

MEMORIA  
del  
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO  
DE ESPAÑA

---

Estudio hidrogeológico  
del  
Bajo Ampurdán (Gerona)

Contribución a la metodología de los  
estudios hidrogeológicos regionales

TEXTO

Por  
FRANCISCO JAVIER MARTINEZ GIL

---

TOMO 84

---

M A D R I D  
1 9 7 2

Instituto Geológico y Minero  
de España

Edita: Servicio de Publicaciones del  
Ministerio de Industria

Ríos Rosas, 23 - Madrid - 3

I. S. B. N.: 84 - 500 - 5541 - 5

Depósito Legal: M - 36.868 - 1972 (I)

---

Imprenta IDEAL - Chile, 27 - Teléfono 259 57 55 - Madrid-16

## INDICE DE CAPITULOS

	Págs.
Prólogo ... ..	9
Agradecimientos ... ..	11
Introducción ... ..	13

### PRIMERA PARTE

#### Reconocimiento hidrogeológico general del Bajo Ampurdán

Capítulo 1.—Datos generales ... ..	17
Capítulo 2.—Hidrología de superficie ... ..	35
Capítulo 3.—Geología ... ..	53
Capítulo 4.—Climatología ... ..	87
Capítulo 5.—Características hidrogeológicas generales de los terrenos precuaternarios ... ..	107
Capítulo 6.—Características hidrogeológicas generales de los terrenos cuaternarios ... ..	123
Capítulo 7.—Las reservas y los recursos en el Bajo Ampurdán.	151
Capítulo 8.—Hidrogeoquímica ... ..	171
Capítulo 9.—Consumos y demandas ... ..	191
Capítulo 10.—Balance hidrológico general ... ..	203

### SEGUNDA PARTE

#### Estudio hidrogeológico detallado del acuífero cuaternario de la Riera Grossa de Pals (Gerona)

Capítulo 1.—Estudio hidrogeológico del acuífero cuaternario de la cuenca de la Riera Grossa de Pals ... ..	215
--	-----



	Págs.
Capítulo 2.—Hidrodinámica y explotación posible del acuífero cuaternario de la Riera Grossa de País ... ..	249
Resumen y conclusiones ... ..	271
Bibliografía ... ..	283
Sumario ... ..	287

## P R O L O G O

La presente publicación constituye el trabajo de tesis de don Francisco Javier **MARTINEZ GIL**, realizado en el Departamento de Geomorfología y Tectónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona, bajo la dirección del Profesor don Luis **SOLE SABARIS**, para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Geológicas.

Este trabajo ha sido realizado y redactado entre los años 1966 y 1969. Fue defendido en la citada Universidad el 30 de junio de 1970, siendo miembros del Tribunal los Profesores: E. ALASTRUE (Univ. de Madrid), O. RIBA (Univ. de Barcelona), J. ROSELL (Univ. de Barcelona), L. SANCHEZ DE LA TORRE (Univ. de Oviedo) y L. SOLE SABARIS (Univ. de Barcelona); obteniendo la calificación de «Sobresaliente cum laudae».

Se consideran en este trabajo los recursos hidráulicos totales del Bajo Ampurdán ante un supuesto futuro de demandas en el que el potencial agrícola de dicha región se encuentre ya altamente desarrollado. Se consideran esas supuestas futuras demandas de agua de la región dentro de un amplio contexto hidráulico, del que forman parte, en primer lugar, la cuenca del río Ter (de 3.000 km<sup>2</sup> de extensión), en la que se ubica la región aquí considerada, y en segundo lugar, las necesidades de agua de Barcelona capital, que actualmente son, en buena parte, satisfechas mediante una importante obra de transvase que permite la derivación desde la cuenca del río Ter de un caudal de 250 hm<sup>3</sup>/año.

La sustracción a la cuenca del Ter de tan considerable volumen anual de recursos regulados puede llegar a plantear un importante problema al futuro desarrollo del potencial agrícola, ganadero e industrial de la cuenca media y baja del Ter, especialmente al Bajo Ampurdán. Aunque la importancia del problema es grande no por ello puede ser calificado de insoluble; sin embargo, su transcendencia económico-social exige que sea objeto de un detenido análisis.

En el estudio que aquí presentamos se analiza el papel que pueden

llegar a jugar los acuíferos aluviales y deltaicos de la cuenca media y baja del Ter en la optimación de los recursos hidráulicos totales explotables de toda la cuenca.

El presente trabajo ha sido galardonado con el **PREMIO ANTONIO JOSE DE CAVANILLES 1970**, que anualmente otorga el Consejo Superior de Investigaciones Científicas al mejor trabajo realizado dentro del campo de la Geología, de la Biología Vegetal y de las Ciencias Agrícolas, entre los jóvenes investigadores que preparan su paso a situación definitiva en organismos de investigación o docencia.

Su autor desea agradecer vivamente al Instituto Geológico y Minero de España, en la persona de su antiguo Director don Juan Antonio GOMEZ ANGULO, por la benévola acogida que en su día dispensó a este trabajo haciendo posible, merced a un generoso esfuerzo económico, su publicación y difusión.

## AGRADECIMIENTOS

Es para mí un gran honor presentar este estudio en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona a través del Departamento de Geomorfología y Tectónica, dirigido por el Doctor D. Luis SOLE SABARIS, para la obtención del título de Doctor en Ciencias Geológicas.

Quisiera que encontraran aquí la expresión de mi sincero agradecimiento junto al Doctor Solé Sabarís, DIRECTOR DEL ESTUDIO, todos mis antiguos profesores de la sección de Geología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona: D. Miguel CRUSAFONT, D. Manuel FONT ALTABA y D. Alfredo SAN MIGUEL, por la parte que les corresponde en mi formación científica y humana.

Igualmente, mi agradecimiento va a D. Louis GLANGEAUD, Profesor de la Universidad de París y Director del Laboratorio de Geología Dinámica de la Facultad de Ciencias, así como a los Señores Gilbert CASTANY y Gastón REMENIERAS, que han contribuido grandemente a mi formación hidrogeológica, tanto durante el curso 1965-66, con sus magistrales enseñanzas de Hidrogeología e Hidrología en las aulas de La Sorbona, como posteriormente con ocasión de diversos contactos personales.

Quiero también agradecer a GEOTECHNIP y al INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL de Francia por las sucesivas oportunidades que me han brindado para introducirme en el conocimiento de las técnicas fotogeológicas y fotogramétricas.

En cuanto a la realización del presente trabajo, quisiera ante todo agradecer vivamente al CENTRO DE ESTUDIOS, INVESTIGACION Y APLICACIONES DEL AGUA, a través de su Secretario D. Isidro APARICIO, por la magnífica acogida que dio a mi proyecto. Quiero agradecer al Centro la ayuda material y el apoyo económico que me ha dispensado, primeramente durante la mayor parte del tiempo de la realización del estudio y, posteriormente, durante la confección de esta Memoria. Sin esta ayuda y sin este apoyo no me hubiera sido posible presentar hoy este trabajo.

\* \* \*

Mi agradecimiento sincero va igualmente al SERVICIO GEOLOGICO del Ministerio de Obras Públicas, que a través de D. Ramón LLAMAS ha puesto siempre a mi disposición una información y unos datos que han constituido la base de una buena parte de los cálculos que realizamos en la Segunda Parte de este estudio.

Quisiera agradecer a SIPSA, en la persona de su Director General, D. Jorge FORNELLS, por la información desinteresada y abierta que me ha facilitado, poniendo a mi disposición los datos de más de 5.000 m. de sondeos mecánicos profundos de reconocimiento petrolífero realizados en la región objeto de este estudio.

MI agradecimiento va igualmente al INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZACION, a través de su Jefe de la Delegación de Gerona, D. Francisco VALL-LLOSERA, por la colaboración generosa que siempre me prestó. Los datos de los sondeos que me ha facilitado han sido muy interesantes para nuestro estudio.

Doy las gracias también a PROHIDRO, por la información hidrogeológica que sobre la región siempre me brindó.

Que encuentren igualmente aquí mi agradecimiento los diversos organismos de la Administración y empresas privadas que de uno u otro modo me han prestado algún servicio, particularmente la CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL PIRINEO ORIENTAL, el SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL y GENASA.

Quisiera agradecer la colaboración y ayuda, totalmente desinteresada, que en múltiples ocasiones me prestaron mis colegas y amigos D. José María y D. Segismundo NIÑEROLA.

Que D. Enrique ANTON reciba mi agradecimiento por las horas que ha dedicado con espíritu deportivo y dinámico a la realización de una gran parte de los dibujos que figuran en esta Memoria y en sus anexos. Que

reciban también mi agradecimiento por la parte que les corresponde en este trabajo: Mdme. TESSIER, dibujante del «Centre des Recherches Geodynamiques» de Thonon les Bains, y el grupo de delineantes de la Sociedad General de Aguas de Barcelona, que han colaborado en la realización de una buena parte de los dibujos.

Finalmente, quiero destacar la gran labor de apoyo moral que siempre me dispensó mi esposa durante los momentos de desaliento que han surgido a lo largo de todo el estudio.

EL AUTOR

## **I N T R O D U C C I O N**

### **FINALIDAD DEL ESTUDIO**

Con el presente trabajo se pretende ofrecer un ejemplo de estudio hidrogeológico regional realizado de acuerdo con los más modernos criterios y normas preconizadas al respecto. Con ello se pretende también prestar una contribución científica y técnica al DECENIO HIDROLOGICO INTERNACIONAL, que bajo el impulso de la U.N.E.S.C.O. dio comienzo en el año 1965.

Dado el reducido número de estudios hidrogeológicos regionales que han sido realizados hasta el presente en nuestro país (el comienzo de la preocupación general por estos temas ha sido, prácticamente, muy reciente), se aspira con este trabajo a CONTRIBUIR A LA DIFUSION Y ORIENTACION EN LA METODOLOGIA utilizada en este tipo de estudios.

Persiguiendo esta finalidad, en esta Memoria aparecen reunidas tanto las primeras tareas de inventario, reconocimiento y programación generales, como las tareas finales, más específicas, de explotación de un acuífero determinado mediante obras de captación racionalmente concebidas, proyectadas de acuerdo con los modernos criterios de la hidráulica subterránea.

### **POR QUE SE HA ELEGIDO EL AMPURDAN**

El Ampurdán es una comarca catalana, costera, en gran parte totalmente llana, que tiene 1.987 Km<sup>2</sup> de extensión. Está situada a unos 110 Km. al norte de Barcelona, siendo su límite septentrional la frontera francesa (consultar figuras 1.1 y 1.2).

El Ampurdán —que posee un potencial agrícola muy considerable, con posibilidades para más de 40.000 ha. de regadío— estará, en diciembre

de 1972 atravesado por la autopista mediterránea, en su tramo Barcelona-La Junquera.

Se trata de una comarca que por su situación y configuración geográfica, por sus excelentes medios de comunicación y por su riqueza natural en aguas creemos está llamada a desarrollar en pocos años su gran potencial agrícola, industrial y turístico.

En lo referente al potencial industrial, creemos que su desarrollo estará grandemente facilitado por la necesidad de descongestión de la industria emplazada en torno a Barcelona y a su zona de influencia, especialmente por aquella industria que necesita mayores consumos de agua.

Dado el carácter eminentemente práctico de una buena parte de este estudio, esperamos sea de interés para cuantos se preocupen por el conocimiento, explotación y utilización de los acuíferos de la región.

## **METODOLOGIA Y ESTRUCTURA DEL PRESENTE ESTUDIO**

La recopilación de datos y su elaboración, así como la redacción del presente estudio nos han ocupado desde octubre de 1965 hasta abril de 1969. Desgraciadamente, para su realización el autor ha tenido que luchar ante una falta de medios materiales y económicos casi total.

Los estudios hidrogeológicos regionales requieren —aun en su primera fase de reconocimiento general— un despliegue mínimo de material físico y humano considerable, del que puede dar idea la magnitud de los presupuestos que se dedican a los proyectos de este tipo actualmente en marcha en nuestro país. La condición de «amateur» de la Hidrogeología que nos hemos visto obligados a aceptar para poder presentarnos hoy como el autor de este estudio ha limitado muy sensiblemente la eficacia de nuestro trabajo y la rentabilidad del tiempo que le hemos dedicado.

El presente estudio consta de dos partes, claramente definidas, que han sido denominadas **Primera** y **Segunda**.

La **Primera Parte** se refiere al reconocimiento hidrogeológico general de una región de unos 500 Km<sup>2</sup> de extensión.

La **Segunda Parte** de este estudio se refiere al reconocimiento hidrogeológico de detalle de una pequeña subcuenca de la región, de unos 40 Km<sup>2</sup> de extensión. Aunque esta parte del estudio no forma cuerpo con el resto, fue realizado expresamente para el presente trabajo de tesis e incluida aquí por las razones ya expuestas en el apartado titulado «Finalidad del Estudio».

## **PRIMERA PARTE**

### **Reconocimiento hidrogeológico general del Bajo Ampurdán**

## **CAPITULO 1**

### **DATOS GENERALES**

- 1.1 DATOS GEOGRAFICOS**
- 1.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS GENERALES**
- 1.3 LA POBLACION**
- 1.4 ASPECTO ECONOMICO-SOCIAL**
  - 1.4.1 La agricultura**
  - 1.4.2 La industria**
  - 1.4.3 El turismo**

## 1.1 DATOS GEOGRAFICOS

### 1.1.1 SITUACION GENERAL

La región objeto del presente estudio tiene una extensión aproximada de 500 Km<sup>2</sup>. Se sitúa toda ella en la provincia de Gerona. Sus límites norte y sur son aproximadamente los paralelos de Sant Martí d'Empuries y Palamós; por el este limita con el mar Mediterráneo, y por el oeste el punto más occidental corresponde al municipio de Flassá. Comprende, por tanto, parte de las Hojas núms. 296, 297, 334 y 335 del Mapa Topográfico Nacional. Su centro geométrico está situado unos 30 Km. al E. de Gerona, unos 50 Km. al S. de la frontera francesa y unos 110 Km. al N. de Barcelona (figura 1.1).

### 1.1.2 EL AMPURDAN

Es una de las regiones más extensas de Cataluña; tiene una extensión de 1.987 Km<sup>2</sup>, correspondientes en su mayor parte a una superficie casi llana, que desde las estribaciones montañosas del Pirineo se continúa 30 Km. al sur hasta la terminación septentrional de la cordillera costera catalana.

Las tierras llanas del Ampurdán ascienden suavemente desde las playas y marismas costeras del este hasta las estribaciones montañosas del macizo de La Garrotxa y de la sierra de Valldeviá, situadas a unos 20 y 10 Km., respectivamente, al oeste (figura 1.2).

El macizo de Montgrí constituye un accidente geográfico importante, de 310 m. de altitud máxima, que divide al Ampurdán en dos partes:

a) La parte norte corresponde al llamado **Alto Ampurdán**; tiene una extensión de 1.285 Km<sup>2</sup> y está surcada por los ríos Muga y Fluviá. Su centro comarcal es Figueras (20.000 hab. aprox.).

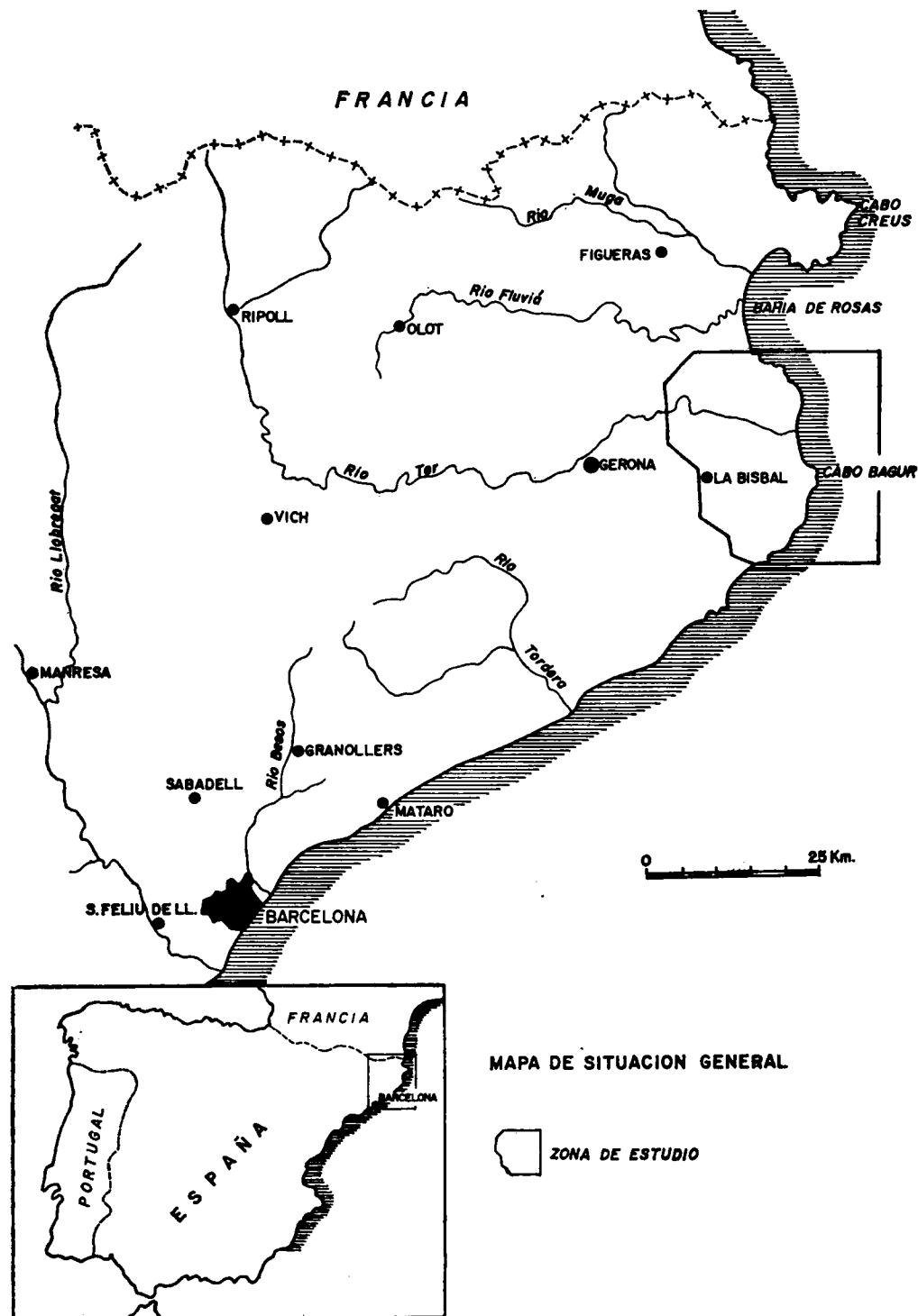


Figura 1.1

b) La parte sur corresponde al llamado **Bajo Ampurdán**; tiene 702 Km<sup>2</sup> de extensión. Sus límites norte y este (el macizo de Montgrí y el mar Mediterráneo, respectivamente) están perfectamente definidos desde el punto de vista morfológico; en cambio, los límites sur y oeste son más bien convencionales. Entre el macizo de Montgrí (al este) y la sierra de Valldeviá (al oeste) hay una zona intermedia: el corredor de Albons —a la que CARANDELL (1942-45) llamó «Meso Ampurdán»—, que también se incluye en el presente estudio. La hegemonía comarcal del Bajo Ampurdán se halla repartida entre Torroella de Montgrí, La Bisbal, Palafrugell, Palamós y Sant Feliú de Guixols. La Bisbal (6.000 hab.) es el único partido judicial.

### 1.1.3 EL BAJO AMPURDAN

#### 1.1.3.1 Descripción de sus unidades fisiográficas (figura 1.2)

Dentro del Bajo Ampurdán cabe distinguir con bastante claridad las unidades fisiográficas siguientes:

**El macizo de Bagur:** Constituye este macizo parte de la terminación septentrional de la cordillera costera catalana (figura 1.3). Tiene 325 m. de cota máxima; en él se ubican las más famosas y típicas playas de la Costa Brava.

**Las Gabarras:** Forma esta unidad montañosa un macizo paleozoico de formas seniles, totalmente ocupado por el bosque de alcornoques. Su punto culminante es el Puig d'Arques (531 m.). Forma parte también de la terminación septentrional de la cordillera costera catalana.

**El valle de Aro (o valle del Ridauro):** Corresponde a una depresión larga y estrecha situada en el límite sur de Las Gabarras, más allá de la cual comienza el macizo de La Selva.

**La depresión de Palafrugell:** Corresponde también a una depresión larga (14 Km.) y estrecha (3 Km.) que se encuentra situada entre Las Gabarras y el macizo de Bagur. Se extiende desde Pals a Palamós, constituyendo el camino natural de comunicación de la llanura ampurdanesa con los puertos costeros del sur: Palamós y Sant Feliú de Guixols.

**El Bajo Ter:** Designamos con este nombre una zona casi totalmente llana —situada por debajo de la cota 20 m.— que está regada por los ríos Ter y Daró.

**La sierra de Valldeviá:** Constituyen esta sierra un conjunto de suaves relieves, que en la zona de Colomers-Carrigoles-Ventalló forman las elevaciones que limitan claramente la extensión occidental de la llanura ampurdanesa; su altura máxima en nuestra zona de estudio es de 175 m.



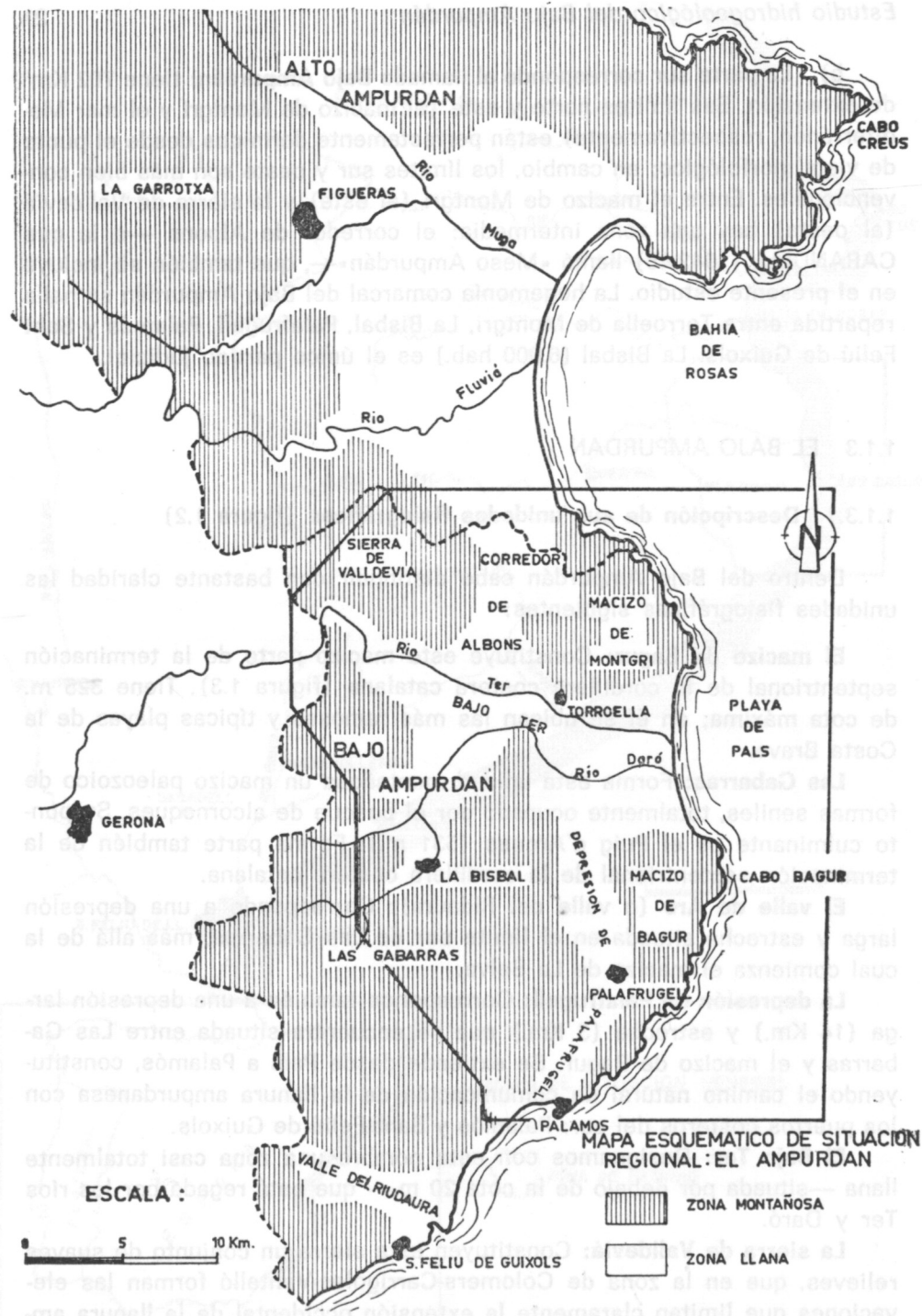


Figura 1.2

**El macizo de Montgrí:** Se eleva bruscamente al pie de la llanura, entre el Alto y el Bajo Ampurdán. Tiene 310 m. de cota máxima. Mar adentro se continúa por las islas Meda.

**El corredor de Albons:** Designamos con este nombre la depresión comprendida entre la sierra de Valldeviá y el macizo de Montgrí. Hidrográficamente corresponde a una zona mal definida, que se sitúa en el interfluvio Ter-Fluviá. Corresponde —como ya hemos dicho— al «Meso Ampurdán» de Carandell (1).

Frecuentemente, a lo largo de esta Memoria, al referirnos conjuntamente al Bajo Ter y a las tierras bajas del corredor de Albons utilizaremos los términos «La Plana» o «tierras bajas de la región».

### 1.1.3.2 El relieve

Con objeto de ser breves y expresivos en la descripción del relieve, se han dibujado en el mapa de situación local del anexo I todas las curvas de nivel superiores a la cota 20 m. con equidistancia de 60 m.

La cota 20 m. corresponde con gran aproximación al límite de lo que hemos llamado La Plana. Esta cota tiene un interés especial de cara a las posibles transformaciones en regadío a partir de las aguas rodadas del río Ter, puesto que constituye la cota del nivel medio de las aguas del río en la «cerrada» de Colomers. Aproximadamente 150 Km<sup>2</sup> de la región aquí estudiada están situados por debajo de dicha cota. La cota máxima de la región, el Puig d'Arques (531 m.s.n.m.), corresponde al macizo de Las Gabarras.

## 1.2 DESCRIPCION GEOLOGICA GENERAL

### 1.2.1 SITUACION (consultar figura 1.3)

Las grandes unidades geológicas del NE. catalán están constituidas por los Pirineos, la terminación septentrional de la cordillera costera catalana (constituida ésta por los macizos de Bagur y Las Gabarras), el macizo de la Garrotxa y la depresión tectónica del Ampurdán (estratigráficamente formada por un potente manto de materiales terciarios: eocenos y neógenos).

(1) Carandell (1942-45) al referirse al corredor de Albons lo designa a veces también con el nombre de «Ter Vell».

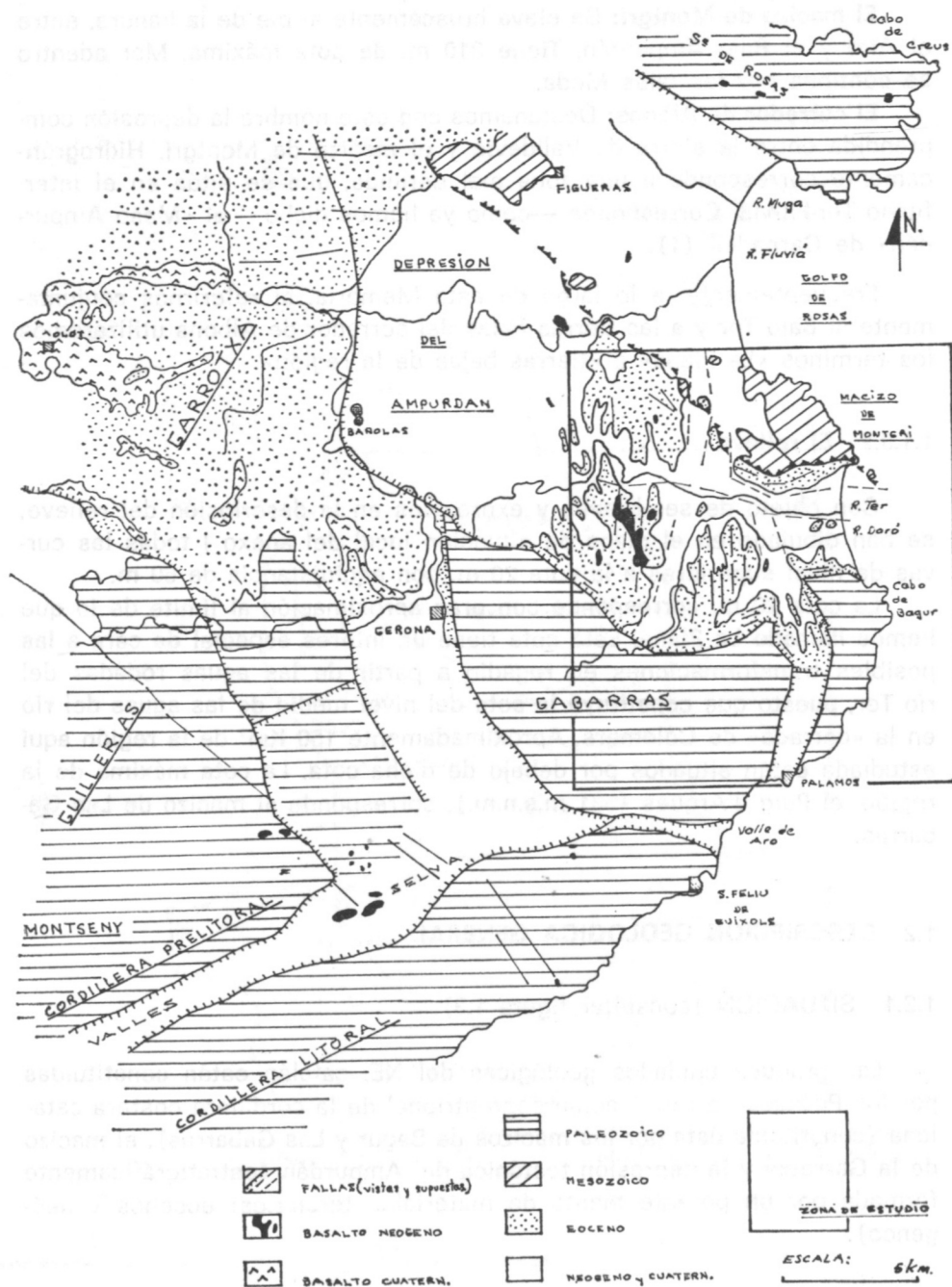


Figura 1.3

El eoceno de la depresión tectónica del Ampurdán se halla hundido por fallas entre la cordillera costera catalana (al sur), la masa paleozoica de la zona axial pirenaica (al norte) y los materiales eocenos de la zona montañosa del macizo de la Garrotxa (al oeste).

La región objeto del presente estudio se sitúa sobre la mitad sur de la depresión del Ampurdán y sobre el frente de la terminación septentrional de la cordillera costera catalana.

El zócalo de la depresión del Ampurdán se encuentra a profundidades del orden de los 2.500 m. (1). Sobre este zócalo reposan, plegados, los materiales eocenos, los cuales alcanzan espesores máximos claramente superiores a los 1.500 m. (2). Este potente manto de materiales eocenos se encuentra en su mayor parte oculto bajo una cobertera subhorizontal, constituida por materiales neógenos (marinos y continentales), cuyo espesor máximo probablemente supera los 1.000 m. (3).

Los depósitos neógenos de facies marina ocupan la mitad nororiental del Ampurdán; hacia el sur y hacia el oeste los depósitos marinos pasan lateralmente a formaciones de marcado carácter continental, según han mostrado claramente los hallazgos y determinaciones paleontológicas de una fauna mamífera descrita por RIBERA (1945) y VILLALTA (1948, p.p. 947 y 948).

Atravesando las formaciones eocenas existen numerosos testimonios de manifestaciones volcánicas, particularmente frecuentes en el Bajo Ampurdán (Parlabá, Foixá, La Pera, Casavells, etc.), cuya edad —en principio posteocena— ha podido a veces ser fijada con mayor precisión gracias a la presencia de sedimentos neógenos con fauna fósil, que localmente fosilizan alguna de estas manifestaciones volcánicas (consultar CRUSAFONT, M. 1958, p.p. 13 y 14).

Finalmente, en discordancia erosiva sobre las formaciones terciarias de nuestra región, existe un potente manto de materiales cuaternarios, de origen aluvial y deltaico, que con espesores frecuentemente superiores a los 40 m. cubre la casi totalidad de la mitad oriental del Ampurdán. En la región objeto del presente estudio este manto de materiales cuaternarios deltaicos ocupa toda la parte central, con una extensión aproximada del orden de los 120 Km<sup>2</sup>.

(1) Según se deduce de las medidas geofísicas profundas realizadas en estos últimos años para la investigación del petróleo.

(2) Según datos revelados por los sondeos mecánicos profundos y por el levantamiento cartográfico detallado de diversas series geológicas realizado a lo largo de este estudio.

(3) Actualmente se conocen espesores máximos superiores a los 600 m., según datos revelados por un sondeo mecánico realizado en Riumors.

### 1.2.2 CONSTITUCION GEOLOGICA DE LAS UNIDADES FISIOGRAFICAS DESCRITAS EN EL APARTADO 1.1.3.1 (consultar Mapa Geológico General en el anexo I)

El macizo de Bagur está constituido por pizarras, pizarras arenosas, pizarras lustrosas, calcoesquistos, calizas y mármoles, de edades silúrica y devónica, que en su conjunto forman un amplio sinclinal, cuyo flanco oriental está formado por un gran acantilado, en el que puede reconocerse una potente formación de calizas de unos 800 m. de espesor, sobre las que se ubican el observatorio meteorológico y el faro del cabo Bagur.

Las Gabarras —que constituyen junto con el macizo de Bagur la terminación septentrional de la cordillera costera catalana— están formadas por una potente serie de materiales paleozoicos de edad silúrica; se trata fundamentalmente de pizarras muy metamorfizadas, que contienen abundantes «manchas» de mica, pizarras lustrosas, pizarras arenosas y cuarcitas. Es de señalar la ausencia de calizas. Debido al intenso metamorfismo que han sufrido los materiales que constituyen este macizo, no se aprecia en ellos una estratificación demasiado evidente, aunque la presencia de numerosos bancos de cuarcitas denuncia un buzamiento general del macizo hacia el oeste (1). En el borde oriental del macizo (es decir, en la zona que limita con el corredor de Palafrugell) y en la cabecera de la cuenca del Daró afloran los materiales graníticos que constituyen el gran basamento de toda la cordillera costera catalana.

El valle de Aro constituye el límite sur del macizo de Las Gabarras; está totalmente excavado en terrenos graníticos; sus zonas bajas están colmatadas por un importante depósito de materiales cuaternarios de origen aluvial y deltaico, formado por arenas y limos arenosos de color gris azulado.

La depresión de Palafrugell —situada entre los macizos de Bagur y Las Gabarras— está constituida por un bloque de materiales eocenos, hundido e inclinado en la dirección sur-norte. A la altura de Pals (terminación septentrional de la depresión en su aspecto morfológico) el espesor del bloque eoceno es al menos superior a los 200 m., según deducimos

(1) Según deducimos de la observación fotogeológica del macizo, ya que se trata de una zona de denso bosque de alcornoques y maleza, que es en su mayor parte impenetrable.

de los sondeos mecánicos allí realizados. En ese mismo punto podemos estimar el salto de falla en unos 250 m.

El Bajo Ter y el corredor de Albons constituyen la parte más llana y topográficamente más baja de toda la región. Ambas zonas están situadas por debajo de la cota 20 m. Geológicamente es de destacar en ellas la presencia de un potente manto de materiales cuaternarios de naturaleza fundamentalmente deltaica, que ha sido depositado en su mayor parte sobre un basamento neógeno erosionado, al que fosiliza. Ocupan estos depósitos —junto con sus equivalentes del valle del Daró y de la depresión de Palafrugell— la casi totalidad de los materiales cuaternarios de toda la región, de la que constituyen el principal motivo de interés hidrogeológico.

El macizo de Montgrí está constituido en su totalidad por un potente y continuo afloramiento de calizas cretácicas que cubren una extensión visible de algo más de 40 Km<sup>2</sup>. Este macizo calcáreo emerge en medio de la llanura aluvial ampurdanesa como una enorme isla que la divide en sus dos mitades: el Alto Ampurdán (al norte) y el Bajo Ampurdán (al sur). En su conjunto presenta este macizo dos zonas de aspecto estructural y morfológico marcadamente diferentes; una de estas zonas —la que corresponde a la mitad occidental del macizo— se muestra intensamente plegada y fallada; la otra zona, la que corresponde a la mitad oriental, es de estructura geológica marcadamente más tranquila, así como de una morfología bastante más suave. La separación estructural de ambos conjuntos tiene lugar mediante una importante falla de dirección N-S., en la que se ha desarrollado un amplio valle que culmina en el llamado «coll de Les Sores», por el que ha podido remontar y atravesar el macizo la gran duna que aparece cartografiada en nuestro Mapa Litológico General del anexo I.

