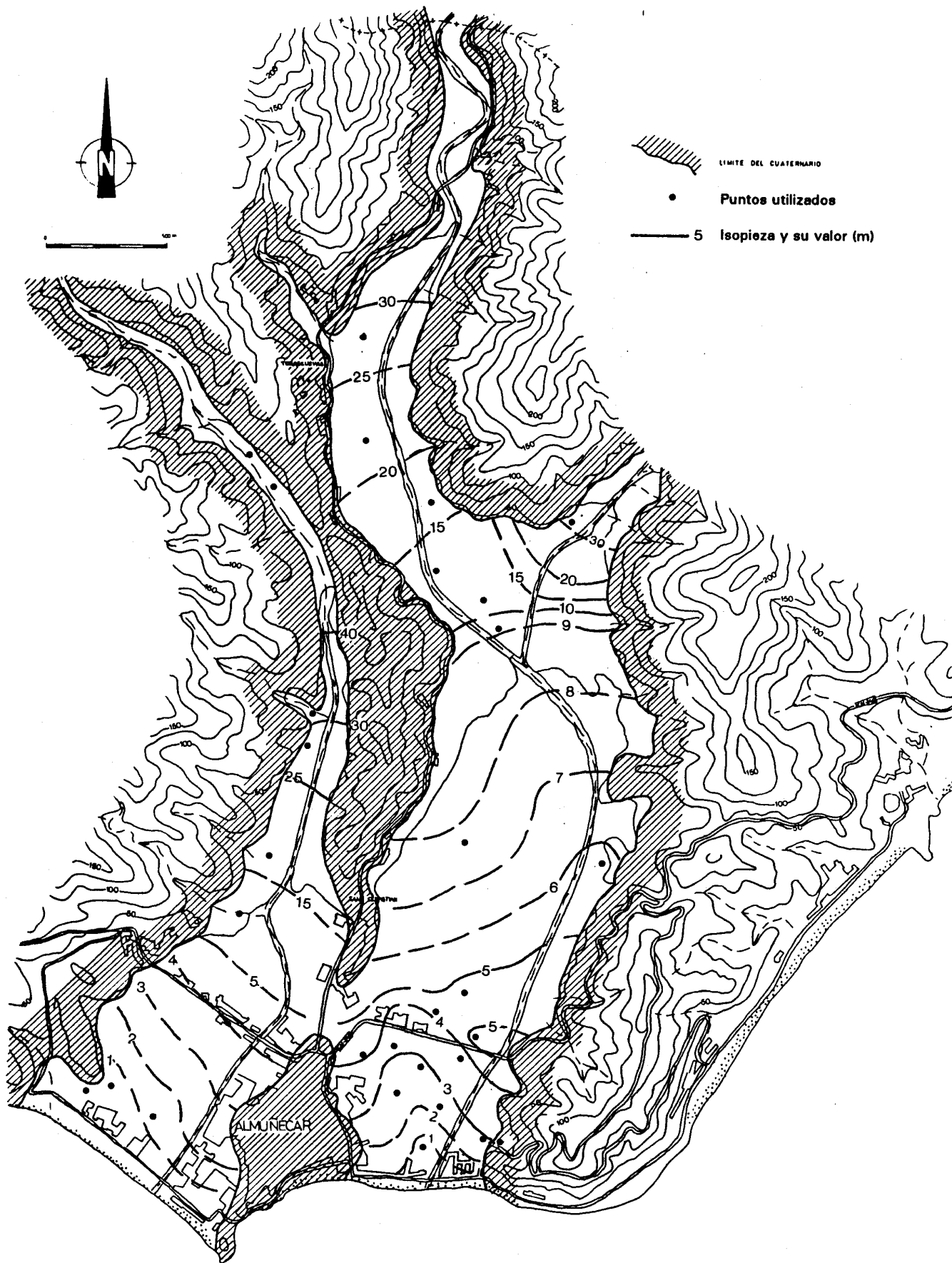


Figura 23: Isopiezas (mayo 1974) (Fuente: BENAVENTE, 1982. Con datos del ITGE).

al incremento de sedimentos finos, como ya se ha mencionado anteriormente.

Las inflexiones de las curvas isopiezas no coinciden, en general, con el cauce actual del río en el sector central, sino que parecen seguir "paleocauces" a través de los cuales se produciría preferentemente la circulación subterránea.

En el sector de cabecera del río Seco, el gradiente hidráulico es del orden del 2 al 3%. En el sector central, el valor de dicho parámetro disminuye a 0,5% como corresponde, a igualdad de permeabilidad con respecto a los materiales de aguas arriba, a un incremento en la sección del acuífero, sin olvidar la posible recarga a partir de aguas de regadío procedente de la cuenca del río.

En la Figura 24 se muestra el mismo plano, pero referido a las isopiezas de Julio de 1981 (aguas bajas). Puede observarse como los gradientes en cabecera han pasado a ser del 2,5%, del 0,03% en el sector central (en el que se observa un descenso del orden de 10 metros), y del 0,005% en la zona costera. Las observaciones piezométricas realizadas en Septiembre de ese mismo año mostraron ya niveles piezométricos inferiores al nivel del mar (BENAVENTE, 1981).

La Figura 25 muestra el plano de isopiezas referente a Junio de 1984, que puede considerarse de aguas altas. Se observa un estado de recarga del acuífero similar al de 1974, aunque no se alcanzan los niveles existentes entonces.

En el plano de la Figura 26, correspondiente a Septiembre de 1984, se aprecia un vaciado considerable del acuífero en el sector del río Verde, como consecuencia de la fuerte explotación a la que se somete al mismo en estiaje, sobre todo en el sector medio, que es el más transmisivo y donde están ubicadas las principales extracciones. Puede observarse como, en todo el sector central, los niveles piezométricos se encuentran por debajo del nivel del mar, habiéndose producido inversiones en los gradientes en toda la zona costera, excepto en el aluvial del río Seco, donde los gradientes son normales, aunque se observa un descenso de un metro aproximadamente con respecto a los existentes en 1981.

En el plano correspondiente a Mayo de 1986 (Figura 27), se observa nuevamente una situación característica del acuífero, y semejante a los dos planos de aguas altas comentados anteriormente; ya se ha producido la recarga del acuífero y se observan unos gradientes normales con salidas de aguas subterráneas al mar a través de la costa, aunque con niveles inferiores, en aproximadamente 2 metros, a los observados en 1984.

Para el plano de isopiezas confeccionado con los datos tomados en la campaña de Octubre de 1986, (Figura 28), se aprecia cómo la situación cambia radicalmente y se agrava estiaje tras estiaje. En la zona del acuífero comprendida por ambos márgenes del río en sus tres últimos kilómetros de recorrido, todos los niveles medidos se encuentran por debajo del nivel del mar, llegando a producirse una zona donde el nivel se encuentra a -4,76 m. s. n. m. Las isolneas muestran un cambio de sentido de flujo con penetración de agua del mar hacia el interior del acuífero, con gradientes medios del 0,2%, variando entre el 0,1 y el 0,5%. A unos 500 metros aguas arriba del barranco de Itrabo, el flujo tiene ya su sentido normal, observándose en esta zona un fuerte gradiente, del orden del 3%, para contrarrestar la zona deprimida aguas abajo.

Por último, presentamos dos nuevos planos de aguas altas (Febrero de 1988) y aguas bajas (Septiembre de 1988), correspondientes a las Figuras 29 y 30. Las medidas referentes al mes de Febrero muestran los niveles más altos observados ese año. Vemos cómo aparece de nuevo una situación normal en un acuífero costero, y semejante a la de aguas altas anteriormente comentada, con un único sentido de flujo y drenaje hacia el mar.

En el plano de la Figura 30, correspondiente a Septiembre de 1988, se muestran las isopiezas con los niveles más bajos observados en el año. Puede verse una situación muy parecida a la de Septiembre de 1986, aunque ligeramente más grave, ya que los conos de depresión con cotas inferiores a las del nivel del mar son más extensos, y en

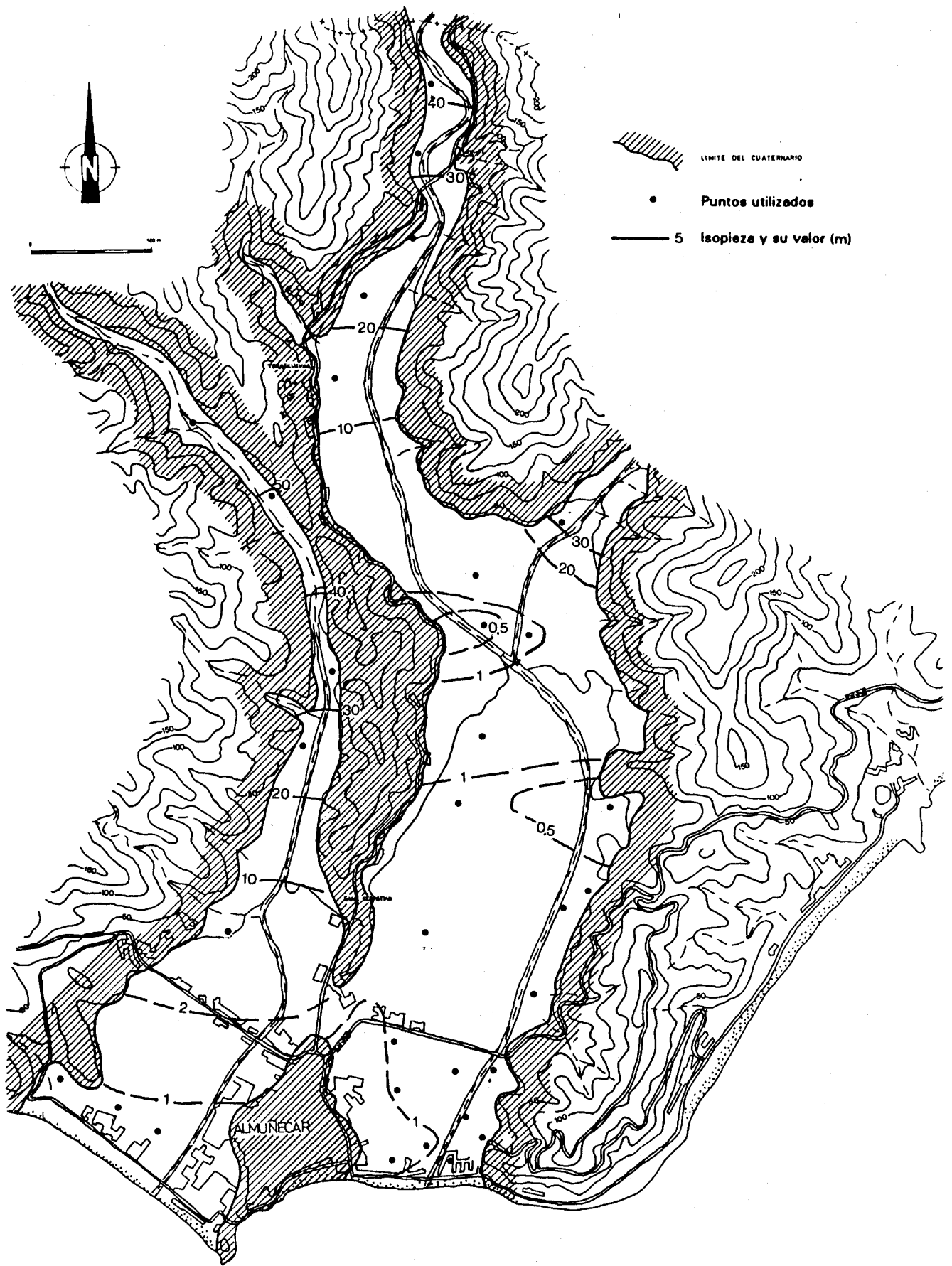


Figura 24: Isopiezas (julio 1981) (Fuente: BENAVENTE, 1982. Con datos del ITGE).