La sierra de Valdeviá corresponde al límite occidental de la zona de estudio. Geológicamente está formada por materiales eocenos, bastante plegados, cuyos niveles más altos están constituidos por elementos detríticos muy groseros, en los que abundan los cantos de calizas cretácicas. Esta zona ha sido objeto de una serie de trabajos de prospecciones petrolíferas por parte de la compañía concesionaria SIPSA, que culminaron con la realización de dos sondeos mecánicos de reconocimiento que alcanzaron profundidades de 1.680 y 3.319 m., cuya información geológica nos ha sido amablemente facilitada por dicha compañía. Estos sondeos, como se verá más adelante, en el capítulo 3, han revelado al parecer la existencia de una estructura geológica de profundidad bastante más compleja de lo que se había podido deducir hasta entonces a partir de las simples observaciones directas de campo.

### 1.2.3 ESTRUCTURA GEOLOGICA GENERAL

Se describen de modo muy general en este apartado los rasgos estructurales más característicos de la región, cuya presentación detallada aparece en el capítulo 3 (apartado 3.3).

Citaremos aquí como rasgo estructural de mayor envergadura dinámica la presencia de una importante escama de corrimiento procedente del norte, que afecta a todo el cuarto septentrional de la región. Está constituida esta escama por una gran masa de calizas cretácicas de más de 600 m. de espesor (1).

Forman parte de esta escama: la mole de calizas cretácicas del macizo de Montgrí, el basamento de los materiales neógenos que cubren la mitad norte del corredor de Albons y las calizas cretácicas que se apoyan en el reborde oriental de la sierra de Valldeviá, al NO. de Albons.

Por debajo de la escama descrita parece probable la existencia de una segunda escama (2), imbricada con ella, cuyo plano de deslizamiento se situaría en la zona de Viloprú-Colomers a profundidades del orden de los 3.100 m. (3).

La edad del momento de la «mise en place» de la escama cretácica del Montgrí aparece denunciada gracias a las indentaciones estratigráficas observadas entre unos materiales claramente postorogénicos y unos depósitos marinos eocenos, en los que la fauna fósil encontrada ha sido atribuida al Biarritzense-Ludiense.

Aparte de estos dos grandes accidentes tectónicos descritos, se puede citar aquí también el importante conjunto de fallas de dirección E.-O. que marcan la separación tajante (geológica y morfológica) entre la terminación septentrional de la cordillera costera catalana y el comienzo de la depresión tectónica del Ampurdán.

Citaremos igualmente la presencia de un importante sistema de fallas, de edad postorogénica y de dirección N.-S., que afectan sensiblemente a todos los afloramientos eocenos de la parte central de la región (Fontanilles, Llaviá, Paláu Sator, Peratallada, Ullastret, etc.) y que probablemente marcó la pauta en la labor erosiva que ha permitido llegar al modelado geo-

(1) Según referencias verbales recibidas de los datos de un sondeo profundo (número 29 del mapa litológico del anexo I) realizado por LECSA para la investigación del petróleo.

(2) O al menos una importante falla oblicua.

(3) Según datos revelados por el sondeo núm. 45, de 3.319 m. de profundidad.

gráfico actual de la región: depresión de Palafrugell, corredor de Albons, valle medio del río Daró, valle fósil de la riera Grossa de Pals, etc.

### 1.3 BREVE ASPECTO DEMOGRAFICO

La población total de la región es de 49.391 habitantes (1), lo que supone una densidad de 87 habitantes/Km<sup>2</sup> —repartidos en 35 municipios con arreglo a la distribución que se presenta en el cuadro I.

**C U A D R O I**  
DISTRIBUCION DE LA POBLACION POR MUNICIPIOS

Albons ... ..	645	Pals ... ..	1.760
Bagur ... ..	1.870	Palafrugell ... ..	11.300
Bellcaire ... ..	584	Palasator ... ..	443
* Casavells ... ..	265	* Parlabá ... ..	406
* Castell D'Empurdá ... ..	97	Peratallada ... ..	525
* Colomers ... ..	287	Regencós ... ..	200
* Corsa ... ..	580	* San Sadurní ... ..	511
* Cruilles ... ..	616	Serra ... ..	280
Fontanilles ... ..	204	Torrent ... ..	228
Fonteta ... ..	396	Torroella de Montgrí ... ..	4.683
* Garrigoles ... ..	244	Ullá ... ..	400
Gualta ... ..	357	Ullastret ... ..	336
* Jafre ... ..	440	Ultramort ... ..	250
La Bisbal ... ..	6.022	Vergés ... ..	1.199
L'Escala ... ..	3.021	Vilademat ... ..	428
La Tallada ... ..	533	* Viloprfu ... ..	410
* Monells ... ..	255	* Vulpellach ... ..	447
Palamós ... ..	9.169		

TOTAL: 49.391

\* Según censo del año 1960. Los restantes municipios, según padrón de 1965 corregido para 1966.

Hay que señalar que las cifras que aparecen en el citado cuadro se alteran profundamente cada año debido a una fuerte afluencia turística que materialmente invade los núcleos costeros de la región durante los meses

(1) Según datos recogidos de los censos municipales de 1960 y 1966.

de julio y agosto. En el capítulo 9 (**Consumos y Demandas**) se trata detenidamente esta cuestión; allí se estima que la población permanente en los núcleos costeros durante el referido período estival es sin duda muy superior a las 50.000 personas.

#### 1.4 BREVE ASPECTO ECONOMICO-SOCIAL

Aunque no existe ningún estudio socio-económico detallado que afecte en particular a esta región, puede admitirse, sin embargo, que sus principales fuentes de riqueza están constituidas por la Agricultura, la Industria y el Turismo.

##### 1.4.1 LA AGRICULTURA

###### 1.4.1.1 Ocupación del suelo

Aproximadamente 45 Km<sup>2</sup> de la región son eriales o suelos ocupados por una vegetación arbustiva de monte bajo, que puede calificarse de maleza; corresponden en su mayor parte al macizo calcáreo de Montgrí, a las playas y marismas costeras.

El **bosque de alcornoques** ocupa toda la zona de Las Gabarras y una parte importante del macizo de Bagur. El bosque de pinos cubre la casi totalidad del macizo de Bagur, los campos de dunas y de la sierra de Valldeviá. En el dominio de los **cultivos** cabe hacer la distinción entre las tierras de La Plana (1) y las de la franja de terreno comprendida entre esta última y el dominio del bosque. Los cultivos dominantes en La Plana (cuya extensión aproximada es de 150 Km<sup>2</sup>) son: el trigo, la alfalfa y el maíz, que en partes aproximadamente iguales cubren el 75 por 100 de estas tierras; el 25 por 100 restante está dedicado a cultivos secundarios, entre los que cabe destacar: el arroz, los árboles frutales y los nabos forrajeros.

El **arroz** tuvo durante muchos años un lugar destacado, siendo el dominio de las tierras pantanosas de la región, tierras que en general no eran aptas entonces para otro tipo de cultivo. El cultivo del arroz imprimió durante siglos un carácter especial a la agricultura de la región. Existieron tres famosos molinos arroceros: los de Pals, Belcaire y Torroella de Montgrí, que eran movidos por las aguas del Ter, que corrían a través de im-

(1) Nombre comarcal que se da a las «tierras bajas», es decir, a la parte de la región situada aproximadamente por debajo de la cota 20 m.

portantes acequias, que hoy ya no son utilizadas más que para el riego. Se trata de los famosos Rec del Molí de Pals, Rec del Molí de Belcaire y Rec del Molí de Torroella, que arrancan de sucesivas presas de elevación del río Ter en Colomers, Canet de Vergés y Ullá (consultar Mapa de Situación Local en el anexo I). Todavía en el año 1957 la producción arroceras de la región alcanzaba los 12 millones de Kg. Se dedicaban en aquel entonces del orden de 1.750 ha. a este cultivo (según COMPTE: consultar SOLE SABARIS, 1958).

Los **frutales** en estos últimos cinco años han adquirido un auge extraordinario gracias a la introducción de modernos métodos de cultivo, que permiten mecanizar la mayor parte de las faenas y defenderse de la acción de los fuertes vientos del norte (Tramontana).

En la franja de terreno comprendida entre La Plana y el bosque se cultivan los almendros, el olivo, los cereales y, localmente, la vid.

La unidad de superficie agraria utilizada en la región es la «vessana», que equivale a 2.187 m<sup>2</sup> (aproximadamente 4,5 vessanas equivalen a una hectárea).

###### 1.4.1.2 Breve aspecto agronómico

En líneas generales puede decirse que las tierras de La Plana son bastantes buenas y de elevada rentabilidad; a título informativo diremos que el maíz produce de 4.000 a 5.000 Kg/ha. y que la alfalfa en regadío permite realizar hasta seis cortes por año; igualmente, en lo que respecta al trigo, la rentabilidad es elevada.

Existe un detallado estudio (1) de la mayor parte de las «tierras bajas» de la margen derecha del Ter.

Las tierras bajas de la margen derecha y de la margen izquierda edafológicamente son muy semejantes, tanto por su posición fisiográfica como por su origen geológico y por los cultivos en ellas desarrollados. En general, se trata de suelos profundos; prueba de ello es el cultivo tradicional de la alfalfa y la adaptación tan extraordinaria que están verificando los frutales. Son suelos bastante arenosos. Al respecto, hemos tenido ocasión de observar que después de varios días de lluvia (o de precipitaciones de varias decenas de milímetros) a las pocas horas de cesar la lluvia la superficie del suelo aparecía totalmente libre de agua (salvo en algunos puntos excepcionales). GONZALEZ RUIZ en algunas mediciones realizadas sobre muestras da un valor de 35 mm/h. para la permeabilidad ver-

(1) GONZALEZ RUIZ (1965).



tical de estos suelos. El mismo autor clasifica estos suelos como franco-arenosos en su mayor parte, con una textura formada por un 30-60 por 100 de arena y un 20-40 por 100 de arcilla.

#### 1.4.1.3 Los regadíos

Una buena parte de las tierras de La Plana están en regadío, gracias fundamentalmente a las tres importantes acequias («recs») ya citadas, que toman sus aguas del Ter. Con aguas subterráneas actualmente se riegan también importantes sectores, que se reparten por las zonas bajas del Aubí, del Daró, de la Riera Grossa de Pals y de la Riera de Peratallada (además de la zona de Sta. Iscle y Canet de Vergés y de dos pequeñas zonas más, situadas al norte de Albons y en Torroella de Montgrí, respectivamente).

El relativamente escaso desarrollo alcanzado por el regadío con aguas subterráneas no tiene otra explicación que la existencia desde hace siglos del sistema de canales y acequias, que han llevado a la mayor parte de las «tierras bajas» las aguas rodadas del Ter.

En el Mapa de Situación Local del anexo I hemos dibujado de manera semiesquemática las zonas regadas con aguas subterráneas y el trazado de los principales canales y acequias que actualmente están en servicio. Estimamos que el conjunto de regadíos actuales supone un total probablemente inferior a 5.000 ha.

Existe un importante proyecto hidráulico que permitirá la puesta en regadío de la totalidad de las tierras bajas de la margen derecha del Bajo Ter. Este proyecto consiste, en esencia, en la construcción de una presa de elevación y de una serie de canales y acequias que llevarán las aguas del Ter a las tierras bajas de la margen derecha situadas aguas abajo de Colomers. El proyecto comporta una derivación de 8 m<sup>3</sup>/s., de los cuales 1 m<sup>3</sup>/s. estará destinado al abastecimiento de algunos de los principales pueblos de la costa, según consta en el informe.

La zona de influencia de dicho proyecto está esquematizada en el Mapa de Situación Local del anexo I. La presa del proyecto está situada en Colomers, unos cientos de metros más abajo de la antigua presa de Sentmenat. Su construcción está ya acabada, mientras que todavía no se han empezado los trabajos de la red de canales y acequias. Se trata de un proyecto de cierta envergadura económica, cuyo presupuesto es del orden de 450 millones de pesetas, de las que aproximadamente el 10 por 100 corresponde a la construcción de la presa.

Con posterioridad a este proyecto se hizo el estudio de GONZALEZ

RUIZ (1965) sobre la viabilidad de transformación de dicho proyecto (que suponía un regadío a partir de aguas rodadas) en otro proyecto basado en un regadío por aspersión. Los resultados parecen demostrar la viabilidad de tal transformación y su conveniencia desde el punto de vista económico.

Existe, además, un anteproyecto para la derivación (aprovechando la presa del proyecto anterior) de otros 8 m<sup>3</sup>/s. destinados a las tierras bajas de la margen izquierda.

Según veremos más adelante (capítulos 2, 7 y 10), LA PUESTA EN MARCHA DE LOS DOS PROYECTOS EXIGIRA LA REGULACION DE LA MAYOR PARTE DE LAS APORTACIONES TOTALES DE LA CUENCA DEL TER DE AGUAS ABAJO DE EL PASTERAL MEDIANTE LA CONSTRUCCION DE NUEVOS EMBALSES, A NO SER QUE SE TENGAN EN CUENTA OTRAS POSIBLES SOLUCIONES DE ORDEN HIDROGEOLOGICO, CUYA VIABILIDAD ES ESTUDIADA EN EL PRESENTE TRABAJO.

#### 1.4.2 LA INDUSTRIA

Aunque el Bajo Ampurdán tiene una agricultura rica y próspera, no por ello es una región eminentemente agrícola, puesto que las diversas actividades industriales dan empleo diario a unas 4.000 personas.

La industria más antigua es la alfarera (y la cerámica). Aparte de pequeñas industrias locales —diseminadas un poco por toda la región—, el único complejo digno de destacar dentro de esta actividad industrial es el de La Bisbal, que da empleo diario a más de 500 personas. Sin embargo, la industria de mayor pujanza es la del corcho y sus derivados.

A mediados del siglo pasado apareció como una explosión la industria corcho-taponera, y, en pocos años, pueblecitos situados al pie de Las Gabarras (como lo eran entonces Sant Feliú de Guixols, Palamós y Palafrugell) se convirtieron en centros de vida muy activa. A principios del presente siglo, aproximadamente la mitad de las fábricas corcho-taponeras de España (y la mitad de los obreros que estas fábricas empleaban) radicaban en el Bajo Ampurdán. Según CARANDELL, en 1930 el 18 por 100 de la población total de la región trabajaba en la industria del corcho. En la actualidad el número de puestos de trabajo en esta actividad es en nuestra región del orden de 3.500, de los que unos 1.200 corresponden a Palafrugell.

Ocupando posiciones claramente más secundarias está la industria del ramo de la confección (en La Bisbal) y la de salazón de pescados (en L'Escala y Palamós).

### 1.4.3 EL TURISMO

El impacto que causara en la vida social y económica de la región la aparición de la industria corcho-taponera lo está causando desde hace escasamente quince años la aparición de un nuevo fenómeno de nuestros tiempos: el TURISMO, no ya sólo por las nuevas industrias a que está dando lugar (industria hotelera e industria de la construcción), sino también por la profunda transformación que está provocando en la región: revalorización de ciertas tierras, reestructuración agraria, evolución de mercados, aumento considerable del nivel de vida, abandono del campo, etc.

Hemos estimado que la población permanente durante los dos meses de fuerte afluencia turística (julio y agosto) es, en la zona costera, sin duda muy superior a las 50.000 personas (frente a unas 30.000 durante el resto del año).

Este nuevo fenómeno ha creado un aumento muy considerable de las demandas de agua potable, las cuales han ido creciendo a ritmo acelerado de tal forma que en el momento actual EL ABASTECIMIENTO CORRECTO DE AGUA POTABLE CONSTITUYE UNO DE LOS PROBLEMAS MAS IMPORTANTES QUE LA REGION SE TIENE PLANTEADOS, puesto que ello condiciona su expansión turística y, por lo tanto, su desarrollo económico. Se trata de un problema acuciante que afecta no sólo a los núcleos costeros del Bajo Ampurdán, sino también a toda la Costa Brava en general.

## CAPITULO 2

### HIDROLOGIA DE SUPERFICIE

#### 2.1 DATOS HIDROGRAFICOS

#### 2.2 DATOS HIDROLOGICOS

##### 2.2.1 El Ter

##### 2.2.2 El Daró

## **2.1 DATOS HIDROGRAFICOS**

### **2.1.1 LA RED ACTUAL**

A grandes rasgos podemos hacer la distinción de tres unidades hidrográficas: La primera unidad estaría constituida por los ríos que surcan La Plana (principalmente el Ter y el Daró); la segunda, por los barrancos y torrentes que tras un recorrido de uno o dos kilómetros van a parar directamente al mar, y la tercera, por el conjunto de barrancos que desembocan en La Plana, donde la red se borra por completo, desapareciendo bajo los sedimentos cuaternarios más recientes.

### **2.1.2 LA RED EN TIEMPOS HISTORICOS**

Es creencia popular en la región que el Ter ha cambiado sucesivamente su trazado final a lo largo de los últimos siglos. Se cree que en una época el Ter tomó desde Vergés la dirección norte, yendo a desembocar, junto con el Fluviá, en la zona de Sant Martí d'Empuries y San Pedro Pescador, anegando de este modo el corredor de Albons. Se cree, igualmente, que en época diferente el Ter desembocó en L'Escala, atravesando las formaciones calcáreas del Montgrí por la zona de La Fornaca, donde actualmente desemboca el Rec del Molí de Belcaire. También es creencia popular que el Ter desembocó en L'Estartit.

La base de estas creencias, según hemos comprobado, la constituye principalmente la transmisión oral de padres a hijos. No obstante, existe también una serie de documentos históricos (consultar CARANDELL, 1942, p.p. 375-424) que nos hablan de importantes cambios en el curso de los principales ríos ampurdaneses: Muga, Fluviá y Ter, debidos a la intervención directa del hombre durante los dos últimos siglos (consultar COMPTE, 1963, p.p. 32-34).



Nuestra opinión al respecto es que dadas la extraordinaria baja pendiente de La Plana y la escasa profundidad del lecho del río, es perfectamente aceptable suponer que tales variaciones hayan podido producirse en épocas todavía históricas.

La presencia casi constante en el corredor de Albons de formaciones de arenas de tamaño medio hasta una profundidad del orden de 8 m. apoya desde un punto de vista más científico la posibilidad de tales variaciones del curso.

La existencia de un antiguo cauce del Ter —hoy día abandonado y colmatado— que desde Torroella de Montgrí se dirigiera a L'Estartit es perfectamente observable en las fotografías aéreas de la zona; corresponde a lo que las gentes del país llaman «Ter Vell» (1). Desde un punto de vista hidrogeológico la presencia de este paleocauce es evidente.

La presencia de antiguas masías, hoy día situadas en la margen izquierda de la desembocadura del Ter, que están construidas con piedras calizas y maciños del Eoceno Medio que afloran en la margen derecha, nos hacen pensar también que el «Ter Vell» debió existir como curso de agua en tiempos históricos bastante recientes.

En efecto, según PELLA y FORGAS (1833), el Ter habría discurrido por el corredor de Albons hasta el año 1302, fecha en la que el Conde Poncio Hugo d'Empuries mandó derivarlo hacia una importante acequia que desembocaba en aquel entonces en la playa de Pals. Parece deducirse igualmente de este documento histórico que ya en el siglo XVIII el Ter (que desembocaba en la playa de Pals) tenía dos brazos en su tramo final; uno que correspondería a la desembocadura actual y otro —que sería el que nosotros (y las gentes del país) llamamos Ter Vell— que desembocaría en L'Estartit. Entre ambos brazos existía una isla, que según PELLA y FORGAS fue coto de cacería real.

La desaparición por colmatación de todos estos posibles recientes cauces pueden explicarse por la acción del intenso y rápido terraplenado que los fuertes vientos del norte (Tramontana) han podido ejercer a expensas de las arenas finas y de los limos de la bahía de Rosas. A ello habría que añadir la labor modeladora del hombre y los cambios producidos en el lecho del río por efecto de las grandes avenidas.

---

(1) Hacemos observar que CARANDELL llama Ter Vell a lo que nosotros venimos llamando corredor de Albons. Las gentes del país generalmente entienden por Ter Vell este paraje de Torroella de Montgrí a L'Estartit; de aquí, pues, que nosotros respetemos la terminología local.



## 2.2 DATOS HIDROLOGICOS

Los cursos de agua más importantes de la región son el Ter y el Daró; los restantes cursos tienen una importancia menor y su influencia en la región es casi nula. Cabe únicamente destacar entre estos últimos la Riera Grossa de Pals (de 45 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica) y el Aubí (de 67 Km<sup>2</sup>).

En ningún punto de la región se verifica un control de caudales, lo cual se comprende, puesto que a excepción del Ter los restantes ríos apenas tienen importancia y sus regímenes no son permanentes. En el Ter, la estación de aforos más próxima a nuestra región, de las emplazadas sobre el curso principal, se encuentra en el embalse de Sau, a unos 50 Km. aguas arriba de Colomers.

### 2.2.1 EL TER

#### 2.2.1.1 Características generales de la cuenca (consultar figura 2.1)

Hasta su entrada en nuestra región (cerrada de Colomers; frente al pueblo del mismo nombre) el Ter tiene 2.933 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica.

En el embalse de Sau (de 145 Hm<sup>3</sup> de capacidad útil) se recogen las aguas de 1.524 Km<sup>2</sup> de cuenca, a los que recientemente hay que añadir un elevado porcentaje de los 133 Km<sup>2</sup> de la cuenca de la Riera Mayor, que van a parar a Sau mediante un túnel de transvase. Aguas abajo de Sau existe otro importante embalse: Susqueda (de 215 Hm<sup>3</sup> de capacidad útil), que recoge las aguas de 1.695 Km<sup>2</sup> de cuenca. Finalmente, en dirección de aguas abajo existen dos pequeños embalses más: Pasteral (I y II), cuya capacidad útil es de 1,3 y 0,2 Hm<sup>3</sup>, respectivamente.

En el último de los cuatro embalses citados la cuenca hidrográfica del Ter tiene 1.825 Km<sup>2</sup> y la capacidad de embalse útil de las cuatro presas es en total del orden de 360 Hm<sup>3</sup>. La finalidad de estos embalses es la regulación del río (1) y el aprovechamiento de su energía hidroeléctrica. Sin embargo, y al mismo tiempo, permiten asegurar un importante suministro de agua potable a Barcelona y parte de su provincia mediante

---

(1) Se trata de una región, la nuestra, que juntamente con el Alto Ampurdán ha sido duramente castigada por las grandes avenidas que se han ido sucediendo a lo largo de la historia. Recientemente (abril 1969), las últimas avenidas han causado en el Ampurdán daños materiales estimados en varios cientos de millones de pesetas.

una obra de transvase, que posee una capacidad máxima de 8 m<sup>3</sup>/s. Estos embalses, a su vez, permitirán en su día la puesta en regadío de una parte de las tierras aptas situadas aguas abajo de El Pasteral II, y debieran permitir (también en su día) asegurar las futuras necesidades de agua potable de Gerona capital, de su futura zona de influencia y de una parte de su costa —la Costa Brava—, de enorme atracción turística.

Desde la reciente terminación de la presa de Susqueda, la regulación del río está ya, pues, conseguida en su mayor parte, y el aprovechamiento de su energía hidroeléctrica está siendo ya también explotado. El abastecimiento de agua a Barcelona y a parte de su provincia (el «Nuevo abastecimiento») está también en servicio, aunque de momento normalmente no se deriven caudales superiores a 6 m<sup>3</sup>/s.

En cuanto a las posibilidades de las futuras zonas regables y al abastecimiento de aguas potables a Gerona, nos ocuparemos detenidamente en el capítulo 10.

#### 2.2.1.2 Cálculo de las aportaciones naturales del Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán

EL CONOCER CON CIERTA PRECISION LAS APORTACIONES ANUALES DEL RIO TER A SU ENTRADA EN NUESTRA REGION TIENE UNA IMPORTANCIA BASICA PARA NUESTRO ESTUDIO, PORQUE, COMO YA VEREMOS MAS ADELANTE, EL MAYOR PORCENTAJE DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS DEL BAJO AMPURDAN ES FUNCION DE LAS APORTACIONES SUPERFICIALES DEL TER.

Para calcular las aportaciones naturales del Ter en Colomers —es decir, haciendo abstracción de la regulación superficial y de los caudales derivados a Barcelona— hemos dispuesto de los aforos del Ter en Sau, así como de los de la Riera Mayor, los de la Riera de Llémana y los del Oñar, cuyas respectivas cuentas aforadas tienen 1.524 Km<sup>2</sup>, 125 Km<sup>2</sup>, 75 Km<sup>2</sup> y 295 Km<sup>2</sup>. La longitud de las series de que hemos dispuesto es de: 1 ½, 3, 20 y 7 años, respectivamente.

En los cuadros II (1), (2), (3) y (4) presentamos, junto con las aportaciones anuales de cada una de las cuencas, el caudal anual medio equivalente y el rendimiento específico (expresado éste en l/s. por Km<sup>2</sup> de cuenca).

Las series relativamente largas de Sau y Llémana (17 y 20 años, respectivamente) nos permiten utilizar con cierta garantía los valores de las otras dos series más cortas, correspondientes a la Riera Mayor y al Oñar (de 3 y 7 años, respectivamente).

CUADRO II (1)

AFOROS DEL RIO TER EN EL EMBALSE DE SAU (1.524 Km<sup>2</sup>)

AÑO	Aportación anual	Caudal medio	Rendimiento
1950-51	492,64 Hm <sup>3</sup>	15,62 m <sup>3</sup> /s.	9,76 l/s. Km <sup>2</sup>
1951-52	435,48 »	13,77 »	8,61 »
1952-53	330,44 »	10,47 »	6,55 »
1953-54	646,49 »	20,50 »	12,81 »
1954-55	432,19 »	13,70 »	8,56 »
1955-56	515,76 »	16,31 »	10,19 »
1956-57	479,55 »	15,20 »	9,72 »
1957-58	257,59 »	8,16 »	5,22 »
1958-59	805,09 »	25,52 »	16,32 »
1959-60	821,00 »	25,96 »	16,60 »
1960-61	425,12 »	13,48 »	8,60 »
1961-62	477,18 »	15,13 »	9,67 »
1962-63	1.036,52 »	32,87 »	21,00 »
1963-64	754,69 »	23,86 »	15,30 »
1964-65	383,14 »	12,15 »	7,77 »
1965-66	521,37 »	16,53 »	10,82 »
1966-67	339,34 »	10,76 »	7,05 »

CUADRO II (2)

AFOROS DE LA RIERA DE LLEMANA EN GINESTA (75 Km<sup>2</sup>)

AÑO	Aportación anual	Caudal medio	Rendimiento
1946-47	6,87 Hm <sup>3</sup>	0,21 m <sup>3</sup> /s.	2,89 l/s. Km <sup>2</sup>
1947-48	12,61 »	0,39 »	5,32 »
1948-49	8,79 »	0,27 »	3,72 »
1949-50	9,91 »	0,31 »	4,19 »
1950-51	18,77 »	0,59 »	7,93 »
1951-52	20,99 »	0,66 »	8,85 »
1952-53	13,05 »	0,41 »	5,52 »
1953-54	33,07 »	1,04 »	13,96 »
1954-55	22,02 »	0,69 »	9,31 »
1955-56	21,91 »	0,69 »	9,24 »
1956-57	26,11 »	0,82 »	10,48 »
1957-58	13,64 »	0,43 »	5,48 »
1958-59	35,79 »	1,13 »	14,37 »
1959-60	33,54 »	1,06 »	13,43 »
1960-61	20,17 »	0,63 »	8,06 »
1961-62	15,39 »	0,48 »	6,18 »
1962-63	46,58 »	1,48 »	18,70 »
1963-64	35,19 »	1,12 »	14,20 »
1964-65	16,33 »	0,52 »	6,58 »
1965-66	30,22 »	0,96 »	12,15 »

CUADRO II (3)

AFOROS DEL RIO OÑAR EN GERONA (295 Km<sup>2</sup>)

AÑO	Aportación anual	Caudal medio	Rendimiento
1959-60	51,18 Hm <sup>3</sup>	1,61 m <sup>3</sup> /s.	5,49 l/s. Km <sup>2</sup>
1960-61	29,70 "	0,94 "	3,19 "
1961-62	26,19 "	0,83 "	2,80 "
1962-63	118,17 "	3,74 "	12,60 "
1963-64	49,88 "	1,58 "	5,35 "
1964-65			
1965-66	68,26 "	2,16 "	7,32 "
1966-67	27,11 "	0,86 "	2,92 "

CUADRO II (4)

AFOROS DE LA RIERA MAYOR (125 Km<sup>2</sup>)

AÑO	Aportación anual	Caudal medio	Rendimiento
1963-64	68,53 Hm <sup>3</sup>	2,17 m <sup>3</sup> /s.	17,4 l/s. Km <sup>2</sup>
1964-65	36,74 "	1,16 "	9,28 "
1965-66	62,46 "	1,98 "	15,8 "

Según se deduce de los histogramas de frecuencias de la figura 2.2 el valor más probable de las aportaciones anuales del Ter en Sau durante los años 1950-51 a 1966-67 puede considerarse comprendido dentro del intervalo de clase 400-550 Hm<sup>3</sup> (aproximadamente del orden de 475 Hm<sup>3</sup>/año). El valor extremo inferior durante los 17 años de la serie fue de 257 Hm<sup>3</sup>. Sin entrar en detalles podemos admitir que al valor de 300 Hm<sup>3</sup>/año podría atribuírsele un período de retorno máximo de unos 20 años.

La aportación más frecuente durante la serie del período 1946-47 a 1965-66 en la Riera de Llémana puede considerarse comprendida dentro del intervalo de clase 20-30 Hm<sup>3</sup> (aproximadamente del orden de 25 Hm<sup>3</sup>/año). Igualmente, podemos admitir que al valor 9 Hm<sup>3</sup> podría atribuírsele un período de retorno aproximado de unos 20 años.

En cuanto a la Riera Mayor, aunque no tenemos más que los datos correspondientes a una serie de tres años, por comparación con los datos de la cuenca del Ter hasta Sau correspondientes al mismo período, deducimos que existió una evolución paralela en las dos cuencas y que el ren-

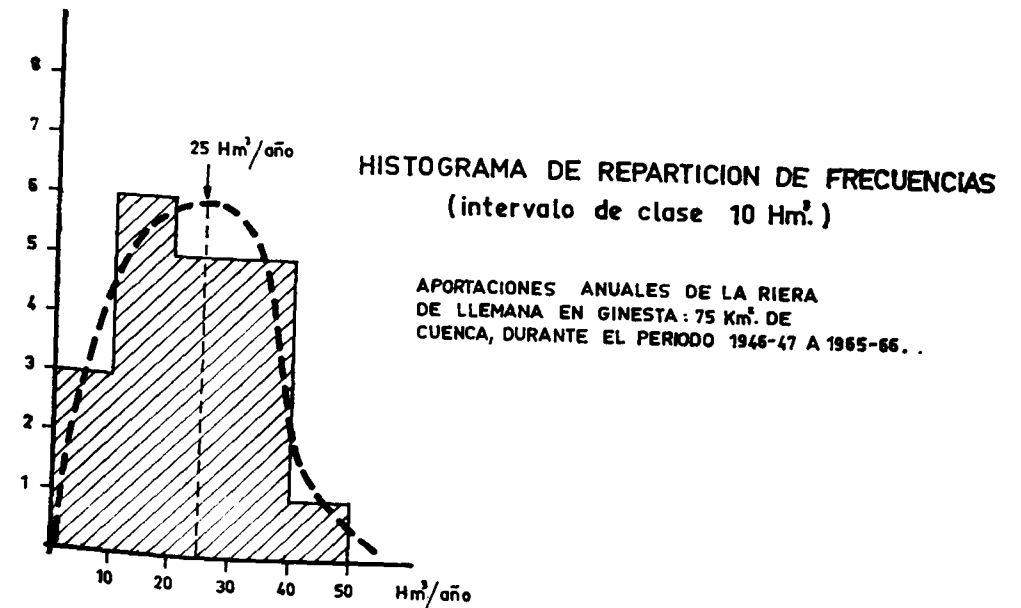
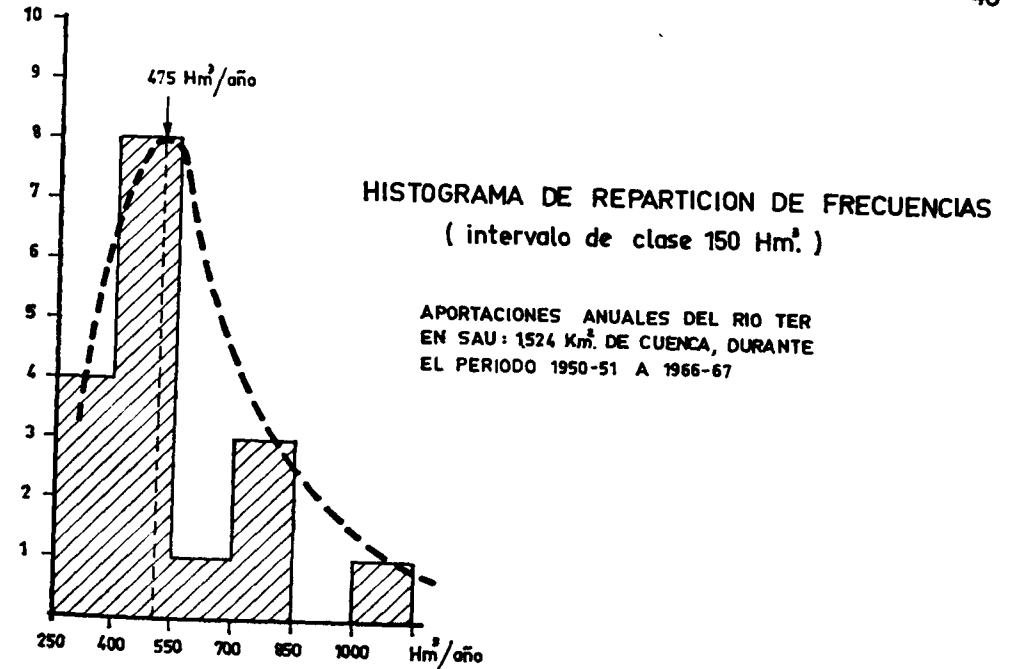


Figura 2.2

dimiento específico fue, además, muy semejante en ambas. Sobre esta base, y considerando que el año 1965-66 de la serie de Sau se apartó tan sólo un 2 por 100 por encima del valor que hemos considerado como el más probable, deducimos que al año más probable de la Riera Mayor le corresponderán aproximadamente unos 50 Hm<sup>3</sup>. Por un razonamiento semejante podríamos admitir un valor aproximado de 13 Hm<sup>3</sup> para el año seco, con período de retorno de unos 20 años. Este procedimiento de cálculo puede ser muy discutido en sí, pero no dudamos que las cifras responden al orden de magnitud requerido para el planteamiento general del problema del Ter.

En cuanto al Oñar, durante los 7 años de datos disponibles la evolución de las aportaciones anuales vemos que en líneas generales fue paralela a la del Ter en Sau; sin embargo, la correlación no fue tan perfecta como en el caso de la Riera Mayor y los rendimientos específicos no fueron tampoco semejantes. No obstante, con los datos que poseemos de estos 7 años y mediante el estudio comparativo con las series de Llémána y Sau, podemos admitir como valor más probable un rendimiento específico de 6 l/s/Km<sup>2</sup>, lo que equivaldría a una aportación anual del orden de 55 Hm<sup>3</sup>. Para el «año seco» el rendimiento específico sería del orden de 2,5 l/s/Km<sup>2</sup>, lo que representa una aportación de 23 Hm<sup>3</sup>.

Para los 914 Km<sup>2</sup> restantes de cuenca hasta Colomers, sobre los que no tenemos ningún dato de aforo directo, en vez de hacer el estudio de las pluviometrías durante un largo período, construir los mapas de isohietas correspondientes a los años medio y seco y aplicar a continuación uno o dos coeficientes de escorrentía, nos ha parecido más objetivo hacer una estimación del rendimiento específico de cada pequeña cuenca, teniendo en cuenta su pendiente, su extensión, su geología superficial, la pluviometría general de la región y los datos reales de las cuencas vecinas que acabamos de presentar.

Procediendo así hemos estimado que el rendimiento específico del río Osor, de 87,3 Km<sup>2</sup> de cuenca, debe ser muy semejante al de la Riera Mayor (de 125 Km<sup>2</sup> de cuenca), puesto que los dos cursos vienen del mismo macizo montañoso, de zonas pluviométricas muy semejantes y atraviesan prácticamente el mismo tipo de terrenos geológicos. Hemos estimado, sin embargo, que el rendimiento del Osor probablemente debe ser ligeramente inferior al de la Riera Mayor, puesto que ésta tiene algo más de pendiente. Por ello, si deducimos un 10 por 100 del rendimiento específico medio de la Riera Mayor obtendremos para el Osor una aportación anual del orden de 30 Hm<sup>3</sup>; aportación que en el año seco, con probabilidad de retorno de unos 20 años, estimamos que será del orden de 10 Hm<sup>3</sup>.

Hemos estimado, igualmente, que el rendimiento específico de la Rie-

ra de Rupit, de 52,18 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica, debe ser probablemente inferior al de la Riera Mayor, pero sin duda superior al del Oñar. Si aceptamos un valor medio de 9 l/s/Km<sup>2</sup> para el rendimiento específico en el tipo de año medio, obtenemos una aportación anual de 15 Hm<sup>3</sup>. En el «año seco» la aportación no sería más que de unos 5 Hm<sup>3</sup>.