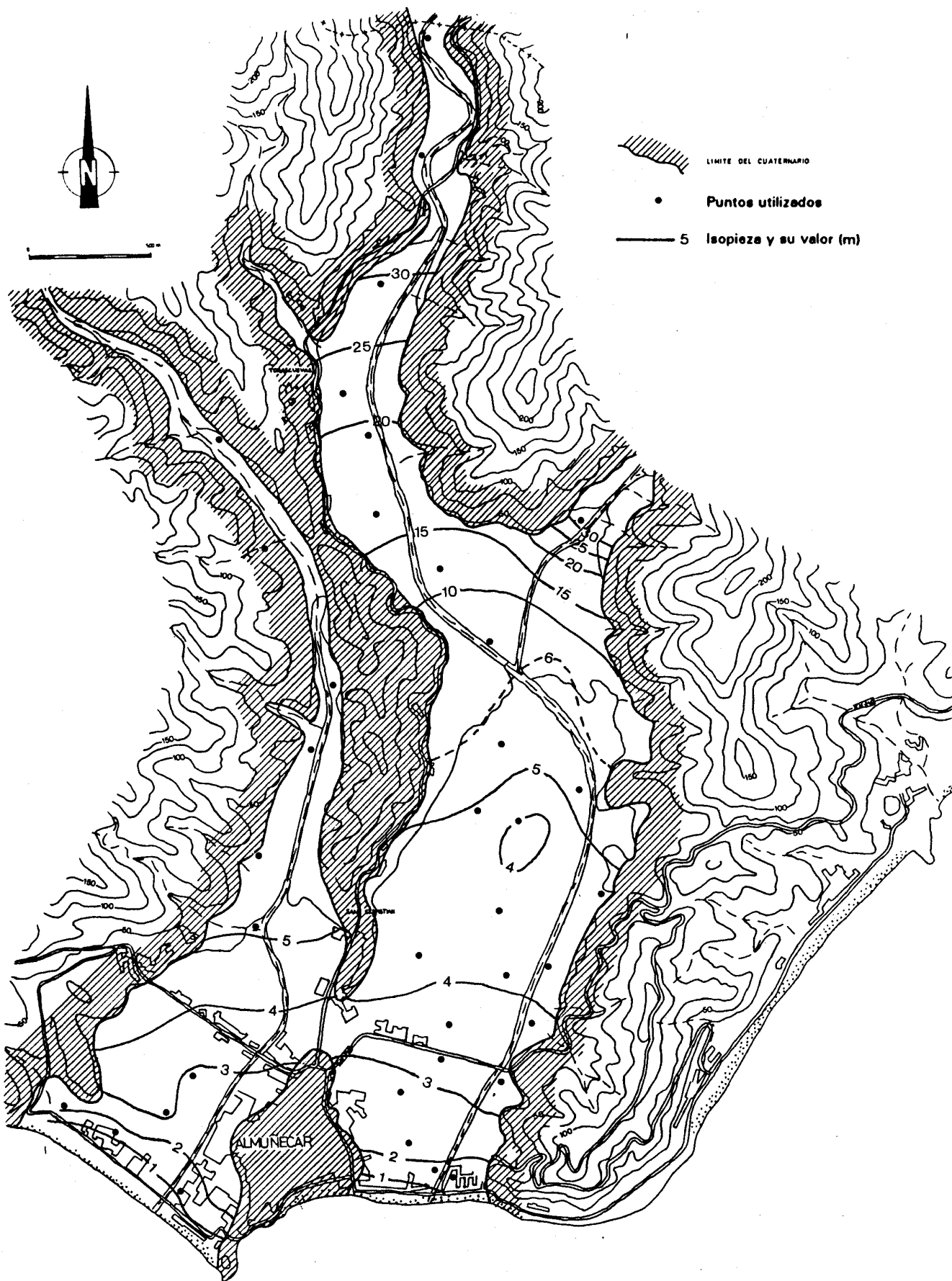


Figura 25: Isopiezas (junio 1984).

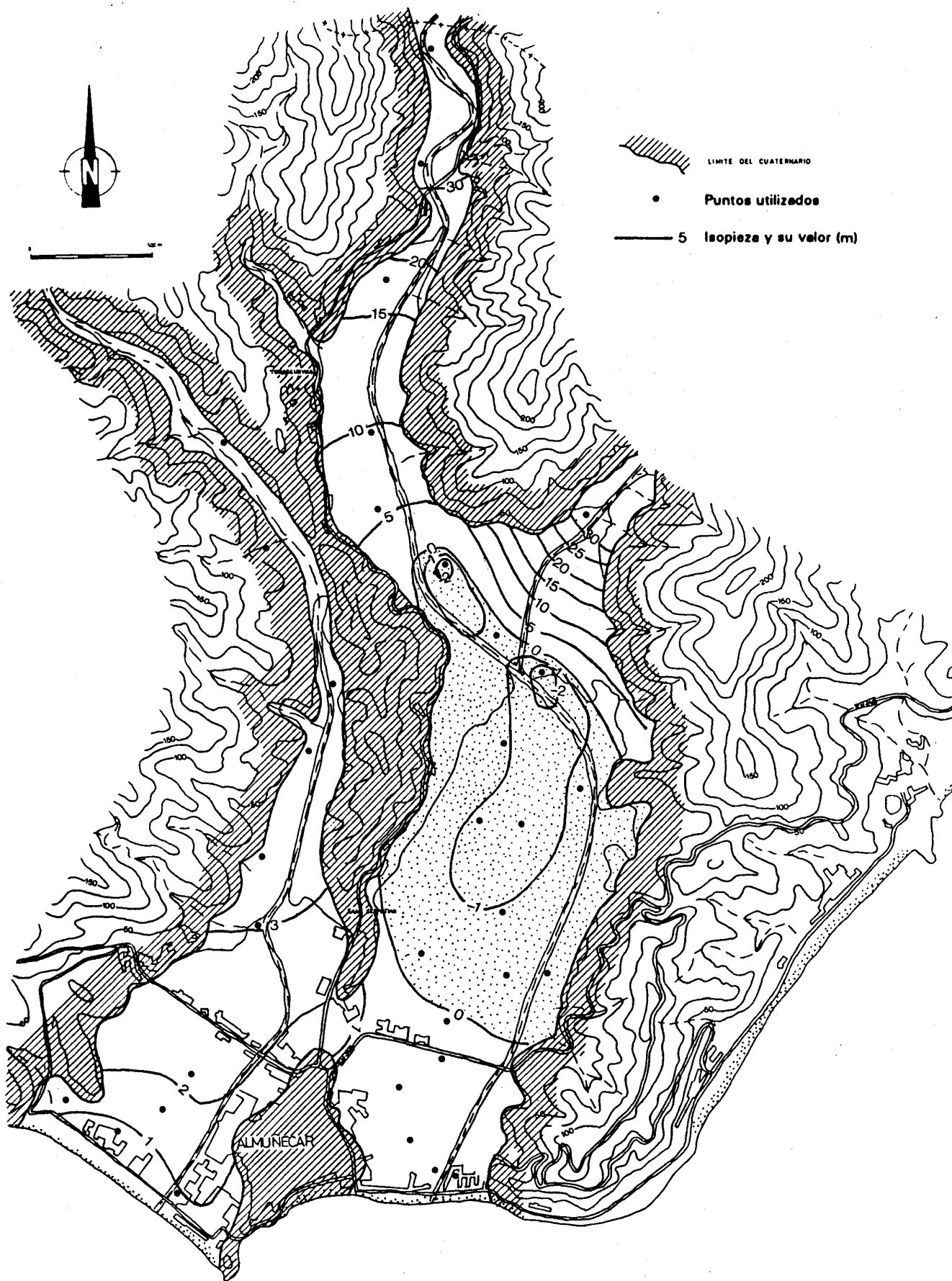


Figura 26: *Isopiezas (septiembre 1984).*

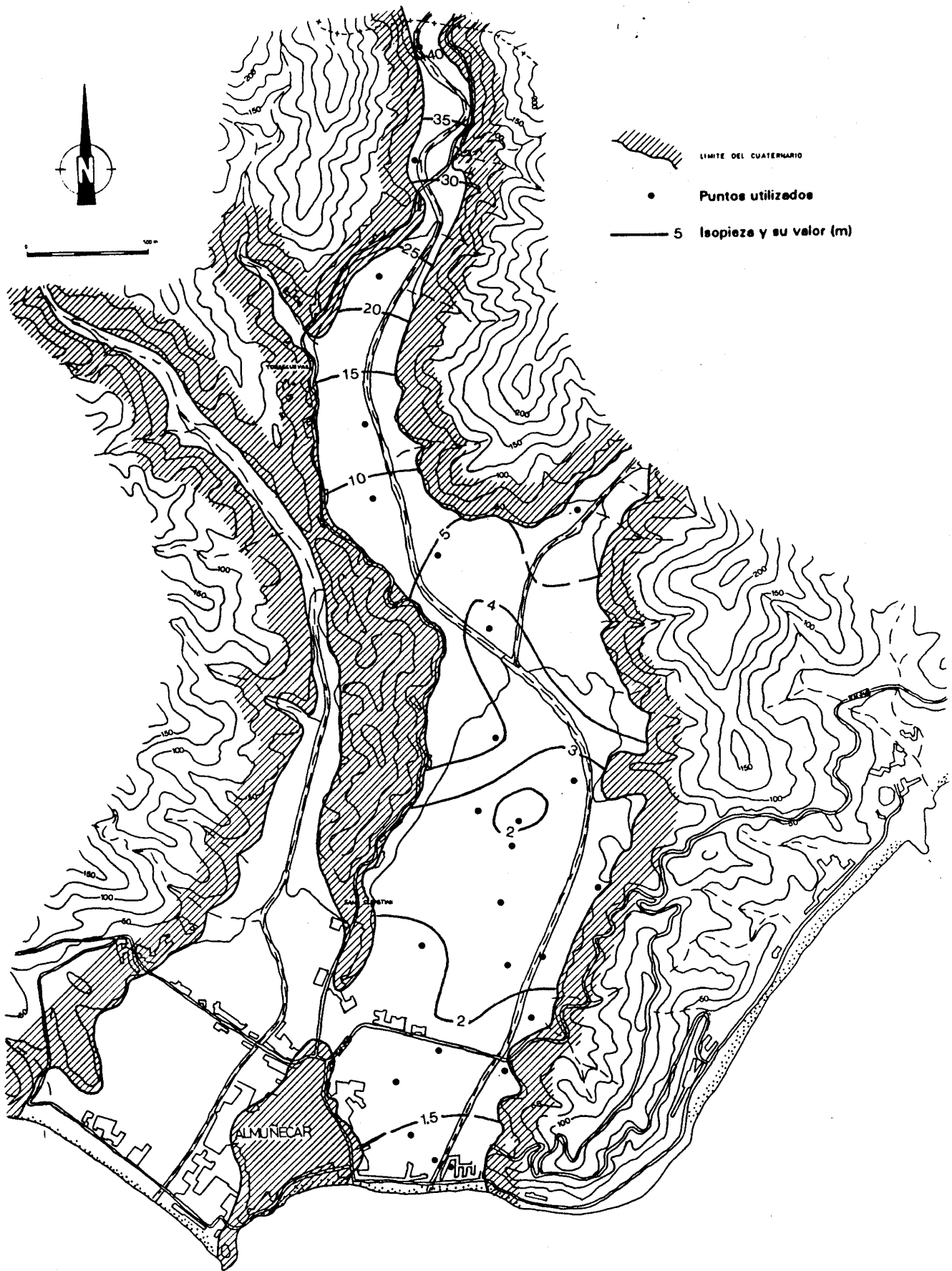


Figura 27: Isopiezas (Mayo 1986).

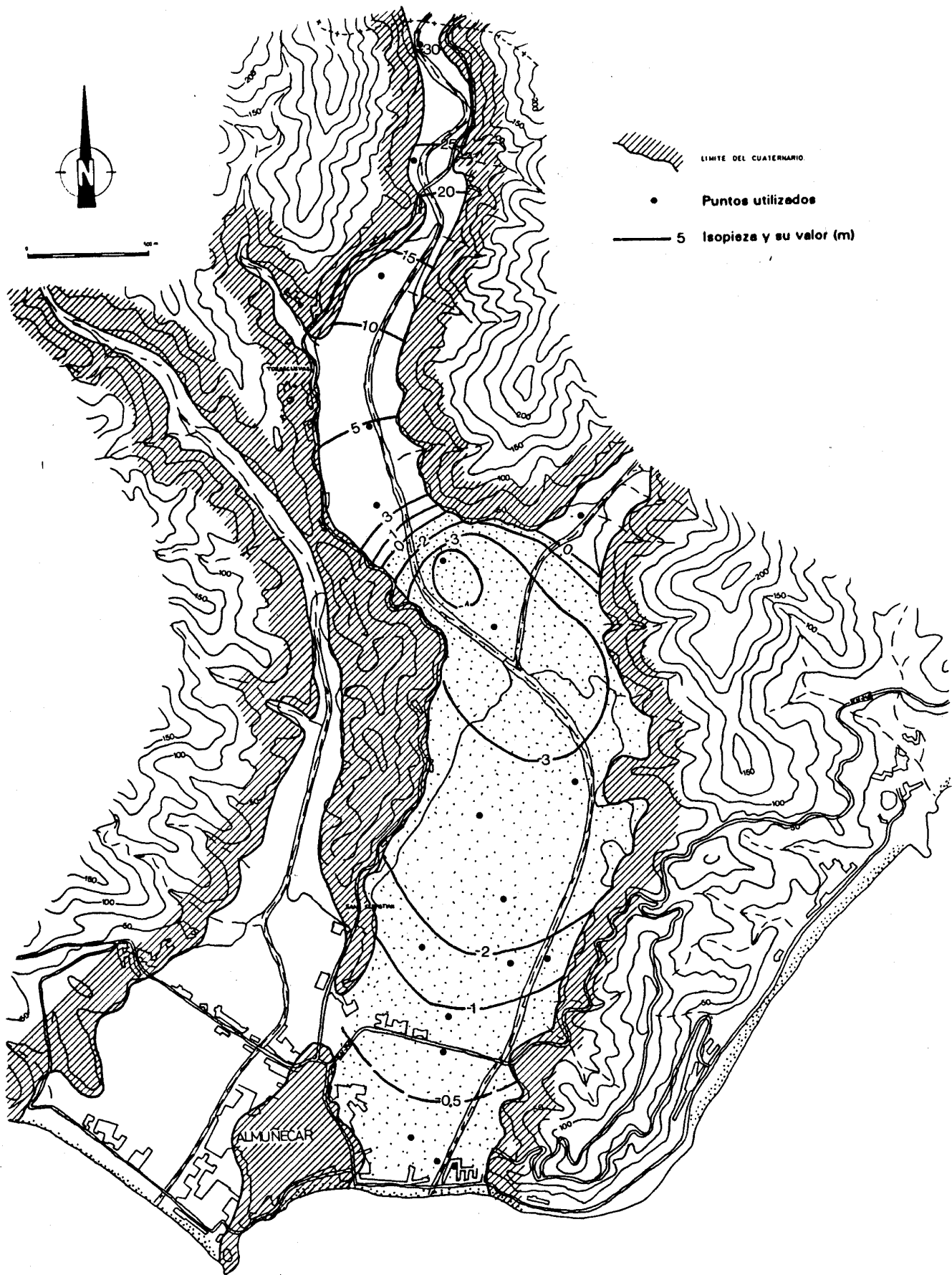


Figura 28: Isopiezas (Octubre 1986).

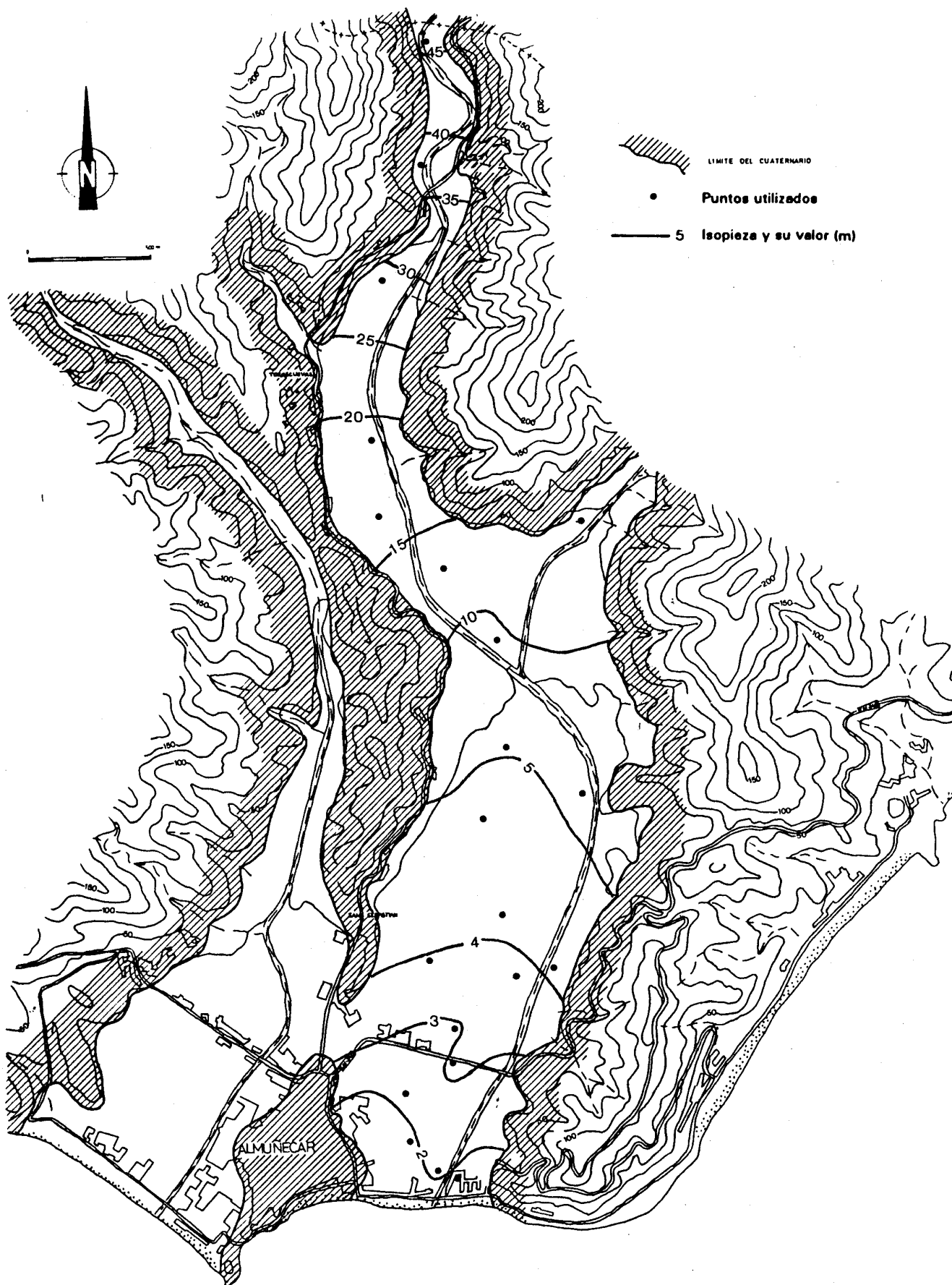
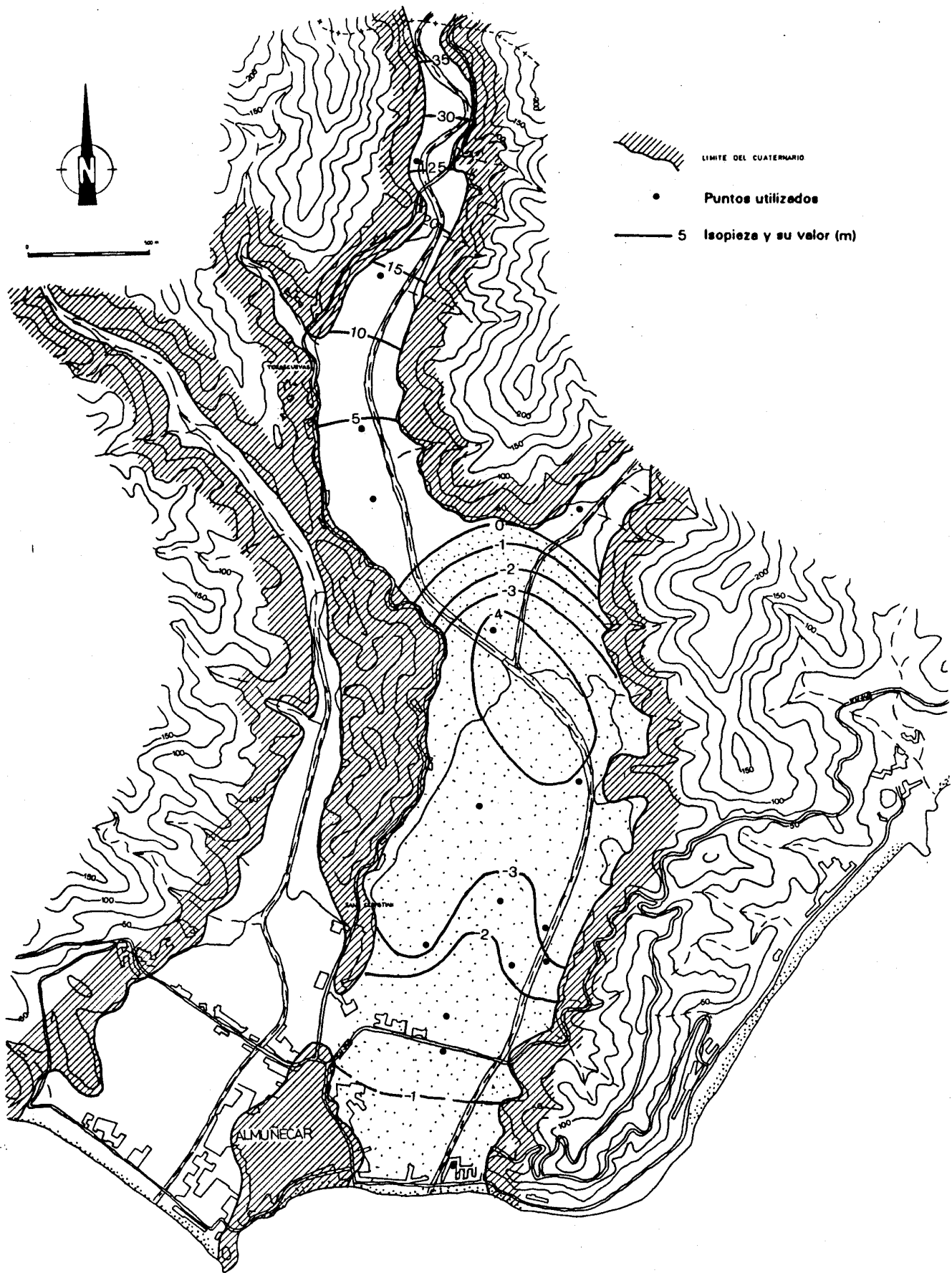


Figura 29: Isopiezas (Febrero 1988).





las isopiezas cercanas a la línea de costa se observan descensos superiores en 0,5 m. a los observados en 1986.

En 1983, el ITGE instaló 2 limnógrafos para verificar la evolución del nivel piezométrico. Uno de estos fue instalado en el aluvial del río Verde, en la zona media-baja (piezómetro n° 1944-7-013), el otro se situó en el aluvial del río Seco, en el sector costero (piezómetro n° 1944-6-016).

El limnógrafo de río Verde, se instaló en un principio en el piezómetro 1944-7-005, en el cual permaneció desde el 4-4-84 al día 19-6-84, fecha en que se secó dicho pozo. El limnógrafo fue trasladado al piezómetro n° 1944-7-13, que es donde quedó definitivamente instalado. Después de conocer la cota topográfica de ambos piezómetros, se representaron todas las medidas compensadas del primer piezómetro, como si hubieran sido tomadas en el segundo.

En 1986, el limnógrafo del río Seco se cambió de lugar, situándose en el aluvial del río Verde, en el punto 1944-7-003, donde estuvo ubicado hasta 1988 (Figura 31). Posteriormente, este limnógrafo se instaló en el punto 1944-3-025, situado en la zona intermedia del acuífero, ya que en su ubicación anterior, la evolución era muy similar a la del punto 1944-7-013.

El limnógrafo del punto 1944-7-013 está instalado en una captación dotada con una bomba eléctrica vertical que suministra caudales de 9 l/s, pero que prácticamente no afecta al nivel estático en la propia captación. La evolución piezométrica correspondiente a este limnógrafo se muestra en la Figura 32. No se ha representado la piezometría registrada por el limnógrafo situado en el punto 1944-7-003, puesto que sus datos son muy semejantes a los del piezómetro 1944-7-013, y el registro menos completo. En cambio, se representa la curva correspondiente al piezómetro 1944-6-016, que muestra la evolución del nivel piezométrico en una zona costera del río Seco.

En el registro correspondiente al limnógrafo situado en la zona central del acuífero del río Verde (Figura 32), se observan claramente las oscilaciones producidas por las sucesivas recargas y vaciados del acuífero, que se producen año tras año. Destaca el hecho de que los mínimos, en todos los años controlados, se sitúan por debajo de la cota 0, y de que, en cada estiaje, estos mínimos alcanzan cotas cada vez menores, con excepción de años con elevada pluviometría, como el año 1986.

La evolución correspondiente al piezómetro n° 1944-6-016, situado en la zona costera del río Seco, muestra una situación radicalmente diferente, con oscilaciones de escasa amplitud, y llegando a registrarse las influencias de las mareas.

BENAVENTE, en su tesis doctoral (1981), calculó a partir de un plano referente a la geometría de substrato impermeable bajo el acuífero aluvial, un volumen de agua gravífica almacenada en aguas altas situado entre 20 y 25 hm<sup>3</sup>, utilizando un coeficiente de almacenamiento medio del 10%. El mismo cálculo para una situación de niveles más bajos arroja valores de entre 10 y 15 hm<sup>3</sup>. Por otra parte, el cálculo de volúmenes de agua almacenada para un espesor saturado del acuífero por debajo de la cota 0, arroja valores del orden de 5 a 7 hm<sup>3</sup>.

Estos cálculos se efectuaron considerando sólo la sección del acuífero desde Las Angosturas hasta la costa. De considerar el acuífero en su extensión real, se obtendrían volúmenes algo más elevados.