Del mismo modo podemos considerar que el rendimiento específico de la Riera de Amer, de 105,6 Km<sup>2</sup> de cuenca, es probablemente inferior al del Oñar, pero superior a su vez al de la Riera de Llémána. Si aceptamos el valor de 10 l/s/Km<sup>2</sup> para el rendimiento específico en el tipo de año medio, la aportación de esta cuenca sería del orden de 33 Hm<sup>3</sup>. En el «año seco» la aportación de la cuenca se reduciría a unos 10 Hm<sup>3</sup>.

Si para los 669 Km<sup>2</sup> restantes de la cuenca —correspondientes al río Terri, Riera de Fargas, Riera de La Pera y pequeños interfluvios comprendidos entre Sau y Colomers— aceptamos un rendimiento específico medio del orden de 3 l/s/Km<sup>2</sup> (hay que tener en cuenta que en su mayor parte se trata de zonas aluviales casi llanas, por lo tanto de bajo coeficiente de escorrentía y de fuerte evapotranspiración), la aportación anual media de esta zona sería del orden de 63 Hm<sup>3</sup>/año. En el «año seco» podemos estimarla en la tercera parte del año medio, es decir, en unos 21 Hm<sup>3</sup>.

Procediendo así obtenemos, finalmente, los valores del cuadro II (5), en el que vemos que la aportación anual natural más probable del río Ter en Colomers oscilaría probablemente en torno a los 750 Hm<sup>3</sup>, lo que representa un caudal equivalente de 23,8 m<sup>3</sup>/s. (cifra que le sitúa en el primer puesto entre los ríos mediterráneos catalanes). En los «años secos», con un período de retorno aproximado de unos 20 años, podemos estimar que la aportación anual natural del Ter sería del orden de unos 390 Hm<sup>3</sup>.

CUADRO II (5)

APORTACIONES DEL RIO TER A SU ENTRADA EN EL BAJO AMPURDAN (Colomers)

CUENCA	Km <sup>2</sup>	Aportaciones anuales (Hm <sup>3</sup> )	
		AÑO MEDIO	AÑO SECO
Ter (en Sau)	1.524	475	300
Riera Mayor	125	50	15
R. Oñar	295	55	23
R. Llémána	75	25	9
R. Osor	87	30	10
R. Rupit	52	15	5
R. Amer	106	33	10
Resto cuenca	669	63	21
<b>TOTAL</b>	<b>2.933</b>	<b>746</b>	<b>393</b>

### 2.2.1.3 Cálculo de la capacidad de regulación superficial sobre las aportaciones totales de la cuenca

En la actualidad estas aportaciones naturales que acabamos de calcular están en buena parte controladas por la capacidad de regulación de los dos principales embalses de la cuenca, Sau y Susqueda, por lo que las aportaciones reales anuales pueden ser, en parte, aumentadas o disminuidas artificialmente a voluntad de un año a otro.

La aportación media del Ter en Sau durante el período de 17 años de que hemos dispuesto hemos calculado que fue de  $538 \text{ Hm}^3/\text{año}$  (con variaciones extremas de  $1.036$  y  $257 \text{ Hm}^3$ ), lo que representa un caudal constante equivalente de  $17,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La curva de caudales acumulados de las aportaciones anuales (figura 2.3) nos indica que la regulación total de las aportaciones durante el referido período de 17 años habría requerido una disponibilidad de embalse del orden de  $1.150 \text{ Hm}^3$  para poder hacer frente a las irregularidades anuales y haber obtenido de este modo, al final del período, un caudal constante de  $17,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . La capacidad útil de los embalses de Sau y Susqueda (que forman prácticamente un complejo único) ya hemos dicho que no es más que de unos  $360 \text{ Hm}^3$ .

Hemos calculado que durante el período 1950-51 a 1966-67 esos  $360 \text{ Hm}^3$  de capacidad de embalse útil habrían permitido asegurar en permanencia (suponiendo que al comienzo del período, 1 octubre 1950, los dos embalses hubieran estado completamente llenos) un caudal próximo a  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ., lo que habría representado un aprovechamiento anual de  $470 \text{ Hm}^3$ . (Consultar figura 2.4 y cuadro II (6).)

### 2.2.1.4 Cálculo de las posibles aportaciones futuras del río Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán

Las aportaciones superficiales reales del Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán (Colomers) están supeditadas a los consumos y derivaciones en la zona de aguas arriba.

La diferencia entre la aportación natural media del Ter a su entrada en el Ampurdán ( $750 \text{ Hm}^3$  en un tipo de año medio) y las derivaciones que en breve serán requeridas para el nuevo abastecimiento de Barcelona ( $250 \text{ Hm}^3/\text{año}$ ) nos muestra que las aportaciones futuras del Ter a su entrada en nuestra región se verán, ya de entrada, reducidas a  $500 \text{ Hm}^3$  anuales.

CURVA DE CAUDALES ACUMULADOS DEL RIO TER EN SAU ( $1.524 \text{ Km}^2$ ) DURANTE UN PERIODO DE 17 AÑOS

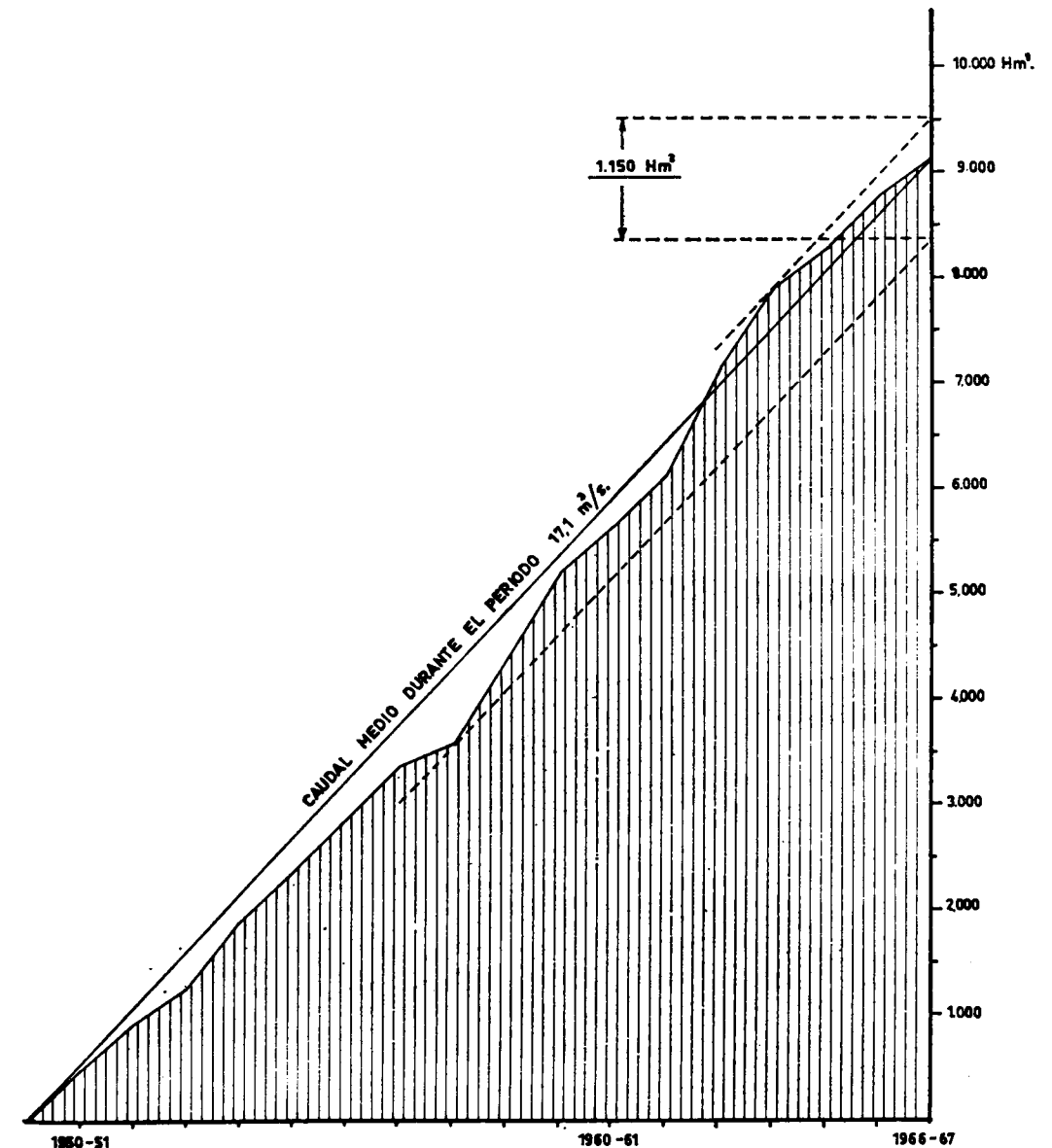


Figura 2.3

## CUADRO II (6)

FLUCTUACION DEL VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN LOS EMBALSES DE SAU Y SUSQUEDA DURANTE EL PERIODO 1950-51 a 1966-67, CON UNA EXPLOTACION CONSTANTE DE 15 m<sup>3</sup>/s. EN FUNCION DE LAS APORTACIONES DEL RIO TER EN EL EMBALSE DE SAU (Estudio teórico: Martínez Gil.)

BALANCE DE ENTRADAS Y SALIDAS (Hm <sup>3</sup> )		ESTADO DEL EMBALSE (Hm <sup>3</sup> )	EXCEDENTES (no regulados) Hm <sup>3</sup>
(-)	(+)		
(?)	(?)	LLENO	—
78	—	282	—
—	124	LLENO	46
15,8	—	344	—
—	27,3	LLENO	11
49,2	—	311	—
—	7,7	319	—
10,3	—	309	—
—	7,7	317	—
205	—	112	—
—	49	161	—
11,7	—	149	—
—	13	162	—
16,8	—	145	—
—	15,6	161	—
18,2	—	143	—
—	230	LLENO	13
236	—	124	—
—	104	228	—
86,5	—	142	—
—	180	322	—
217	—	105	—
—	214	319	—
313	—	6	—
—	26	32	—
22	—	10	—
—	414	LLENO	64
33	—	327	—
—	370	LLENO	337
2,6	—	357	—
—	7,6	LLENO	5
9,1	—	351	—
—	123	LLENO	114
151	—	209	—
—	2,6	212	—
15,4	—	197	—
—	82	279	—
56	—	223	—



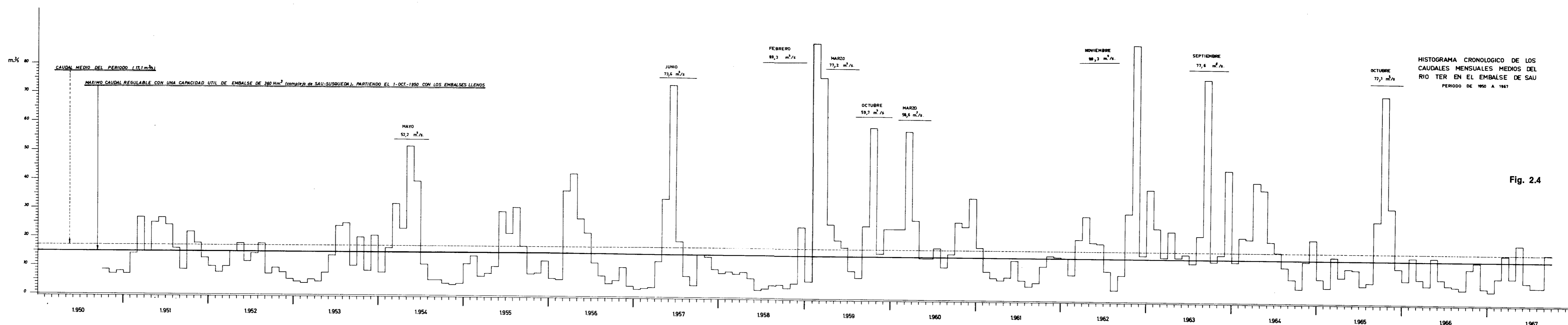


Fig. 2.4

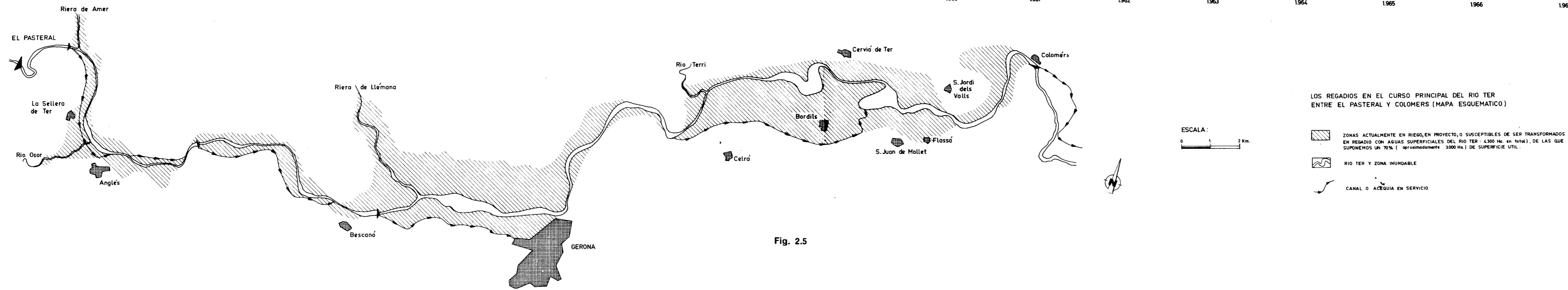


Fig. 2.5

CUADRO II (6)

(Continuación)

BALANCE DE ENTRADAS Y SALIDAS (Hm <sup>3</sup> )		ESTADO DEL EMBALSE (Hm <sup>3</sup> )	EXCEDENTES (no regulados) Hm <sup>3</sup>
(-)	(+)		
—	360	LLENO	223
3,9	—	356	—
—	184	LLENO	180
2,6	—	357	—
—	84	LLENO	81
2,6	—	357	—
—	192	LLENO	189
52	—	308	—
—	18,2	326	—
41,5	—	284	—
—	2,6	287	—
71,5	—	216	—
—	230	LLENO	86
26	—	334	—
—	2,6	337	—
40	—	297	—
—	2,6	300	—
165	—	135	—
—	5,2	140	—
15,3	—	125	—
—	14,3	139	—
66	—	73	—
—	6,5	79	—

Estos 500 Hm<sup>3</sup> podemos considerarlos (estamos hablando de un tipo de año medio) integrados en dos grupos: a) un primer grupo de 220 Hm<sup>3</sup> (470-250 Hm<sup>3</sup>) (1), que al ser regulados por Sau y Susqueda correrán aguas abajo del Pasteral II durante todo el año con un caudal constante próximo a 7 m<sup>3</sup>/s., y b) un segundo grupo de 280 Hm<sup>3</sup>, no regulados, que corresponden a las aguas que escapan al poder regulador de Sau y Susqueda y al conjunto de aportaciones de los 1.409 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica que existen entre la presa de Sau y Colomers.

Ahora bien, por un lado, las zonas potencialmente transformables

(1) Es la diferencia entre el máximo volumen regulable a caudal constante en el conjunto Sau-Susqueda y las necesidades del nuevo abastecimiento de Barcelona, que lógicamente exige una garantía de servicio prácticamente total (100 por 100).

en regadío entre el Pasteral II y Colomers (que hemos estimado en unas 3.000 ha.: consultar figura 2.5) requerirán un consumo anual del orden de 25 Hm<sup>3</sup> y un caudal mínimo permanente durante la época punta (mes de julio) de 2, 3 m<sup>3</sup>/s. (En el capítulo 9, CONSUMOS Y DEMANDAS, puede verse la justificación de estas cifras.)

Por otro lado, el abastecimiento a la «futura» Gerona-capital, a su zona de influencia y a ciertos sectores de la Costa Brava requerirá (creemos) un volumen anual del orden de 50 Hm<sup>3</sup>, con un caudal mínimo durante la época punta de 2 m<sup>3</sup>/s., que, en principio, consideraremos no recuperable por el río.

El total de estas dos nuevas sustracciones podrá ser, pues, de unos 75 Hm<sup>3</sup>/año (con un consumo punta de 4,3 m<sup>3</sup>/s.); sustracciones que, en principio, deberán naturalmente ser tomadas de la fracción actualmente regulable, es decir, de los 7 m<sup>3</sup>/s., que podrán salir a caudal constante durante todo el año de el Pasteral II.

En este supuesto futuro, las aportaciones del Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán se verán reducidas a unos 425 Hm<sup>3</sup> durante los años de tipo medio, con lo que EL CAUDAL ASEGURADO QUE EN UN FUTURO —RELATIVAMENTE PROXIMO— LLEVARA EL TER A SU ENTRADA EN NUESTRA REGION DURANTE LA EPOCA DE FUERTES DEMANDAS PARA LOS CULTIVOS PODRA SER DEL ORDEN DE 2,7 m<sup>3</sup>/s.

Las aportaciones no regulables (280 Hm<sup>3</sup>/año) contribuirán de manera irregular a incrementar ese caudal mínimo asegurado de 2,7 m<sup>3</sup>/s. En este sentido podemos estimar que durante la época de fuerte demanda (de mayo a agosto) el caudal de estiaje correspondiente a estos 280 Hm<sup>3</sup> será (con un período de retorno estadístico no superior a los 5 años) del orden de la cuarta parte del caudal medio equivalente (8,8 m<sup>3</sup>/s.), es decir, de unos 2,2 m<sup>3</sup>/s.; estiaje que, además, afectará a la mayor parte de esta época de 4 meses.

Resumimos, pues, diciendo que en un supuesto futuro próximo, en el que las necesidades de agua del nuevo abastecimiento de Barcelona, las necesidades de Gerona, las de una parte de la Costa Brava y las de los regadíos comprendidos entre el Pasteral II y el Ampurdán estén abastecidas con las aguas que actualmente se pueden regular en Sau y Susqueda, las aportaciones del Ter a su entrada en nuestra región serán, en promedio, del orden de 425 Hm<sup>3</sup>/año (13,5 m<sup>3</sup>/s.), de los que 145 Hm<sup>3</sup> podrán estar asegurados mediante un caudal constante que oscilará entre 2,7 m<sup>3</sup>/s. (durante la época de mayo-agosto) y 5,5 m<sup>3</sup>/s. (durante el resto del año). Los 280 Hm<sup>3</sup> restantes (8,8 m<sup>3</sup>/s.), al no estar regulados, estimamos que durante la época mayo-agosto no podrán ofrecer —durante los períodos de estiaje— un caudal superior a 2,2 m<sup>3</sup>/s. con garantía no inferior al

80 por 100, con lo que EL CAUDAL DE ESTIAJE DEL TER DURANTE LAS EPOCAS DE FUERTE DEMANDA PODRA SER —A SU ENTRADA EN NUESTRA REGION— DEL ORDEN DE 5 m<sup>3</sup>/s., con un período de retorno aproximado de unos 5 años.

## 2.2.2 EL DARO

A pesar de sus 320 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica, el Daró permanece durante varios meses al año prácticamente en estiaje absoluto. No obstante, este río es en gran parte el responsable de las inundaciones más frecuentes que afectan al Bajo Ter; ello es debido a que su lecho es muy poco profundo y con gran facilidad, en épocas de fuertes lluvias, sus aguas se desbordan. Aguas abajo de La Bisbal las márgenes del río están protegidas por muros de contención, siendo frecuente que durante las épocas húmedas el nivel del río esté por encima del nivel de las tierras aluviales vecinas.

Aguas abajo de Gualta, el Daró está canalizado desde antes del siglo XVIII y por él discurren las aguas del Ter a través del llamado Rec del Molí de Pals, que deriva sus aguas de éste (consultar Mapa de Situación Local del anexo I). Actualmente está en construcción avanzada el proyecto de derivación hacia el Ter del cauce del Daró aguas arriba de Gualta. Con ello se resolverá gran parte del problema de las inundaciones y el planteado por el deficiente drenaje de la parte baja de la cuenca.

## **CAPITULO 3**

### **GEOLOGIA \***

**3.1 LOS TERRENOS PRECUATERNARIOS**

**3.2 LOS TERRENOS CUATERNARIOS**

**3.3 ESTRUCTURA GEOLOGICA**

**3.4 HISTORIA GEODINAMICA**

---

\* Consultar Mapa Geológico General (en anexo I).

## **I N T R O D U C C I O N**

En el apartado 1.2 del capítulo 1 se ha hecho una descripción general de las principales unidades geológicas de la región; en los sucesivos apartados del presente capítulo se irán describiendo, junto a las características litológicas y espesores de las formaciones que constituyen cada una de las unidades geológicas descritas en el capítulo 1, la estructura general de la región, así como su historia geodinámica (deducida esta última de la interpretación dada a los principales datos y observaciones de que hemos dispuesto).

### **3.1 LOS TERRENOS PRECUATERNARIOS**

(consultar Mapa Geológico General del anexo I)

#### **3.1.1 EL GRANITO**

Los grandes afloramientos graníticos presentes en la región aquí estudiada se localizan prácticamente en dos zonas. Una de ellas ocupa toda la parte sur y sureste de la región (desde Palamós hasta Palafrugell), extendiéndose por el oeste hasta Montrás y por el norte hasta Fornells y Alguablava. La otra zona de afloramientos graníticos se sitúa al sur de La Bisbal, en Sant Pol. Tanto una como otra pertenecen al gran conjunto de rocas graníticas que constituyen el zócalo de los terrenos sedimentarios y metamórficos de la cordillera costera catalana (consultar figura 1.3).

En la región aquí estudiada se trata de un granito muy tectonizado, que ha sido atravesado por un denso cortejo de rocas filonianas. En general, es de color gris, aunque en determinadas zonas la acción de inten-

Los fenómenos de descompresión tectónica le ha dado un color rosado debido al enriquecimiento especial en cristales de feldespato-ortosa.

Del cortejo filoniano de rocas que atraviesan el granito hay que destacar, en primer lugar, los **diques pórfido-cuarcíferos**, que por su mayor resistencia a la erosión que la roca granítica encajante han originado la formación de pequeños cerros que existen al sur de Palafrugell. En segundo lugar, hay que destacar el conjunto de **diques lamprofídicos**, que por su color casi negro y por su menor resistencia a la erosión que el granito destacan también de manera especial en el paisaje, contribuyendo a la formación de una línea de costa muy recortada. Estos diques son particularmente visibles en la zona de Fornells y Aiguablava. En cuanto a su origen petrogenético recomendamos consultar SAN MIGUEL ARRIBAS, A., 1955.

Las mineralizaciones existentes, tanto dentro de la masa granítica como en su zona de contacto con los sedimentos paleozoicos, han sido objeto de explotación minera para el aprovechamiento del plomo y la plata. De las antiguas explotaciones —situadas en la zona de Montrás— hoy día no existe ninguna en funcionamiento, a causa, principalmente, de la pobreza de los criaderos conocidos.

### 3.1.2 LOS TERRENOS PALEOZOICOS

Los materiales paleozoicos del macizo de Bagur y de Las Gabarras son de edad silúrica y devónica, según LLOPIS, 1947 (p.p. 41-43).

Los materiales de **Las Gabarras** son fundamentalmente los siguientes: pizarras lustrosas de color gris azulado; pizarras oscuras muy arcillosas, pizarras arenosas, potentes bancos de cuarcita y aureolas metamórficas de pizarras mosqueadas. Las pizarras, en general, están atravesadas por abundantes venas de cuarzo. Algunos de los bancos de cuarcita son los que se representan en el mapa geológico del anexo I como horizontes o niveles guía. En la zona de contacto de las pizarras con el basamento granítico existe una amplia franja metamórfica, en la que predominan las pizarras mosqueadas (muy ricas en micas). Si el macizo de Las Gabarras forma en su conjunto un bloque monoclinial (1) habrá que pensar en espesores de al menos 1.200 m. para la serie paleozoica visible en nuestra región.

En el **macizo de Bagur**, por encima de las pizarras que afloran entre Esclanyá y Regencós, existen unas formaciones esquísticas, muy calcá-

(1) Como parece deducirse del reconocimiento fotogeológico de la zona.

reas, que yacen bajo unos niveles marmóreos. El bloque calcáreo que forma el potente acantilado del cabo de Bagur presenta un espesor visible superior a los 80 metros. Estratigráficamente parece evidente que estas calizas están situadas por encima de las pizarras.

### 3.1.3 LOS TERRENOS DE LA ERA SECUNDARIA

#### 3.1.3.1 El Keuper

Los terrenos más antiguos que hemos podido reconocer pertenecen al Triásico Superior. Se trata de unos afloramientos de margas y arcillas muy yesíferas, de colores rojos, verdes y violáceos, que aunque son de extensión muy reducida, tienen un gran significado geológico y estructural, dado que aparecen siempre asociados al frente de la escama de corrimiento que forman las calizas cretácicas del Montgrí sobre las formaciones del Eoceno Superior.

Aflora el Keuper en las islas Medas y en L'Estartit (punta Guixera).

Un reconocimiento detallado del frente de la escama de corrimiento entre L'Estartit y la gran duna que divide al macizo de Montgrí en dos mitades, podría dar lugar al descubrimiento de nuevos afloramientos de Keuper, ya que en las fotografías aéreas de esta zona hemos apreciado una fuerte tectonización, con presencia de estratos aparentemente verticales.

Aparece también el Keuper en Belcaire, en el fondo de tres canteras abandonadas que existen a la salida del pueblo, junto a la carretera de Belcaire a Albons.

#### 3.1.3.2 El Jurásico

Según SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M., y SOLE SABARIS, L. (1933), por encima de las formaciones yesíferas del Keuper existen en los afloramientos de punta Guixera unos niveles de calizas dolomíticas negras, muy fétidas, a los que se superponen otros niveles de calizas más claras, algo amarillentas (a veces compactadas, a veces cavernosas), que por su contenido paleontológico deben ser referidas al Lías. Estos mismos niveles los hemos creído reconocer formando la base del bloque occidental del macizo de Montgrí, inmediatamente encima de los conglomerados del Eoceno Superior.

Es posible que un estudio detallado de la microfauna que encierran

estas formaciones permitiera datarlas con exactitud y separarlas de las calizas suprayacentes del Cretácico; sin embargo, en un estudio hidrogeológico como el nuestro, tal separación no presenta un interés especial, dado que tanto las calizas jurásicas como las cretácicas forman aparentemente un conjunto de comportamiento hidrogeológico homogéneo.

### 3.1.3.3 El Cretácico (consultar figura 3.1)

Está representado principalmente por el gran afloramiento que hemos dibujado en el mapa geológico del anexo I al noreste de la zona de estudio, donde forma un todo prácticamente continuo de más de 40 Km<sup>2</sup> de extensión.

Está constituido este macizo únicamente por calizas y calizas dolomitizadas, bastante duras, de color blanco (a veces «café con leche») en superficie, que encierran abundante fauna de Terebrátulas, Rhyconellas, Glauconias, Requienias, Matheronias y Orbitolinas, que representan los pisos Aptense, Albense y Senonense.

En el sondeo núm. 29 (situado en la zona 28A-10B del sistema de coordenadas dibujado en el Mapa Geológico General), realizado por LECSA para la investigación petrolera, el espesor de las calizas cretácicas allí perforadas fue superior a los 600 metros (según referencias verbales) sin haber llegado a la base de la formación. En el resto de la región los restantes afloramientos de calizas cretácicas son los de Bellcaire, Albons y el pequeño asomo de Cinc Claus; este último, al suroeste de Sant Martí d'Empuries.

## 3.1.4 LOS TERRENOS DE LA ERA TERCIARIA

### 3.1.4.1 El Eoceno

Dentro de la gama de los terrenos precuaternarios han sido los del Eoceno los materiales que mejor hemos estudiado, dado el interés que «a priori» podían tener, desde el punto de vista hidrogeológico, para la finalidad de este estudio. Este interés especial radicaba, en principio, tanto en la extensión considerable que las formaciones eocenas ocupan en la región, como en su naturaleza litológica tan diversa, en la que cabía destacar la **presencia de potentes bancos de calizas y de conglomerados.**

El hacernos una idea concreta de la sucesión estratigráfica de estos



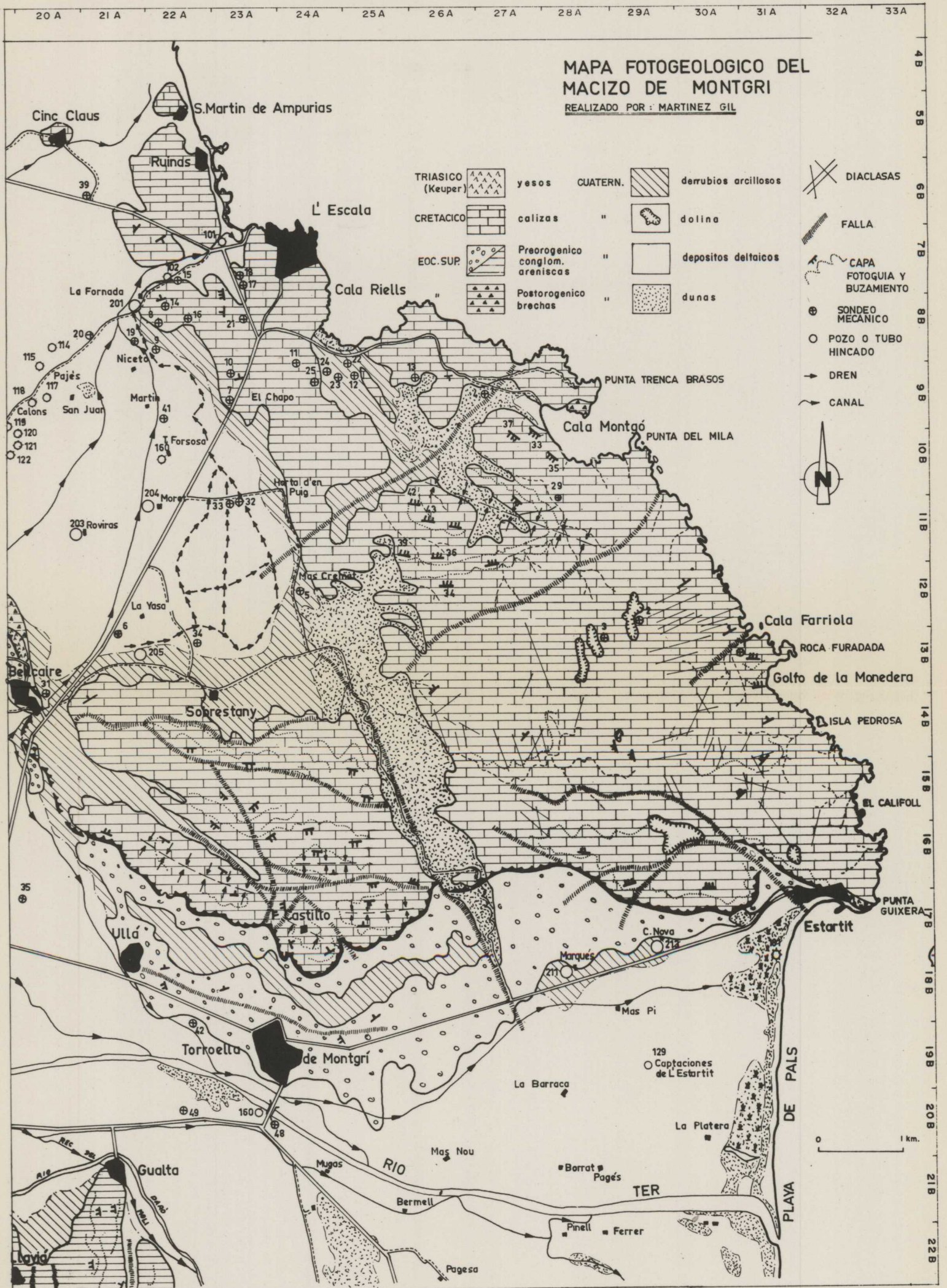


Fig. 3.1



materiales ha sido el fruto de un reconocimiento sobre el terreno de la mayor parte de los afloramientos y del estudio comparativo de los datos que hemos podido recoger de los diversos sondeos mecánicos de reconocimiento realizados por toda la región, entre los que cabe destacar cuatro realizados para la prospección petrolífera, cuyas profundidades oscilan entre 600 metros y 3.319 metros (además de una decena de otros sondeos realizados para la prospección de aguas subterráneas, cuya profundidad mínima sobrepasa los 200 metros).

Nuestra máxima preocupación ha sido hacer una síntesis de la sucesión, naturaleza litológica y espesores de estos materiales, que desde el punto de vista hidrogeológico pudiera tener un interés eminentemente práctico de cara a la realización de futuros trabajos de investigación de aguas subterráneas en la región. Por esta razón no ha habido necesidad de recurrir a dataciones cronoestratigráficas detalladas de los posibles pisos ni a reconstrucciones paleogeográficas, que habrían requerido un estudio paleontológico y estratigráfico especial.

Esta tarea ha resultado ser bastante más compleja de lo que pudiera parecer a primera vista. Las dificultades han radicado, en primer lugar, en la posición de borde de cuenca en que se encuentra situada la región; en segundo lugar, en la rapidez con que se hunde la cuenca hacia el interior (el norte), de modo que los ámbitos sedimentarios tuvieron un carácter marcadamente local, por lo que la sucesión de materiales y espesores obtenidos en el levantamiento detallado de una serie estratigráfica únicamente tienen un valor representativo muy local. A estas dos dificultades hay que añadir una tercera, que es quizá la más importante. Se trata de los efectos de una fuerte acción tectónica de edad intraeocena que ha dado lugar a una **estructura geológica de escamas**.

Buena prueba del obstáculo que representan estas tres dificultades lo muestra el estudio comparativo de los sondeos núms. 45, 46 y 47 (de 1.680 metros, 3.319 metros y 639 metros de profundidad, respectivamente) realizados por SIPSA para la investigación petrolera entre los años 1952 y 1965. La descripción detallada de las columnas de estos sondeos puede verse en el Anexo III. Las numerosas series estratigráficas detalladas que hemos realizado por toda la región nos prueban igualmente el carácter cambiante de las facies sedimentarias.

No obstante, de modo general, puede decirse que existe una serie de episodios sedimentarios que, a pesar de presentar importantes matices locales, nos permiten dividir —convencionalmente para nuestro estudio— la historia sedimentaria del conjunto eoceno del Ampurdán en cuatro grandes períodos, los cuales corresponden a los que llamaremos de ahora en

adelante: Tramo Rojo Inferior, Tramo Calcáreo, Tramo Medio y Tramo Superior.

### El Tramo Rojo Inferior

Corresponde este Tramo a una serie de materiales de color rojo-vinoso, que está formada por bancos de conglomerados de matriz arcillosa y por delgadas capas de arcillas y margas, también de color rojo. En Colomers (sondeo núm. 46, situado en la zona definida por las coordenadas 10A-12B del Mapa Geológico General) se encontraron, además, importantes intercalaciones de niveles calcáreos. Corresponde este Tramo al nivel basal de todo el eoceno catalán, es decir, al nivel de **Vidalina gerundensis** (VID.) (1).

Los afloramientos de este tramo están siempre asociados en nuestra región a la zona de contacto entre los materiales eocenos y los macizos paleozoicos de Bagur y Las Gabarras, hecho por el que aparecen siempre en posición violenta y, frecuentemente, muy laminados.

Aflora este tramo a todo lo largo de la zona fallada de Sant Pol a Fonteta y de Sant Clement de Peralta a Torrent. Aflora igualmente en Llofríu y en Palafrugell, así como en el borde de la falla que corre entre Esclanyá y Regencós. Aflora también en Regencós (al pie del Caramany) y en la playa de Pals (en el Cap sa Forn).

El espesor total del Tramo varía, al parecer, considerablemente de unos puntos a otros de la región. Así, pues, en el sondeo núm. 47, en La Bisbal, inmediatamente debajo de los niveles calcáreos del Eoceno se encontraron únicamente 7 metros de materiales detríticos rojos antes de llegar a las pizarras paleozoicas, mientras que en el sondeo núm. 45, en Vilopríu, se atravesó un espesor de 195 metros de estos mismos materiales.

En el afloramiento de Regencós, que se encuentra siguiendo el camino que sube al nuevo depósito municipal del agua, hemos anotado 35 metros de materiales del Tramo Rojo. En este punto parece que el espesor de la serie no ha sido afectado por ninguna acción tectónica de laminación y que, por tanto, la serie se muestra completa. Por el contrario, en el afloramiento que pone al descubierto la trinchera de la carretera de Palafrugell a Gerona —entre Torrent y Sant Clement de Peralta— hemos anotado al menos 60 metros visibles, sin haber partido de la base de la serie ni haber alcanzado su techo.

(1) Antiguo *Bulimus gerundensis* (VID.).

En general, los restantes afloramientos de la región presentan espesores visibles mucho más débiles que los expuestos hasta aquí, como consecuencia de los fenómenos tectónicos de laminación entre las pizarras paleozoicas y el Tramo Calcáreo del Eoceno.

### El Tramo Calcáreo

Parece evidente la presencia general en toda la región de una serie de niveles calcáreos situados inmediatamente encima del Tramo Rojo Inferior. Por otra parte, salvo algunos bancos muy reducidos y de poco espesor, se puede afirmar que no existen más formaciones calcáreas importantes en todo el Eoceno de la región que las de este Tramo.

Entre las excepciones citaremos el pequeño afloramiento calcáreo sobre el que se ubica la masía de la finca El Pla (situada en la zona 27A-23B), los bancos calcoarenosos que afloran a la altura de Ullastret (al pie del cementerio) y, finalmente, los bancos calcáreos que afloran entre Ullastret y el Puig Cegalá.

Esta observación de carácter general nos ha sido posteriormente confirmada por los datos que nos ha facilitado SIPSA de sus tres sondeos profundos de reconocimiento petrolífero.