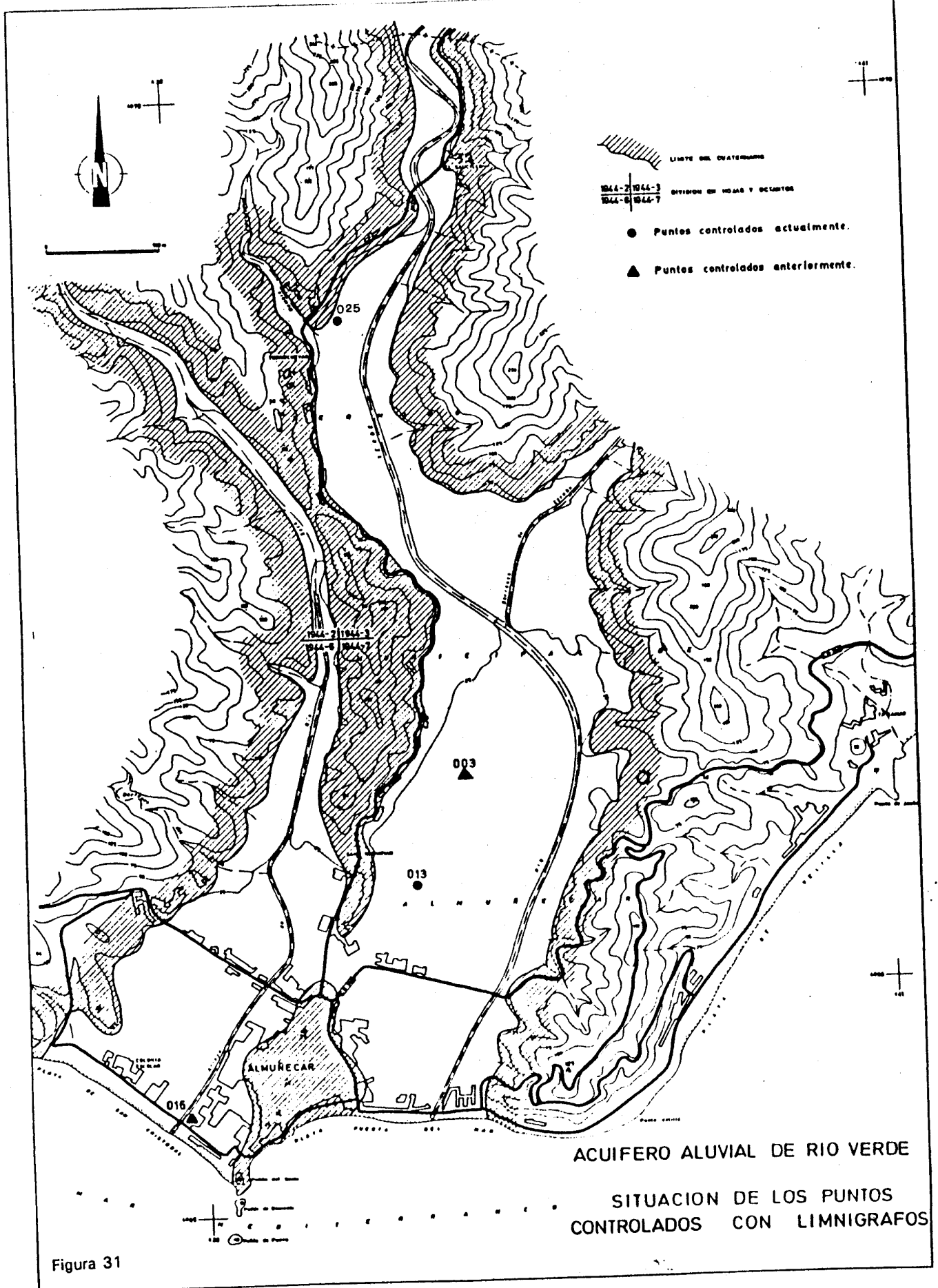


Figura 31

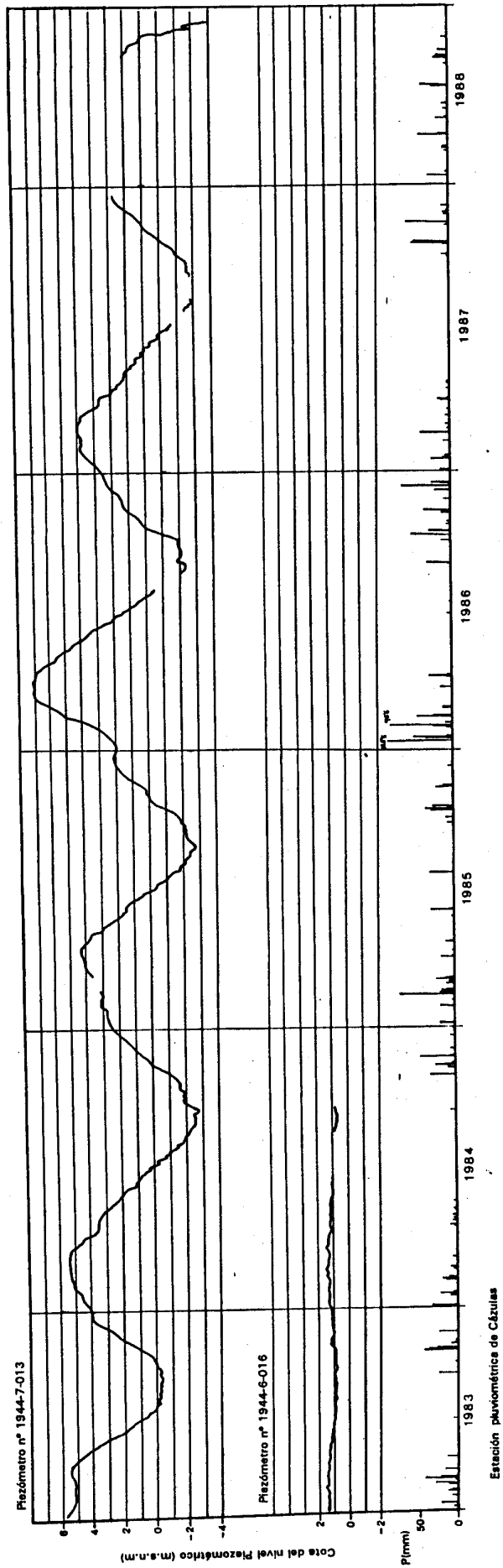


Figura 32: Evolución piezométrica de los puntos controlados por limnigratos.

## 5.6.- BALANCE HIDRAULICO

Todos los balances realizados hasta hoy, diferencian en primer lugar entre el aluvial del río Seco y el del río Verde. Para el aluvial del río Verde, siempre basan sus cálculos exclusivamente en el estudio de la franja comprendida entre Las Angosturas y la línea de costa, sin tener en cuenta las extracciones que se producen en la galería de Las Angosturas.

Los valores calculados en todos ellos son bastante semejantes, por lo que a continuación expondremos el realizado por el IGME en 1984, y posteriormente lo reharemos incluyendo los datos existentes en la totalidad del aluvial del río Verde.

Dada la aparente desconexión hidráulica entre los aluviales de los ríos Seco y Verde, sus balances se tratarán separadamente.

### 5.6.1.- Río Seco

#### -SALIDAS

Las únicas salidas existentes son las que se producen a través de los bombeos, y las salidas ocultas al mar.

Las extracciones por bombeos pueden cifrarse en  $0,2 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Para el cálculo de las salidas subterráneas al mar se aplica la ley de Darcy, con una permeabilidad media de  $10^{-3} \text{ m/s}$ , espesor saturado de 20 m. y gradiente medio de 0,4%, resultan unas salidas medias de  $1,8 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Con lo que el total de salidas se estima en  $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

#### -ENTRADAS

Los límites de la cuenca del río Seco son impermeables, por lo que la alimentación que recibe el aluvial procede de la escorrentía superficial, infiltración directa, y retorno de riegos.

La infiltración directa de agua de lluvia caída sobre el aluvial ( $1,4 \text{ Km}^2$  de superficie) se estima en  $0,1 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Para los regadíos en la vega del río Seco se utilizan  $2 \text{ hm}^3$  anuales, de los que  $0,1 \text{ hm}^3$  proceden de bombeos en la propia vega,  $0,5 \text{ hm}^3$  de aguas subterráneas traídas de la vega del río Verde, y  $1 \text{ hm}^3$  de aguas superficiales derivadas del río Verde. Adoptando una infiltración del 20%, resulta una recarga de  $0,3 \text{ hm}^3/\text{año}$  para los retornos de riegos.

La comparación de las isopiezas de 1974 y 1981 muestra un descenso en las reservas del acuífero del orden de 1,5m., que representan, admitiendo una porosidad eficaz del 10%, una extracción de  $0,2 \text{ hm}^3$ . Si aplicamos la ecuación del balance en su forma más simplificada (entradas = salidas  $\pm$  variación de la reserva), podremos obtener por diferencia el valor de  $1,4 \text{ hm}^3/\text{año}$  procedente de la infiltración proveniente de la escorrentía de aguas superficiales en la cuenca.

La suma de las entradas en la cuenca sería de  $2 \text{ hm}^3$ .

### 5.6.2.- Río Verde

El siguiente balance está referido exclusivamente al aluvial del río Verde, comprendido entre Las Angosturas y la línea de costas, en el que no se tienen en cuenta los caudales aportados por la galería de Las Angosturas.

## **-SALIDAS**

Al igual que en el río Seco, las salidas existentes son las producidas por las extracciones en los bombeos y las que se producen de manera oculta hacia el mar.

Las extracciones producidas por bombeos pueden cifrarse para un año medio en  $7 \text{ hm}^3$ , que en años secos pueden aumentar considerablemente (en 1984 se calcularon en  $10,8 \text{ hm}^3$ ).

Las pérdidas al mar se evalúan por la ley de Darcy, aplicando una transmisividad de  $3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , un gradiente medio de 0,5%, y una anchura de acuífero de 500 m., en  $2,4 \text{ hm}^3/\text{año}$  (J. BENAVENTE, 1982), valor que podría considerarse como medio. Si se consideran años secos y húmedos, estas pérdidas podrían cifrarse entre 2 y  $4 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Las salidas, por tanto, pueden estimarse de entre 9 y  $14 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

## **-ENTRADAS**

La infiltración de la lluvia caída directamente sobre el aluvial del río Verde ( $3,7 \text{ Km}^2$ ) puede estimarse en una media de  $0,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

La infiltración producida por excedentes de regadíos se calcula actualmente en  $1-2 \text{ hm}^3/\text{año}$ , considerando una recirculación del 15-20%.

La recarga que procede de la lluvia útil sobre el área impermeable que vierte al aluvial (a excepción del resto de la cuenca del río Verde aguas arriba de Las Angosturas) puede estimarse en  $2,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

La comparación entre las isopiezas de 1974 y 1981, mostró un descenso de reservas del orden de  $1,8 \text{ hm}^3$ , lo que representa un valor medio anual de  $0,3 \text{ hm}^3$ .

Por diferencia puede cifrarse la infiltración procedente de aguas superficiales entre  $4,9$  y  $8,9 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

En caso de considerar este balance para toda la cuenca del río Verde, obtendríamos lo siguiente:

Las salidas por extracciones, incluidos los volúmenes aportados por la galería de Las Angosturas, estarían comprendidas entre 11 y  $13 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Ver Cuadro IV), con lo que obtendríamos un valor para las salidas comprendido entre  $13,4$  y  $15,4 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Respetando los datos para las entradas expuestos anteriormente, encontraríamos un valor para la infiltración procedente de aguas superficiales comprendido entre  $9,3$  y  $10,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Estos últimos datos hay que tomarlos con muchas reservas, puesto que los aforos existentes en la galería de Las Angosturas se refieren sólo a 4 años, y no han sido efectuados con la suficiente continuidad. Debido a las grandes variaciones de caudal (entre 0 y 300 l/s) que se producen en dicha galería, la estimación del volumen anual drenado, no deja de ser meramente orientativa.

## **5.7.- CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS. EVOLUCION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.**

### **5.7.1.- Antecedentes**

Los primeros estudios hidroquímicos del acuífero de Almuñécar se realizaron en el año 1974 por el IGME, con un muestreo y consiguientes análisis químicos sobre una red de 47 puntos. Se determinaron las principales concentraciones iónicas, que pusieron de manifiesto la buena calidad química del acuífero, con bajo contenido salino y facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas.

Se observó que las aguas subterráneas de la cuenca del río Seco estaban más cargadas de sales que las del río Verde, disminuyendo las concentraciones de cloruros y sodio desde la cabecera hasta la desembocadura de aquel.

En la cuenca del río Verde, el sector coincidente con el eje del valle era el menos mineralizado, observándose las mayores concentraciones en los bordes del acuífero (Figuras 33 y 34).

En el año 1981, J. BENAVENTE, con motivo de su tesis doctoral, realizó 25 análisis químicos que, comparados con los realizados en 1984, mostraron facies químicas semejantes, aunque advirtiéndose un incremento generalizado en la concentración de sales disueltas.

A pesar de este incremento en las concentraciones iónicas, seguían siendo aguas de buena calidad, aptas para consumo humano, estando todos sus parámetros dentro de las normas de la O.M.S., salvo algunos puntos de río Seco, cuyas concentraciones en nitratos se excedían de dichas normas.

En 1982, el IGME realizó dos campañas de tomas de muestras (en Julio y Noviembre) sobre una red de 21 puntos para la determinación de las concentraciones de cloruros y conductividad.

Se observó que en el acuífero del río Seco la situación era prácticamente estacionaria, con valores semejantes a los obtenidos en el año 1974, si bien algo más elevadas en la zona costera, en la que se alcanzaban concentraciones de cloruros del orden de 150-220 mg/l en el sector occidental, y de 40-70 mg/l en el oriental, oscilando en el resto del acuífero entre 30 y 100 mg/l.