En general, el Tramo está constituido por una serie de potentes bancos de calizas muy ricas en fauna fósil, que a veces llegan a constituir auténticas lumaquelas. Entre los fósiles abundan los *Pecten*, *Nummulites*, *Alveolinas* y *Ostreas*, que permiten situar estos materiales en el Luteciense.

Las calizas de este tramo son en general de color blanco y alternan con formaciones de arcillas amarillas, con margas grises azuladas y con arenas amarillas. El tipo de alternancia, así como el espesor total del Tramo, varían mucho en los diferentes puntos de la región. Al igual que el Tramo Rojo Inferior, aflora siempre en posición marginal, en zona de falla, junto a los macizos paleozoicos de Bagur y Las Gabarras.

El afloramiento más importante por su potencia visible es el que hemos dibujado en el mapa fotogeológico del anexo I, entre Torrent y Palau Sator, donde el espesor visible de la serie es del orden de unos 150 metros (según deducimos del buzamiento de la serie y de la extensión horizontal del afloramiento). Este espesor no deja de parecernos excesivo cuando lo comparamos con los espesores visibles de los restantes afloramientos del Tramo, no sólo de la región, sino incluso de todo el borde meridional de la cuenca, hasta Gerona. Sin embargo, si se trata, en efecto, de un espesor de tal orden, cabría recurrir a dos explicaciones posibles:

a) sea que se trata de un espesor aparente debido a la presencia de una serie de fallas en escalera paralelas a la dirección de las capas, que cartográficamente nos habrían pasado desapercibidas; b) sea que se trate de un pequeño surco sedimentario local, de extensión muy reducida, que permitió la deposición de tal espesor de calizas.

Otros afloramientos calcáreos de cierta extensión son los que hemos cartografiado entre Sant Pol y Fonteta, entre Esclanyá y Regencós, entre Regencós y el Caramany, y entre los Masos de Pals y el Cap sa Forn (este último en la playa de Pals).

En el sondeo núm. 47, en La Bisbal, la potencia del que nosotros hemos interpretado como Tramo Calcáreo es de 43 metros; en el sondeo núm. 45 —en Viloprú— es de 79 metros, y en el sondeo núm. 46 —en Colomers— es de 53 metros.

Según nuestras observaciones, el elemento más característico del Tramo lo constituye la presencia —aparentemente constante— de un nivel de calizas brechoides de color marrón-rojizo que contienen abundantes elementos detríticos de arcilla roja. Se trata, en nuestra opinión, de un nivel característico, prácticamente inconfundible, que probablemente está situado en la parte más alta del Tramo. En superficie puede reconocerse este nivel en los lugares siguiente: a) Fonteta (a la salida del pueblo, en dirección este, sirviendo de base a los cimientos de algunas casas); b) afloramiento de Torrent a Palau Sator; c) pequeña zona situada al oeste de Regencós (definida en nuestro mapa geológico por las coordenadas 27 y 28-A, 32 y 33B), y d) los Masos de Pals.

En profundidad, este nivel de calizas de color marrón-rojizo ha sido cortado en el pozo núm. 228 del Mas Poll y en el núm. 227 del Mas Serafi. En la parte norte de la depresión de Palafrugell ha sido también cortado en los sondeos núms. 55, 56 y 57, de los que tuvimos ocasión de clasificar las muestras obtenidas mediante testificación continua. En estos sondeos el espesor medio del nivel calcáreo en cuestión es de unos 17 metros y aparece a profundidades —crecientes de sur a norte— que van de los 55 metros (sondeo núm. 56) a los 122 metros (sondeo núm. 57). Muy probablemente ha sido también cortado este nivel en los sondeos núms. 51 y 53, situados en Palau Sator y en el camping Ipsel, respectivamente (este último entre los Masos de Pals y la Playa).

Como veremos más adelante, el nivel en cuestión es, desde el punto de vista hidrogeológico, el más interesante de todo el Eoceno (al menos de los conocidos hasta el presente), debido a que en él se ha desarrollado un importante aparato cárstico.

Inmediatamente debajo del nivel de calizas de color marrón-rojizo he-

mos podido reconocer (en los afloramientos que ello ha sido posible) una formación margoarenosa y calcoarenosa, de colores amarillentos y rojizos, dispuesta en capas de pocos centímetros de espesor, debajo de la cual hemos reconocido, a su vez, un nivel de arcillas amarillas que descansa sobre unas margas arenosas de color azul, caracterizadas por la presencia de pequeñas venas de calcita y pistas de animales litófagos. El espesor del conjunto de estas tres formaciones es del orden de los 20 metros. El nivel de arcillas amarillas es explotado en diversas canteras de la región: en Fonteta, en la zona comprendida entre Sant Clement de Peralta y Palau Sator, en el Mas Serafi (al O. de la curva de la carretera de Regencós a Pals) y en varios sitios más.

Según los datos del sondeo núm. 52, en San Feliú de Boada, el nivel de margas arenosas de color azulado que contiene pistas de animales litófagos y venitas de calcitas, puede tener un espesor total de 65 metros. Inmediatamente debajo de él apareció en dicho sondeo una formación detrítica, constituida por gravas poco rodadas y mal cementadas, en la que el sondeo penetró únicamente 3 metros y que constituye, al parecer, un acuífero explotable.

La parte más baja del Tramo Calcáreo está constituida por un nivel de calizas blancas, algo arenosas, muy diaclasadas, que en el afloramiento del Cap sa Forn (playa de Pals) tiene 11 metros de espesor visible y presenta dos sistemas ortogonales de diaclasas, perfectamente desarrollados y muy carstificados.

En cuanto a las profundidades a las que se encuentra el conjunto del Tramo Calcáreo en las diferentes zonas de la región, diremos que únicamente en los bordes de los macizos de Bagur y Las Gabarras cabe situarlo a profundidades relativamente accesibles para la prospección hidrogeológica ordinaria, es decir, del orden de la centena a las dos centenas de metros. Fuera de aquí, el Tramo se hunde rápidamente hasta profundidades de varios centenares de metros.

En La Bisbal (en el sondeo núm. 47), el techo del Tramo Calcáreo apareció a 557 metros de profundidad; en Colomers —en el sondeo número 46— apareció a 964 metros, y en Viloprú —en el sondeo núm. 45— apareció a 1.392 metros. En el sondeo núm. 70, en La Bisbal (realizado recientemente por el S.G. del M.O.P.), a los 280 metros de profundidad se abandonó la perforación sin haber alcanzado todavía el techo del Tramo; y en el sondeo núm. 54, situado entre La Bisbal y Fonteta, a pesar de hallarse emplazada la perforación tan próxima al borde de la falla y a los afloramientos calcáreos de Fonteta, fue abandonada a los 80 metros de profundidad, sin haber llegado tampoco a alcanzar el techo del Tramo Calcáreo.

En la parte norte de la depresión de Palafrugell el conjunto Eoceno se hunde progresivamente hacia el norte (consultar figura núm. 1'.14, en el capítulo I de la Segunda Parte) de modo tal que en el sondeo núm. 62 (en Torrentí) los trabajos de perforación hubieron de abandonarse a los 250 metros de profundidad sin haber alcanzado el techo del Tramo Calcáreo.

En Palau Sator parece ser que el sondeo núm. 51 encontró el Tramo Calcáreo a 80 metros de profundidad, y que en el camping Ipsel fue encontrado a unos 65 metros. En el resto de la región: corredor de Albons, tierras bajas de las márgenes izquierda y derecha del Ter y zona baja del Daró (aguas abajo de La Bisbal), el Tramo Calcáreo debe estar situado probablemente a varios centenares de metros de profundidad (consultar cortes geológicos I al XII del Anexo II).

### El Tramo Medio

Incluimos bajo el calificativo de Tramo Medio a toda una potente serie de materiales predominantemente margoarenosos y arcósicos, bastante compactos y duros, de color gris y gris azulado, que se sitúan inmediatamente encima de lo que hemos definido hasta aquí como Tramo Calcáreo, pero cuyo límite litológico superior, en cambio, no se muestra tan marcadamente definido por toda la región.

Si bien en la zona de Palau Borrell-Garrigoles-Maranyá podríamos considerar las formaciones detríticas «continentales» (1) como el techo del Tramo Medio, hacia el SO. estos depósitos continentales pasan lateralmente a formaciones de facies claramente marina, de aspecto muy semejante a todo lo que hasta aquí hemos considerado como Tramo Medio, de tal modo que su diferenciación petrográfica se nos presenta un tanto confusa y mal definida.

Por el centro de la región, los materiales margoarenosos, las areniscas, las arcosas y los maciños, que desde la playa de Pals afloran en medio de la llanura aluvial a través de una serie de pequeños cerros hasta Fontanillas, y los materiales que desde Fontanillas afloran de manera prácticamente ininterrumpida en un casi único afloramiento hasta las proximidades del curso del Daró (entre La Bisbal y Parlabá), presentan un aspecto bastante homogéneo del que únicamente cabe destacar el **Tramo**

(1) Nos referimos al concepto clásico, entendiéndolo por tal las formaciones geológicas de tonalidades rojizas y las formaciones detríticas groseras, que aunque sedimentadas bajo las aguas del mar, acusan una relativa proximidad de la línea de costa.

**rojo de Llaviá** (de unos 150 metros de potencia) y el pequeño nivel de formaciones arcillosas de colores rojo-vinoso, verde y violáceo, que aflora bajo los maciños del cementerio de Ullestret.

Al oeste de la línea imaginaria que pasaría a media distancia entre la carretera de La Bisbal a Ullestret y el curso del Daró, empiezan a aparecer facies sedimentarias marcadamente diferentes de las descritas hasta aquí, de origen unas veces marino y otras veces «continental». Los materiales eocenos situados al oeste de esta línea imaginaria pertenecen evidentemente a un nivel estratigráfico superior al Tramo Medio, y que convencionalmente consideraremos en este estudio bajo el calificativo de Tramo Superior.

Los materiales que forman el **Tramo Medio**, así definido, son bastante más homogéneos de lo que pudiera parecer a través de la simple observación de sus afloramientos. Las arcosas y los maciños de este Tramo, con frecuencia toman en superficie diferentes tonalidades —sean grises, sean amarillentas— y diferentes aspectos de compacidad; diferencias todas ellas que desaparecen siempre a los pocos decímetros de profundidad. La roca fresca tiene en general, en todo este Tramo, un aspecto gris claro o gris azulado, así como una considerable consistencia y dureza que se dejan sentir en la realización de perforaciones por la resistencia que ofrecen al avance.

Los detritus de los sondeos realizados en los materiales de este Tramo presentan siempre una naturaleza margoarenosa y una tonalidad grisácea (a excepción de algunos tramos de arcosas, que son de color amarillo claro).

No nos atrevemos en este momento a hacer correlaciones estratigráficas directas entre los afloramientos de la parte central de la región y las columnas estratigráficas detalladas obtenidas en los sondeos petrolíferos de Colomers y Viloprú, por considerar que entre ambas zonas pueden existir importantes barreras estructurales de tal envergadura que podría, incluso, ocurrir que el Eoceno de la zona Viloprú-Colomers fuera alóctono y el Eoceno de la parte central de la región fuera autóctono. De esta cuestión nos ocuparemos con más detalle en el apartado 3.3 del presente capítulo.

Desde los afloramientos eocenos más orientales, situados en la zona del camping «El Delfín Verde» y la urbanización Mas Pinell, hasta la línea imaginaria a la que nos hemos referido unas líneas más arriba, que marca el límite occidental del Tramo Medio, el buzamiento general de los estratos es constante hacia el oeste. Si consideramos que no existen importantes fallas ocultas bajo los terrenos cuaternarios de la llanura del Bajo Ter que pudieran afectar al sustrato eoceno, se deducirían espesores para todo

el Tramo Medio ampliamente superiores a los 1.000 metros (consultar corte geológico IX del Anexo II).

Si en la zona de Colomers-Vilopríu-Garrigoles se acepta como techo del Tramo Medio el conjunto de materiales detríticos groseros de tonalidades rojizas y ocres que afloran en toda aquella área, el espesor de todo el conjunto del Tramo Medio sería del orden de 1.300 metros (según se desprende de los datos del sondeo núm. 45).

Según los datos de este último sondeo, el Tramo Medio presentaría la serie siguiente:

**Techo:** conglomerados y arcilla roja.

- 195 m. de marga de color gris.
- 86 m. de areniscas de grano fino, color gris y matriz calcárea.
- 100 m. de mangas de color gris, blandas y de grano muy fino.
- 156 m. de margas de color tostado y rojo (¿nivel «rojo» de Llaviá?).
- 64 m. de areniscas calcáreas muy fosilíferas (maciños).
- 500 m. de margas de color gris oscuro, casi negro, con muchos foraminíferos, venas de calcita y algunos puntos de pirita.
- 186 m. de anhidrita gris y dura, con intercalaciones de delgadas capas de caliza de colores gris y marrón.

**Base:** Tramo Calcáreo Basal.

En el sondeo núm. 47 (La Bisbal) se atravesaron, desde la superficie del suelo hasta el Tramo Calcáreo, 557 metros de terrenos formados fundamentalmente por margas grises azuladas, maciños y arcosas. No se encontró en este sondeo el potente nivel de anhidritas cortado en los sondeos núms. 45 y 46 (nivel que tampoco aparece en la serie de Fontanillas a Casavells, que hemos reconocido minuciosamente).

**El Tramo Superior**

Consideramos en la zona de Colomers-Garrigoles-Palau Borrell como Tramo Superior al conjunto de materiales detríticos groseros, mal rodados, de tonalidades rojizas, fundamentalmente formados por potentes bancos de areniscas y conglomerados que encierran algunas intercalaciones de arcilla de color rojo. A partir de la línea Maranyá-Garrigoles estos materiales groseros y poco rodados pasan lateralmente hacia el SO. (al menos aparentemente) a depósitos de facies marcadamente marinas, con los

que se indentan, tal y como puede observarse en la zona de Vilopríu y la trinchera de la carretera de Colomers al cruce de Gahusas. La fauna foraminífera encontrada en estos depósitos marinos nos habla de un Biarritense marcadamente avanzado.

En Garrigoles, el sondeo núm. 43 no atravesó en sus 150 metros de profundidad más que materiales groseros de color rojizo, y en Palau Borrell, el sondeo núm. 40, en sus 200 metros de perforación, no cortó más que formaciones detríticas de color rojizo.

Hemos incluido también en el Tramo Superior las areniscas, conglomerados y margas, de color rojo y ocre, que afloran al norte de la carretera de Ullá a L'Estartit bajo las calizas del macizo de Montgrí.

**3.1.4.1 El Neógeno**

Hemos incluido dentro de esta unidad toda una serie de materiales —en su mayor parte de facies continental— que por su aspecto litológico y por su configuración topográfica destacan claramente del resto de los materiales precuaternarios. Estos materiales están en posición generalmente horizontal o subhorizontal y ocupan una zona de borde al pie de los relieves eocenos de la sierra de Valldeviá y de La Bisbal.

Se trata, en general, de unos potentes bancos de arcillas amarillas que alternan con algunos bancos de areniscas y conglomerados de matriz arcillosa, cuyos elementos son de naturaleza bastante diferente a los conglomerados eocenos del Tramo Superior. En los conglomerados que atribuimos al Neógeno abundan los cantos paleozoicos, cretácicos y eocenos junto a otros de naturaleza basáltica de edad también neógena. Al reconocimiento fotogeológico destacan los afloramientos neógenos por su aspecto menos consistente que las formaciones del Eoceno, así como por su disposición casi horizontal.

Incluimos dentro de este sistema la serie de materiales detríticos que se extiende entre la carretera de Vilademat a Vergés y los primeros relieves de la sierra de Valldeviá (consultar mapa geológico del Anexo núm. I), así como la serie de pequeños afloramientos de naturaleza fundamentalmente arcillosa situados en la zona Jafre-Colomers, en disposición horizontal y en discordancia sobre las formaciones eocenas. Hemos incluido igualmente en este sistema la serie de potentes formaciones arcillosas y conglomeráticas de La Bisbal, que constituyen la base de una pujante industria cerámica y alfarera.

Desde un punto de vista estrictamente cronoestratigráfico, los afloramientos neógenos de La Bisbal son los únicos que han sido estudiados y

clasificados. Sin embargo, en nuestro caso, dado el objeto del presente estudio, nos hemos contentado con la utilización de criterios estructurales y petrogenéticos para separar los materiales neógenos del resto de las formaciones terciarias, sin poner por ello ningún énfasis especial en la datación exacta de su edad, ya que ello no tendría, en principio, apenas ninguna trascendencia desde el punto de vista hidrogeológico que aquí nos ocupa. Su datación correcta podría ser objeto de un trabajo paleontológico y estratigráfico posterior. En La Bisbal, en las formaciones neógenas más bajas, ha sido encontrada y descrita una fauna de mamíferos, atribuida por CRUSAFONT, M. (1958, p. 34), al Pontense Superior; se trata concretamente del *Dinotherium laevius* (JOURD).

Creemos que, muy probablemente, bajo una gran parte de los materiales cuaternarios de acarreo reciente, que constituyen la llanura aluvial de la región y el corredor de Albons, existe un substrato de materiales neógenos cuyo espesor máximo (según los datos revelados por algunos sondeos) podría sobrepasar los 200 metros. Este substrato neógeno según en qué zonas descansaría o inmediatamente encima de los materiales del Eoceno o inmediatamente encima de las calizas cretácicas (consultar los cortes geológicos del Anexo II). Nos induce a pensar en la presencia de este substrato la muy probable existencia de una fosa tectónica de subsidencia, de edad neógena, de forma alargada en la dirección N-S., que se extendería entre el macizo de Montgrí y la sierra de Valldeviá a todo lo largo del corredor de Albons.

La descripción litológica que nos ha sido facilitada de los sondeos núms. 6, 34, 38, 39 y 48 (Mapa Geológico General y anexo III) nos induce a pensar que existe, en efecto, un importante substrato de materiales precuaternarios y posteocénos bajo una gran parte de los depósitos cuaternarios que constituyen la llanura aluvial y el corredor de Albons.

Según deducimos de los datos de los sondeos núms. 38 y 39 y de otros tres sondeos más (realizados éstos por SIPSA en Ríumors, por PRO-HIDRO en la finca llamada La Bomba, sita en el término municipal de Torroella de Fluviá, y por el I.N.C. en Torroella de Fluviá) de profundidades respectivas de: 170 m., 238 m., 550 m., 230 m. y 273 m., parece ser que, al menos en la parte norte de la región, existe una importante formación superficial de plioceno «marino», de color gris o gris azulado, que descansa inmediatamente encima de un plioceno «continental», detrítico, de color rojizo. El espesor de la primera formación, según la descripción del sondeo de La Bomba, sería en aquella zona de 55 metros.

Ese supuesto plioceno «marino» es de naturaleza marga-arenosa y posee numerosas intercalaciones detríticas muy poco compactadas. En

general, se trata de materiales muy poco compactados, muy fáciles de perforar, que permiten hacer avances de varias decenas de metros por día.

### 3.2 LOS TERRENOS CUATERNARIOS

Desde el punto de vista hidrogeológico, los terrenos cuaternarios casi siempre presentan un interés especial; en el caso de las zonas mediterráneas costeras este interés especial suele ser todavía mayor.

Los terrenos cuaternarios presentes en nuestra región se reducen prácticamente a los siguientes: depósitos de pie de monte, limos arcillosos, acarros fluviales antiguos, depósitos fluviales recientes (aluviones y fangos deltaicos), depósitos eólicos de arena y travertinos.

Por el diferente interés hidrogeológico que presenta cada una de las formaciones descritas hemos creído conveniente, a fin de simplificar su descripción, reunir las en cuatro grupos: a) depósitos detríticos antiguos; b) terrazas «altas»; c) depósitos fluviales recientes, y d) formaciones eólicas de arena. Los límites entre cada uno de estos cuatro grupos descritos han sido en su mayor parte cuidadosamente cartografiados con la ayuda de los datos facilitados por los pozos y sondeos que hemos inventariado a lo largo de este estudio.

**En nuestra tarea de estudiar el cuaternario de la región, la ayuda de las técnicas fotointerpretativas nos ha sido muy preciosa.** Las consultas y entrevistas directas que hemos tenido con los campesinos y con la casi totalidad de los constructores de pozos de la región nos han sido muy fructíferas.

#### 3.2.1 LOS DEPOSITOS DETRITICOS ANTIGUOS

Dentro de la gran mancha que en el Mapa Geológico General cubren las formaciones cuaternarias, los depósitos detríticos antiguos ocupan una posición marginal, de borde. Se extienden desde el pie de los principales afloramientos precuaternarios hasta el límite de la gran llanura aluvial (aproximadamente hasta la cota 18 metros).

Salvo en algunas zonas muy localizadas, no es frecuente que el espesor de los materiales de este grupo llegue a sobrepasar los 10 metros. Corresponden en su mayor parte a depósitos de pie de monte o a derrubios de ladera, en los que los elementos caóticos y mal rodados están incluidos dentro de una matriz predominantemente arcillosa y limosa; en el mapa geológico del Anexo I los hemos representado con un rayado inclinado, muy espaciado, sobre fondo blanco.

Hemos incluido, además, en este grupo todos aquellos materiales que por su situación morfológica particular dentro de la región podían ser considerados como los terrenos cuaternarios más antiguos —terrenos que hidrogeológicamente, por lo general, suelen ser bastante poco permeables—. También han sido incluidos en este grupo todos aquellos depósitos que aun no pudiendo ser datados como «cuaternario antiguo», bien sea por su naturaleza predominantemente arcillosa, bien sea por su limitada extensión o por su reducido espesor, convenía que desde el punto de vista hidrogeológico fueran englobados en este grupo.

### 3.2.2 LAS TERRAZAS ALTAS

Se incluyen en este grupo una serie de afloramientos de gravas y arenas ligeramente cementadas, en disposición horizontal, que afloran en la zona Vilademat-Peracals y que bordean el límite nororiental de la sierra de Valldeviá hasta San Miguel de Fluviá, donde se confunden con las terrazas del Fluviá. Pueden ser considerados estos depósitos como pertenecientes a un importante curso de agua (sea el Ter, sea el Fluviá) que invadió gran parte de la región en una época anterior a la del depósito de los fangos arenosos deltaicos que rellenan el fondo de todas las tierras bajas de la región.

En estos depósitos de gravas se ha desarrollado un importante horizonte de concreciones calcáreas (caliche), que a veces da una consistencia pétreo a la formación cuaternaria. Este horizonte es bien conocido por los constructores de pozos de la región porque generalmente al «romperlo» suele aparecer debajo de él un nivel acuífero. Las gentes del país lo llaman «turc».

El espesor del conjunto de estos depósitos aluviales, según la interpretación que hemos dado a los datos que nos han sido facilitados durante la realización del inventario de pozos, es del orden de 5 metros; a veces llega a alcanzar los 8 metros.

### 3.2.3 LOS DEPOSITOS FLUVIALES RECIENTES

(Los limos arenosos de origen deltaico y las formaciones lenticulares de gravas y arenas en ellas incluidas.)

Se trata de una importante formación fluvial que en su mayor parte es de origen deltaico. Su edad geológica es muy reciente, posterior, sin duda, a la de los grupos anteriormente descritos, puesto que fosiliza todos los relieves sobre ellos desarrollados. Sobre estos depósitos —de natura-

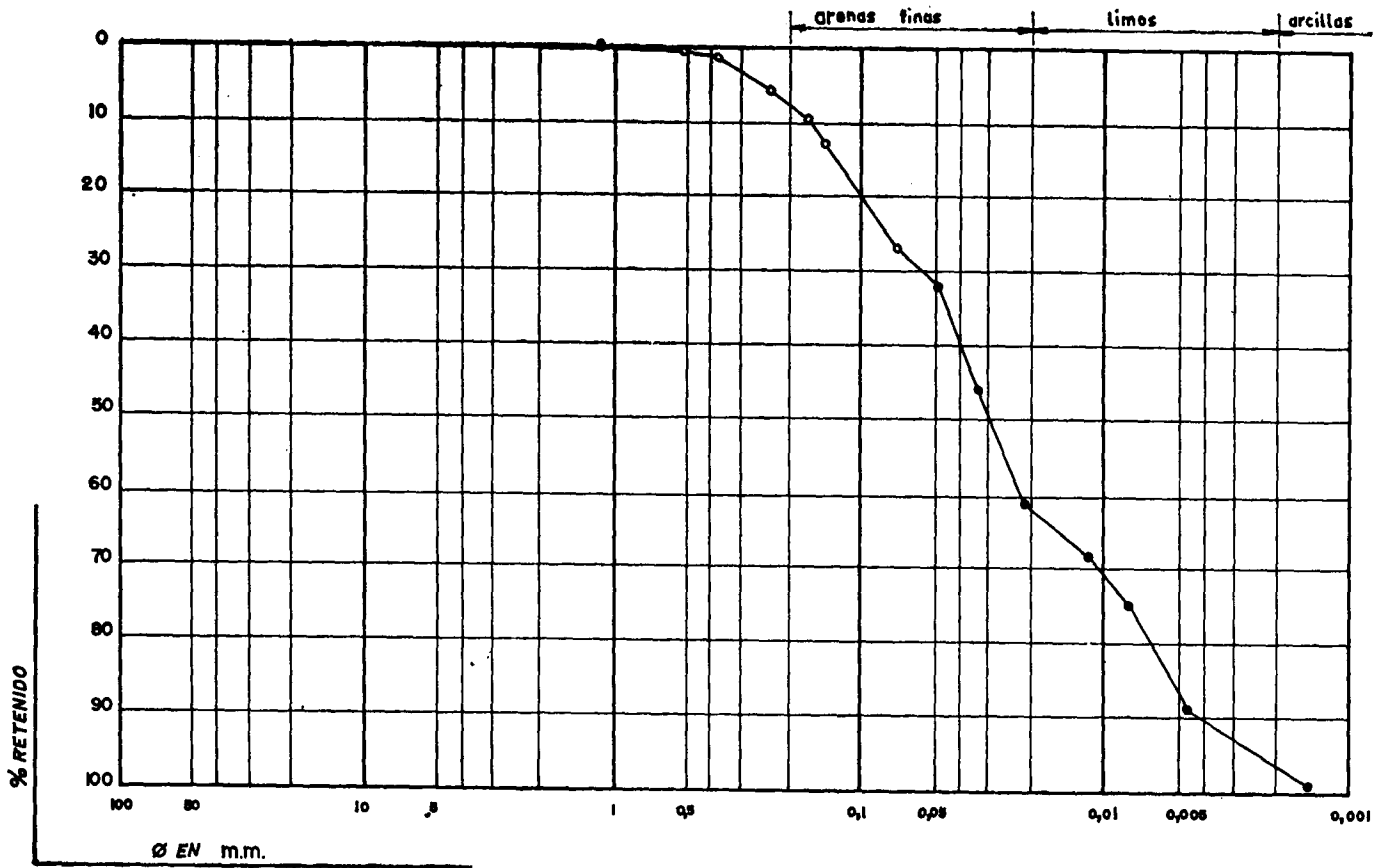
leza fundamentalmente fangoarenosa— se ha formado un importante suelo, por lo que su existencia nos es conocida gracias a los datos suministrados por los pozos y sondeos que hemos inventariado.

Se trata de los típicos fangos (o limos arenosos) deltáicos de todo el Mediterráneo español. Son de color gris oscuro, de tamaño limo (entre 0,02 mm. y 0,002 mm.), con una elevada fracción de arenas finas (entre 0,2 mm. y 0,02 mm.). La curva granulométrica acumulativa de la figura 3.2 puede ser considerada como bastante representativa de la formación en cuestión; corresponde a una muestra tomada del testigo continuo de un sondeo emplazado en la parte norte de la depresión de Palafrugell (este sondeo corresponde al S. 2.4 de la figura 1'.2, en el capítulo 1 de la Segunda Parte).

En el Mapa Geológico General hemos representado sin trama la extensión que ocupan en la región estos depósitos fangoarenosos, donde puede apreciarse que no solamente ocupan la parte central de la gran llanura aluvial, sino que también se prolongan por el oeste hasta más allá del límite occidental de la región (Flassá-Sant Jordi des Valls), remontando el curso actual del Ter; por el sur colmatan el fondo del valle del Daró hasta las inmediaciones del núcleo urbano de La Bisbal; colmatan también el fondo del llamado «Estany de Ullestret» y el de los valles de las Rieras de Peratallada y Grossa de Pals. Por el norte colmatan el fondo del corredor de Albons, para unirse, más hacia el norte todavía, con los depósitos semejantes pertenecientes al Fluviá y al Muga, formando así un todo continuo desde Rosas hasta Pals, del que únicamente cabe excluir el «islote» cretácico que constituye el macizo de Montgrí (consultar figura 3.3).

Con bastante aproximación, podemos decir aquí que estos depósitos fangoarenosos ocupan el fondo de todas las tierras llanas de la región topográficamente situadas por debajo de la cota 18 metros. En el fondo de los principales valles que desembocan en la actual llanura deltaica del Ampurdán, los depósitos fangoarenosos alcanzan cotas más altas, muy próximas a los 25 metros; esta cota debió constituir, por tanto, el límite del área de sedimentación bajo las aguas marinas, o salobres, que durante la última «ingresión» cuaternaria invadieron todas las zonas bajas del Ampurdán, el cual en aquel entonces debía constituir una gran bahía, de poco fondo, de unos 50 Km. de larga (desde Rosas hasta Pals) y unos 5 a 15 Km. de ancho (variable según las zonas).

En medio de esa gran supuesta bahía cuaternaria debió destacar la isla que entonces constituiría el macizo de Montgrí, y las actuales Islas Meda. Debemos suponer también que en esa bahía desembocaron los ríos Muga, Fluviá y Ter, los cuales probablemente formaron cada uno su propio delta.



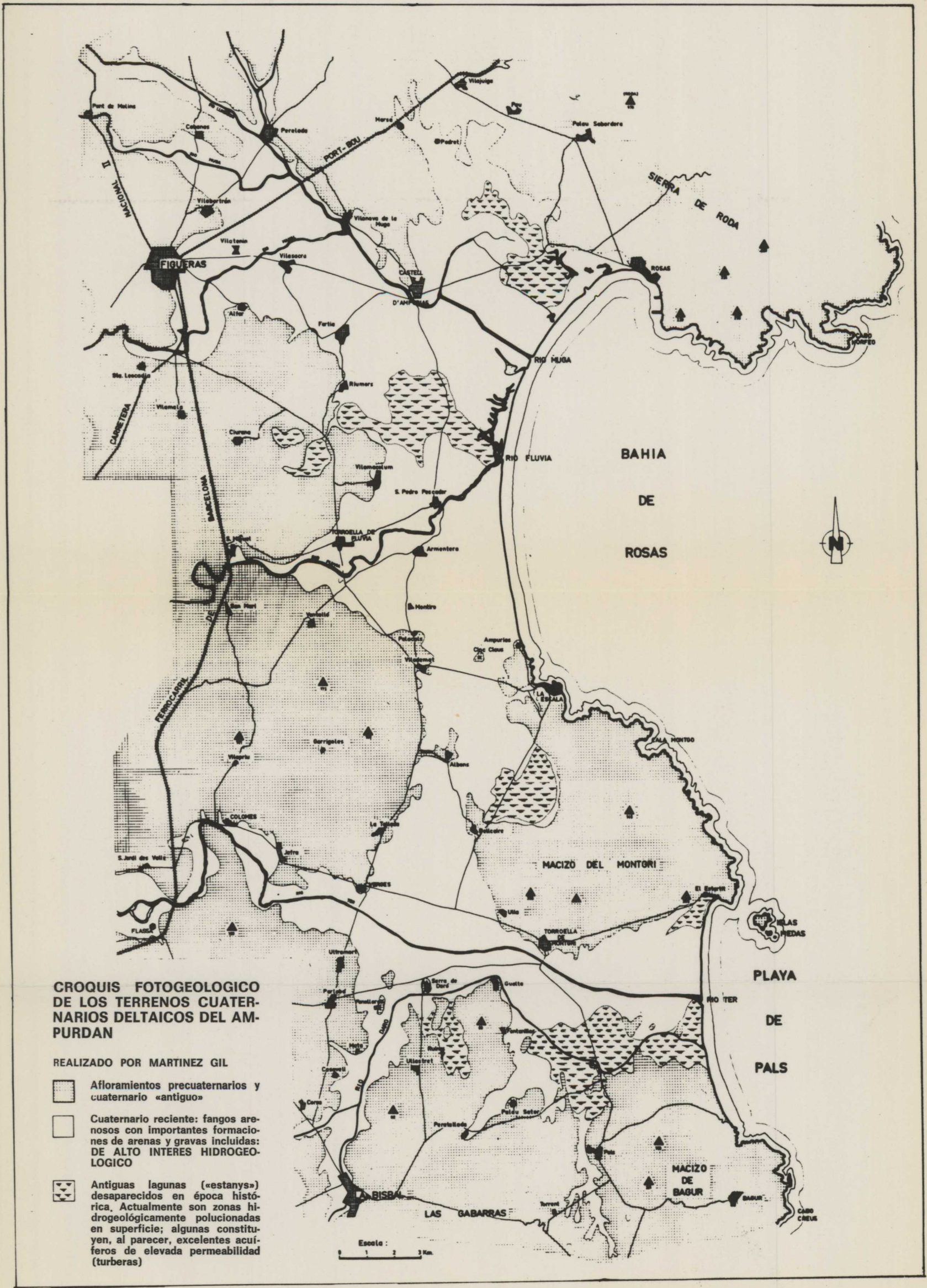
Curva granulométrica acumulada de una muestra tomada a 5,5 m.  
de profundidad en los fangos arenosos de la cuenca de la riera Grossa de Pals

SONDEO N° 5. 2'.4  
(fig. 1'.2.)

- TAMIZADO
- SEDIMENTACION

Figura 2.3





**CROQUIS FOTOGEOLÓGICO DE LOS TERRENOS CUATERNARIOS DELTAICOS DEL AMPURDAN**

REALIZADO POR MARTINEZ GIL




-  Afloramientos precuaternarios y cuaternario «antiguo»
-  Cuaternario reciente: fangos arenosos con importantes formaciones de arenas y gravas incluidas: DE ALTO INTERES HIDROGEOLOGICO
-  Antiguas lagunas («estans») desaparecidos en época histórica. Actualmente son zonas hidrogeológicamente polucionadas en superficie; algunas constituyen, al parecer, excelentes acuíferos de elevada permeabilidad (turberas)

Fig. 3.3

Estos deltas, al ir avanzando, seguramente llegaron a fusionarse, ganando de este modo al mar la mayor parte de aquella antigua bahía, y quedando así constituido lo que hoy día llamamos el delta ampurdanés, de unos 300 Km<sup>2</sup> de extensión.

La importancia hidrogeológica que supone la presencia de estos sedimentos deltaicos en unos 120 Km<sup>2</sup> de la región aquí estudiada es grande, puesto que según las experiencias habidas hasta el presente en el litoral catalán, sabemos que suelen existir —ya sea en la base de los depósitos fangoarenosos, ya sea englobados en ellos— **importantes formaciones detríticas de arenas y gravas sueltas que constituyen, por lo general, excelentes acuíferos.** Más adelante, en el capítulo 6 (apartados 6.2.2 y 6.3) nos ocuparemos detalladamente de estas formaciones detríticas. A modo de avance gráfico remitimos al lector a la figura 6.8, que aparece en dicho capítulo.

### 3.3 ESTRUCTURA GEOLOGICA

El Ampurdán, en su conjunto, constituye una amplia depresión tectónica situada entre el nivel del mar y la cota 200 metros (aprox.). Esta depresión se extiende de sur a norte entre la terminación septentrional del macizo herciniano de las Catalánides y la masa paleozoica de la zona axial pirenaica. El límite oriental de esta depresión queda oculto bajo las aguas del mar Mediterráneo, mientras que el límite occidental lo constituye un claro murallón topográfico, que geológicamente corresponde a la gran falla de Bañolas. Esta falla, de dirección N-S, separa de manera tajante los sedimentos eocenos de la depresión del Ampurdán de los sedimentos coetáneos de la zona montañosa de la Garrotxa, situada más al oeste.

El zócalo de esta gran depresión geológica está constituido por los materiales paleozoicos (principalmente pizarras) que afloran al norte y al sur del Ampurdán (en la zona axial pirenaica y en Las Gabarras, respectivamente); su profundidad media puede estimarse, en conjunto, superior a los 2.500 metros (según han demostrado las medidas geofísicas y los sondeos mecánicos realizado en estos últimos diez años).

Los materiales que rellenan la depresión del Ampurdán son fundamentalmente de edad eocena y alcanzan en nuestra región espesores superiores, al menos, a los 1.300 metros (1). Una buena parte de estos materiales eocenos hundidos se halla a su vez recubierta, en discordancia, por una cobertera neógena, la cual, en el Alto Ampurdán, es de edad mio-

---

(1) Al oeste de la falla de Bañolas las observaciones directas de campo han revelado espesores de eoceno que llegan a rebasar con toda seguridad los 3.000 metros.



cena y pliocena y de facies predominantemente marina, mientras que en el Bajo Ampurdán es casi exclusivamente de edad pliocena y de facies predominantemente continental.