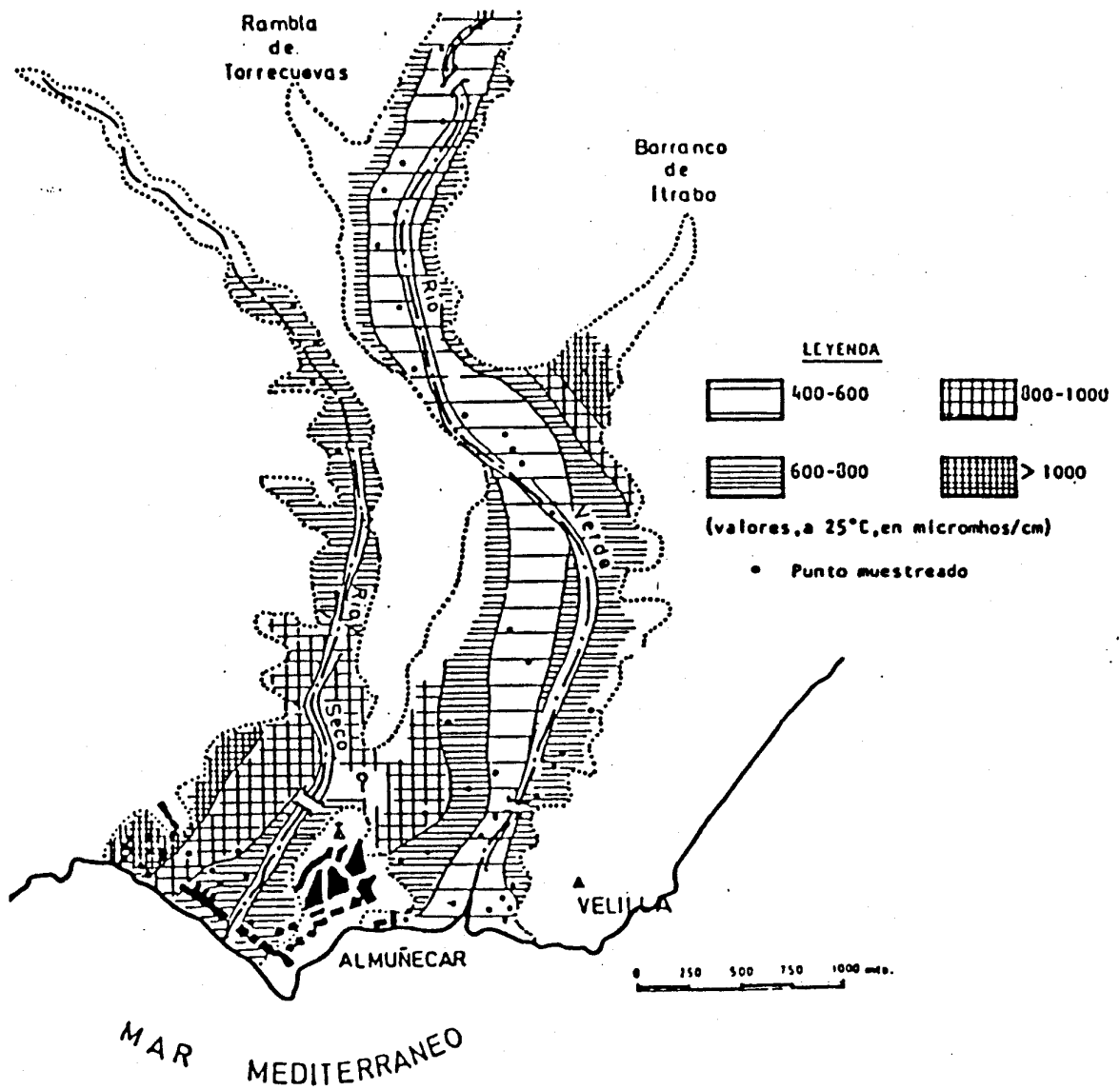
Para el acuífero del río Verde, se observó que en Julio la práctica totalidad del acuífero presentaba concentraciones de cloruros comprendidas entre 20 y 60 mg/l, llegando en el sector costero a 85 mg/l. En cambio, en la campaña realizada en Noviembre (Figura 35), se detectaron indicios de intrusión marina en la zona central y costera del acuífero, alcanzando los pozos de abastecimiento a Almuñécar. Las concentraciones de cloruros obtenidas eran de 790 mg/l en el punto 1944-7-033, de 951 mg/l en el 1944-7-008, de 1846 mg/l en el 1944-7-037, y de 3450 mg/l en el 1944-7-038.

En Junio de 1983, el IGME muestreó 4 puntos, obteniendo concentraciones de cloruros comprendidas entre 30 y 74 mg/l, comprobándose que la calidad del acuífero había mejorado como consecuencia de las lluvias de los meses anteriores y del descenso del ritmo de explotación que siempre se produce en invierno.

A partir de 1986, el IGME estableció el control de una red de vigilancia en la calidad de los acuíferos costeros de la provincia de Granada adyacentes a la cuenca del río Guadalfeo.

Para los acuíferos de los ríos Verde y Seco, se seleccionaron 10 puntos, 3 en el aluvial del río Seco y 7 en el del río Verde (Figura 36), algunos de los cuales fueron sustituidos posteriormente por otros cercanos, en función de su accesibilidad y dificultad de muestreo. En 1991, esta red se amplió a 15 puntos.

Los muestreos siempre se realizan después del estiaje, entre los meses de Septiembre y Noviembre. Estos muestreos demuestran que se está produciendo un progresivo empeoramiento de las aguas del acuífero, tanto en la calidad para el consumo humano como para regadío, especialmente en los puntos más cercanos a la costa, donde las facies han pasado a ser cloruradas sódicas.

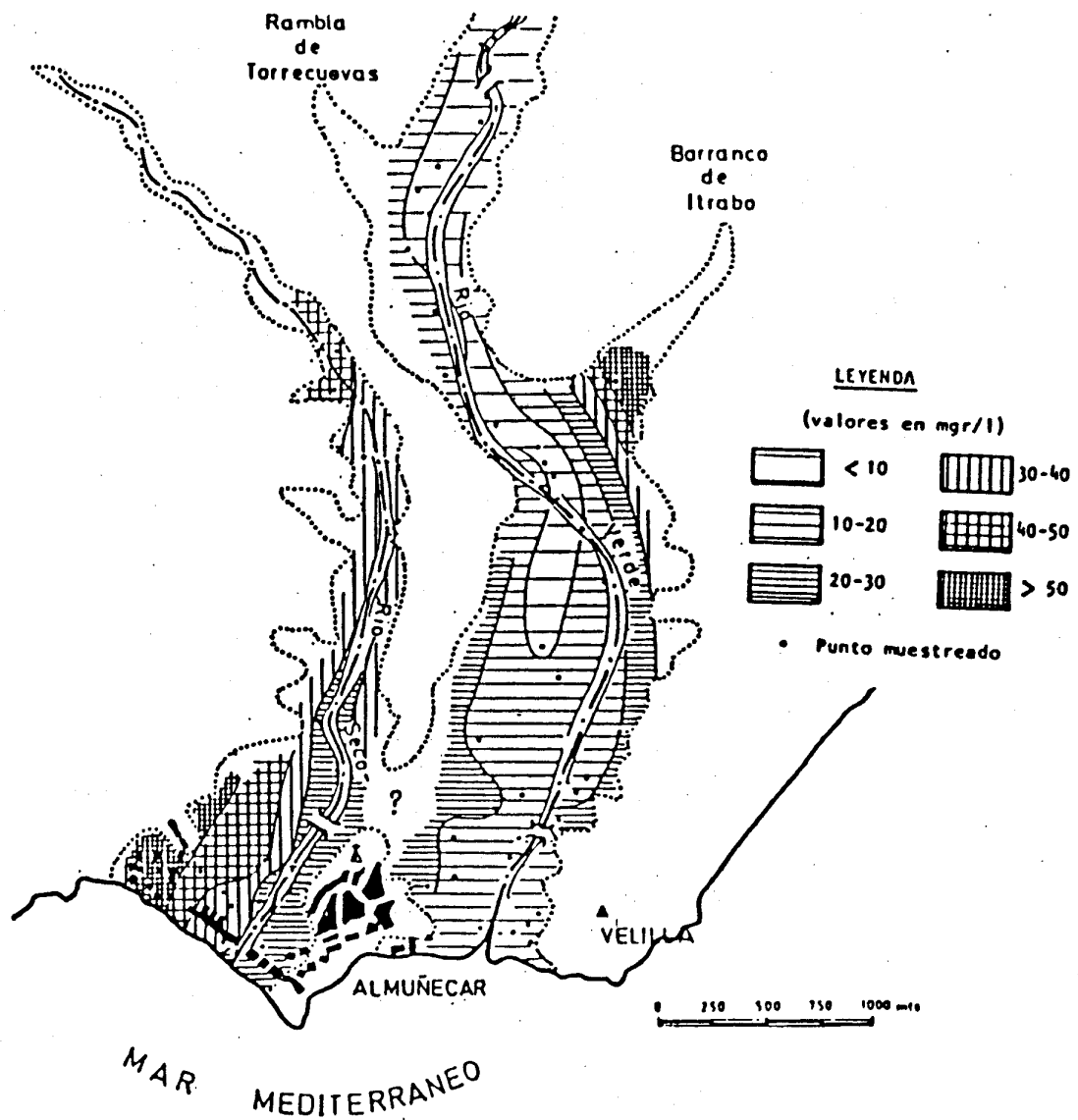


ACUIFERO DE ALMUÑECAR  
ISOCONDUCTIVIDADES (octubre 1974)

Fuente: Benavente, (1982); con datos del IGME

Figura 33

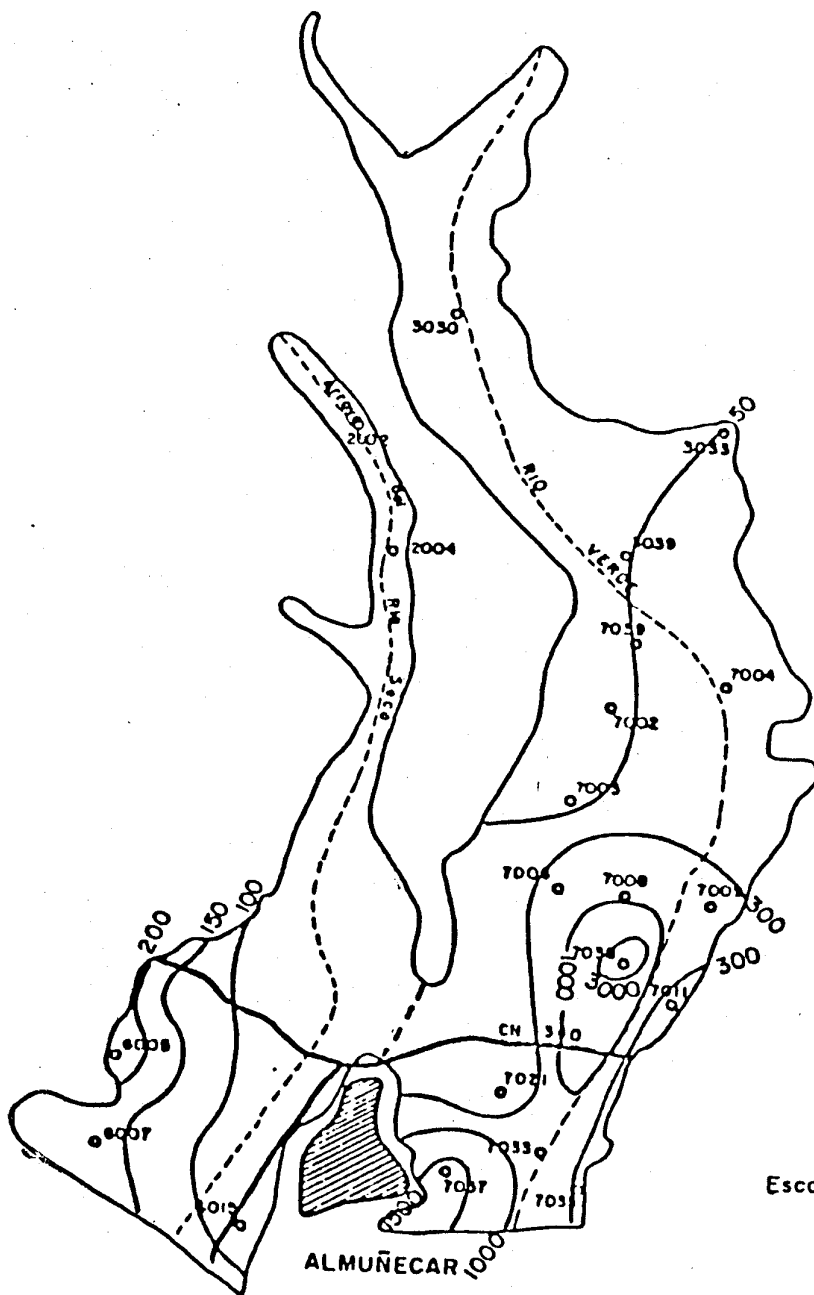




ACUIFERO DE ALMUÑECAR  
ISOCLORUROS (octubre 1974)

Fuente: Benavente, (1982); con datos del IGME

Figura 34



Escala 1:25 000

- 200 — Línea de igual contenido en cloruros (mg/l)
- o Punto de control
- Posible barrera a la circulación del agua

ACUIFERO DE ALMUÑECAR  
 ISOCOLORUROS (noviembre 1982)