Los depósitos de facies marina de la cobertera neógena del Ampurdán indentan lateralmente —hacia el oeste— con las facies continentales de la misma edad, que se extienden hasta el pie de la falla de Bañolas. En el Alto Ampurdán, tanto la extensión superficial de la cobertera neógena como su espesor alcanzan un mayor desarrollo que en el Bajo Ampurdán, donde la cuenca sedimentaria aparece subdividida por un gran número de asomos y umbrales eocenos. En el Alto Ampurdán el espesor de la cobertera neógena alcanza muy probablemente los 1.000 metros; en el Bajo Ampurdán (en el corredor de Albons) conocemos espesores neógenos máximos de 200 metros, y no nos parece probable que lleguen a sobrepasar los 400 metros, como máximo.

### 3.3.1 EL BAJO AMPURDAN: RASGOS ESTRUCTURALES DE MAYOR IMPORTANCIA

#### 3.3.1.1 La falla de la terminación septentrional de la cordillera costera catalana

Un sistema de fallas paralelas, alineadas de modo general en dirección E-O, marca con gran precisión el límite de los macizos hercinianos de Bagur y Las Gabarras con la depresión del Ampurdán.

Al sur de este conjunto de fallas afloran los materiales paleozoicos (pizarras lustrosas, pizarras arenosas, calcoesquistos y cuarcitas) y, localmente, algún retazo de materiales eocenos; al norte, por el contrario, sólo afloran las formaciones eocenas de los Tramos Inferior y Medio, descritos en el apartado 3.1.4.1., en posición casi siempre violenta, con frecuentes laminaciones de los tramos arcillosos y con buzamiento general hacia el norte, en contraste con el buzamiento de los afloramientos de la parte central de la región, donde éste es prácticamente constante hacia el oeste.

#### 3.3.1.2 Posible estructura en escamas (figura 3.4)

En parte oculto bajo los sedimentos neógenos y en parte al descubierto, existe en la región aquí estudiada un accidente tectónico de remarkable envergadura. Se trata de la gran línea de cobijadura que permite el afloramiento del Secundario (Keuper, Lías y Cretácico) cabalgando so-

CORTES GEOLOGICOS ESQUEMATICOS  
MOSTRANDO LA ESTRUCTURA  
MAS PROBABLE DE LA REGION

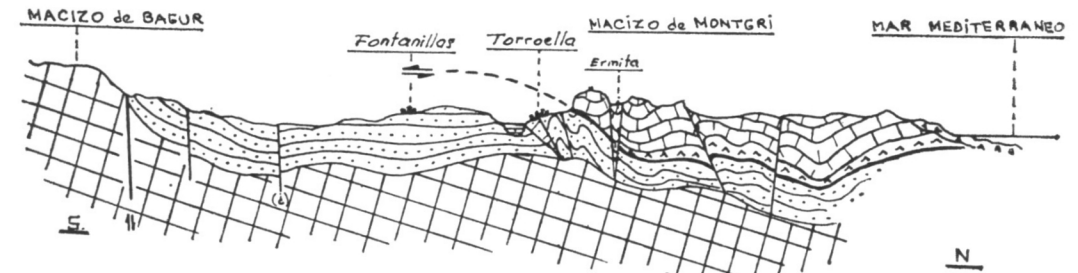
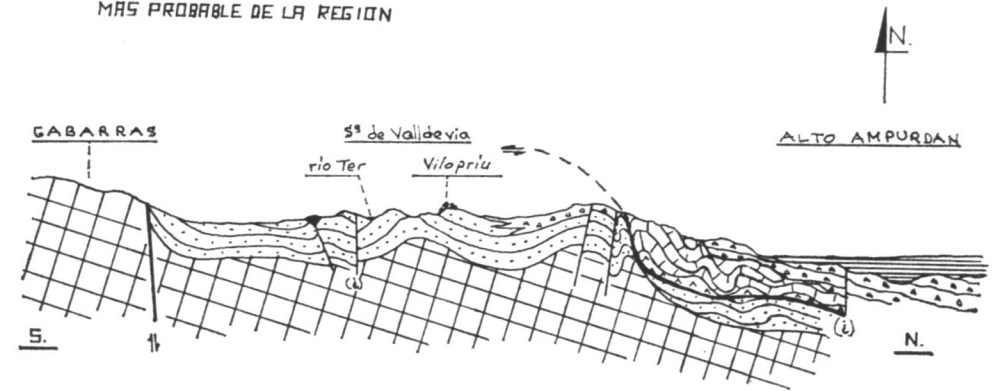


Figura 3.4

bre el Eoceno, tal y como se observa en la línea de afloramientos que va de L'Estartit a Torroella de Montgrí y a Ullá, así como en los afloramientos de Bellcaire y Albons.

La existencia de la gran masa de calizas cretácicas del macizo de Montgrí en posición cabalgante sobre los materiales del Eoceno Superior era ya conocida con anterioridad al presente estudio y ha sido descrita en trabajos anteriores al nuestro (SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M., y SOLE SABARIS, L., 1933). Igualmente, había sido estudiada la continuidad hacia el norte del frente de cabalgamiento del Montgrí, hasta Figueras, a través de los pequeños asomos de Bellcaire, Albons y Sant Mori (SOLE SABARIS, L.; FONTBOTE, J. M.; MASSACHS, V., y VIRGILI, C., 1955).

Sin embargo, los datos que nos han sido facilitados de los sondeos profundos de reconocimiento petrolífero (núms. 45, 46 y 47, particularmente el núm. 46, de profundidades respectivas de 1.680 m., 3.319 m. y 639 m.) realizados con posterioridad a aquellos trabajos, nos han hecho sospechar la existencia de una estructura **probablemente** mucho más complicada de lo que podría deducirse hasta aquí a través de las simples observaciones directas de campo.

Si bien la falta de precisión en algunas descripciones de los testigos del sondeo núm. 46 nos obliga a ser extremadamente prudentes en nuestras interpretaciones estructurales definitivas, existe, sin embargo, el hecho incuestionable de que en dicho sondeo, a los 3.172 metros de profundidad, después de haber travesado un primer tramo de 1.239 metros de materiales eocenos (en los que aparecieron representados los tramos Inferior, Calcáreo, Medio y Superior), seguido de un segundo gran tramo de materiales metamorfizados, **reaparecieron las facies sedimentarias no metamorfizadas** (1). Estas últimas facies fueron datadas por los técnicos que dirigían el sondeo como eocenas, y en ellas se continuó la perforación hasta los 3.319 metros, sin haber alcanzado su basamento.

Parece, pues, a primera vista, bastante probable la existencia de una segunda escama de corrimiento imbricada por debajo de la escama ya conocida del Montgrí (consultar figura 3.5). Esta posible segunda escama a la que nos referimos estaría fundamentalmente constituida por una potente masa de materiales eocenos y paleozoicos alóctonos cabalgante sobre los sedimentos eocenos y paleozoicos autóctonos. Entre los dos bloques, autóctono y alóctono, quizá podría existir una potente masa de materiales metamorfizados (o remetamorfizados) por la fricción de la escama durante su «mise en place»; sin embargo, las descripciones que nos han sido facilitadas nos dejan un poco «en el aire», sin podernos

(1) Según nos ha informado la propia compañía realizadora del sondeo.

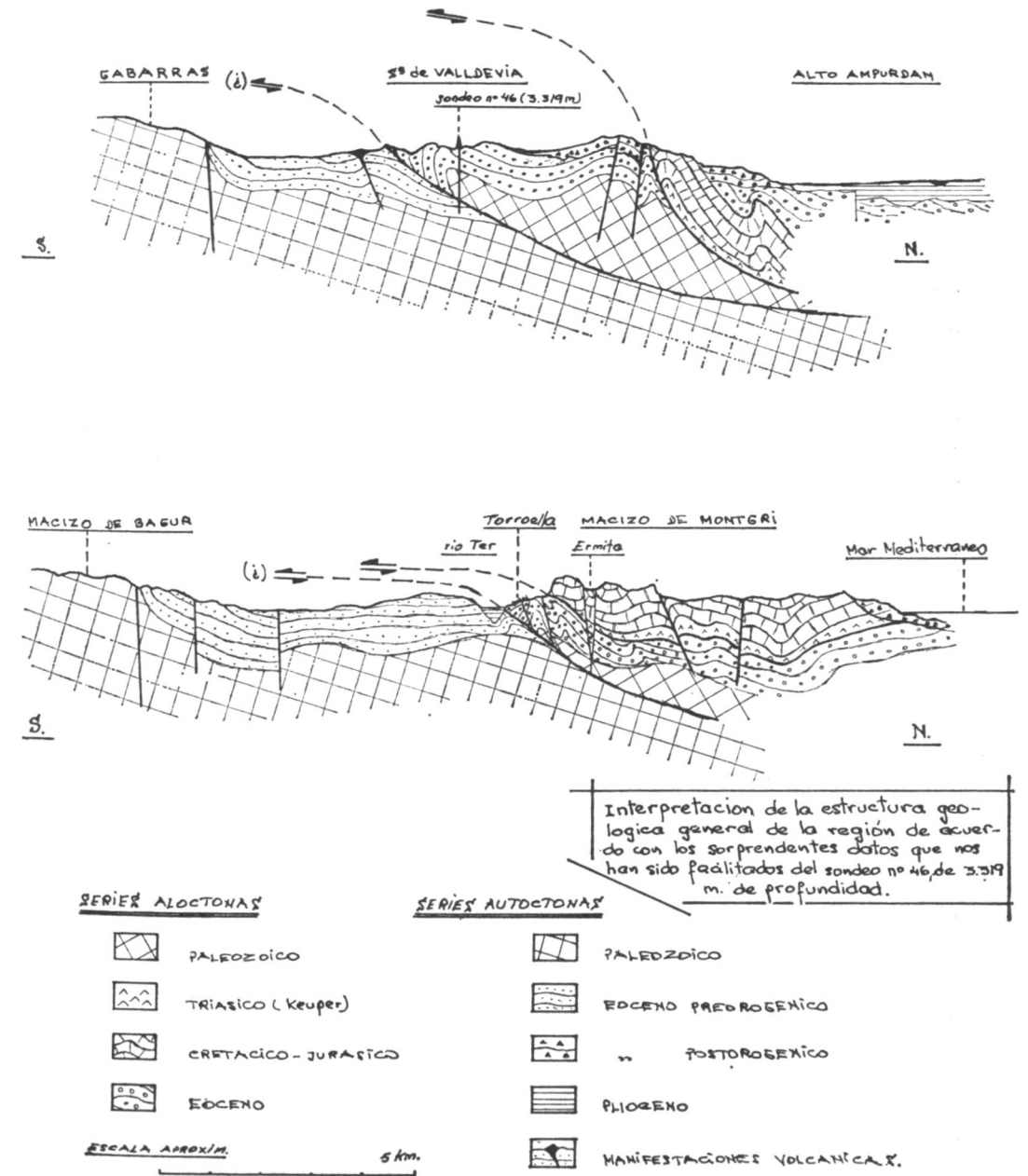


Figura 3.5

pronunciar definitivamente en un sentido o en otro, ya que no poseemos la absoluta seguridad de que los 1.934 metros atravesados entre la cota en la que aparecieron los sedimentos paleozoicos y la cota que reaparecieron los sedimentos eocenos correspondan en su totalidad a terrenos de edad paleozoica; es probable —a juzgar por las descripciones litológicas que nos han sido facilitadas— que una buena parte de tales terrenos corresponda a primitivos sedimentos eocenos, o mesozoicos, metamorizados por la fricción del bloque cabalgante sobre el cabalgado durante su recorrido de «mise en place».

Encima de esa supuesta escama se encontraría la escama calcárea del Montgrí, representada en superficie exclusivamente por materiales secundarios. La estructura resultante de la superposición de las dos escamas podría ser, a grandes rasgos, semejante a la que mostramos en el croquis estructural de la figura 3.5.

Si admitiéramos, pues, la teoría de las dos escamas superpuestas, nos encontraríamos ante el hecho de que en la región existirían dos **conjuntos eocenos diferentes**: uno **alóctono** y otro **autóctono**; en tal caso, el conjunto autóctono sería el que aflora en la zona marginal del macizo de Bagur y Las Gabarras, y probablemente también el que aflora en toda la parte central de la región (Fontanilles, Llaviá, Ullestret, La Bisbal, Foixá, Parlabá, La Pera, etc.); mientras que el conjunto alóctono estaría representado por los afloramientos eocenos situados al pie del macizo de Montgrí, por el gran bloque que constituye la sierra de Valldeviá y por la serie que se oculta inmediatamente debajo de los depósitos cuaternarios y neógenos del corredor de Albons.

**Sin embargo**, el hecho de la reaparición de las facies sedimentarias eocenas bajo un considerable espesor de materiales metamorizados observado en el sondeo núm. 46, a 3.172 metros de profundidad, no exige forzosamente la presencia de una escama de corrimiento, puesto que quizá la acción de una importante falla inversa (sin necesidad de recurrir a grandes desplazamientos del bloque cabalgante) podría dar una explicación, en principio, satisfactoria.

### 3.3.1.3 El corredor de Palafrugell

Estructuralmente el corredor de Palafrugell corresponde a una depresión tectónica, estrecha y alargada, de 3 Km. de ancha y 14 Km. de larga, en la que cabe hacer la distinción de dos mitades: la mitad norte y la mitad sur, separadas topográficamente por el pequeño cerro en el que se ubica la villa de Palafrugell. La mitad norte, tanto topográfica como geológicamente, se muestra como una clara fosa tectónica; mientras que la

mitad sur, aunque topográficamente se muestra como la continuación de la mitad norte, desde el punto de vista geológico no parece tan evidente su continuidad, dado que a un lado y a otro de cada una de las supuestas fallas maestras aparecen los terrenos graníticos.

Esta depresión, en su conjunto, ha sido ya objeto de un detallado estudio hidrogeológico presentado como tema de tesis doctoral en La Sorbona, en diciembre de 1968 (consultar MARTINEZ GIL, F. J., 1968).

La ausencia de depósitos neógenos en el fondo de esta depresión no nos permite datar el momento geológico exacto en que tuvo lugar el movimiento subsidente, del que únicamente podemos decir que como máximo tiene una antigüedad que se remonta a los últimos tiempos del Eoceno (¿Biarritzense? ¿Ludiense?).

Por su parte sur la depresión de Palafrugell desemboca en el mar (en Palamós), donde se oculta bajo las aguas; por su parte norte desemboca en la llanura aluvial del Bajo Ter, donde se oculta bajo los sedimentos deltaicos del Ampurdán.

### 3.3.1.4 El corredor de Albons

Al igual que el corredor de Palafrugell, el corredor de Albons constituye una depresión topográfica de forma alargada y estrecha, de dimensiones semejantes a aquélla, alineada sensiblemente en la misma dirección.

Creemos que, muy probablemente, este corredor debe constituir también una depresión tectónica, colmatada por un considerable espesor de sedimentos neógenos. Estos sedimentos, en el sondeo núm. 38 sobrepasan los 170 metros (profundidad máxima alcanzada por la perforación) y en el sondeo núm. 34 los 150 metros (consultar los cortes geológicos generales del anexo II). Nos invitan a pensar, en efecto, en la existencia real de la supuesta depresión tectónica la serie de factores siguientes: **a)** configuración morfológica del corredor de Albons; **b)** presencia de un considerable espesor de sedimentos neógenos, colmatando el fondo del corredor; **c)** déficit de masa observado en las mediciones geofísicas, y **d)** desaparición del frente de la escama calcárea del Montgrí entre Belcaire y Albons.

Aunque carecemos de argumentos definitivos para pronunciarnos, sea en favor de la hipótesis de una depresión tectónica, sea en favor de la hipótesis de una fuerte erosión fluvial, como explicación de la génesis del corredor de Albons, nuestra opinión se inclina más bien hacia la primera hipótesis, puesto que, además de la serie de argumentos citados más arriba, se nos hace difícil admitir la posibilidad de que el Ter o el Fluviá hayan

tenido la necesidad de abrirse semejante camino a costa de tan gran labor erosiva en un punto tan bajo de sus cuencas (estamos en la desembocadura).

### 3.3.1.5 Las erupciones volcánicas

Las manifestaciones volcánicas del Ampurdán son numerosas. Dentro de la región aquí estudiada las manifestaciones más importantes son las de la zona Parlabá-Foixá y las de Casavells-La Pera; estas últimas situadas ya parcialmente fuera de la zona de estudio hidrogeológico.

Las erupciones basálticas de la zona Parlabá-Foixá apenas indican nada más que su edad posteocénica —puesto que atraviesan las formaciones superiores del eoceno (Biarritzense-Ludiense)—. Sin embargo, las erupciones de la zona Casavells-La Pera-Corsá aparecen localmente fosilizadas bajo una masa de derrubios neógenos, continentales, en los que CRUSAFONT (CRUSAFONT, M., 1958, p. 34) ha descrito una fauna mamífera del Pontense Superior: *Dinotherium laevius* (JOURD.).

La edad prepliocénica y posteocénica de las erupciones volcánicas de nuestra región es un dato más que nos ayudará a reconstruir los principales pasos de la historia geodinámica del Ampurdán, objeto del siguiente apartado.

## 3.4 HISTORIA GEODINAMICA

Partiendo de las descripciones estratigráficas y estructurales que se han ido exponiendo en los tres anteriores apartados, haremos a continuación un intento de reconstrucción de la historia geodinámica, no ya solamente la de la región aquí estudiada, sino también de todo el Ampurdán en su conjunto.

Persiguiendo hacer una exposición ordenada de los sucesivos hitos geodinámicos, haremos tales descripciones a través de la serie de fases (o etapas geodinámicas) más características expuestas en su orden cronológico.

### 3.4.1 PRIMERA FASE: EL UMBRAL MESOZOICO (figura 3.6a)

Es evidente que durante los tiempos mesozoicos existió un importante umbral que afectó a todo lo que hoy constituye el Ampurdán (excepción

hecha de un estrecho surco sedimentario que se extendió en dirección E.-O. al pie de la zona axial pirenaica).

En lo que respecta a nuestra región, tal evidencia no ofrece dudas, puesto que los depósitos eocenos del Bajo Ampurdán descansan directamente sobre un basamento paleozoico, denunciando de este modo la existencia de una amplia laguna estratigráfica que comprende todos los tiempos mesozoicos. La existencia de esta supuesta laguna viene corroborada por la ausencia de elementos mesozoicos en los conglomerados del Eoceno Inferior, hecho que descarta toda posibilidad de un supuesto período erosivo que habría desmantelado los sedimentos mesozoicos depositados con anterioridad.

### 3.4.2 SEGUNDA FASE: SUBSIDENCIA PALEOGENA (figura 3.6b)

La iniciación de un gran movimiento subsidente de dirección NE.-SO., que afectó a todo el Ampurdán y que permitió el comienzo de una importante transgresión marina ya desde los primeros tiempos paleógenos, queda denunciada por la presencia de los centenares de metros de depósitos eocenos de facies marina que rellenan el fondo de la actual depresión tectónica del Ampurdán.

La dirección de este movimiento transgresivo se deduce a partir de los espesores decrecientes de las series eocenas en la dirección NE.-SO.

Las aguas del mar transgresivo paleógeno debieron alcanzar el límite norte de las actuales Gabarras y el del macizo de Bagur (que por entonces formaban probablemente un frente continuo) con anterioridad, al menos, al Luteciense, como lo prueba la presencia del nivel rojo de *Vidalina gerundensis* (VID.) que constituye el Tramo Rojo Inferior, ya descrito en el subcapítulo de estratigrafía.

Probablemente una buena parte de la terminación de la actual cordillera costera catalana (Las Gabarras y el macizo de Bagur) quedó cubierta bajo las aguas durante los momentos más intensos de la transgresión paleógena, puesto que si bien en la actualidad no existen depósitos eocenos sobre la terminación de la cordillera, no debemos olvidar que el contacto actual entre los materiales eocenos del Ampurdán y los paleozoicos de los macizos de Bagur y Las Gabarras tienen lugar por falla y que, por tanto, los materiales terciarios se nos muestran hoy día en una posición relativamente más baja con respecto a la cordillera que la que tuvieron en el momento de su deposición. No debemos olvidar tampoco el hecho de la presencia de varios centenares de metros de depósitos eocenos en la parte norte del corredor de Palafrugell; estos depósitos se encuentran

INTERPRETACION ESQUEMATICA

DE LA

HISTORIA GEODINAMICA DE LA REGION

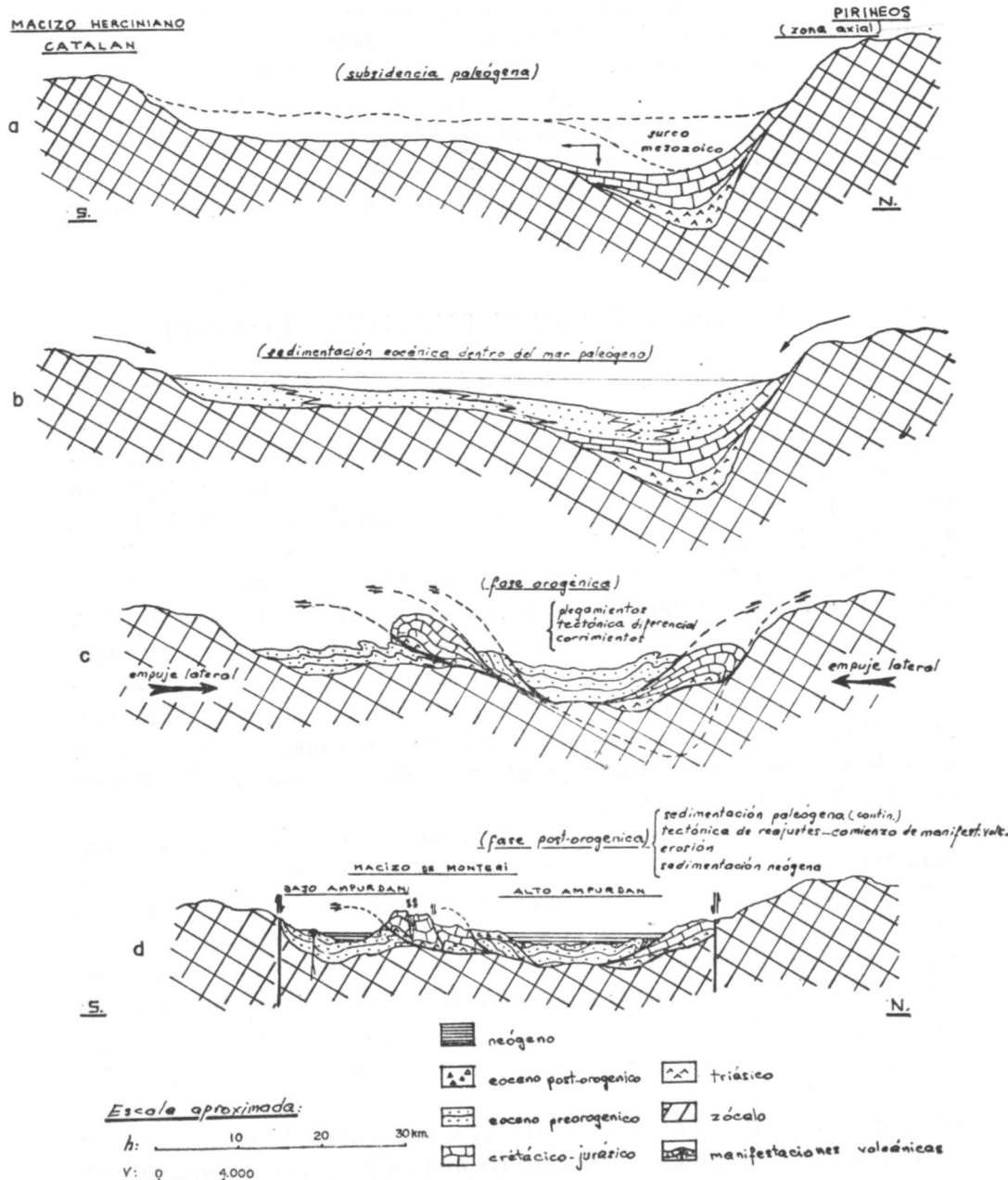


Figura 3.6

hundidos unos 200 metros con respecto a los bloques que lo limitan y, por otra parte, su deposición debió exigir una cierta profundidad marina.

3.4.3 TERCERA FASE: PERIODO OROGENICO Y «MISE EN PLACE» DE LAS ESCAMAS (figura 3.6c)

Un período de fuerte actividad orogénica debió necesariamente iniciarse al final de los tiempos eocenos, originando una fuerte compresión que permitió el resurgimiento de los materiales que rellenaban el fondo de la cubeta paleógena y el curso mesozoico subpirenaico.

Bajo los impulsos de estas fuertes compresiones debió originarse, en primer lugar, la formación de fuertes pliegues, seguida, en segundo lugar, de la puesta en juego de una importante tectónica diferencial (arcillas, margas y yesos, por un lado, y areniscas, conglomerados y calizas, por otro) y, finalmente, en tercer lugar, la aparición de importantes despegues y escamas de corrimiento que perforando su rígida cobertera se trasladaron hacia el sur.

La puesta en marcha y el desarrollo de este período de fuerte actividad orogénica nos explicaría el proceso por el cual pudo haber llegado hasta nuestra región la masa de calizas cretácicas del Montgrí (depositada varias decenas de kilómetros hacia el norte, en el antiguo surco mesozoico) y los materiales eocenos de la posible segunda supuesta escama, situada por debajo de la del Montgrí.

La dirección de estos fuertes empujes viene dada tanto por la orientación NO.-SE. de los pliegues desarrollados sobre los sedimentos eocenos de la sierra de Valldeviá como por la orientación de los pliegues que se observan en la mitad occidental del macizo de Montgrí (consultar mapa geológico del anexo I), los cuales denuncian la dirección NE.-SO. del empuje que los originó.

Un hecho particularmente significativo nos permite datar la edad del momento en que tuvo lugar la «mise en place» de la escama del Montgrí. Se trata de los afloramientos marinos del Eoceno del Tramo Superior de la zona de Viloprúu, cuya edad biarritzense viene demostrada por la fauna de foraminíferos allí encontrada. Estos sedimentos fosilíferos indentan hacia el NE. con las formaciones conglomeráticas de Garrigoles-Ventalló, donde las facies finas desaparecen y son sustituidas por estratos en los que predominan los elementos groseros —sucesivamente peor rodados y de mayor tamaño— formados en su mayor parte por elementos de calizas cretácicas que denuncian la gran proximidad de un macizo calcáreo que suministró tales materiales a los agentes erosivos.

Esos conglomerados groseros, mal rodados, que indentan con las fa-



cies marinas biarritzenses de Viloprúu, no solamente nos indican que en dicho momento ya había tenido lugar la «mise en place» de la escama, sino que además fosilizan en varios puntos de la región el frente de corrimiento de la escama, denunciando claramente su edad postorogénica.

Sabemos, por otra parte, que las facies eocenas marinas que descansan inmediatamente debajo de la masa de conglomerados postorogénicos de la sierra de Valldeviá son también claramente biarritzenses (datos del sondeo núm. 46), hecho que nos conduce a atribuir una edad intrabiarritzense al momento de la «mise en place» de la escama.

En cuanto a la supuesta segunda escama (o falla inversa, en su defecto) únicamente podríamos decir aquí que su «mise en place» sería de edad, sea ligeramente anterior a la de la escama superior, sea coetánea con ella. Si, por el contrario, no se tratara de una escama, sino de una falla inversa, su origen sería también de edad orogénica (biarritzense-lu-diense), puesto que habría sido provocada por los mismos empujes de dirección NE.-SO. que transportaron la escama del Montgrí, anterior, por tanto, a la aparición de las grandes fallas de distensión y de reajustes isostáticos que caracterizan la aparición de la fase siguiente; de no haber sido así, la falla en cuestión habría tenido un desarrollo directo, que no serviría para explicarnos la reaparición de las facies sedimentarias descritas en la columna del sondeo núm. 46.

#### 3.4.4 CUARTA FASE: PERIODO DE REAJUSTES POSTOROGENICOS (ESTRUCTURAS GERMANICAS Y MANIFESTACIONES VOLCANICAS) (figura 3.6d)

El desequilibrio isostático que debieron originar los movimientos orogénicos de la fase anterior fue sin duda la causa que debió provocar la aparición de nuevos movimientos de reajuste.

Este nuevo movimiento de reajuste estructural, de edad neógena (y quizá también oligocena), se nos manifiesta a través de dos hechos geológicos singulares: a) la formación de varios sistemas de fallas verticales, y b) la aparición de un período de actividad volcánica.

El desarrollo de importantes sistemas de fallas verticales de descompresión tectónica permitió, de manera general, un hundimiento progresivo de las estructuras plegadas, emergidas del fondo de la depresión ampurdanesa al final del Eoceno. Este hundimiento permitió, a su vez, la «ingresión» marina que dio lugar al depósito de los varios centenares de metros de facies marinas de edad neógena (miocénicas en el Alto Ampurdán y pliocénicas en el Bajo Ampurdán).

De manera particular —en la región aquí estudiada—, a este nuevo

movimiento postorogénico de reajustes isostáticos se deben probablemente los rasgos estructurales más singulares que marcaron la pauta para la posterior modelación superficial del relieve de la región, que permitió llegar a su configuración morfológica actual. Entre estos rasgos estructurales se pueden destacar: a) el conjunto de fallas de dirección E.-O., que marcan de manera tajante la terminación septentrional de la cordillera costera catalana; b) la formación de las depresiones tectónicas de Palafrugell y Albons; c) el sistema de fallas de dirección N.-S. que atraviesa los afloramientos eocenos de la parte central de la región (Fontanilla, Llaviá, etc.); d) las fallas que dividen en varios bloques al macizo de Montgrí; e) el gran pliegue sinclinal de L'Escala, etc.

La aparición de un período de cierta actividad volcánica ha dejado su huella en los afloramientos de Ciurana, Vilacolum, Parlabá-Foixá, Casavells-La Pera y otros más, sobre cuya edad neógena ya hemos hablado anteriormente.

Las manifestaciones volcánicas más antiguas corresponden probablemente a los basaltos de Ciurana (Mioceno Medio) y las más recientes son ya claramente pliocenas: traquitas de Vilacolum.

Dentro de nuestra región las manifestaciones volcánicas más importantes son las de Parlabá-Foixá (que apenas nos indican nada más que su edad posteocena) y las de Casavells-La Pera-Corsá, que al aparecer localmente fosilizadas bajo una masa de derrubios neógenos continentales del Pontense Superior nos denuncian su edad miocena.



**CAPITULO 4**  
**CLIMATOLOGIA**

**4.1 LA CLIMATOLOGIA EN LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS**

**4.2 RECOPIACION DE DATOS**

**4.3 LAS PRECIPITACIONES**

- Su interés en los estudios hidrogeológicos
- Número anual de días de lluvia
- Precipitaciones eficaces

#### 4.1 EL ANALISIS DEL CLIMA EN LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Es frecuente en muchos de los estudios hidrogeológicos regionales —aun incluso en su primera etapa de recopilación de datos y de reconocimiento general— hacer estudios detallados del clima en lo referente a precipitaciones, temperaturas, vientos y poder evaporante de la atmósfera.

El cálculo detallado del volumen anual de las precipitaciones, el estudio de la distribución minuciosa de las lluvias a lo largo del año, el estudio detallado de cada precipitación, así como los estudios minuciosos de los vientos, de las temperaturas, del poder evaporante de la atmósfera y de la evapotranspiración real, pueden ser (algunos de ellos) muy interesantes para la investigación en Hidrología de Superficie y para la investigación agronómica.

En Hidrogeología, sin embargo, la mayor parte de tales estudios tienen un valor práctico bastante dudoso, muchas veces nulo, y pueden dar la impresión (al no entendido) de una precisión de trabajo, que en el fondo es en su mayor parte ilusoria.

Con ello no queremos decir que en los estudios hidrogeológicos deba excluirse sistemáticamente el estudio del clima regional, sino, por el contrario, que debe ser hecho a la escala del conjunto del estudio, a la escala de precisión de los datos disponibles y sobre todo **sin olvidar la finalidad concreta del conjunto del estudio ni el sentido práctico.**

Los estudios detallados del clima, incluidos como tema de relleno en los informes hidrogeológicos, indican, en nuestra opinión, una falta de sentido práctico y de método de investigación.

El estudio del clima que nosotros presentamos ha estado enfocado casi exclusivamente a obtener una **idea general de la cuantía y del régimen de las precipitaciones**, sobre todo de las precipitaciones en la zona llana de la región, donde la escorrentía superficial es prácticamente inexistente y el poder de infiltración del suelo es bastante elevado.

## 4.2 RECOPIACION DE DATOS Y SITUACION DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS

Los datos que hemos conseguido son, en primer lugar, los que aparecen en el Atlas Pluviométrico de Cataluña (FEBRER, 1930). En este Atlas se recopilan y elaboran los datos pluviométricos y termométricos existentes en toda Cataluña desde los tiempos más remotos hasta el año 1925. Como se trata de datos ya elaborados, nosotros nos limitaremos exclusivamente a transcribirlos. Los únicos puestos de observación emplazados en nuestra región de entre todos los recopilados en FEBRER (1930) son los que mostramos en el cuadro IV (1), en el que figura la longitud de las series anuales correspondientes a cada estación, así como las precipitaciones medias.

En segundo lugar hemos dispuesto de los datos existentes con posterioridad a 1925, que facilita el Servicio Meteorológico Nacional. Los hemos recogido a través de la Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental. En el cuadro IV (2) presentamos la longitud de las series anuales correspondientes a cada estación, así como las coordenadas geográficas de cada una de éstas.

Sólo es a partir del año 1945 cuando, en general, empieza a disponerse de series ininterrumpidas. En este sentido, las series más largas corresponden a las estaciones de Bagur (pueblo), Calella de Palafrugell, La Bisbal, Palafrugell y Torroella del Montgrí, de 22, 19, 9, 18, 22 y 21 años, respectivamente.

Para el estudio del régimen pluviométrico mensual y estacional, para el estudio del número anual de días de lluvia, así como para el estudio de las «precipitaciones eficaces», hemos utilizado únicamente los datos de Jafre, por considerarlos los más representativos dentro de la finalidad de nuestro estudio climatológico.

De las seis estaciones citadas, sólo la de Bagur registra las temperaturas.

## 4.3 LAS PRECIPITACIONES

### 4.3.1 SU INTERES EN LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Interesa al hidrogeólogo particularmente el número de precipitaciones que a lo largo de un ciclo hidrológico fijado (p. e., un año) superan una determinada altura que él ha obtenido experimentalmente como mínima

**C U A D R O I V (1)**  
PLUVIOMETRIAS ANUALES, SEGUN FEBRER (1930)

Pluviómetro	Período	Serie más larga	Módulo anual medio
Ampurias	1913-25	12 años	659,5 mm.
Bagur (semáforo)	1911-25	14 "	700,1 "
Bagur (pueblo)	1909-20	11 "	518,9 "
Cabo San Sebastián	1896-23	27 "	702,9 "
Figueras			560,8 "
La Bisbal	1896-25	12 "	716,8 "
L'Escala	1914-25	11 "	637,0 "
Medas	1911-23	12 "	420,5 "
Palafrugell	1897-25	9 "	671,3 "
Palamós	1912-25	13 "	668,7 "
Torroella del Mar			656,0 "

**C U A D R O I V (2)**  
PLUVIOMETRIAS ANUALES POSTERIORES A 1945

Pluviómetro	COORDENADAS			Serie más larga	Módulo anual
	Long.	Latitud	Cota		
Bagur (pueblo)	3° 13'	41° 58'	220	22 años	470 mm.
Calella de P.	3° 12'	41° 52'	4	19 "	681 "
Jafre	3° 00'	42° 50'	70	22 "	670 "
La Bisbal	3° 02'	41° 57'	65	9 "	
Palafrugell	3° 10'	41° 56'	65	18 "	705 "
Torroella del M.	3° 08'	42° 02'		21 "	595 "

para que sea eficaz a los acuíferos. Esta altura será, preferentemente, el fruto de una observación directa sobre el terreno a lo largo de un ciclo hidrológico. Ya se comprende que no se tratará de un valor constante para todo el ciclo, sino que variará según la época del año, el tipo de acuífero y de suelo, el estado vegetativo de las plantas, etc.

Fijada esta **altura mínima eficaz**, le interesa al hidrogeólogo aprovechar estadísticamente al máximo los datos sobre los registros meteorológicos ya existentes de años anteriores.

Tomando nota del número de precipitaciones que a lo largo de un ciclo hidrológico han superado esa altura mínima, cada ciclo estará así definido

hidrológicamente por un número determinado de precipitaciones eficaces, y el número de años de observaciones de que disponga formará una serie de valores que podrá analizar estadísticamente, intentando adaptar algunas de las leyes teóricas de repartición de frecuencias.

De este modo podrá conocer el período de retorno que corresponde a un «año seco» definido por un número dado de «precipitaciones eficaces», así como la probabilidad de que una sucesión de dos, tres, cuatro... años secos consecutivos aparezca.

Este tipo de estudio de las precipitaciones puede tener un cierto interés práctico en el caso de acuíferos fuertemente explotados que posean una capacidad de embalse relativamente reducida con relación al volumen total de las extracciones anuales, donde la aparición, por ejemplo, de dos, tres, etc., «años secos» consecutivos podría tener consecuencias nefastas, sea para la explotación del cuarto año, sea para el emplazamiento de los grupos de bombeo o para la profundidad de las obras de captación que podrían quedar situadas por encima de la zona de saturación (o del nivel piezométrico).

De modo muy general interesa al hidrogeólogo conocer el orden de magnitud del módulo pluviométrico anual y el de los años secos correspondientes a un período de retorno dado. De modo también muy general interesa en Hidrogeología conocer la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, tal como las épocas lluviosas y el número anual de días de lluvia.

#### 4.3.2 LAS PRECIPITACIONES ANUALES

De FEBRER (1930) transcribimos los valores medios que hemos presentado ya en el cuadro IV (1).

Con los datos de las observaciones facilitadas por el Servicio Meteorológico Nacional hemos construido el cuadro IV (3). Los valores característicos que en él figuran: media, mediana, modo, valores extremos y coeficiente de irregularidad, han sido calculados en todas las estaciones sobre el mismo período de referencia, al objeto de hacer comparables los resultados entre sí.

El año más seco en los 22 años de la serie 1945-46 a 1966-67 correspondió a 1961-62, en el que se recogieron en la región cantidades variables entre 288,9 mm. (Bagur, pueblo) y 490 mm. (La Bisbal).

El año más lluvioso correspondió a 1962-63, en el que se recogieron cantidades variables entre 863,6 mm. (Bagur, pueblo) y 1.236,8 mm. (La Bisbal).

Las precipitaciones medias durante el período de 18 años (1949-50 a 1966-67) oscilaron en la región entre 470 mm. (Bagur, pueblo) y 712 mm. (La Bisbal, corregida).

C U A D R O I V (3)

AÑO	BAGUR	CALELLA	PALAFRUGELL	JAFRA	TORROELLA M.	LA BISBAL
1945-46	473,4	—	—	585	462,5	—
1946-47	376,1	—	—	663	530,3	—
1947-48	544,7	—	—	623	592,5	—
1948-49	283,0	379,0	—	603	412,7	—
1949-50	402,9	531,8	653,4	477	500,8	—
1950-51	529,9	839,7	875,3	772	863,6	—
1951-52	370,4	509,1	590,3	573	526,1	—
1952-53	391,4	472,0	444,3	498	375,6	—
1953-54	455,8	693,3	557,9	635	538,6	—
1954-55	319,7	556,8	477,4	600	409,2	—
1955-56	507,8	670,4	664,6	645	585,7	—
1956-57	464,4	596,2	605,7	806	637,6	—
1957-58	360,2	589,0	601,1	503	482,6	563,4
1958-59	678,8	1.070,8	1.135,1	1.023	1.076,9	1.236,8
1959-60	428,1	711,0	844,3	705	662,7	813,3
1960-61	463,3	747,1	724,5	563	574,3	617,1
1961-62	288,9	440,5	456,1	466	395,9	490,9
1962-63	863,6	1.213,2	1.222,8	1.033	958,5	1.173,0
1963-64	501,2	587,3	681,3	709	508,6	743,6
1964-65	482,7	853,9	937,1	736	795,0	821,8
1965-66	599,4	689,0	779,6	783	610,5	587,5
1966-67	358,1	483,5	438,7	547	—	—
Media	470	681	705	670	595	712
Mediana	460	633	659	617	556	(corregida)
Modo	450	550	650	550-750	550	
Máx.	863	1.213	1.222	1.033	1.076	
Mín.	238	440	444	466	375	
Máx/Mín.	3,0	2,7	2,7	2,2	2,8	
Media (1)	461			660	575	

(1) Todos los valores característicos están referidos al período 1949-50 a 1966-67, al objeto de poder comparar los resultados entre sí, salvo la Media (1), que se refiere al período 1945-46 a 1966-67.

A este último respecto debemos señalar que el valor de la precipitación media de una estación varía sensiblemente con la longitud de la serie para valores inferiores a 30 años. De REMENIERAS (1965, p. 101) transcribimos el cuadro IV (4), que muestra, según BINNIE, los desvíos de los módulos pluviométricos anuales en función de la longitud del período de referencia utilizada.

CUADRO IV (4)

DESVIOS OBSERVADOS ENTRE LOS MODULOS PLUVIOMETRICOS MEDIOS, SEGUN LA LONGITUD DEL PERIODO DE REFERENCIA

NUMERO DE AÑOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DE LA MEDIA	DESVIOS EN % DE LA MEDIA OBTENIDA CON RELACION A LA MEDIA DE UN PERIODO LARGO	
	+	-
1	51,00	40,00
2	35,00	31,00
3	27,00	25,00
5	15,00	15,00
10	8,22	8,22
20	3,24	3,24
30	2,28	2,28

El coeficiente de irregularidad (máx/mín.) osciló entre 3,0 (Bagur, pueblo) y 2,2 (Jafre). En los climas mediterráneos, cuando se toman series ininterrumpidas, el coeficiente de irregularidad se sitúa normalmente entre 4 y 5 (según REMENIERAS, p. 102).

A título informativo hemos construido los gráficos de la figura 4.1, en los que mostramos la sucesión cronológica de las pluviometrías anuales durante los últimos 22 años en las estaciones de Bagur pueblo, Jafre y Palafrugell, que representan los valores: extremo inferior, medio y extremo superior de las precipitaciones de la región. En la figura 4.2 presentamos el histograma de frecuencias de las precipitaciones anuales en las diferentes estaciones de la región, tomando como intervalo de clases el valor 100 mm.

Las estaciones más representativas de la zona baja de la región son las de Palafrugell, Jafre y La Bisbal, que, como veremos en el capítulo 7, se trata de la zona de mayor interés hidrogeológico. En estas tres estaciones, en el año seco se recogieron 456 mm., 466 mm. y 491 mm., respec-

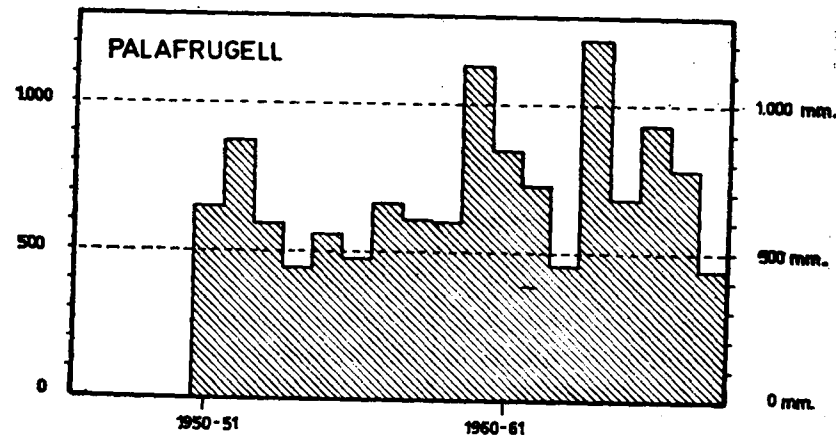
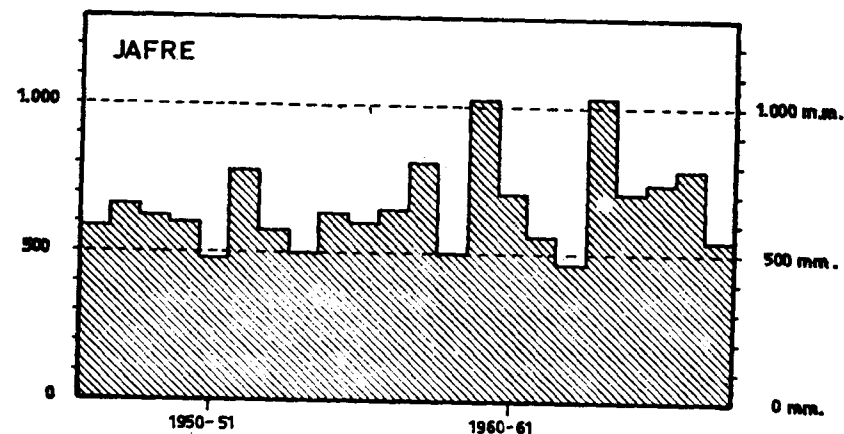
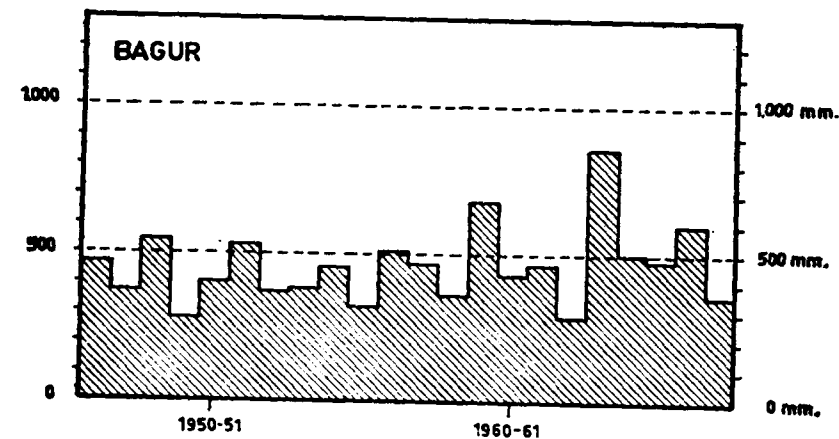
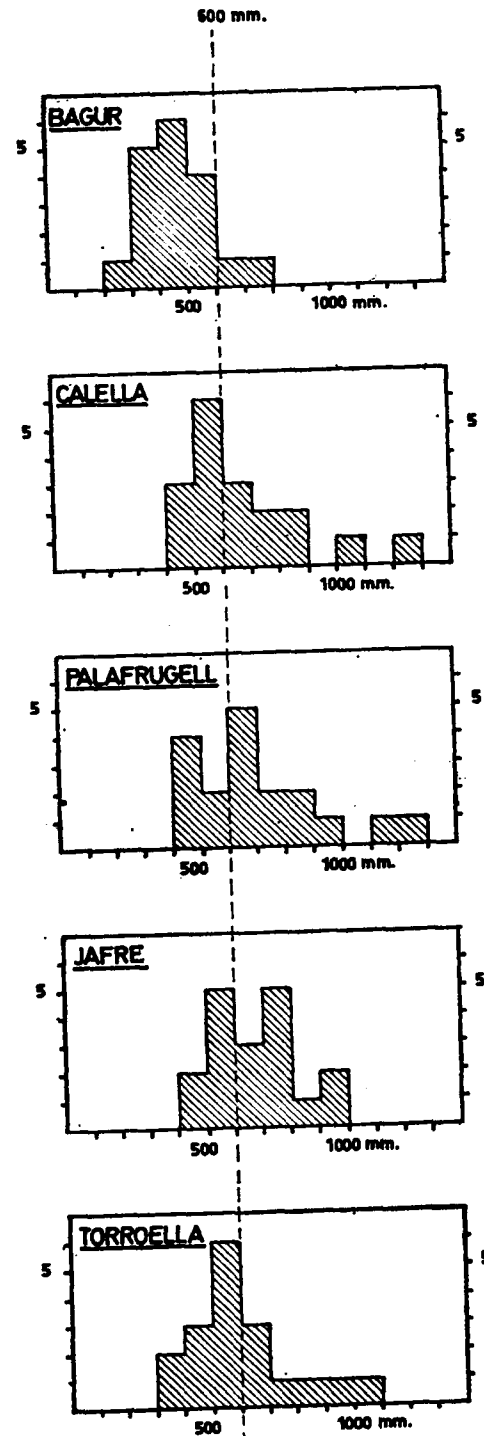


Figura 4.1



HISTOGRAMA DE REPARTICION DE FRECUENCIAS DE LOS MODULOS PLUVIOMETRICOS ANUALES DURANTE EL PERIODO DE 1949-50 A 1966-67

(intervalo de clase 100 mm.)

Figura 4.2

tivamente. En el año lluvioso las precipitaciones fueron de 1.222,8 mm., 1.033 mm. y 1.173 mm. Como las series de distribución de frecuencias en los tres pluviómetros son marcadamente asimétricas (consultar figura 4.2), más que en el valor de la media aritmética interesa fijarse en el modo.

En Palafrugell y en Jafre los valores más frecuentes se sitúan entre 600 y 700 mm.

#### 4.3.3 ADAPTACION A UNA LEY TEORICA DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Hemos intentado encontrar una ley teórica de distribución que se ajuste lo más posible a la serie de 22 valores anuales disponibles en la estación de Jafre.

En principio debemos señalar que la serie es demasiado corta en lo que respecta a la influencia de los valores extremos, que son justamente los que más nos interesan, especialmente los años secos.

El resultado de nuestro intento es que en primera aproximación la «ley de los valores extremos» de GUMBEL se adapta bastante bien a los valores medios y bajos.

En el cuadro IV (5) presentamos la serie de valores de P (precipitaciones anuales) clasificados en orden creciente. Su medida aritmética ( $\bar{x}$ ) es 660. A cada valor de P corresponde un número (n) de orden y a éste una «frecuencia experimental», que hemos definido por  $\frac{n}{N+1}$  (N es el número total de efectivos).

A la derecha de la columna de frecuencias experimentales aparecen los cuadrados de los desvíos absolutos con respecto a la media aritmética, y debajo el valor de la fluctuación media:  $\frac{\sum_{i=1}^{22} (\bar{x} - P)^2}{2 \sigma}$  y el del desvío tipo.

Para el cálculo de la ecuación de la recta que más se ajusta a la serie de 22 años, según la ley teórica de distribución de GUMBEL, se puede utilizar con suficiente aproximación la fórmula  $x = x_0 + \frac{1}{a} y$

$$\text{donde: } \frac{1}{a} = 0,780 \cdot \sigma$$

$$x_0 = \bar{x} - \frac{0,5777}{a}$$

## CUADRO IV (5)

CALCULO DE LOS PARAMETROS NECESARIOS PARA EL AJUSTE DE LA SERIE DE 22 VALORES ANUALES DEL PLUVIOMETRO DE JAFRE A LA LEY DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE GUMBEL

Número de orden n	Frecuencia experimental n/N + 1	P, en mn.	Desvíos absolutos ( $\bar{x} - P$ ) <sup>2</sup>
1	0,043	466	37.600
2	0,087	477	33.500
3	0,130	498	26.300
4	0,174	503	24.700
5	0,217	547	12.800
6	0,260	563	9.400
7	0,305	573	7.580
8	0,350	585	5.620
9	0,390	600	3.600
10	0,435	603	3.250
11	0,480	623	1.370
12	0,520	635	625
13	0,565	645	225
14	0,610	663	9
15	0,650	705	2.030
16	0,695	709	2.400
17	0,740	736	5.800
18	0,780	772	12.500
19	0,825	783	15.100
20	0,870	806	21.400
21	0,910	1.023	132.000
22	0,955	1.033	139.000
Media aritmética: $\bar{x}$		660	—
Fluctuación media: $\sum_1^{22} (\bar{x} - P)/22 =$		—	22.500
Desvío tipo: $\sigma$		—	150
$1/a = 0,780 \times \sigma = 117$		—	—

Procediendo según este método de ajuste hemos encontrado los valores siguientes:

$$\frac{1}{a} = 117 \quad \text{y} \quad x_0 = 592,5$$

con lo que la ecuación de la recta será:

$$x = 592,5 + 117 y$$

La representación de esta ecuación sobre el papel de probabilidad de la función GUMBEL nos da la recta de la figura 4.3, de la cual se deduce que para un período de retorno de 20 años al «año seco» le correspondería una precipitación de 466 mm.

EL VALOR MAS PROBABLE OSCILA EN TORNO A LOS 640 mm.

Hemos intentado igualmente hacer el ajuste según la ley de distribución normal. El resultado ha sido que los valores extremos superiores se adaptan mal, al contrario de los valores medios y bajos, donde el ajuste es casi perfecto. Según la ley de distribución de GAUSS, obtenemos para el «año seco», en un período de retorno de 20 años, el valor aproximado de 440 mm.

Conocida ya una ley teórica de distribución que se adapta a los valores extremos inferiores, puede deducirse fácilmente la probabilidad que corresponde a la aparición de dos, tres, cuatro, etc., años seguidos con precipitación inferior a un valor dado.

## 4.3.4 CALCULO DEL VOLUMEN ANUAL DE PRECIPITACIONES

El método más sencillo —pero a la vez bastante inexacto— para calcular el volumen de agua caída sobre una zona determinada consiste en admitir como altura media de las precipitaciones sobre el conjunto de la región considerada la **media aritmética** de las precipitaciones registradas en cada uno de los pluviómetros de la región o de su proximidad. Según este procedimiento de cálculo, la precipitación anual media en nuestra región sería de 639 mm. y el volumen total de agua recogida en los 490 Km<sup>2</sup> de cuencas hidrográficas confluyentes en el interior de la región (fig. 4.4) en cada uno de los años: seco, medio y lluvioso, sería el siguiente:

año seco: 207 Hm<sup>3</sup>  
 año medio: 313 »  
 año lluvioso: 528 »

Cuando la variación de las precipitaciones de un pluviómetro a otro es de cierta importancia, el método de la media aritmética puede conducir a resultados bastante falsos. En estos casos es más correcto obtener una media ponderada, teniendo en cuenta la **repartición por alturas** de la región y atribuir a cada altura topográfica una precipitación determinada, cuenta habida de la posible influencia de las zonas montañosas. Este método requiere que los pluviómetros estén repartidos por las diferentes altu-

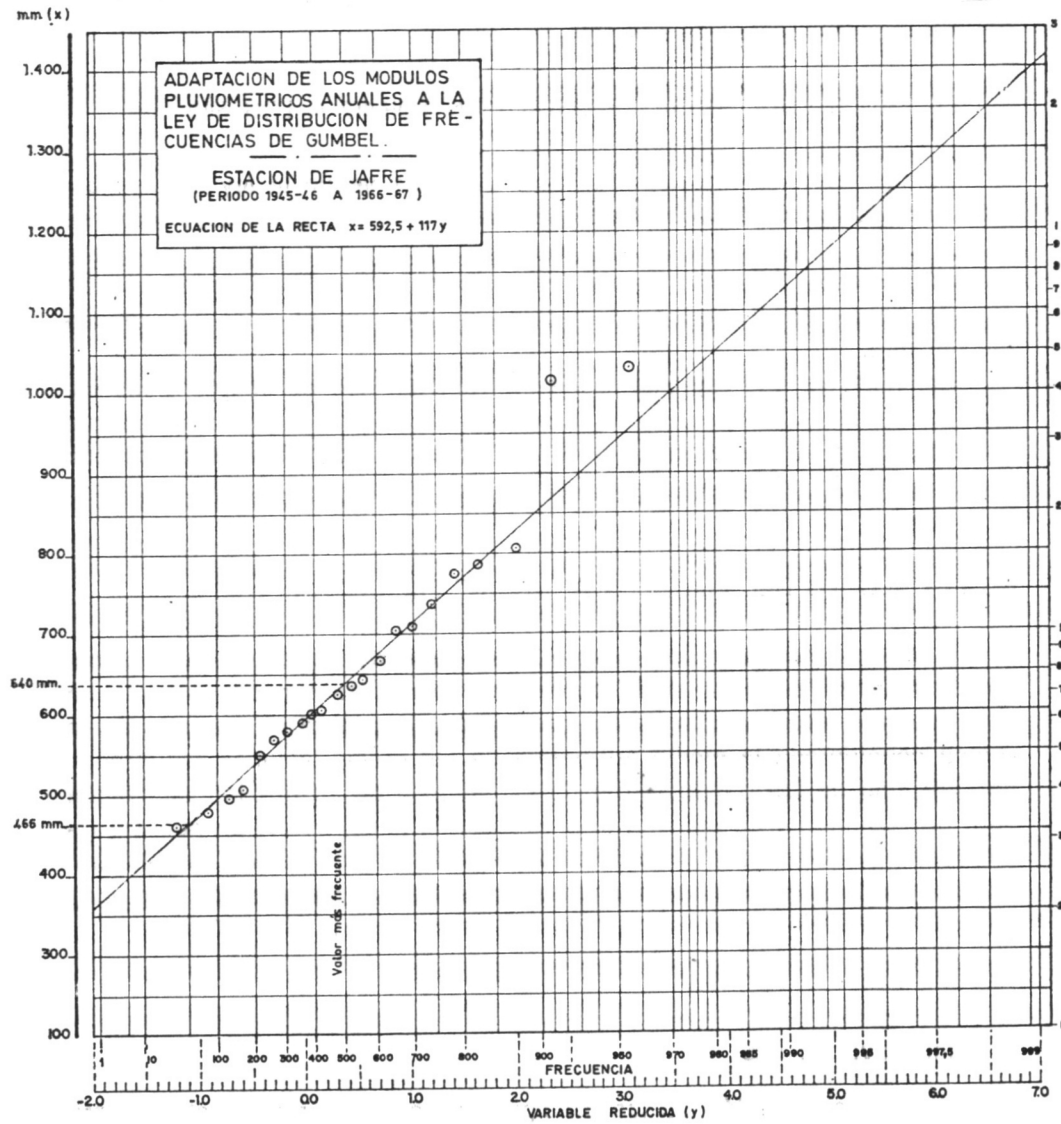


Figura 4.3

CUENCAS HIDROGRAFICAS Y DISTRIBUCION DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES: POLIGONOS DE THIESSSEN.

Escala:

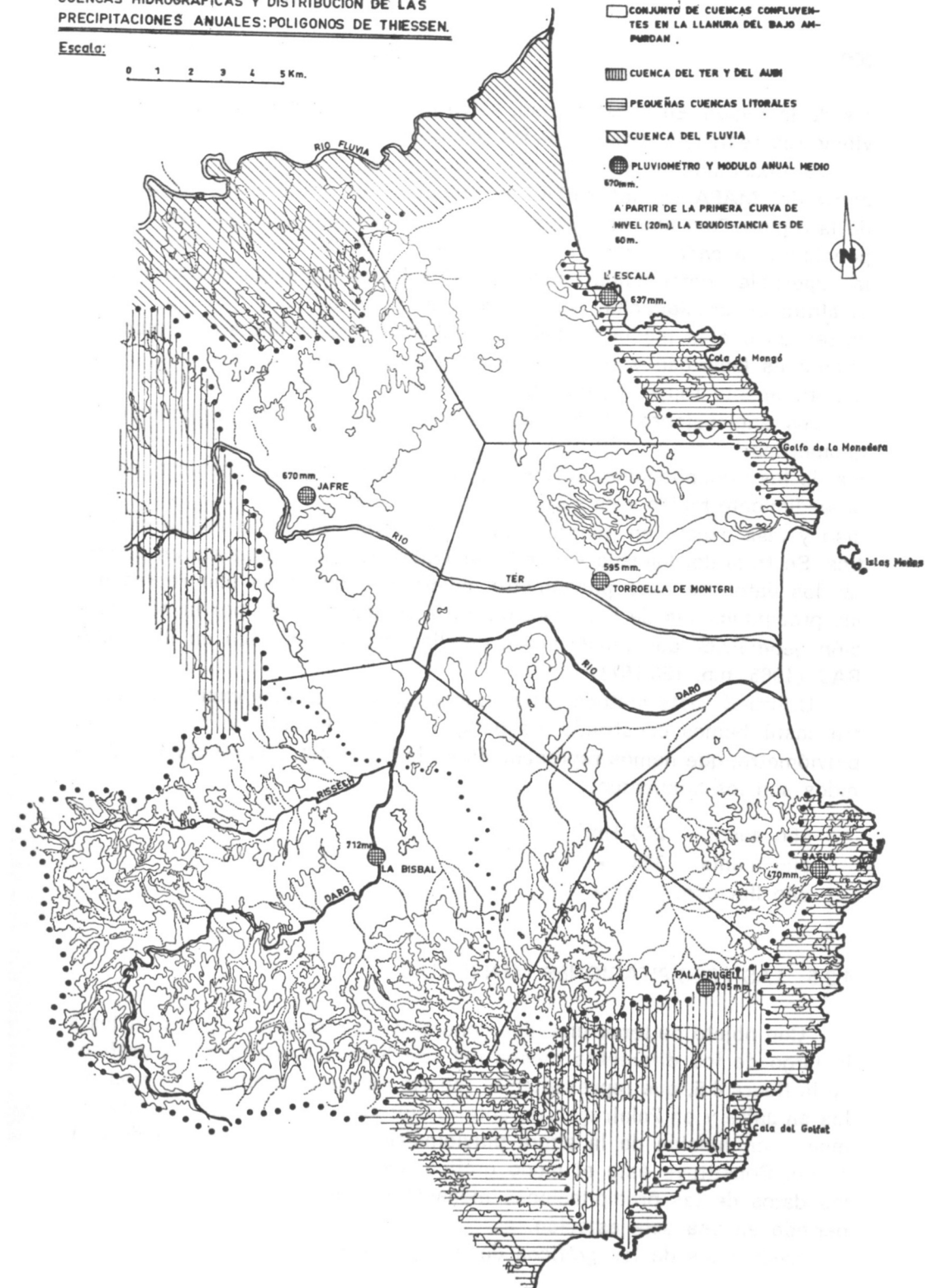


Figura 4.4



ras de la región. En nuestro caso, salvo el pluviómetro de Bagur, los pluviómetros restantes están situados por debajo de la cota 70 m.

El procedimiento más racional y más preciso consiste en calcular a partir del MAPA DE ISOHETAS el volumen del «relieve pluviométrico» de la región. Para ello es preciso construir los mapas de isohietas correspondientes a cada uno de los años: seco, medio y lluvioso, planimetrar la superficie comprendida entre cada dos líneas isohietas y admitir que la altura de precipitación sobre cada una de estas superficies parciales corresponde a la media de las dos isohietas que la limitan. El procedimiento es laborioso y requiere, además, una densa red de pluviómetros uniformemente repartida, que en nuestro caso no disponemos.

Los anglosajones utilizan para ciertas finalidades un procedimiento geométrico un tanto arbitrario, que nada tiene que ver con la causa misma de las precipitaciones ni con su distribución real; no obstante, es un procedimiento rápido y en según qué casos puede ser suficientemente preciso y más exacto en general que el procedimiento de la media aritmética. Se trata del llamado «método de THIESSEN», que consiste en ponderar los datos de cada pluviómetro, admitiendo que cada uno representa las precipitaciones de una fracción de la región definida por la construcción geométrica que puede verse detalladamente explicada en REMENIERAS (1965, p.p. 156-157).

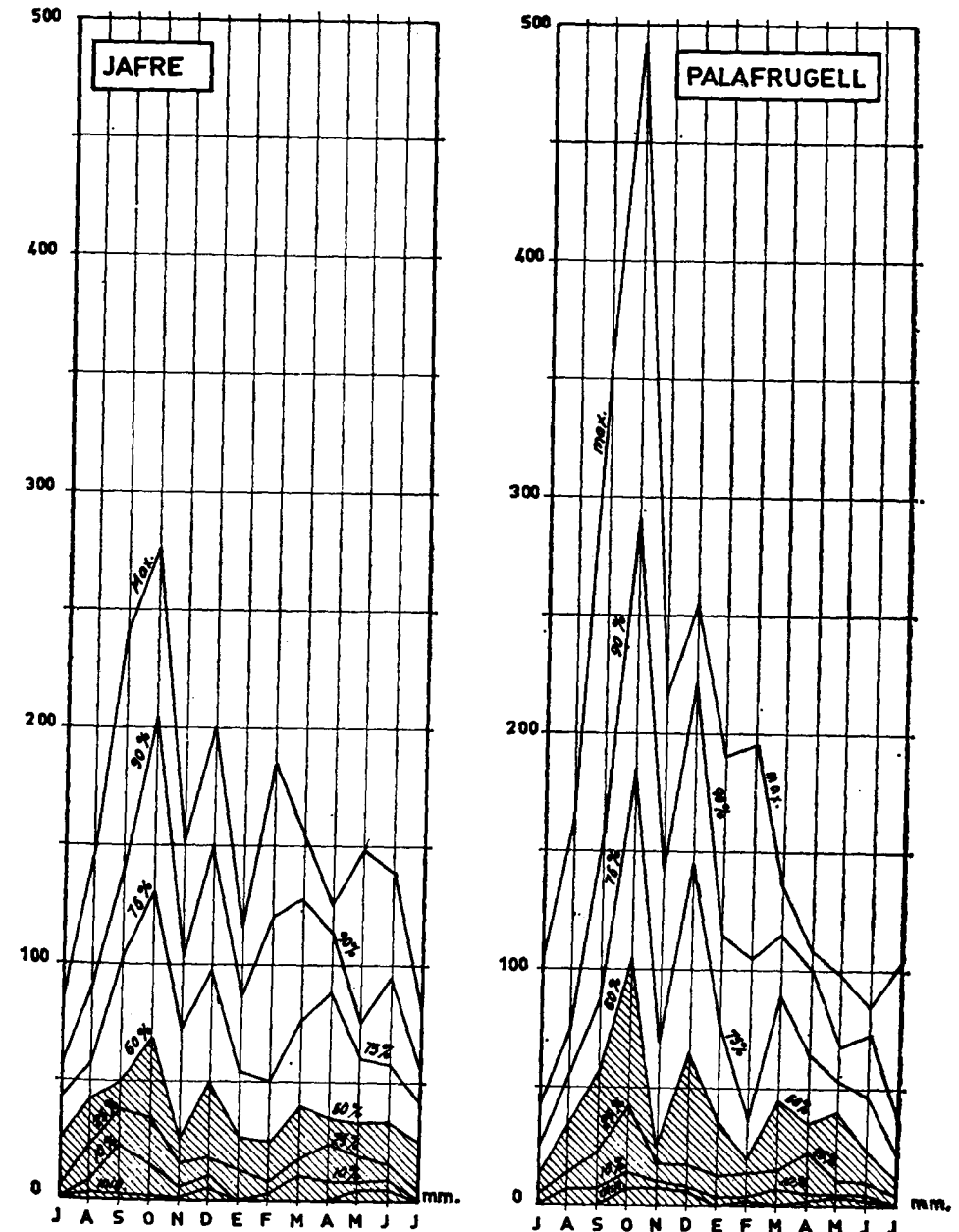
Utilizando este método (que tampoco puede ser muy exacto en nuestro caso) hemos construido los polígonos de influencia en torno a cada pluviómetro, que hemos representado en la figura 4.4. Los resultados obtenidos son los siguientes:

año seco: 220 Hm<sup>3</sup>  
 año medio: 323 »  
 año lluvioso: 645 »

#### 4.3.5 LAS PRECIPITACIONES MENSUALES

Con objeto de tener una idea general de la repartición de las lluvias a lo largo de los diferentes meses del año hemos construido los gráficos de la figura 4.5, que representan el reparto de las precipitaciones mensuales en Jafre y en Palafrugell durante los últimos 22 y 18 años, respectivamente, en función de la altura pluviométrica y de la frecuencia de aparición. Constituye éste el modo gráfico más real de expresar resumidos los datos de las precipitaciones mensuales registradas durante un largo periodo en una sola estación.

Deducimos de los gráficos de la figura 4.5 que los meses de mayor



ALTURAS DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES SEGUN SU FRECUENCIA, PERIODO 1949-50 A 1966-67

Figura 4.5

precipitación son en general septiembre y octubre. Los más secos son enero y julio.

Interesa más, sin embargo, saber que existen a lo largo del año **dos épocas lluviosas**; una de ellas tiene dos meses de amplitud, y aunque estadísticamente corresponde a los meses de septiembre y octubre, puede aparecer desplazada, según los años, hacia agosto o hacia noviembre; es, a su vez, la época de mayor altura pluviométrica; la otra época lluviosa corresponde a los meses de marzo y abril y, al igual que la anterior, puede aparecer desplazada, según los años, hacia febrero o hacia mayo. Diciembre suele ser también un mes relativamente lluvioso, mientras que enero y febrero, junio y julio estadísticamente son los meses más secos.

#### 4.3.6 NUMERO ANUAL DE DIAS DE LLUVIA

En el cuadro IV (6) figura el número anual de días de lluvia en cada uno de los seis pluviómetros actualmente en servicio en la región a lo largo de los años en él indicados.

**CUADRO IV (6)**  
NUMERO ANUAL DE DIAS DE LLUVIA EN LA REGION

AÑO	BAGUR	CALELLA	JAFRE	PALAFRUGELL	TORROELLA
1949-50	60	53	59	61	48
1950-51	83	75	71	76	53
1951-52	58	61	55	70	41
1952-53	60	54	57	66	44
1953-54	74	61	71	90	54
1954-55	62	71	71	85	66
1955-56	76	68	72	83	59
1956-57	80	76	73	71	68
1957-58	64	63	61	73	56
1958-59	94	90	74	104	82
1959-60	91	59	67	95	69
1960-61	55	61	58	85	54
1961-62	60	56	54	67	51
1962-63	92	76	81	98	69
1963-64	67	40	54	62	54
1964-65	76	49	71	77	52
1965-66	83	51	56	70	33
1966-67	76	42	59	47	—
Media	73	62	65	77	56
Modo	65	60	60	75	55

Sin embargo, desde el punto de vista de las aguas subterráneas, más que el número total de días de lluvia al cabo del año interesa conocer —como ya hemos explicado— el número de lluvias que sobrepasan un determinado valor capaz de ser útil para la recarga de los acuíferos.

Dicho valor ya se intuye que no puede ser un índice constante, sino que variará considerablemente de una época del año a otra en función del estado de humedad del suelo vegetal y del de la zona de aireación, y en función del estado vegetativo de las plantas y de la temperatura del suelo y del aire.

A título más bien orientativo hemos construido el cuadro IV (7), en el que figuran en cada mes el número de precipitaciones que han sobrepasado durante la serie de 22 años en el pluviómetro de Jafre un determinado valor. Hemos tomado, para la época de nueve meses, de octubre a junio, únicamente las precipitaciones iguales o superiores a 15 mm. Para los meses de verano, junio, julio, agosto y septiembre, hemos tomado únicamente las precipitaciones iguales o superiores a 25 mm.

Puesto que se trata de un índice, que es muy interesante desde el punto de vista hidrogeológico, conviene que sea fijado experimentalmente tras un sencillo control de las precipitaciones y de las fluctuaciones piezométricas a lo largo de un período de dos o tres años de duración.

Con este fin hemos pedido cuatro pluviómetros, que nos fueron amablemente prestados por el SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL a principios de 1967. Desgraciadamente, no hemos podido encontrar ni la colaboración ni el apoyo suficiente para poner en marcha este sistema de observación: precipitaciones-oscilaciones piezométricos-extracciones subterráneas.

Del cuadro IV (7) se deduce, «a priori», que la fracción más importante de la recarga anual se verifica estadísticamente en torno a octubre, y que el año más probable durante el período 1945-1967 ha estado definido por 11 «precipitaciones eficaces». Igualmente deducimos —si suponemos que estos veintidós años son suficientes para representar un largo período— que la probabilidad de que aparezcan dos años secos consecutivos definidos por un número de precipitaciones eficaces no superior a ocho, es de 0,132; es decir, que estadísticamente se producirá aproximadamente cada 7,6 años. Del mismo modo, la frecuencia de aparición de tres «años secos» consecutivos definidos como los anteriores será estadísticamente de 20,8 años.

CUADRO IV (7)

«PRECIPITACIONES EFICACES» DURANTE EL PERIODO 1945-67 EN JAFRE

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1945	4	0	0	1	2	0	0	0	2	1	2	1	13
1946	2	0	1	3	1	0	0	1	0	3	0	0	11
1947	1	2	0	0	0	0	0	1	2	3	0	1	10
1948	2	3	1	0	0	0	1	0	1	1	0	3	12
1949	0	1	0	0	3	0	0	0	1	0	1	2	8
1950	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0	1	6
1951	1	0	3	2	1	1	0	0	0	4	1	0	13
1952	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	4
1953	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	1	2	8
1954	0	2	4	0	1	1	0	0	1	0	0	0	9
1955	3	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0	2	10
1956	0	1	7	3	0	0	0	0	0	2	2	0	15
1957	1	1	2	3	2	1	0	1	1	3	3	1	19
1958	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	6
1959	0	3	3	0	0	1	0	1	2	6	0	0	16
1960	0	0	2	1	0	0	0	0	2	2	0	1	8
1961	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	5
1962	1	0	0	3	1	0	0	0	1	4	1	1	12
1963	3	3	0	1	0	1	1	1	3	1	2	2	18
1964	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	5	5	15
1965	0	0	1	2	1	0	0	0	0	10	0	0	14
1966	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	6
1967	1	3	0	1	3	0	0	0	1	0	3	0	12
TOTAL	21	20	27	23	18	6	4	9	23	51	26	22	

## CAPITULO 5

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES  
DE LOS TERRENOS PRECUATERNARIOS\*

- 5.1 DESCRIPCION DE LAS POSIBILIDADES EN AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS TERRENOS GRANITICOS Y PALEOZOICOS
- 5.2 ASPECTO HIDROGEOLOGICO DEL MACIZO CALCAREO DE MONTGRI
- 5.3 DESCRIPCION DE LAS POSIBILIDADES EN AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS TERRENOS DEL EOCENO
- 5.4 DESCRIPCION DE LAS POSIBILIDADES EN AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS TERRENOS NEOGENOS

\* Consultar croquis hidrogeológico núm. 3 del anexo I.

## **5.1 DESCRIPCION DE LAS POSIBILIDADES EN AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS TERRENOS GRANITICOS Y PALEOZOICOS**

### **5.1.1 EL GRANITO**

Los terrenos graníticos inalterados no constituyen, por lo general, buenos acuíferos. Las captaciones sobre terrenos graníticos, salvo raras excepciones, apenas permiten alumbrar caudales superiores a 2 ó 3 litros por segundo. En nuestra región, la experiencia así nos lo confirma.

Hemos inventariado (o visitado) la casi totalidad de los pozos abiertos en granito; el más importante de ellos es el llamado «Pozo Faura». Se trata de un pozo abierto de 65 m. de profundidad, provisto en su fondo de una galería de drenaje de 400 m. de longitud; fue construido en 1930 por la municipalidad de Palafrugell para el abastecimiento de aguas potables a la villa; su caudal máximo de explotación es inferior a 1 l/s.