Figura 35

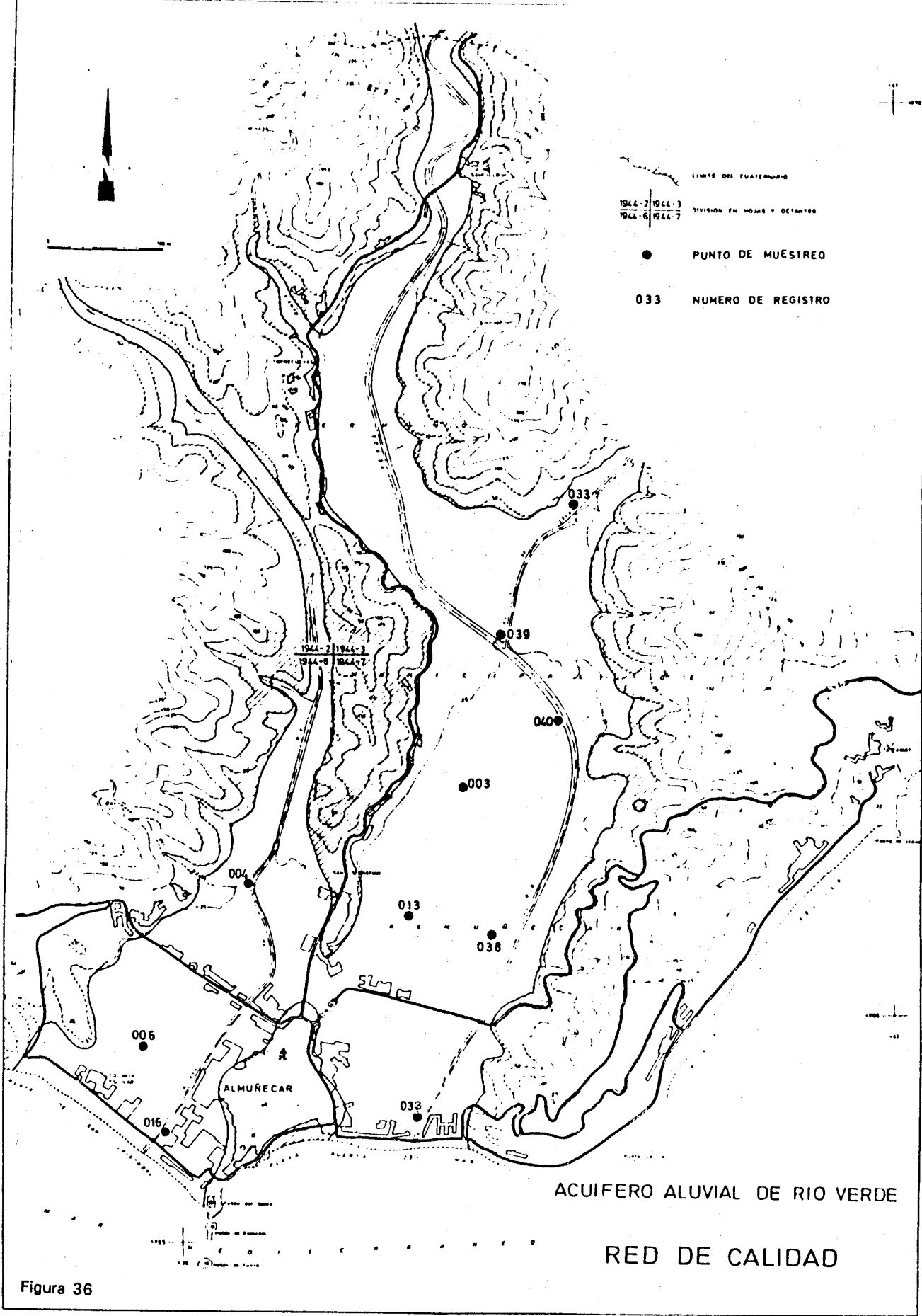


Figura 36

### 5.7.2.- Principales características hidrogeoquímicas del acuífero.

Las características hidrogeoquímicas que se comentan a continuación se refieren a los muestreos efectuados entre los años 1974 y 1983, periodo del que se dispone de mayor volumen de datos.

En los últimos años, se producen variaciones cíclicas en la calidad química de las aguas, a causa de los procesos de intrusión de agua del mar en el acuífero debidos a los intensos bombeos a que se somete el mismo en los meses de estiaje, recuperándose posteriormente los niveles de calidad anteriores al decrecer los bombeos y producirse las primeras precipitaciones importantes en la cuenca.

En la Figura 37 se representan mediante diagramas de Stiff los resultados de un muestreo realizado por ENADIMSA-IGME en octubre de 1974. Puede observarse cómo la facies predominante en casi la totalidad de las muestras es bicarbonatada magnésico-cálcica, como corresponde a aguas poco cargadas en sales y con alimentación mayoritariamente procedente de los materiales carbonatados alpujárrides, de la cabecera del río Verde.

En el plano de las isoconductividades presentado en la Figura 33, se observa que las aguas de la cuenca del río Seco están más cargadas en sales que las del río Verde. También puede observarse cómo el sector que, a grandes rasgos coincide con el eje del río Verde, es donde las aguas presentan una menor mineralización, aspecto que se repite en el tramo final del río Seco. Este hecho parece justificable por las características hidrodinámicas de los cauces, que actuarían como colectores de aguas de crecidas. En ambas cuencas, los valores más elevados de mineralización están relacionados con la inmediata cercanía a los bordes metapelíticos.

En la Figura 38 se han representado los valores analíticos obtenidos en Junio de 1981 por BENAVENTE mediante diagramas de Stiff. Al comparar este plano con el presentado en la Figura 37, se observa un incremento generalizado de las sales disueltas en el agua.

En cuanto a la calidad para consumo humano, en condiciones normales, en que no se produzca intrusión en el acuífero, las aguas subterráneas son en general de buena calidad y aptas para el consumo humano, si bien algunos puntos superan los máximos recomendables por su contenido en ion magnesio y/o nitratos.

En los muestreos realizados en 1990 y 1991, durante los meses de Octubre y Noviembre, la mayoría de los puntos muestreados no eran aptos para el consumo humano por superar los topes de calidad en una serie de iones como  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{CO}_3\text{H}$ ,  $\text{Cl}$  y  $\text{Mg}$ .

Con respecto a la calidad de las aguas para riego, éstas son aptas para ese uso, presentando moderado peligro de salinización del suelo y bajo peligro de alcalinización.

Hay que señalar el problema de salinización del suelo que se produce al regar con aguas altamente salinas en los meses en que la intrusión marina es patente.

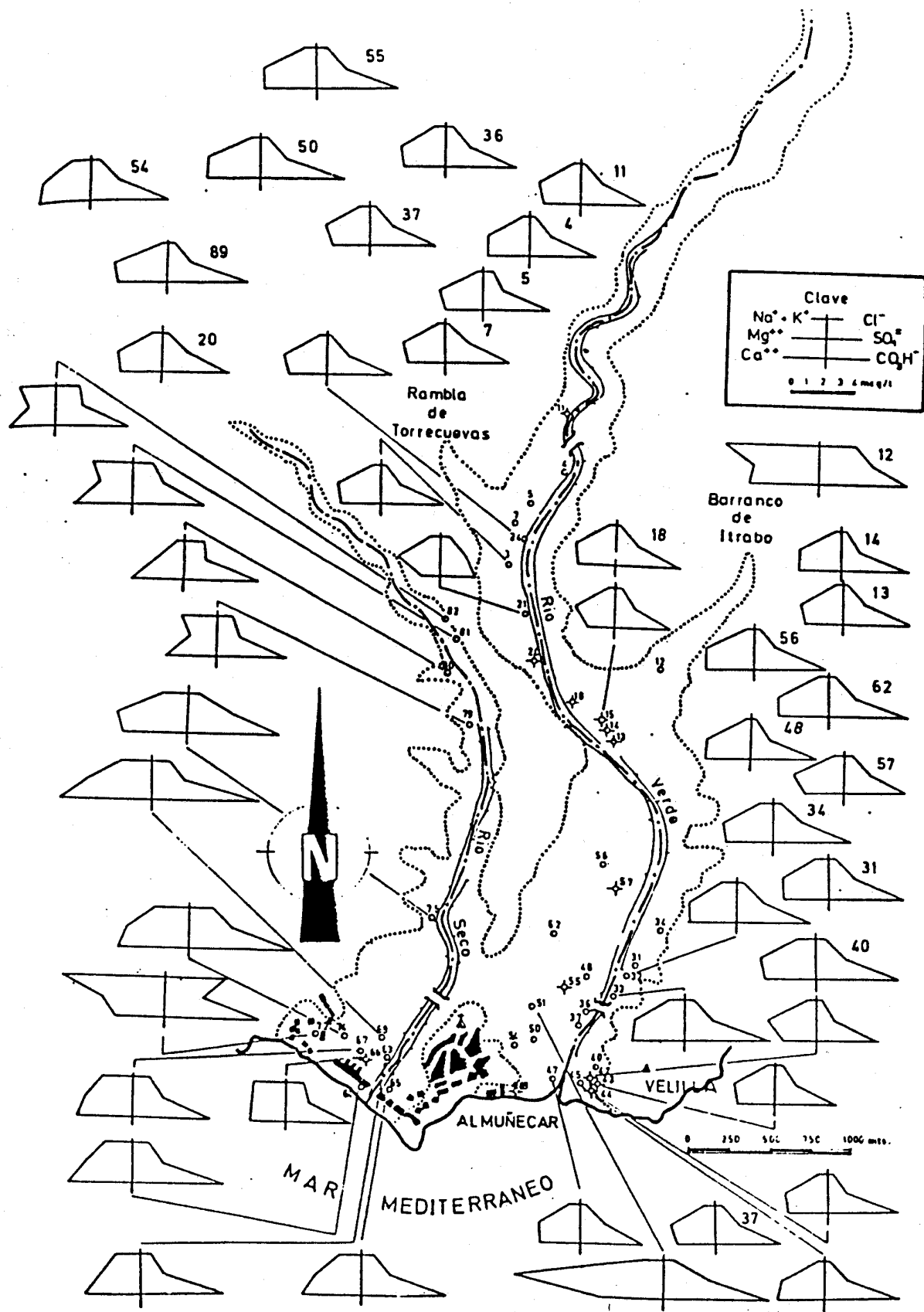


Figura 37: Diagramas de STIFF (Octubre 1974) (Fuente: BENAVENTE, FERNANDEZ RUBIO Y PULIDO, 1982. Con datos del ITGE).

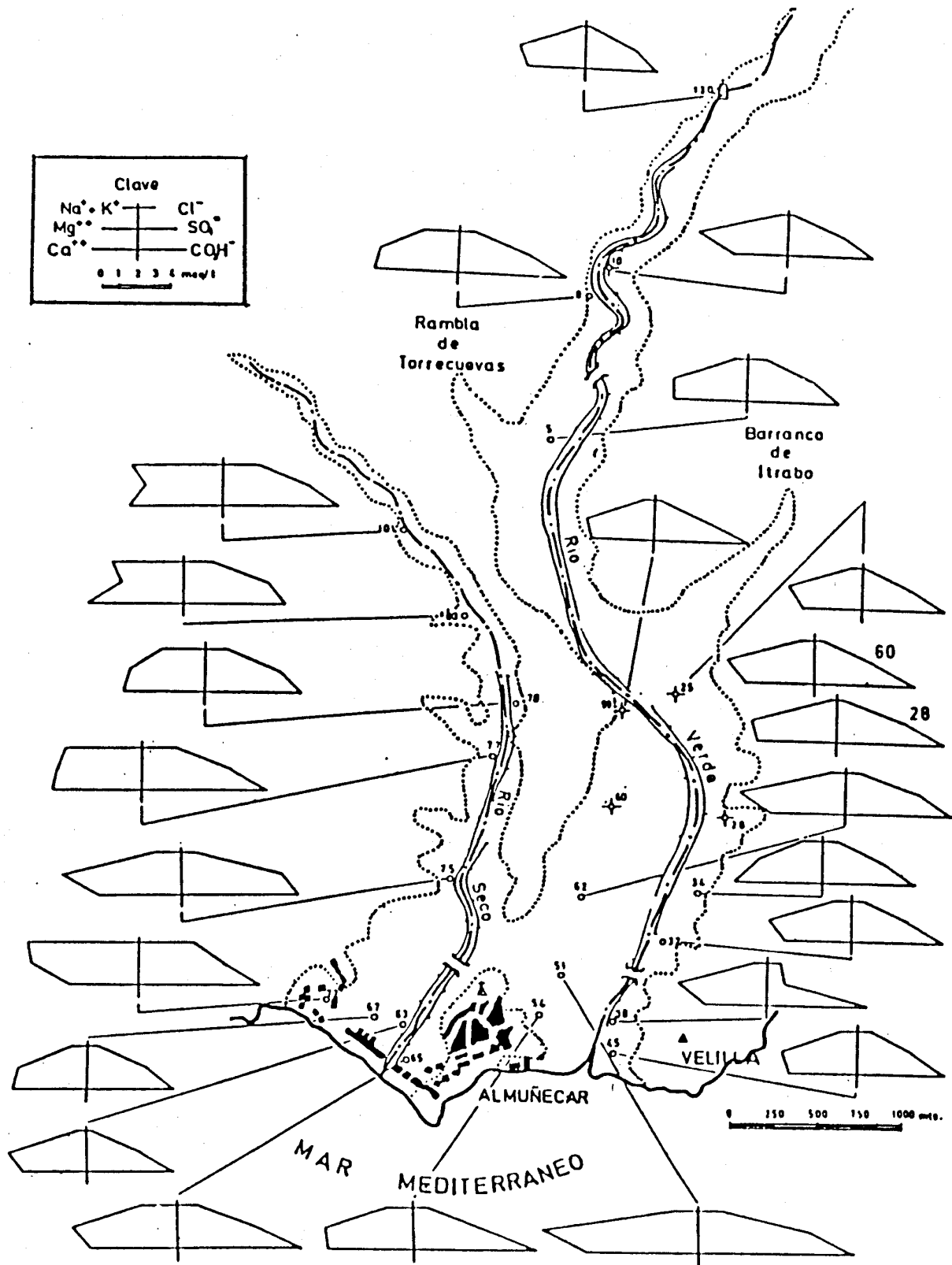


Figura 38: Diagramas de STIFF (Julio 1981) (Fuente: BENAVENTE, 1982).

## 5.8.- INTRUSION MARINA

El acuífero de la vega de Almuñécar, como puede deducirse de todo lo descrito anteriormente, se encuentra sometido a un proceso de sobreexplotación estacional, a causa de que las extracciones se concentran fundamentalmente en los meses de estiaje, en los que, por otra parte, las precipitaciones son muy escasas. A partir del otoño, y con el comienzo de las primeras precipitaciones, disminuyen drásticamente las extracciones, y el acuífero pasa a ser excedentario, de manera que existen importantes salidas subterráneas de agua dulce al mar.

Durante el estiaje, los niveles piezométricos alcanzan cotas inferiores al nivel del mar, especialmente en el sector central del acuífero, donde se concentran la mayoría de los sondeos. Esto provoca una inversión de gradientes con la consiguiente invasión del acuífero de una cuña de agua marina, llegando a detectarse importantes incrementos en la proporción de cloruros en puntos situados hasta 2 km. de la línea de costa.

FERNANDEZ RUBIO en 1986 describió con detalle el proceso de intrusión que, de manera estacional, se produce en el acuífero de Almuñécar.

A grandes rasgos, consiste en un proceso de salinización-desalinización, en el que la interzona se desplaza tierra adentro con una clara componente horizontal, y se retira mediante un proceso simétrico, de tal manera que el hecho habitual de que una intrusión salina es prácticamente irreversible, o sólo se consigue recuperar parcialmente tras un largo periodo de recarga, no se cumple en este caso. La causa se debe a la muy elevada permeabilidad del sistema acuífero, y al funcionamiento hidrodinámico del mismo, tipo "pistón", en el cual la intrusión avanza a causa del gradiente inducido por los bombeos y retrocede del mismo modo ante la recarga aguas arriba (Figura 39).

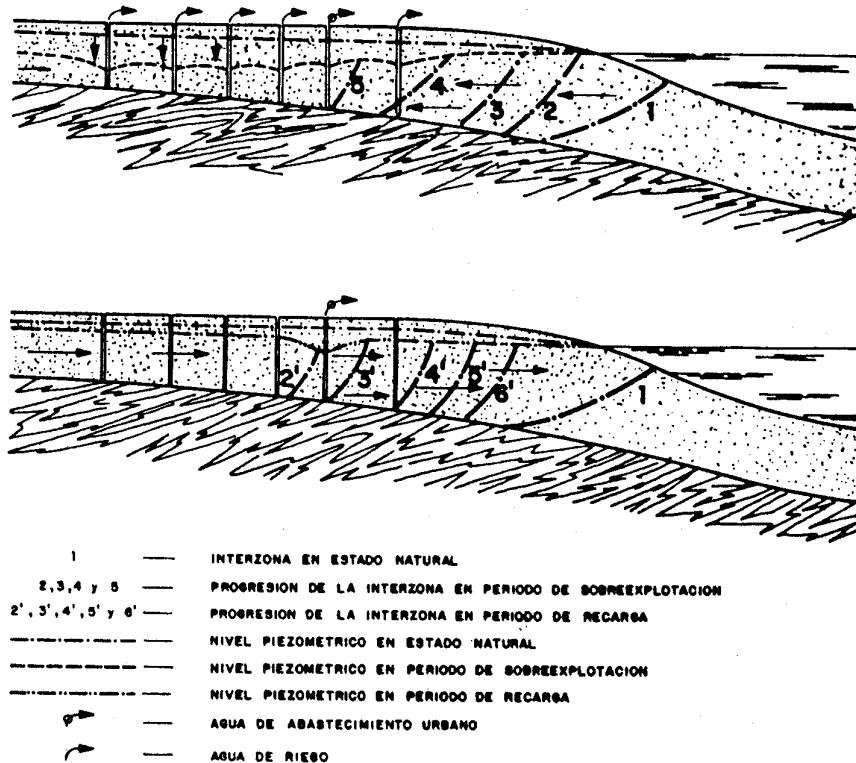


Figura 39: Evolución esquemática del proceso de salinización-desalinización en el acuífero aluvial del río Verde (Fuente: FERNANDEZ RUBIO, 1986).

En 1988, FERNANDEZ-RUBIO confirmó el funcionamiento descrito anteriormente basándose en el estudio de la evolución de cloruros en los sondeos de abastecimiento a Almuñécar (Figura 40), y puso de manifiesto que la explotación del acuífero viene consumiendo, no sólo recursos, sino también reservas, lo que supone una degradación paulatina de la calidad del acuífero año tras año por la intrusión marina provocada, con periodos cada vez más cortos de recuperación parcial y contenido cada vez mayor de sales

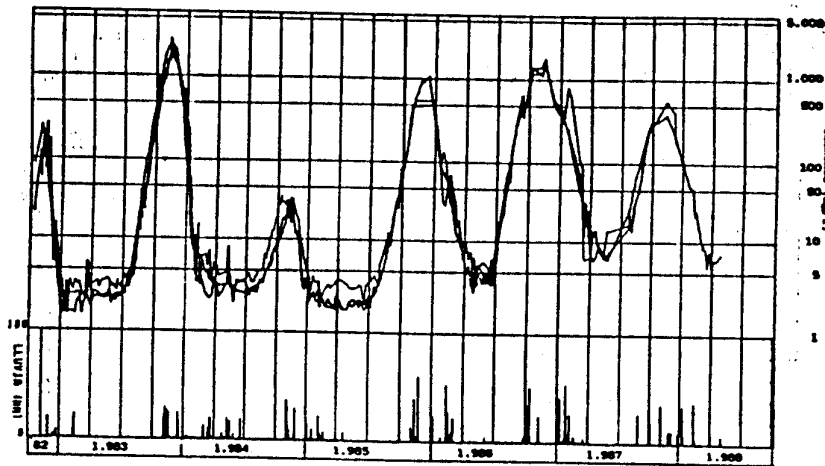


Figura 40: Variación a lo largo del tiempo, del contenido en cloruros en los sondeos de abastecimiento de Almuñécar (expresado en escala semilogarítmica) (Fuente: FERNANDEZ RUBIO et al. TIAC 1988).

CALVACHE, en 1989 y 1991, con motivo de su tesis de licenciatura y posteriormente de su tesis doctoral, modelizó el proceso de intrusión marina en el acuífero de Almuñécar mediante simulación matemática, obteniendo entre otras las siguientes conclusiones:

- Para un mismo año, en el periodo que comprende desde Abril a Junio, la interfase puede sufrir un avance de 800 m. tierra adentro, mientras que desde principio a final del estiaje, su avance no progresa más de 200 m.

- Tomando una escala de tiempo mayor, se observa un avance de la interfase tierra adentro próximo a 200 m. cada año respecto a la misma época del año anterior.

- Se aprecia la aparición de conoides de agua salada localizados bajo los puntos de máxima extracción. Los conoides de agua salada incrementan progresivamente su dimensión a medida que pasan los años.

- El proceso de intrusión marina es más marcado en los sectores de mayor transmisividad del acuífero.

- La zona de mezcla entre agua dulce y agua salada en la época húmeda es muy estrecha, mientras que durante el estiaje se ensancha notablemente.

- Los resultados de una hipotética recarga artificial en el acuífero, encaminada a paliar la contaminación por intrusión marina, únicamente serían efectivos si la recarga se produce durante el periodo en que está ocurriendo la entrada de agua salada al sistema. Si esta actuación artificial se llevase a cabo durante la estación húmeda, sería un proceso poco útil, dado el escaso poder retentivo que se comprueba para el sistema.



Dentro de la cuarta fase del "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes", el ITGE programó para los años 1986 y 1987 el análisis de la evolución de las concentraciones de cloruros y la conductividad en aquellos acuíferos costeros que ya años anteriores habían presentado problemas de intrusión.

En el acuífero del río Verde de Almuñécar, se controlaron 5 puntos durante los meses de Abril, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre (Figura 41).

En 1986 se constató claramente el proceso de intrusión marina; al comparar los datos obtenidos con los existentes del año 1984 se observó que el grado de intrusión había sido superior.

En el punto 1944-7-003, situado en la zona media de la vega de Almuñécar, comenzó a detectarse la intrusión en el mes de Agosto, alcanzándose los mayores valores de cloruros y conductividad en Diciembre.

Lo mismo ocurrió en el punto 1944-7-038, que está situado bastante más cerca de la línea de costa pero del que no se extrae caudal alguno. Este punto presentó valores de conductividad durante todo el año comprendidos entre 1000 y 4000  $\mu\text{mhos/cm.}$ , y de cloruros entre 200 y 1000 mg/l, estos valores comenzaron a elevarse a partir de Agosto, hasta alcanzar más de 20000  $\mu\text{mhos/cm}$  y alrededor de los 15000 mg/l respectivamente durante el mes de Septiembre, manteniéndose hasta Diciembre en cifras semejantes.

En el año 1987 se observó que el grado de intrusión durante el estiaje había sido notablemente inferior al del año anterior, a causa de las altas precipitaciones registradas durante ese año.

## 5.9.- DISCUSION SOBRE LAS POSIBILIDADES DE ACTUACION

En este apartado, expondremos brevemente las posibles soluciones que se vienen barajando para atajar el problema de la intrusión marina en el acuífero de Almuñécar, o bien para asegurar las dotaciones de agua existentes y futuras mediante aportes de cuencas adyacentes excedentarias.

La mayoría de las posibilidades de actuación existentes fueron descritas por FERNANDEZ-RUBIO en el Congreso sobre Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros (TIAC'88) celebrado en Almuñécar en 1988. A continuación comentamos las que nos parecen más interesantes:

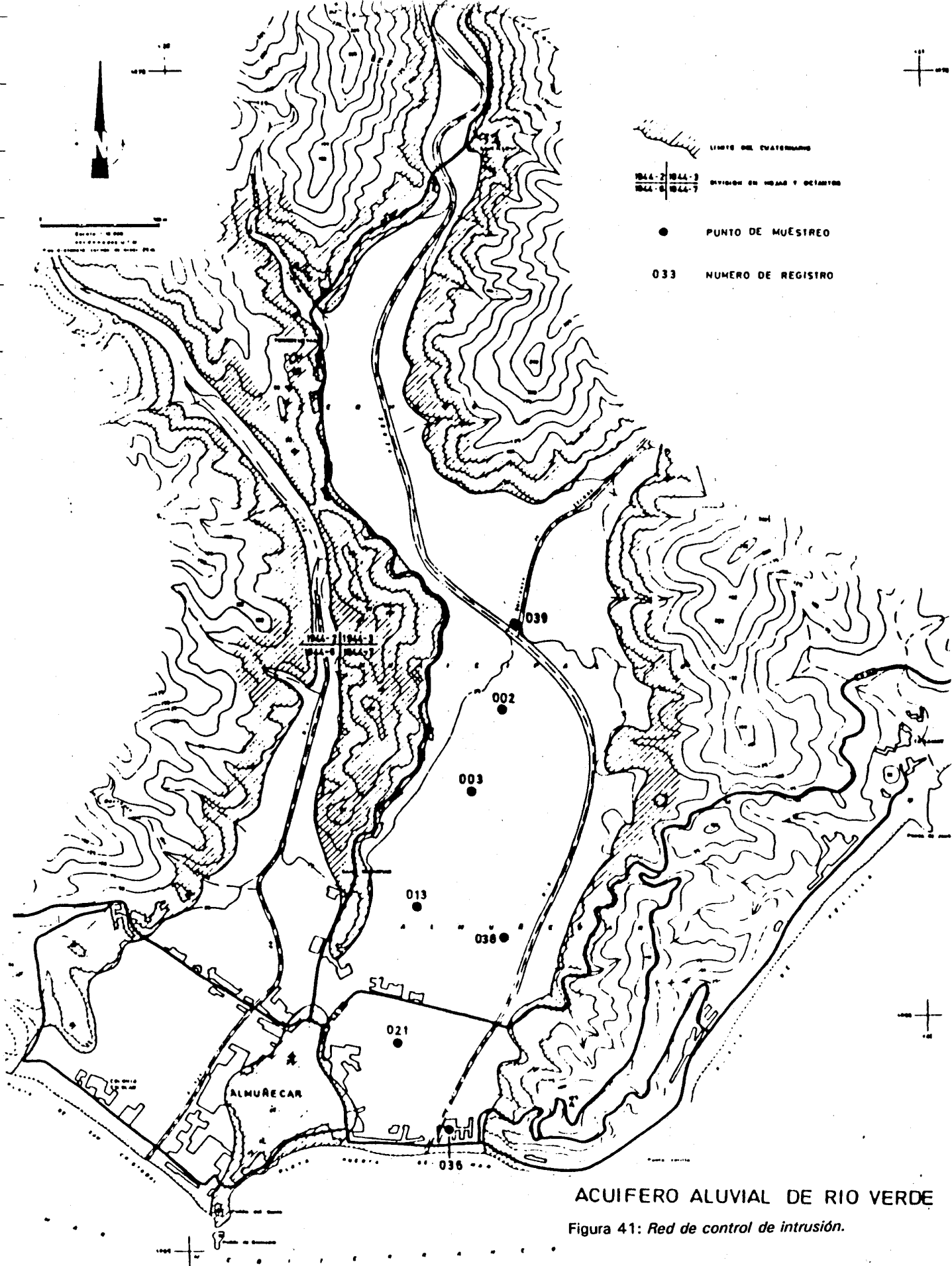
-Prohibición de apertura de nuevas captaciones y reducción de los volúmenes de extracción actuales

El volumen a extraer del acuífero en condiciones normales debe ser del orden de 7  $\text{hm}^3/\text{año}$  en años de pluviometría media, y menor en los secos (4  $\text{hm}^3/\text{año}$  en los muy secos) de forma que se permita un excedente anual de 2  $\text{hm}^3/\text{año}$  hacia el mar.

-Regulación del río Verde en cabecera.

Ofrece dos posibilidades, la regulación del río Verde mediante la ejecución de la presa de Otívar, y la regulación mediante sondeos del acuífero carbonatado que ocupa la cabecera de la cuenca, descrito en los apartados anteriores.