Conocemos también en Montrás el caso de un sistema de pozos y galerías abiertos en el granito para la explotación minera. En estos pozos, la evacuación de las aguas para los trabajos mineros nunca constituyó un problema.

En los restantes pozos hemos anotado los mismos resultados, es decir, caudales siempre inferiores a 2 l/s, lo que nos permite considerar —en principio— las rocas graníticas de nuestra región como prácticamente estériles para la explotación hídrica.

Sin embargo, **queremos subrayar** que en las cuencas graníticas, fundamentalmente en las de «origen tectónico» cuyo fondo esté colmatado por arenas, si bien acostumbra a considerarse el granito como un zócalo impermeable, creemos que éste puede jugar un papel importantísimo como embalse regulador de los recursos hídricos de la cuenca y como fuente permanente de recarga a través de sus sistemas de fracturas. Conocemos, en efecto, el caso concreto de algunas cuencas de este tipo (acuífero de arenas sobre zócalo granítico) en las que el volumen de las extracciones

durante largos períodos de sequía absoluta supera frecuentemente la capacidad de embalse subterráneo formado por las arenas, sin que por ello el acuífero llegue a agotarse. Ello indica, pues, en principio, la existencia de una alimentación en profundidad por parte del zócalo granítico.

### 5.1.2 LAS PIZARRAS

Las pizarras en sí deben ser consideradas siempre como materiales estériles desde el punto de vista de la explotación de las aguas subterráneas.

En nuestra región hemos visitado también la mayor parte de los pozos abiertos en las pizarras. El más importante de ellos es el del Hotel Cap Sa Sal, que tiene un diámetro aproximado de 2,5 m. y una profundidad de 50 m. Este pozo jamás ha sido explotado, dado que el caudal que permite extraer es completamente insignificante en relación con las necesidades del Hotel. De entre los restantes pozos citaremos el llamado «Las Torretas», construido también por la municipalidad de Palafrugell; este pozo, de 25 m. de profundidad, hace años que está abandonado. El pozo del Mas Perich (28-A, 36-B) no proporciona más que el caudal necesario para las necesidades de una casa de campo.

Hemos registrado también varios pozos de profundidades comprendidas entre los 10 y los 15 m.; sus caudales son siempre inferiores a 0,5 l/s.

### 5.1.3 LAS CALIZAS DEVONICAS

Ocupan una extensión muy reducida de la región y además una situación difícil para la investigación. En principio, no ofrecen ningún interés hidrogeológico.

## 5.2 ASPECTO HIDROGEOLOGICO DEL MACIZO CALCAREO DE MONTGRI

Los afloramientos calcáreos del macizo de Montgrí forman una extensión aproximada de 40 Km<sup>2</sup>, lo que supone una recepción anual de aguas de lluvia, variable a lo largo de un período de veinte años, entre 15 y 30 Hm<sup>3</sup>.

Se trata de unos materiales muy diaclasados y carstificados. El aparato cárstico externo es perfectamente visible en superficie y en las principales canteras. Los sondeos que se han realizado han denunciado la presencia constante de importantes grietas y oquedades. En el año 1965

fue objeto de un estudio geológico: MACAU (1965), realizado por el Servicio Geológico del M.O.P., durante el cual se hicieron 28 sondeos mecánicos, que totalizaron 1.503 m. de perforación. Los resultados y datos de este estudio nos han sido muy valiosos. De los 28 sondeos realizados para este estudio, 23 fueron realizados sobre el macizo calcáreo; los cinco restantes se hicieron en la llanura que limita al macizo por su lado occidental. Sin embargo, salvo cuatro de aquellos (los núms. 20, 26, 27, 28) —consultar fig. 3.1—, los restantes sondeos fueron realizados en una zona muy reducida del macizo próxima a L'Escala.

El macizo de Montgrí presenta una estructura geológica muy complicada, de la que los cortes que presentamos en las figuras del Anexo II no son posiblemente más que una imagen esquemática de la realidad.

De todas formas, es importante señalar que en nuestros itinerarios no hemos reconocido ninguna formación margosa o arcillosa potente situada por encima del nivel del mar, lo que era casi de suponer ante la ausencia permanente de cursos de aguas superficiales y de manantiales. La presencia de una formación impermeable por encima del nivel del mar, en una estructura tan compleja como ésta, habría dado lugar a afloramientos de agua en las entalladuras de los barrancos y a la presencia de abundantes manantiales —al menos durante una buena época del año—.

Nuestra idea es que, en síntesis, se trata de una masa calcárea que se continúa, al parecer (al menos para una buena parte del macizo), unos 300 ó 400 m. por debajo del nivel del mar, en la que la diferente composición litológica de algunos estratos y la estructura compleja creemos que son de importancia secundaria. El conjunto calcáreo, gracias a la presencia de una importante red cárstica y a la de los numerosos sistemas de grietas y diaclasas, se comporta probablemente como un todo bastante homogéneo, que a través de un frente acantilado de 15 Km. se halla en contacto directo con el mar.

Se puede afirmar (casi con absoluta seguridad) que el agua del mar penetra a través de ese frente hasta atravesar casi libremente todo el macizo. En la zona de El Sobrestany —al oeste del macizo—, los sondeos números 32, 33 y 34 encontraron las calizas saturadas de «agua salada»; estos sondeos distan, aproximadamente, 6 Km. de la costa. Al norte del macizo, los sondeos núms. 4, 7, 10, 11, 12, 17 y 21, a las profundidades indicadas en el cuadro V (1) encontraron el agua con cantidades variables de «sal» entre 2,3 gr/l. y 8,0 gr/l.

En los sondeos de reconocimiento núms. 2 y 3 (de 121,5 m. y 150 m. de profundidad, respectivamente), situados en el interior del macizo, se encontró un pequeño nivel de «aguas dulces flotando sobre las saladas». Aunque de ninguno de estos últimos sondeos tenemos datos exactos sobre

la cota absoluta de la referencia altimétrica, podemos decir que en todos ellos la zona de interfaces está prácticamente a nivel de la cota cero.

**CUADRO V (1)**

**SALINIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN ALGUNOS SONDEOS DEL MACIZO CALCAREO DE MONTGRI**

Sondeo número	Profundidad de la muestra bajo el suelo	Salinidad en gr/l.
4	38 m.	8,0
7	40 »	7,0
10	25 »	3,1
11	35 »	3,9
12	25 »	2,3
17	35 »	3,4
22	25 »	7,9

De todas formas, si descartamos la posibilidad de acuíferos confinados con un nivel piezométrico situado considerablemente por encima de la cota cero, el hecho de que el nivel freático de esas aguas dulces que flotan sobre las saladas esté, por ejemplo, a 6, 8 ó 10 m. por encima del nivel del mar no tiene demasiada importancia, puesto que dado el bajo valor que hay que suponer al coeficiente de almacenamiento del macizo, un bombeo de cierta consideración en poco tiempo haría descender el nivel freático general en esos 6, 8 ó 10 m., con lo que el gradiente hidráulico quedaría invertido y las aguas saladas del mar se «precipitarían» hacia las zonas de menor potencial hidráulico, invadiendo de este modo el macizo al poco tiempo de comenzada su explotación.

**¿Qué pasa con los 15 Hm<sup>3</sup> o 30 Hm<sup>3</sup> en que anualmente pueden estimarse las aportaciones de las lluvias sobre la superficie del macizo?**

Debemos pensar que, salvo la parte correspondiente a la evapotranspiración, el resto se infiltra y va directa y rápidamente al mar. En la idea hidrogeológica que tenemos, el macizo prácticamente no juega ningún papel de embalse subterráneo regulador, dado que hidrogeológicamente se encuentra permanentemente avenado por el gran dren natural de 100 m.

de profundidad y 15 km. de longitud que constituye el borde acantilado costero del macizo.

Después de una precipitación podemos suponer que una gran parte del agua caída (por ejemplo, un 30 ó un 40 por 100) se infiltra. Este agua, infiltrada a través de la red de canales y fracturas, suponemos que va rápidamente a buscar su salida natural a lo largo de todo el acantilado costero y de las entalladuras de los barrancos.

Mientras la intensidad de una lluvia sea mayor que la capacidad de desagüe del macizo, el nivel piezométrico de las aguas dulces que flotan sobre las aguas saladas provisionalmente irá ascendiendo a medida que los conductos se vayan saturando; pero cuando la intensidad de la lluvia disminuya —o bien cuando sea menor que la capacidad de desagüe instantáneo del macizo—, en poco tiempo (horas o quizá algunos pocos días) se vaciará con velocidad decreciente el volumen de agua momentáneamente embalsado, hasta que el nivel piezométrico en el frente de los acantilados esté al mismo nivel que el agua del mar.

Llegado ese momento, suponemos que el vaciado del macizo se verifica con mayor dificultad y únicamente a través de los desagües submarinos y del contacto con el cuaternario de la llanura fluvial por la acción de la diferencia de presión hidrostática. Este modo de desagüe representa —en comparación con la velocidad de desagüe de la fase anterior— casi un estado de equilibrio.

Esta segunda fase de desagüe lento por debajo del nivel del mar permite (en nuestra opinión) el mantenimiento constante del pequeño espesor de aguas dulces que, flotando sobre las saladas, ha sido detectado por la mayor parte de los sondeos realizados por el S.G. del M.O.P.

En el **Croquis hidrogeológico para la investigación de los terrenos pre-cuaternarios** (Anexo I) hemos señalado la situación de las principales emergencias submarinas de agua dulce detectadas durante el estudio realizado por el S.G. del M.O.P. en el año 1965.

Después de una prolongada época de sequía, el macizo podría incluso llegar a actuar como un dren para el agua contenida en los terrenos cuaternarios de la llanura, donde el nivel de la zona saturada permanece por encima de la cota 10 m. Y viceversa, después de una precipitación intensa, y durante unos días (quizá semanas o meses), podemos suponer que los terrenos cuaternarios drenan subterráneamente el macizo.

De todas formas, lo que realmente es importante es que estamos obligados a admitir que **PRACTICAMENTE LA TOTALIDAD DE LAS AGUAS DE LLUVIA INFILTRADAS EN EL MACIZO CALCAREO DEL MONTGRI SON AGUAS IRREMEDIABLEMENTE PERDIDAS PARA SU APROVECHAMIENTO.**

Descartando la posibilidad de existencia de acuíferos «colgados» y teniendo en cuenta la morfología del macizo, las únicas zonas que no que-

dan descartadas para la investigación hidrogeológica dentro de un plan de prospección regional, son las zonas marginales que hemos indicado en nuestro Croquis Hidrogeológico del Anexo I. Sería ilógico ir a buscar en las zonas interiores niveles piezométricos situados a más de 120 m. de profundidad, lejos de las zonas de consumo, que aun en el caso de encontrarlos serían quizá económicamente inexplorables por el elevado costo de las conducciones, de las instalaciones y de los bombeos.

De todas formas, puesto que la región, como veremos más adelante, ofrece otras zonas muy interesantes para ser explotadas, donde los recursos anuales y las reservas totales hay que suponerlas, «a priori», muy considerables, y donde además los trabajos de investigación son más fáciles y económicamente menos costosos, **NO CREEMOS, DE MOMENTO, CONVENIENTE HACER NINGUN ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE PROSPECCION EN EL MACIZO CALCAREO DEL MONTGRÍ.**

Finalmente, creemos que las ideas esquemáticas que acabamos de exponer respecto al funcionamiento hidrogeológico de este macizo pueden ser, si no hechas extensivas, al menos consideradas antes de emprender el reconocimiento experimental con sondeos mecánicos de formaciones y estructuras semejantes, que aparentemente puedan hacer pensar que encierran grandes riquezas hídricas. En el caso de formaciones calcáreas de estructura y configuración geomorfológica semejantes a las del macizo de Montgrí (por ejemplo, el macizo calcáreo de Garraf, en la provincia de Barcelona). recomendamos actuar con extraordinaria **prudencia**, puesto que siendo «a priori» las posibilidades de encontrar niveles acuíferos muy bajas, los costes de los proyectos de investigación son muy caros y la información que generalmente se obtiene de ellos suele ser muy escasa. Por otra parte, en los macizos calcáreos de este tipo, es decir, los avenados directamente por el mar, los gastos de bombeo, salvo raras excepciones, suelen ser muy elevados, y las obras de instalación y conducción todavía más costosas; todo ello, a veces, para posibles caudales que aun en el caso más optimista no justifican tales inversiones.

### 5.3 DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBILIDADES EN AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS TERRENOS DEL EOCENO

#### 5.3.1 EL TRAMO ROJO INFERIOR

Se trata de los conglomerados de matriz arcillosa que hemos descrito en el capítulo 3 (apartado 3.1.4.1).

En nuestra región existen muy pocas obras de captación sobre estos materiales. En el Mapa Geológico General ya se ve que sus afloramientos

ocupan una extensión muy reducida, y en los cortes geológicos del anexo II apenas si aparecen, puesto que se encuentran por la mayor parte de la región a profundidades superiores a los 500 m.

Por su naturaleza litológica debemos considerar estos materiales como prácticamente impermeables. No obstante, en los sondeos profundos de SIPSA (núms. 45 y 46) los bancos calcáreos que localmente aparecen englobados dentro de los conglomerados rojos provocaron abundantes e importantes pérdidas de lodos durante su perforación.

Cerca de Palafrugell está el pozo núm. 229 (27A-36B), recientemente construido (abril 1968), que es totalmente estéril.

#### 5.3.2 EL TRAMO CALCAREO

**Según nuestra experiencia, es el único tramo del Eoceno que presenta ciertas posibilidades de explotación hídrica.**

Como hemos descrito en el capítulo 3, se trata de unas calizas bastante diaclasadas y carstificadas, que se encuentran confinadas bien sea entre los conglomerados arcillosos del Tramo Rojo Inferior y las margas arenosas del Tramo Medio, bien sea entre los diferentes bancos arcillosos y margosos que forman parte del mismo Tramo Calcáreo.

En la zona de Viloprú-Colomers (Eoceno alóctono) los espesores revelados por los sondeos profundos varían entre 53 m. y 79 m. En el Eoceno autóctono de La Bisbal (sondeo núm. 47), el espesor del tramo es de 43 m., y en el afloramiento de Torrent a Peratallada hemos deducido unos 250 m. (?)

Al parecer, se trata de un tramo muy constante en la base del Eoceno de toda la cuenca sedimentaria del Ampurdán, caracterizado además por su contenido en asfaltos y betunes, hecho por el que han sido objeto de la exploración petrolífera.

Fue descubierto este tramo como acuífero profundo explotable en la parte norte de la depresión de Palafrugell, en el sondeo núm. 55, que nosotros mismos habíamos señalado para el S.G. del M.O.P. en el verano de 1965. Posteriormente, en los sondeos núms. 56 y 57 (situados 600 m., respectivamente, al N. y al S. del núm. 55) se volvió a cortar al mismo acuífero.

El sondeo núm. 57 fue puesto en explotación para incrementar las disponibilidades del nuevo abastecimiento de Bagur, Palafrugell y Regencós. En aquel entonces el acuífero era artesiano y surgente 3 m. por encima del suelo. Después de tres años de explotación, a caudales del orden de 250 m<sup>3</sup>/h. (aprox., 70 l/s.), durante tres a doce horas de bombeo diario

(variable según las demandas a lo largo del año), el nivel piezométrico en septiembre de 1968 había descendido unos 75 m. Ello es debido mayormente a que el acuífero está siendo sobreexplotado y a que el Tramo Calcáreo se encuentra probablemente dividido en la zona próxima al sondeo mediante un sistema de fallas transversales y paralelas a la depresión de Palafrugell, en una serie de bloques que forman pequeñas unidades hidrogeológicamente independientes entre sí.

Más recientemente, este mismo acuífero ha sido probablemente cortado por los sondeos núms. 51 y 53. En el primero de ellos hubo de ser abandonada la explotación porque los fuertes bombeos, al parecer, secaban la fuente de abastecimiento público de Palau Sator; en el segundo se bombea a un caudal aproximado de 70 m<sup>3</sup>/h., produciendo descensos del orden de 1 m. al cabo de treinta horas de extracción. Sin embargo, no podemos asegurar con absoluta garantía que estos dos sondeos exploten el acuífero que constituye el Tramo Calcáreo, puesto que hemos tenido que fiarnos exclusivamente de las descripciones verbales que nos han dado los sondistas que realizaron las dos obras.

Finalmente, en superficie, como acuífero libre, conocemos únicamente dos explotaciones en toda la región; se trata de los pozos núms. 227 y 228, situados en (28 A-32 B) y (28 A-33 B), respectivamente, que permiten caudales del orden de 60 m<sup>3</sup>/h. para descensos aproximadamente de 1 m.

Resumiendo, diremos que desde el punto de vista hidrogeológico **interesa saber que:**

**Primero:** El Tramo Calcáreo está constituido por una serie de 150 m. (aprox.) de potencia en la zona que consideramos de Eoceno autóctono. En esta serie alternan los bancos calcáreos con los bancos de arcillas y de margas.

**Segundo:** El nivel más alto de la serie está constituido por unas calizas brechoides de color rojo. Se trata de un nivel que tiene 17 m. de potencia y que en la parte norte de la depresión de Palafrugell está muy carstificado. Durante las perforaciones, las caídas del trépano en vacío del orden de 30 a 70 cm. son bastante frecuentes. Presenta, por tanto, una transmisibilidad (aunque no es correcto el empleo del término en este caso) prácticamente ilimitada. La limitación es la impuesta por las características de la rejilla y por el diámetro de las conducciones.

**Tercero:** Bajo el nivel de calizas brechoides de color rojo existen al menos 85 m. de materiales estériles para la explotación hídrica: margas un poco arenosas. Inmediatamente debajo, en algunas zonas existe una formación decrítica bastante suelta (según datos del sondeo núm. 52 en Sant Feliú de Boada) que constituye también un acuífero.

**Cuarto:** Entre los numerosos bancos calcáreos que pueden existir hasta la base del tramo, existen al menos dos muy diaclasados y carstificados, que corresponden a los afloramientos de los Masos y de la playa de Pals.

**Quinto:** El Tramo Calcáreo sólo aparece a profundidades accesibles (inferiores a 200 m.) en la parte norte de la depresión de Palafrugell y en una franja marginal del macizo de Bagur y Las Gavarras; fuera de estas zonas el Tramo Calcáreo se encuentra probablemente a profundidades de varios centenares de metros (consultar cortes geológicos del anexo II) y siempre con el riesgo de que las calizas estén saturadas de materiales bituminosos.

En el «Croquis hidrogeológico para la investigación de los terrenos precuaternarios» (anexo I), mostramos las únicas zonas de la región donde, en nuestra opinión, pueden aconsejarse trabajos de reconocimiento, dentro de un plan de prospección regional.

En caso de necesidad nos parece aconsejable iniciar el reconocimiento de la continuación hacia el norte del **nivel de calizas brechoides de color rojo**, descubierto en los sondeos núms. 55, 56 y 57, en la parte norte de la depresión de Palafrugell, con sondeos que lleguen hasta el Tramo Rojo Inferior. Estos tres sondeos no descendieron más allá del nivel de calizas brechoides, por debajo del cual es de esperar, como ya hemos dicho, la presencia de otros importantes bancos calcáreos igualmente diaclasados y carstificados.

La proximidad de las aguas superficiales del Ter en el Rec del Molí de Pals a la actual red de abastecimiento a Bagur, Palafrugell y Regencós, nos hace pensar en la posibilidad de utilizar el Tramo Calcáreo como conducto y como embalse para resolver los problemas que actualmente tiene planteados, a ritmo creciente, el abastecimiento de toda esa zona (consultar MARTINEZ GIL, 1968, capítulo 7).

### 5.3.3 LOS TRAMOS MEDIO Y SUPERIOR

#### 5.3.3.1. Las facies marinas

Las facies marinas del Tramo Superior presentan, en general, las mismas características litológicas que todo el Tramo Medio. Se trata de una serie de alternancias de areniscas margosas de color gris azulado, con arcosas amarillas, con margas arenosas de color azulado y con maclifios, que en superficie presentan aspectos muy diversos. En el sondeo número 47 de La Bisbal, las facies marinas de los dos Tramos, Medio y Supe-



rior, presentan 557 m. de potencia; en el sondeo núm. 45, 1.105 m. y 812 m. en el sondeo núm. 46.

No conocemos en toda la región una sola obra de captación hecha en estos materiales que proporcione caudales de cierta consideración que puedan justificar sobradamente el coste de los trabajos realizados.

**En general deben ser considerados los materiales de estos dos Tramos como estériles para la explotación de las aguas subterráneas, sin que con ello queramos decir que se trate de materiales impermeables.**

Los sondeos y pozos que hemos podido reconocer muestran que a través de los poros de las areniscas, de las pequeñas fisuras de las arcasas (visibles por el depósito de minerales de hierro) y de las fisuras algo mayores de los maciños, existe una circulación de agua que excepcionalmente puede permitir la extracción de caudales de 3 a 4 l/s. Sin embargo, no excluimos la posibilidad de que exista alguna formación detrítica local o especialmente bien emplazada (por ejemplo, una brecha de falla) que permita obtener caudales considerablemente superiores a los indicados; en todo caso, se trata de una posibilidad muy poco probable. Las obras de captación que prácticamente han resultado estériles son numerosas.

En el sondeo núm. 47 de La Bisbal, los únicos tramos que presentaron cierta permeabilidad —observada a través de las pérdidas de presión hidrostática en los lodos de perforación— fueron dos: un tramo de 4 m. de potencia, situado entre los 99 y 103 m. de profundidad, y otro tramo de 55 m. de potencia, situado entre los 250 y 305 m. de profundidad.

En Viloprú (sondeo núm. 45) hubo casi constantes pérdidas parciales de lodos entre los 282 y los 480 m. de profundidad, correspondiendo a dos potentes series: una de maciños y otra de margas azules con elementos detríticos. Entre los 564 y los 636 m. también se observaron pérdidas parciales de lodos.

En Colomers (sondeo núm. 46, de 3.319 m. de profundidad), en los Tramos Medio y Superior, únicamente se registraron pérdidas parciales a los 463 y a los 600 m. de profundidad, en unas areniscas rojas y en unas margas con elementos detríticos, respectivamente. En el cuadro V (2) resumimos los datos hidrogeológicos que nos han parecido de mayor interés de entre los registrados durante los 3.319 m. de perforación.

CUADRO V (2)

RESUMEN DE LOS DATOS DE MAYOR INTERES HIDROGEOLOGICO REGISTRADOS DURANTE LA REALIZACION DEL SONDEO NUM. 46, DE 3.319 m. DE PROFUNDIDAD

Profundidad	Observaciones	Naturaleza geológica
463 m.	Pérdida parcial de lodos.	Areniscas rojas.
600 "	Pérdida parcial de lodos.	Marga arenosa gris.
860-868 "	Pérdida total de lodos seguida de salida de agua artesiana por encima del suelo con 0,24 gr/l. de CIN <sub>x</sub> . Caudal en la boca del sondeo: 60 m <sup>3</sup> /h. Temperatura del agua: 50° C, con 11 % de CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> .	Banco calcáreo dentro de una potente formación de anhidrita.
878 "	Pérdida parcial de lodos.	Anhidrita.
974-978 "	Pérdidas de 8 m <sup>3</sup> de lodos.	Dolomía gris muy porosa.
1.017-1.024 "	Pérdidas parciales de lodos.	Calizas del tramo calcáreo.
1.050 "	Pérdida de lodos seguida de salida de agua artesiana con 5,6 % de gases CH <sub>4</sub> y SH <sub>2</sub> . Contenido en CIN <sub>x</sub> 0,1 gr/l.	Banco calcáreo del Tramo Rojo Inferior.
1.273-1.277 "	Pérdida de lodos seguida de salida de agua con gas CH <sub>4</sub> .	Arenisca cuarcítica metamórfica con aspecto de gneis.
1.399-1.344 "	Pérdida de 15 m <sup>3</sup> de lodos.	Arenisca cuarcítica.
1.410-1.412 "	Pérdida de 25 m <sup>3</sup> de lodos.	Intercalación cuarcítica en pizarras.
1.496-1.499 "	Pérdida total de lodos. Presencia abundante de gas CH <sub>4</sub> .	(?) Sin testigo.
1.644-1.646 "	Pérdida de 20 m <sup>3</sup> de lodos.	Pizarras (?).
1.704-1.706 "	Pérdida de 13,5 m <sup>3</sup> de lodos.	Banco de cuarcita.
1.749-1.751 "	Pérdida de 19 m <sup>3</sup> de lodos.	Pizarra cuarcítica.

### 5.3.3.2 Las facies continentales

Las facies continentales del Tramo Superior están formadas por areniscas y conglomerados de color rojo. Hidrogeológicamente, hasta el presente no han presentado ningún interés.

En general, los conglomerados de cemento calcáreo pueden tener un cierto interés hidrogeológico, porque considerados en grandes extensiones suelen comportarse como materiales permeables debido a su frecuente estado de carstificación y fracturación.

Los conglomerados duros (sean de cemento calcáreo o silíceo) tam-

bién suelen ser permeables considerados en grandes extensiones, a causa de su estado de fracturación. Sin embargo, desde el punto de vista de la explotación de las aguas subterráneas, no sólo interesa la permeabilidad de las formaciones, sino también su capacidad de retención de las aguas infiltradas. Las rocas permeables por fisuración es necesario que presenten una estructura favorable para que puedan embalsar cantidades considerables de agua, bien sea reteniendo la mayor parte de agua infiltrada o bien sea dejándola salir lentamente.

En las formaciones permeables por porosidad el factor estructura tiene una importancia menor en el almacenamiento del agua infiltrada, debido a que la velocidad de circulación en este tipo de terrenos es muy baja y el desagüe natural se verifica muy lentamente.

Los conglomerados del Tramo Superior afloran en la mitad norte de la sierra de Valldeviá, donde, salvo en el eje del sinclinal que va de Las Olivas a La Tallada, no presentan ningún tipo de estructura especialmente favorable, y donde, además, los sucesivos estratos son cortados por la red de barrancos y torrentes que en ellos se entallan, sin que haya por ello presencia de manantiales.

Al norte de Torroella y al pie del macizo de Montgrí afloran potentes bancos de conglomerados duros y fracturados. La estructura general de esta zona es en principio favorable para el almacenamiento del agua infiltrada, pero, sin embargo, la ausencia permanente de manantiales nos obliga a pensar en niveles piezométricos (caso de existir) bastante bajos, donde los sondeos de reconocimiento tendrían que alcanzar una profundidad muy considerable.

Existen varias experiencias negativas en los materiales de este Tramo. En el sondeo núm. 36 (La Tallada) se perforaron 250 m. sin encontrar ningún nivel acuífero importante. En el sondeo núm. 40 (Palau Borrell) se perforaron 200 m. con el mismo resultado anterior. Más recientemente (abril 1968), en Garrioles se perforaron 150 m. (sondeo núm. 43) y tampoco se consiguieron caudales de consideración. El sondeo núm. 45 (Viloprú), en los 100 m. de conglomerados y arcillas de color rojo que se sitúan inmediatamente encima de la facies marina del Tramo Superior, sólo se observaron pérdidas parciales de lodos entre los 40 m. y los 62 m.

Al igual que para el macizo de Montgrí, **tampoco recomendamos la investigación hidrogeológica de estos materiales** sin haber explorado antes detalladamente el Cuaternario y el Plioceno. De todas maneras, creemos que no ofrecen ningún interés práctico (al menos inmediato) para el alumbramiento de aguas subterráneas. En último caso, dentro de un plan de prospección regional, sólo recomendamos las dos zonas indicadas en el «Croquis hidrogeológico para la Investigación de los terrenos Precuaternarios» (anexo I).

#### 5.4 DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBILIDADES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS TERRENOS NEOGENOS

Los afloramientos de la zona de La Bisbal están constituidos fundamentalmente por arcillas muy plásticas y por conglomerados de matriz arcillosa, donde la mayor parte de las obras de captación son muy superficiales y generalmente poco productivas.

El pozo núm. 230, que está abierto en los conglomerados arcillosos, apenas si permite un débil alumbramiento de agua del orden de 1 l/s. En Monells tenemos referencias de un pozo de perforación realizado en el Neógeno; este pozo tiene 84 m. de profundidad; está situado en el Camp Segalá y parece ser que permite el alumbramiento de un caudal artesiano del orden de 5 l/s. (18 m<sup>3</sup>/h.); sin embargo, opinamos que el origen del agua de este pozo no está muy claro, y que muy probablemente proviene de la parte final del pozo que está perforada sobre un Eoceno margo-arenoso.

De todas formas, las formaciones neógenas que más pueden interesarnos desde el punto de vista hidrogeológico son las que se ocultan bajo las formaciones cuaternarias del corredor de Albons y de la depresión de Torroella de Montgrí. Hidrogeológicamente puede decirse que estas formaciones están todavía sin explorar; apenas si conocemos que existen gracias a los sondeos núms. 38 y 39 del Instituto Nacional de Colonización y a ciertas consideraciones de orden geomorfológico. Según los datos de estos dos últimos sondeos, parece ser que existe un primer nivel entre los 25 y 50 m. de profundidad, de naturaleza fundamentalmente margoarenosa, muy suelta, de color rojo, de facies continental, que en el sondeo número 38 (Pelacals) llega hasta los 74 m. de profundidad. Entre los 50 y 74 m. existe una potente formación detrítica muy suelta (gravas?), muy fácil de perforar. que probablemente constituye un excelente acuífero; debajo de ella existen al menos 100 m. de depósitos margo-arenosos de **color gris**, que son muy fáciles de perforar también y que presentan numerosas intercalaciones detríticas poco cementadas. Al acabar los trabajos de perforación en este último sondeo, que tiene 170 m. de profundidad, se hizo una prueba de valvuleo a razón de 5 l/s.; el resultado fue que el nivel piezométrico descendió en un primer momento desde los 3,4 m. hasta los 5,0 m., donde aparentemente se estabilizó; la prueba duró dos horas; el sondeo se hizo a rotación y se empleó bentonita.

Los espesores aumentan considerablemente hacia el norte de nuestra región. El reconocimiento gravimétrico hecho por SIPSA para la investigación petrolera indica la presencia de una gran anomalía negativa desde Albons hacia el norte. Algunos sondeos mecánicos de reconocimiento,

realizados también por SIPSA, han demostrado la existencia, un poco más al norte de nuestra región, de espesores de Neógeno superiores a los 500 m. En Ciurana, un sondeo realizado recientemente (febrero 1968) por PROHIDRO ha cortado, al parecer, un acuífero artesiano surgente localizado a los 217 m. de profundidad en unas formaciones detríticas bastante sueltas.

Tenemos referencias verbales de que en el Neógeno del Rosellón (Francia) —donde la evolución geológica ha sido aparentemente paralela a la del Ampurdán— existe una serie de niveles detríticos a diferentes profundidades que constituyen importantes acuíferos, hoy día en explotación.

En el «Croquis hidrogeológico para la investigación de los terrenos Precuaternarios» del anexo I presentamos las zonas que según nuestro criterio ofrecen más interés para la investigación hidrogeológica de las formaciones neógenas ocultas bajo las formaciones cuaternarias.

Desconocemos la existencia de formaciones de edad neógena bajo los depósitos cuaternarios de la llanura comprendida entre Torroella de Montgrí, Fontanilles y Pals, pero vista la estructura de otros deltas catalanes, vista la presencia de la posible cubeta sedimentaria al norte de Albons y las anomalías gravimétricas negativas de la zona, cabe fundadamente sospechar su presencia.

## CAPITULO 6

### CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES DE LOS TERRENOS CUATERNARIOS\*

#### 6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

#### 6.2 RECONOCIMIENTO HIDROGEOLOGICO GENERAL

#### 6.3 ESQUEMA HIDROGEOLOGICO DEL CUATERNARIO

---

\* Consultar croquis hidrogeológicos núms. 4 y 5 del anexo I.

## 6.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Hidrogeológicamente los terrenos cuaternarios del Ampurdán constituyen una zona virgen. Las perspectivas de poner en marcha importantes recursos y reservas son, en principio, bastante halagüeñas. **Muy probablemente el conjunto cuaternario de todo el Ampurdán ofrece una de las mayores posibilidades de explotación hídrica por vía subterránea de toda Cataluña.**

Desde el punto de vista hidrogeológico, los terrenos cuaternarios no solamente nos son casi desconocidos hasta el presente, sino que además existen muy pocas obras de captación y sondeos profundos de reconocimiento capaces de aportar una información que, aun no siendo muy precisa, sería, al menos, muy valiosa.

La posibilidad de explotación de las aguas subterráneas no ha sido apenas tenida en cuenta en la región. Ello es debido, por un lado, a que las necesidades de agua para el consumo (sea industrial, sea de abastecimiento a poblaciones) han sido hasta el presente mínimas y, por otro lado, debido también a que la presencia del Ter y de sus importantes canales de derivación ha permitido poner en regadío una gran parte de las tierras bajas de la región sin necesidad de recurrir a las aguas subterráneas.

Los trabajos de prospección y de captación de aguas subterráneas han sido, pues, hasta el presente, prácticamente innecesarios.

El alumbramiento de los caudales necesarios para cubrir las exigencias de una casa de campo o de un pequeño municipio nunca ha planteado problemas, puesto que los limos deltaicos están por casi toda la región cubiertos por una capa de arenas de 4 a 8 m. de espesor, que terraplana un antiguo y suave relieve excavado por la red hidrográfica anterior a la actual.

Para dar una idea comparativa de orden de magnitud, diremos que mientras en los 120 Km<sup>2</sup> que representan, aproximadamente, los depósitos

aluviales deltaicos del Bajo Llobregat (provincia de Barcelona) se han realizado más de 300 captaciones profundas superiores a 30 m. y más de 3.000 m. de sondeos de reconocimiento hidrogeológico profundo; por el contrario, en los 120 Km<sup>2</sup> que representan los depósitos semejantes en el Bajo Ampurdán, existen únicamente del orden de diez captaciones y ocho sondeos de reconocimiento que superen aquella profundidad.

La mayor parte de los pozos de la región son de poca profundidad y excepcionalmente rebasan los 8 m., limitándose a explorar los acuíferos superficiales.

Es evidente, pues, que nos encontramos ante una región hidrogeológicamente inexplorada. Sin embargo, por la extensión que ocupan los depósitos fluviales deltaicos, por la naturaleza del suelo y la de los primeros metros del subsuelo, por las condiciones climatológicas e hidrológicas y por la historia geológica de nuestra región (características todas ellas semejantes a las del Bajo Llobregat y su delta), podemos lógicamente sospechar la existencia de un potencial en aguas subterráneas tan importante como pueda ser el de esta última región.

Las extracciones anuales del Bajo Llobregat y de su delta han sido estimadas, durante el período de 1958 a 1965, variables entre 76 Hm<sup>3</sup> y 123 Hm<sup>3</sup>.

**No pretendemos sacar conclusiones cuantitativas, sino solamente despertar un interés hacia la explotación de una posible e importante riqueza de una región que por sus condiciones geográficas, riqueza en agua y excelentes comunicaciones con Francia y Barcelona (1), está capacitada para desarrollar y recibir en pocos años una activa vida agrícola e industrial, sobre todo esta última, por encontrarse facilitada por la necesidad de descongestión de la industria emplazada en torno a Barcelona y a su zona próxima de influencia.**

## 6.2 RECONOCIMIENTO HIDROGEOLOGICO GENERAL

Nuestra labor de reconocimiento hidrogeológico general está sintetizada en el Mapa Geológico General, en la figura 3.3, y en los croquis hidrogeológicos para la investigación de los acuíferos cuaternarios.

En el Mapa Geológico General —sobre fondo blanco sin trama— hemos representado únicamente los terrenos cuaternarios que ofrecen un interés principal para la investigación hidrogeológica, es decir, las forma-

(1) En diciembre de 1972 estará en servicio la autopista Barcelona-La Junquera, que cruzará el Ampurdán.

ciones aluviales recientes y los fangos arenosos deltaicos. En fondo rayado inclinado representamos los terrenos cuaternarios que por su espesor o por su naturaleza no ofrecen ese interés.

Los fangos arenosos interesa conocerlos en detalle a través de sondeos y demás trabajos de prospección, porque en ellos se alojan las formaciones detríticas sueltas sobre las que se podrán construir las obras de captación que darán los mejores rendimientos y que **harán que los fangos arenosos deltaicos sean explotables como acuífero.**

Los fangos arenosos constituyen el **gran acuífero del Ampurdán**, en el que se alberga una de las mayores reservas y ofrece uno de los mayores recursos en aguas subterráneas de toda Cataluña. En la figura 3.3 representamos la extensión que ocupa este conjunto acuífero, del que nosotros sólo hemos estudiado su mitad sur, como allí se indica; el total representa una extensión aproximada de 300 Km<sup>2</sup>, lo que equivale a tres veces la extensión superficial de los depósitos semejantes del Bajo Llobregat y su delta, y unas 30 veces los correspondientes al delta del Besós.

### 6.2.1 LOS ACUIFEROS SUPERFICIALES

#### 6.2.1.1 Acuíferos de arenas finas y medias

Los acuíferos superficiales, que cubren en gran parte los limos arenosos deltaicos, son poco conocidos y apenas explotados.

En el croquis hidrogeológico para la investigación de los acuíferos cuaternarios no confinados (anexo I) hemos dibujado la situación y configuración de los acuíferos no confinados más importantes de la región.

En general, se trata casi exclusivamente —salvo en zonas muy locales— de un único acuífero, formado por el terraplenado con arenas eólicas y formaciones aluviales muy recientes, de un suave relieve hidrográfico desarrollado en época también muy reciente (probablemente histórica) sobre los limos arenosos de la llanura aluvial y deltaica.