La presa de Otívar, ofrece como perspectiva más interesante, la posibilidad de regular las frecuentes crecidas torrenciales que se producen en la cuenca. El principal inconveniente sería que ocasionaría una importante disminución en la recarga del acuífero procedente de las aguas aportadas por la cabecera de la cuenca, que, por otra parte, son la principal fuente de entradas al acuífero, como puede deducirse del balance expuesto en este trabajo. Una vez realizada la presa, habría que reducir en gran medida el volumen de agua extraída del acuífero, puesto que en caso contrario, se podría provocar una situación de intrusión marina permanente en el mismo.



ACUIFERO ALUVIAL DE RIO VERDE  
 Figura 41: Red de control de intrusión.

La segunda posibilidad ofrece, en principio, perspectivas mucho más interesantes, que habría que confirmar con un estudio detallado del acuífero de Sierra Almirante. Este acuífero se encuentra con unas cotas muy bajas de explotación, y la ejecución de sondeos en la cabecera de la cuenca podría aportar los caudales suficientes que permitieran disminuir las extracciones en el acuífero aluvial, con lo que se evitaría la intrusión durante los estiajes.

-Recarga artificial en el acuífero aluvial.

La recarga artificial con aguas excedentarias, pensamos que sería poco efectiva si se hace durante la estación húmeda, puesto que en esta época el acuífero ya es de por sí excedentario, con pérdidas de aguas subterráneas al mar. La recarga sólo podría servir para ayudar al lavado de sales depositadas en el estiaje durante la intrusión.

Más interesante sería la recarga mediante aguas residuales en la línea de costas para ayudar a frenar la intrusión creando una barrera de presión. Habría que conocer, en este caso, si se dispone de un volumen de aguas residuales suficiente, y si el acuífero en esta zona tiene suficiente poder de depuración y absorción.

-Trasvases de cuencas adyacentes excedentarias.

Los trasvases en zonas como el Sur de España con escasa pluviometría y donde el agua es muy valiosa, siempre presentan una serie de problemas sociales que obviamente hay que tener en cuenta.

Por supuesto, que si se consiguen trasvasar los caudales suficientes, bien sea de la cuenca del río de la Miel, del río Izbor (presa de Beznar) o del Guadalfeo, de una manera eficaz, las dotaciones actuales y futuras podrían solucionarse.

## **6.- RESUMEN**

A grandes rasgos, las principales aportaciones que pueden extraerse de este documento son las siguientes.

-En el capítulo de climatología, se han resumido y contrastado los datos aportados por los diferentes autores y organismos que han trabajado en el área, exponiéndose los principales resultados obtenidos por ellos.

- Se resumen una serie de datos de aforos efectuados en los principales manantiales situados en la cabecera de la cuenca del río Verde y en la galería de Las Angosturas durante los años 1983-84, 1985-86 y 1987. Además, se exponen datos de aforos realizados en los cauces del río Verde, que ponen de manifiesto las zonas donde existen aportes de aguas subterráneas, la infiltración que se produce a lo largo del río, y los puntos en los que se realizan las principales derivaciones de aguas superficiales.

-Se exponen los principales datos aportados por la estación de aforos de Cázulas, situada en la cabecera del río Verde.

-En el capítulo de hidrogeología, se resumen los datos y conclusiones existentes hasta hoy, y se han actualizado con los últimos datos disponibles.

-Presentamos un plano con la actualización de los puntos de inventario.

-Incluimos los datos procedentes del control de explotación de las aguas subterráneas entre los años 1984 y 1991, comprendidos entre 0,1 y 0,26 hm<sup>3</sup>/año para el aluvial del río Seco, y de 7,74 y 9,87 para el aluvial del río Verde. Durante los años 85-86, 86-87, 87-88 y 90-91 se incluyen además datos de caudales aportados por la galería de Las Angosturas.

-En relación con los parámetros hidráulicos del acuífero, se hace un compendio de los datos obtenidos por los diversos autores que han trabajado en el área hasta 1991. Los valores de transmisividades obtenidos oscilan entre los 390 y 35000 m<sup>2</sup>/día, las permeabilidades entre los 100 y 700 m/día, y los coeficientes de almacenamiento entre el 0,9 y el 10%.

-Se exponen una serie de planos de isopiezas referidos a aguas altas y bajas de los años 1974, 1981, 1984, 1986 y 1988, y se presentan los registros de los limnógrafos controlados por el ITGE entre los años 1983 y 1988.

-El balance hidráulico para el aluvial del río Seco estima unos recursos anuales medios de 2 hm<sup>3</sup>, y para el del río Verde de 9-14 hm<sup>3</sup>/año para la franja comprendida entre Las Angosturas y la línea de costas, y de 13-15 hm<sup>3</sup>/año si se considera todo el aluvial.

-Se resumen todos los datos de hidroquímica existentes desde 1974 a 1991, constatándose que, si bien en un principio las aguas tenían facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas y su calidad era excelente, con el paso de los años se producen de manera estacional en gran parte del acuífero cambios hacia facies cloruradas, volviendo en los meses de invierno a sus facies iniciales, y produciéndose años tras año un empeoramiento en la calidad química de las aguas, causado fundamentalmente por los procesos de intrusión marina.

-Se constata que el acuífero del río Verde está sometido a un proceso de sobreexplotación estacional, pasando a ser excedentario en las estaciones lluviosas.

-Se describen los procesos de intrusión marina que el acuífero sufre a partir de los datos y conclusiones aportados por otros autores, además de los prodentes de la red de control establecida por el ITGE.

-Se comentan brevemente las posibles soluciones que se vienen barajando para atajar el problema de la intrusión marina en el acuífero de Almuñécar, o bien para asegurar las dotaciones de aguas existentes y futuras.

-Por último, exponemos la necesidad de realizar estudios específicos que contemplen la repercusión que tendría la construcción de la presa de Otívar en el acuífero del río Verde; sobre la posibilidad de la regulación mediante sondeos de los acuíferos carbonatados de cabecera de cuenca; y de las posibilidades de recarga con aguas residuales en la zona de línea de costa.

## 7.-BIBLIOGRAFIA

- BENAVENTE, J.(1981): *Caracterización Hidrológica del alto río Verde (Otivar, Granada)*. Simp. Agua Andalucía, II: 556-578. Granada.
- BENAVENTE, J.(1982): *Contribución al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada 435 pp. Granada.
- BENAVENTE, J.; CALVACHE, M.L.(1988): *Estimación de la permeabilidad en el acuífero costero de Almuñecar*. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros 385-393. Almuñecar (Granada).
- BENAVENTE, J.; FERNANDEZ-RUBIO, R. y JALON MORENTE, M.(1984): *Intrusión marina en el acuífero costero del río Verde (Granada)*. Congreso Español Geología.IV: 75-86. Segovia.
- BENAVENTE, J.; FERNANDEZ-RUBIO, R. y PULIDO, A.(1982): *Estudio hidrogeológico de los ríos Verde y Seco en el término municipal de Almuñecar (Granada)*. Catedra de Hidrogeología. Informe inédito. 195 pag. Granada.
- CALVACHE, M.L.(1989): *Simulación del contacto agua dulce-agua salada en el acuífero del río Verde (Almuñecar, Granada)*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Granada 120 p. Granada.
- CALVACHE, M.L.(1991): *Simulación matemática del contacto agua dulce-agua salada en algunos acuíferos de la Costa del Sol*. Tesis doctoral, Universidad de Granada 317 p. Granada.
- CALVACHE, M.L.; BENAVENTE, J.(1988): *Nuevos datos sobre la geometría del acuífero costero de Almuñecar (Granada)*. Aportación al conocimiento de la porosidad eficaz y de las reservas. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. 375-384. Almuñecar (Granada).
- ESQUITINO, F. y FERNANDEZ-RUBIO, R.(1975): *Contribución al estudio hidrológico de los ríos Verde y Seco (Almuñecar, Granada)*. V Jorn. Min. Met.III:145-161, Bilbao (1975).
- FERNANDEZ-RUBIO, R.(1988): *Almuñecar-Intrusión salina. Soluciones a un problema*. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros 427-438. Almuñecar (Granada).
- FERNANDEZ-RUBIO, R. y JALON MORENTE, M.(1988): *Nuevos datos sobre el proceso: salinización-desalinización del acuífero aluvial de río Verde (Almuñecar)*. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. 413-425. Almuñecar (Granada).
- FERNANDEZ-RUBIO, R.; JALON MORENTE, M.; BENAVENTE, J. y FERNANDEZ LORCA, S.(1982): *Proceso de salinización-desalinización en el acuífero costero del río Verde (Almuñecar, Granada)*. Simp. Agua Andalucía. II: 303-313. Granada.

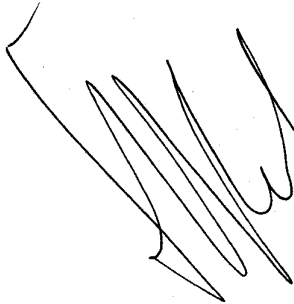
- GARCIA GARCIA, J.L.; OLLERO, E. y BENAVENTE, J. (1981): *Aplicación de un modelo matemático para comprobar las características hidráulicas de un acuífero aluvial (Las Angosturas, Jete, Granada)*. Simp. Agua Andalucía, II, 475-687, Granada.
- IGME (1985): *Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª y 2ª fase)*.
- IGME (1987): *Campañas de aforos diferenciales en el río Verde de Almuñecar durante 1986*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 286.
- IGME (1987): *Control de manantiales en las cuencas altas de los ríos Guadalfeo y Verde en 1985-86*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 289.
- IGME (1987): *Control de la intrusión marina en los acuíferos costeros de Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1986*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 291.
- IGME (1987): *Control de explotaciones de agua subterránea en los acuíferos detríticos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos (año 1985-86)*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 293.
- IGME (1987): *Control de la calidad de los acuíferos costeros de La Herradura, Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1986*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 296.
- IGME (1987): *Medidas y cálculo de las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos durante el último trimestre de 1986*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 308.
- IGME (1987): *Piezometría del acuífero costero de Almuñecar en 1985-1986*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 309.
- IGME (1987): *Control de la intrusión marina en los acuíferos costeros de Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 312.
- IGME (1988): *Control de la calidad de los acuíferos costeros de La Herradura, Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 316.
- IGME (1988): *Control de las explotaciones de agua subterránea en los acuíferos detríticos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos (observaciones correspondientes al año hidrológico 1986-87)*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 319.

- IGME (1988): *Medidas y cálculo de las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos costeros de Motril-Salobreña, Almuñécar y Gualchos durante el último trimestre de 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 325.
- IGME (1988): *Medidas de caudal en los manantiales de las cuencas altas de los ríos Guadalfeo y Verde durante 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 330.
- IGME (1988): *Inventario de puntos de agua en el acuífero de Almuñécar (piezómetros realizados por Comisaría de Aguas)*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 335.
- ITGE (1989): *Piezometría del acuífero costero de Almuñécar en 1988*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 342.
- ITGE (1989): *Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 1987-88*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 343.
- ITGE (1989): *Control de limnigrafos en el acuífero costero de Almuñécar. Resumen de las observaciones del periodo 1983-84/1987-88*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 344.
- ITGE (1989): *Cálculo de lluvia útil (según Thornthwaite) en las estaciones de: Almuñécar, Salobreña, La Mamola, Lentegí y Motril*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 353.
- ITGE (1990): *Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 1988-89*. Proyecto de actualización, infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988, 1989 y 1990. Bloque 3. Cuenca del Guadalfeo. Aixarquía. Nota técnica nº 358.
- ITGE (1991): *Evolución de la calidad hidroquímica en los acuíferos detríticos costeros de la provincia de Granada (La Herradura, Almuñécar, Castell de Ferro y Motril-Salobreña) durante los años 1987-88 y 1988-89*. Proyecto de actualización, infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988, 1989 y 1990. Bloque 1.- Redes de Control. Cuenca Sur-Sector Occidental. Nota Técnica nº 366.
- ITGE (1991): *Control de limnigrafos en los acuíferos costeros de la provincia de Granada (Almuñécar, Motril-Salobreña y Castell de Ferro) durante el año 1988-1989*. Bloque 3. Cuenca del Guadalfeo. Aixarquía. Nota técnica nº 369.
- ITGE (1991): *Control de extracciones de agua subterránea en el acuífero de Almuñécar durante el año hidrológico 1989-90*. Proyecto de actualización, infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988, 1989 y 1990. Bloque 1.- Redes de Control. Cuenca Sur-Sector Occidental. Nota Técnica nº 371.

**PULIDO, A. (1979 b): *Aportación al conocimiento de la hidrogeología de los Alpujárrides y sus bordes en el extremo occidental de Sierra Nevada*. Memoria (inédita) para la Fund. J. March. 189 pag. Granada.**

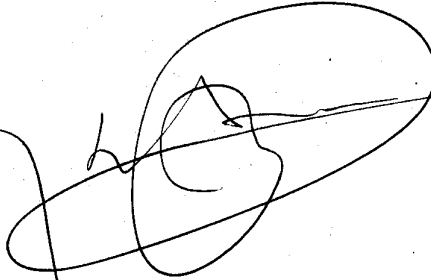


Vº Bº




Fdo: Juan Carlos Rubio Campos  
Oficina Regional de proyectos  
del ITGE en Granada.

**Autores del informe.**



Fdo: Antonio González Ramón



Fdo: Juan Antonio Lopez Geta  
Jefe del Area de Desarrollo  
Tecnológico de la Dirección  
de Aguas Subterráneas. Madrid



Fdo: Luis Linares Girela.  
Responsable por la  
empresa colaboradora.