Posiblemente estos acuíferos corresponden en su mayor parte a unos depósitos recientes del Ter, que han sido arrastrados desde las dunas que hoy todavía existen en la zona de San Lorenzo de Las Arenas, Subiránegas y Colomers.

Salvo en las zonas próximas a L'Estartit, a El Sobrestany y a El Pla (27 A-23 B) —donde existen problemas de polución—, en el resto de la región se trata de acuíferos de buena calidad química. No obstante, apenas son explotados más que para el abastecimiento de casas rurales.

Los mayores bombeos corresponden al pozo de la estación de radio U.S.A. y al de la urbanización Sa Punta —ambos en el límite sur de la

Playa de Pals (figura 6.1)—. La urbanización Mas Pinell, la llamada Los Arenales del Mar y el camping El Delfín Verde —situados todos ellos en la Playa de Pals— se abastecen también exclusivamente del acuífero superficial de arenas costeras.

El pozo de radio U.S.A. está situado prácticamente sobre la misma playa, a pocos metros del mar, sin que por ello se hayan detectado cantidades anómalas de  $\text{Cl}^-$  que indiquen una contaminación por parte del agua del mar. El nivel piezométrico estático en el pozo en cuestión está situado claramente por encima del nivel del mar, y, según se nos informó verbalmente, en unos sondeos de reconocimiento que se hicieron dentro de los terrenos de la Emisora se encontraron en algunos puntos espesores hasta de 50 m. de arenas, lo que, de acuerdo con la ley de GHYBEN-HERZBERG, nos lleva a la conclusión de que puede existir un importante acuífero en estas arenas costeras; arenas que, por otro lado, se prolongan hacia el interior del macizo de Bagur, colmatando parcialmente los pequeños valles excavados en las pizarras, pudiendo formar de este modo interesantes acuíferos que podrían resolver quizá los problemas que la demanda turística plantea en aquella zona.

En la zona de Riells (1 Km. al SE. de L'Escala), las arenas de la playa colmatan hacia el interior toda aquella zona con espesores medios de 8 m., constituyendo de este modo un acuífero libre que hasta hace pocos años fue objeto de explotación, pero que en la actualidad está totalmente polucionado por la intrusión del agua del mar. Sus aguas tienen ya, incluso, un sabor muy desagradable.

#### 6.2.2.1 Acuíferos de gravas finas con arenas

Se trata probablemente de la fracción más grosera de las formaciones que hemos supuesto que constituyen los depósitos aluviales de los recientes cauces del Ter —hoy día colmatados—, a los que hemos aludido anteriormente. Su presencia, tanto al norte de L'Escala (en las proximidades de Sant Martí d'Empuries) como al norte del Canet de Verges, parece evidente desde un punto de vista fotogeomorfológico. Entre Torroella de Montgrí y L'Estartit la presencia de uno de estos cauces colmatados no solamente parece evidente al observar las fotografías aéreas, sino que, además, la hemos podido comprobar perfectamente a través de la densa red de pozos que allí existen (consultar figura 6.1).

Esta última zona, a la que los campesinos llaman el Ter Vell, fotogeomorfológicamente debe interpretarse como una reciente desembocadura del Ter, de la que hoy día se distingue un abanico de depósitos



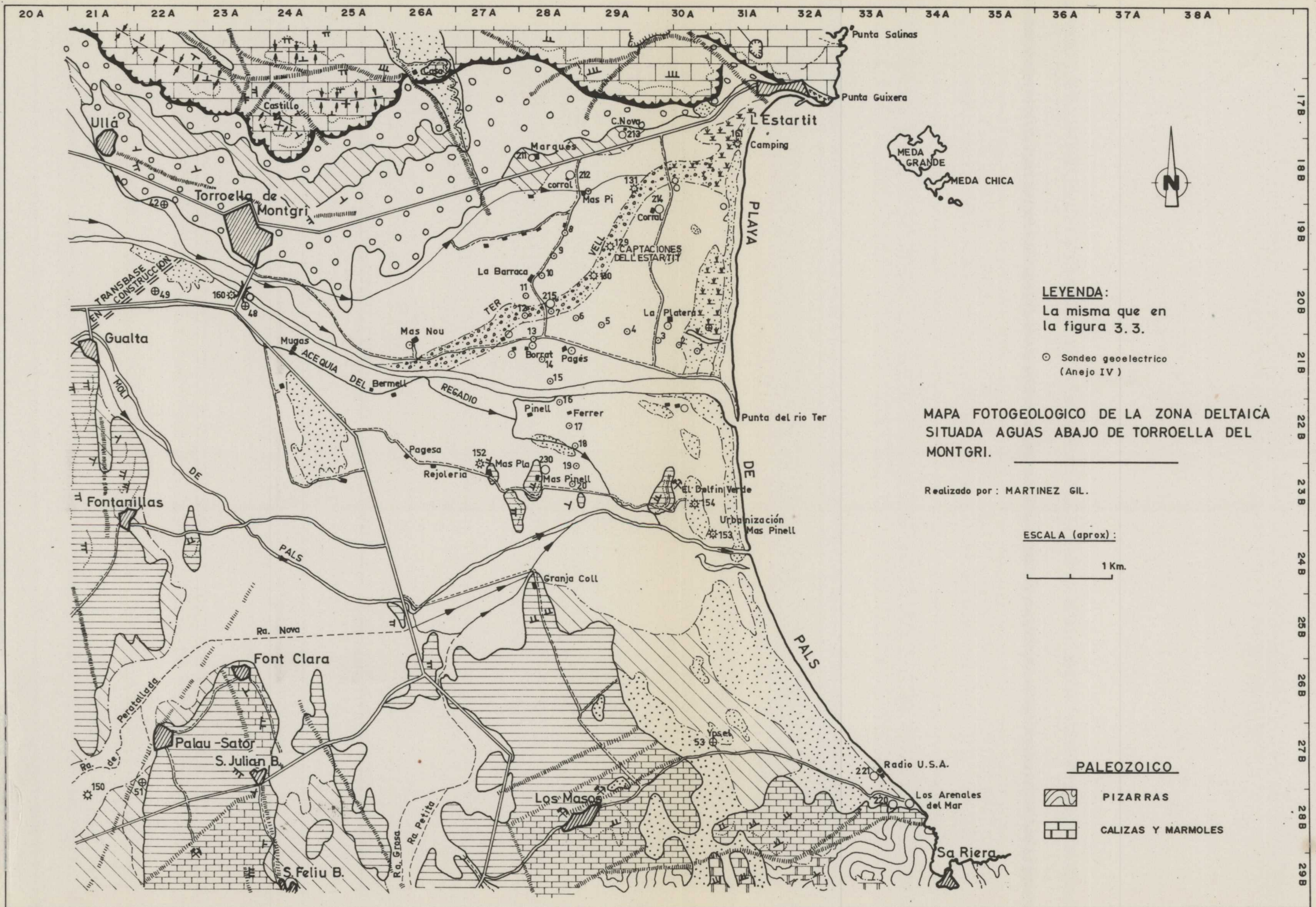


Fig. 6.1

arenosos cuyo eje está constituido por el cordón de gravas finas que hemos representado en la figura 6.1.

**El acuífero del Ter Vell** es, sin duda, el mejor conocido y más intensamente explotado de todos los acuíferos superficiales de la región. Es difícil evaluar la cantidad de metros cúbicos que anualmente se bombean de él a partir de los datos de que actualmente disponemos; sin embargo, diremos que el abastecimiento de L'Estartit, el de sus campings y el de sus urbanizaciones (lo que en verano supone durante más de dos meses una cifra constante de 8.000 personas) se hace exclusivamente de este acuífero; además, el abastecimiento de la futura ciudad residencial de la Empresa Nacional de Turismo, que se construirá en la zona de La Platera y que contará con una capacidad para 10.000 personas, está previsto a partir de las aguas de este mismo acuífero. Finalmente, una serie de importantes captaciones permiten en esta zona poner en regadío la superficie representada en el Mapa de Situación Local (anexo I). Los descensos piezométricos que se producen, tanto en el interior de los pozos como en el acuífero, en general no son muy importantes —aun incluso al final de la temporada de verano—, puesto que, aunque no disponemos de medidas concretas, sabemos que el espesor de la zona saturada no es superior a los 5 m., lo que da ya, en principio, una idea tanto acerca de la elevada permeabilidad de la formación acuífera como de la existencia de una importante fuente de recarga.

A la vista de la aparente conexión directa que se deduce de la figura 6.1, la fuente de recarga principal del acuífero del Ter Vell parece evidente que esté constituida por las aguas superficiales del Ter. Otra fuente de recarga —aunque probablemente menos importante— la debe constituir el abanico de arenas del que el cordón de gravas que constituye el acuífero no es más que un importante dren hidrogeológico natural.

**Las gravas de la terraza fluvial** sobre las que se ubica Vilademat (figura 6.8) constituyen también un acuífero, del que se abastece el municipio a través de una red de pozos particulares. Según los informes verbales de los campesinos de esta zona, parece ser que se trata de un acuífero de permeabilidad bastante considerable. Según estos informes, deducimos el hecho de una utilización peligrosa del acuífero. Al parecer, dada la buena permeabilidad del mismo, en algunas casas lo utilizan como «cloaca» natural, en la que por un pozo distinto al de la captación inyectan las aguas usadas; aguas que al meterlas en el pozo, según nos cuentan, «parece como si se evaporaran». Localmente, en la parte superior de esta formación existe un nivel casi continuo de concrecciones calcáreas que actúa a modo de capa confinante.

Finalmente, en **las márgenes izquierda y derecha del Ter** —junto al río— existe un acuífero libre formado por arenas, gravas y gravillas, que es



particularmente explotado en la margen izquierda, entre Verges y Ullá, debido a que en esta zona no existen canales de riego. El acuífero presenta un espesor medio de 5 m. Los pozos de tubo de esta zona obtienen caudales constantes del orden de 25 a 30 m<sup>3</sup>/h. En opinión de las gentes del país, la margen izquierda es «mejor para las aguas» que la derecha.

Es de suponer que todos los acuíferos superficiales juegan un papel hidrogeológico importante en el conjunto de la región por su rápida capacidad de absorción de una gran parte de las lluvias que caen directamente sobre ellos y de las que recogen de los 370 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica que desemboca en la llanura deltaica, la cual constituye una zona prácticamente endorreica.

Puede decirse que, a grandes rasgos, el nivel freático de las aguas de la mayor parte de estos acuíferos superficiales está regido por el nivel de las aguas superficiales del Ter y de sus canales, los cuales, según las épocas, constituyen o el «aliviadero» natural del embalse subterráneo o su principal fuente de recarga natural. En el equilibrio hidrogeológico actual predomina la primera.

Es de suponer también la existencia de una importante **conexión hidráulica** entre estos acuíferos superficiales y los acuíferos profundos cuaternarios, separados entre sí por los fangos arenosos, los cuales, a la escala del conjunto de nuestro estudio, **no habrá que considerarlos como impermeables, sino más bien como un gran acuífero de baja permeabilidad: un «acuitardo».**

## 6.2.2 LOS ACUIFEROS CONFINADOS

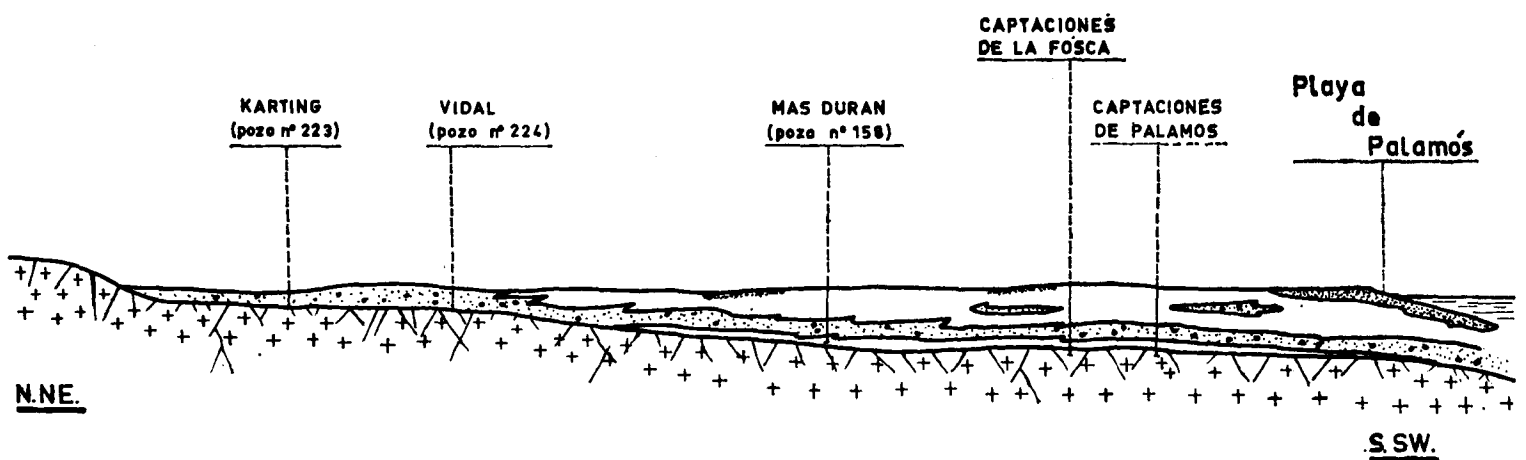
Como hemos indicado en el apartado 6.1 del presente capítulo, nos encontramos ante una gran ausencia de datos; ello nos impide hacer esquemas hidrogeológicos precisos del cuaternario profundo de la región. Describimos a continuación, por cuencas, las principales formaciones acuíferas —conocidas o deducidas— que presentan mayor interés:

### 6.2.2.1 Cuenca del Aubí

La zona de mayor interés hidrogeológico está representada en blanco (sin trama) en la figura 6.2.

En esencia, la estructura hidrogeológica de la cuenca es la que representamos en el esquema de la figura 6.3, donde aparte de los dos acuíferos superficiales (digamos de cabecera y de desembocadura), existe uno «profundo» formado por «arenas granadas» (gravas finas y arenas gruesas).





CROQUIS ESQUEMATICO MOSTRANDO LA  
 ESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA DEL ACUI-  
 FERRO CUATERNARIO PRINCIPAL DE LA  
 CUENCA DEL AUBI. (MARTINEZ GIL)

ESCALA HORIZONTAL (aprox.)

0 1Km.

ESCALA VERTICAL

20m.




-  Granito
-  Arenas y gravas finas
-  Fangos arenosos de color gris con pasadas de barros negros.

Figura 6.3

El acuífero profundo aparece confinado entre los pozos núms. 224 y 158, y se continúa en la dirección de aguas abajo hasta el mar. Su espesor varía entre 3 y 5 m., y se encuentra a profundidades crecientes en la dirección de aguas abajo desde los 9 a los 18 m. Está confinado por unos depósitos de fangos arenosos de color gris oscuro.

Como ya hemos indicado en el apartado 5.1.1 del Capítulo 5, es muy posible que el basamento granítico juegue un papel hidrogeológico muy activo, contribuyendo en profundidad a la recarga constante del conjunto acuífero cuaternario.

En el acuífero profundo están emplazadas las captaciones de La Fosca y las municipales de Palamós. En el acuífero libre de cabecera están situados los pozos del antiguo abastecimiento de Palafrugell, que hoy día todavía son objeto de explotación.

Del acuífero profundo no tenemos medidas concretas de su permeabilidad, pero según nuestra experiencia en acuíferos semejantes, formados por arenas que colmatan el fondo de una cuenca granítica de unas decenas de Km<sup>2</sup> de extensión en el litoral catalán, podemos pensar en permeabilidades del orden de 75 m/día a 100 m/día (lo que supondrá transmisibilidades comprendidas entre 300 m<sup>2</sup>/día y 500 m<sup>2</sup>/día). Ello quiere decir que, en pozos perfectamente contruidos, deben esperarse rendimientos teóricos para los primeros metros entre 2,25 y 3,75 l/s. por cada metro de descenso en el interior de los pozos (1).

La presencia en el cauce del Aubí de los vertidos residuales de Palafrugell está provocando una **rápida polución del acuífero**. En el Capítulo 8 comentamos este aspecto a través de los resultados de algunos análisis químicos que expresamente hemos realizado.

#### 6.2.2.2 Cuenca de la Riera Grossa de Pals

Esta zona —particularmente el acuífero cuaternario confinado que en ella existe— ha sido ya estudiada con bastante detalle en un reciente trabajo (MARTINEZ GIL, 1968), que fue presentado como tema de tesis doctoral en la Facultad de Ciencias de la Universidad de París.

**Ante la profusión de datos de que hemos dispuesto para el estudio detallado de este acuífero confinado hemos preferido presentar separadamente en el Capítulo 1 de la Segunda Parte un resumen de aquel trabajo.**

(1) En el caso de acuíferos cautivos hemos calculado que el valor de la transmisibilidad expresado en m<sup>2</sup>/día, dividido por 100 y multiplicado por  $\frac{3}{4}$ , indica muy aproximadamente el rendimiento específico en l/s. por metro de descenso en el interior de un pozo de perforación (diámetro aproximado = 0,5 m.).

Diremos aquí, simplemente, que a través del acuífero cuaternario confinado de esta cuenca se extraen anualmente en las Captaciones de Torrent (que suministran gran parte del agua del Nuevo Abastecimiento de Bagur, Palafrugell y Regencós) unos 0,52 Hm<sup>3</sup>, lo que supone un 50 por 100 del consumo total de la zona abastecida, consumo que en verano es del orden de 5.000 m<sup>3</sup>/día.

#### 6.2.2.3 Cuenca de la Riera de Peratallada (fig. 6.1)

Siguiendo el curso de la Riera de Peratallada —entre Peratallada y Palau Sator— existen unos 10 pozos de tubo, que permiten la puesta en regadío de la pequeña zona representada en el Mapa de Situación Local (anexo I). Estos pozos explotan un pequeño acuífero de arenas medias y gruesas, que se encuentra bajo unos depósitos de fangos arenosos a profundidades variables entre los 7 y los 10 m. No parece que se trate de un «buen acuífero», puesto que a excepción del pozo núm. 151, en los restantes pozos antes de las ocho horas de bombeo ininterrumpido las bombas se desceban.

Al norte de Palau Sator, la continuidad del acuífero nos es desconocida debido a que la presencia de las acequias de riego ha hecho innecesaria la prospección de aguas subterráneas. Sin embargo, es de esperar que el acuífero se continúe hasta desembocar en otra unidad hidrogeológica más importante, oculta bajo los fangos arenosos de la llanura deltaica del Bajo Ter.

#### 6.2.2.4 Cuenca del Daró (fig. 6.4)

El Daró tiene, hasta la altura del corte geológico V del anexo II (es decir, hasta la línea Serra de Daró - Sant Iscle - Parlabá), 193 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica, de los que 38 Km<sup>2</sup> corresponden al Rísech.

Desde el punto de vista hidrogeológico la cuenca nos es conocida —en cierto modo— con bastante precisión, debido a la profusión de pozos de tubo, que en número superior al centenar explotan el acuífero principal de la cuenca. Además de estos pozos hemos contado con la experiencia de los principales constructores, que han hecho pruebas de hinca con tubos por toda la cuenca.

A grandes rasgos podemos decir que aguas abajo de Sant Pol existe una formación superficial de gravas y arenas gruesas de espesor creciente en la dirección de aguas abajo. El espesor medio de la formación varía entre 4 y 8 m. Esta formación constituye, hasta cerca del casco urbano



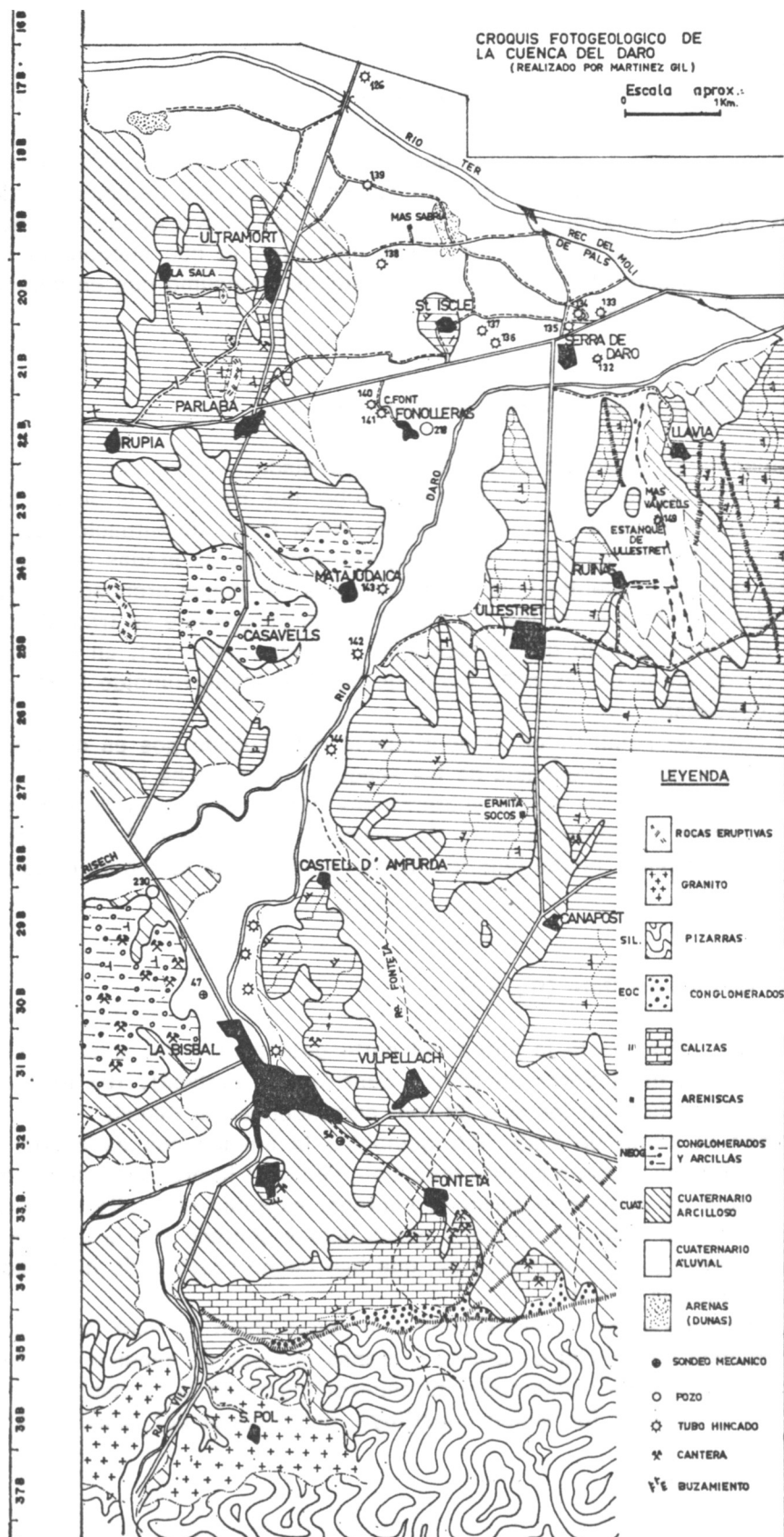


Figura 6.4

de La Bisbal, un acuífero libre en el que la posición del nivel freático viene condicionada fundamentalmente por el nivel de las aguas del Daró. En verano, el río no suele llevar agua, y el nivel freático, como consecuencia, desciende considerablemente hasta causar serios problemas a las captaciones de La Bisbal, situadas a la entrada del pueblo (pozo núm. 261).

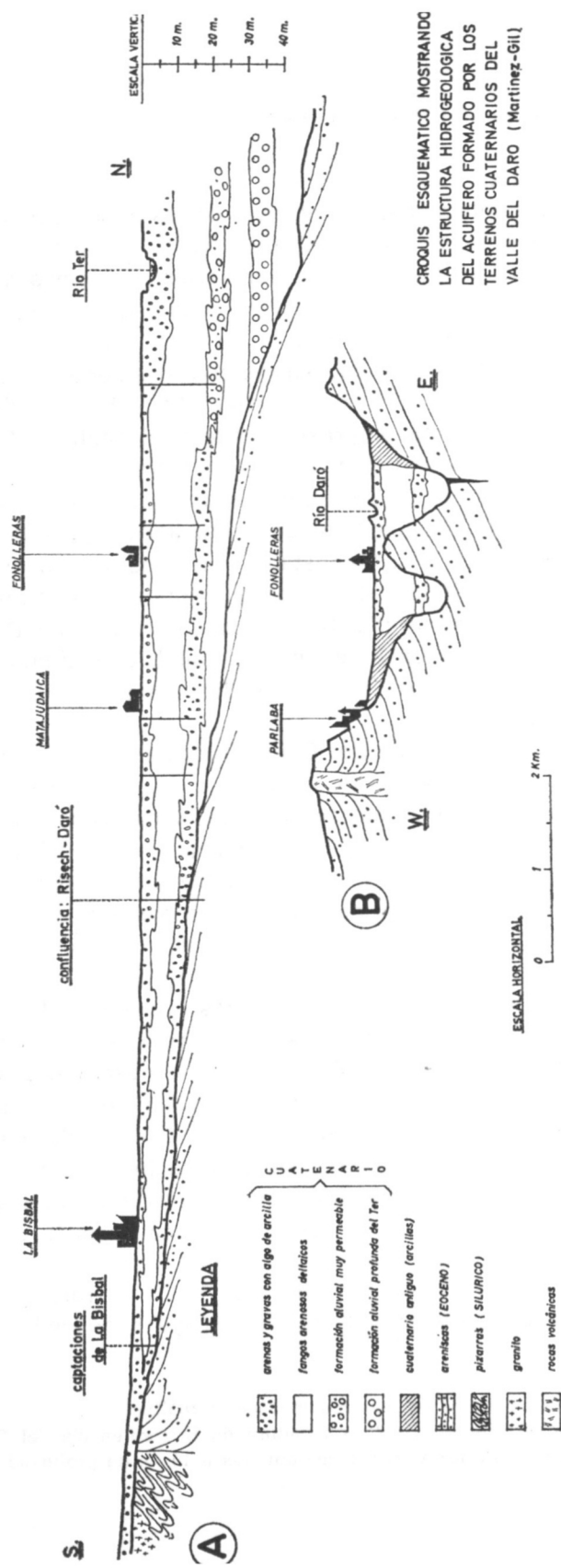
Aguas arriba de La Bisbal —bajo la formación detrítica aluvial que constituye el acuífero libre— se encuentran sucesivamente el zócalo eocénico, paleozoico y granítico (fig. 6.5). Aguas abajo de La Bisbal, la profundidad del zócalo aumenta progresivamente y el acuífero (libre hasta aquí) suponemos que se continúa, confinado bajo los fangos arenosos.

En las proximidades de La Bisbal, varias pruebas de hincas han encontrado el zócalo entre los 10 y los 15 m. de profundidad; aguas abajo el zócalo nunca ha sido alcanzado (1). No obstante, sabemos por algunas de estas pruebas de hincas que el centro del surco que suponemos forma la superficie del zócalo del cuaternario está situado en la zona de Casavells, a profundidades superiores a los 20 m. Entre Matajudaica y el curso del Daró algunas pruebas de hincas, que han descendido hasta los 22 m., no han alcanzado el zócalo.

Entre Fonolleras y el curso del Daró el zócalo forma un umbral que llega hasta unos 4 m. por debajo de la superficie del suelo; su existencia ha sido comprobada en numerosas pruebas de hincas (consultar croquis B de la figura 6.5). La formación acuífera principal —que en las proximidades de La Bisbal se encuentra a unos 8 m. de profundidad— se hunde progresivamente en la dirección de aguas abajo hasta alcanzar los 13 m. a la altura de Fonolleras, constituyendo así un acuífero semiconfinado en el que el nivel piezométrico se sitúa entre los 1,5 y 3 m. por debajo del suelo a lo largo de todo el año. Desconocemos el espesor de esta formación acuífera profunda, porque los pozos se limitan a penetrar en ella solamente 1,5 a 2 m. **Su permeabilidad debe ser, no obstante, bastante elevada**, puesto que: 1.º el sistema de extracción no ofrece más de un 7 por 100 de superficie de admisión total; 2.º el diámetro de los tubos es de 3 a 4 pulgadas, y 3.º los caudales de explotación más frecuentes se sitúan entre los 40 y 90 m<sup>3</sup>/hora. Diremos, además, que las bombas funcionan por aspiración y que no se desceban nunca después de toda una jornada ininterrumpida de bombeo.

Aguas abajo de Fonolleras (en dirección hacia el Ter) la formación acuífera profunda del Daró parece que se incluye o desemboca en otra

(1) Recientemente, un perfil de sondeos mecánicos realizado en dirección transversal al valle por el S. G. del M. O. P., a la altura de la confluencia del Daró con el Risech, encontró el zócalo de los terrenos cuaternarios a 14 m. de profundidad.



CROQUIS ESQUEMATICO MOSTRANDO LA ESTRUCTURA HIDROGEOLOGICA DEL ACUIFERO FORMADO POR LOS TERRENOS CUATERNARIOS DEL VALLE DEL DARO (Martínez-Gil)

Figura 6.5



formación acuífera perteneciente al Ter, situada por debajo de los 18 m. de profundidad y cuya **permeabilidad es extraordinariamente elevada**.

Los caudales extraídos anualmente del acuífero cuaternario del Daró —aunque no nos son conocidos con precisión— podemos estimarlos con toda seguridad superiores a 1 Hm<sup>3</sup>, a juzgar por el número de pozos y por la extensión regada. Este volumen es extraído prácticamente sólo durante una época de dos meses, sin que por ello se aprecien importantes descensos generales en el nivel piezométrico del acuífero. Año tras año no parece que exista tampoco ningún descenso constante (al menos apreciable). Todo ello nos induce a pensar, pues, en la **existencia de unos importantes recursos subterráneos anuales**.

Hay personas en la región que estiman, sin embargo, que los niveles piezométricos actuales no son tan elevados como «los de antes». De todas formas diremos que raramente se sitúan fuera de la zona comprendida entre los 1,5 y 3,5 m. (por debajo de la superficie del suelo).

6.2.2.5 Cuenca del Bajo Ter

Se trata de una zona en la que el Cuaternario profundo nos es prácticamente desconocido.

Describimos, a continuación, las características hidrogeológicas de esta zona por pequeños sectores.

Zona de aguas arriba de Colomers (fig. 6.6)

En la zona de Subiránigas, San Lorenzo de las Arenas y Colomers, bajo la extensión que ocupan los limos arenosos de la figura 6.4, existe un acuífero de arenas gruesas y de gravas confinado bajo un espesor de unos 9 m. de aquellos materiales. Este acuífero es explotado por unos 10 pozos de tubo, que permiten regar la zona que hemos indicado en el Mapa de Situación Local. Sobre el espesor y la permeabilidad de esta formación acuífera no sabemos prácticamente nada.

Zona situada entre Colomers y Jafre (figs. 6.6 y 6.7)

Aguas abajo de Colomers —junto al emplazamiento de la Nueva Prensa— existe un perfil geológico detallado, realizado en dirección transversal al río a partir de los afloramientos de areniscas y maciños de la margen derecha. Se trata de una serie de 19 sondeos alineados en una dis-

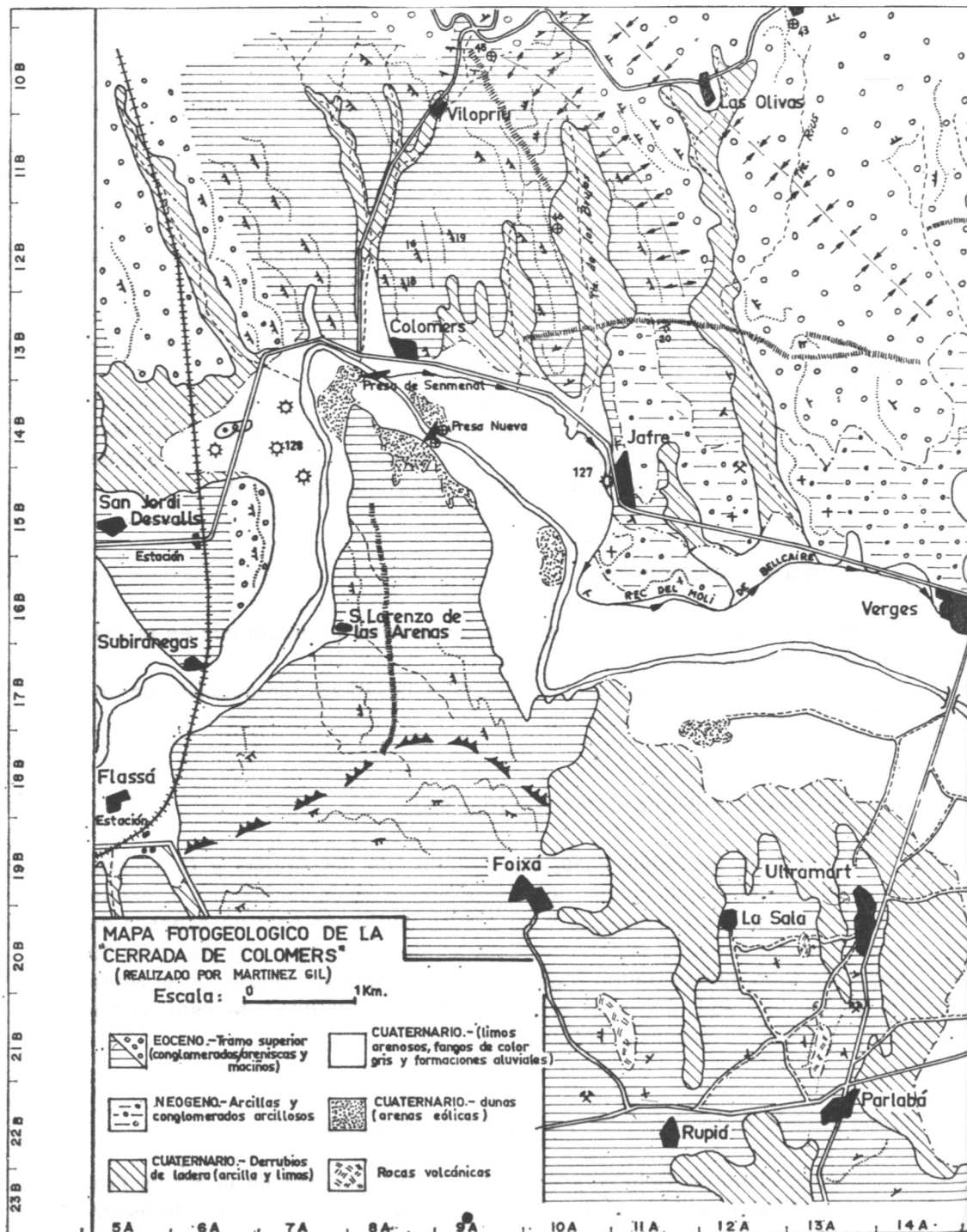


Figura 6.6

tancia total de 320 m., que fueron realizados por el M. O. P. para el estudio de emplazamiento de la Presa. El espesor de terrenos cuaternarios en el lecho del río varía entre 1 y 8,30 m.; en la margen izquierda el sondeo más alejado del río encontró el zócalo a 18,5 m. de profundidad. Es evidente, pues, la existencia en esta zona de un paleocauce cuya profundidad máxima (superior al menos a 18,5 m.) está situada entre el sondeo anterior y los primeros afloramientos de la margen izquierda (consultar figura 6.7).

En ninguno de estos sondeos —según los datos que nos han sido facilitados— se encontraron los limos arenosos. Casi todo el espesor de los terrenos allí atravesados corresponde en la margen derecha a una mezcla de gravas con arena, mientras que en la margen izquierda son exclusivamente arenas de duna. La ausencia de los limos arenosos confinantes puede explicarse por la acción erosiva provocada en esa zona por el emplazamiento de la antigua presa de Colomers, situada unos cien metros aguas arriba.

Aguas abajo de Colomers apenas existen pozos; ello es debido a la presencia del canal (El Rec del Molí de Bellcaire), que ha hecho innecesaria la construcción de pozos.

Según se nos ha informado, en las pruebas de hinca que se han realizado entre Colomers y Jafre (todas ellas superficiales) se ha encontrado la presencia constante de un horizonte de limos arenosos bajo un primer nivel de arenas. En el pozo núm. 127 —que surte de agua potable a Jafre— se encontraron 6 m. de fangos sobre un nivel de arenas y gravas, en el que el pozo no penetró más que 1,5 m.

#### Entre Jafre y Vergés (figura 6.6)

En la zona de Jafre a Vergés el dato más interesante que hemos encontrado corresponde al pozo núm. 126, que surte de agua potable a Vergés. Según se nos informó en el Ayuntamiento (y más tarde el propio constructor), en el pozo en cuestión se encontró, bajo un primer nivel de arenas y de gravas, que alcanza los 8 m. de profundidad, un nivel de unos 2 m. de fangos arenosos muy oscuros; a partir de los 10 m. y hasta los 27 m. (profundidad máxima del pozo) existe un nivel de fangos mezclados con gravas y arenas; a partir de los 26 m. parece que las gravas están perfectamente limpias. Si se descendió hasta los 27 m. no fue a causa de la baja permeabilidad de los terrenos atravesados, sino más bien por la creencia de que las aguas cuanto más profundas son de mejor calidad. Se desconoce la profundidad total del acuífero en este punto, así como los caudales susceptibles de ser extraídos, porque las necesidades de Vergés se cubren con un bombeo periódico de 15 m<sup>3</sup>/h.

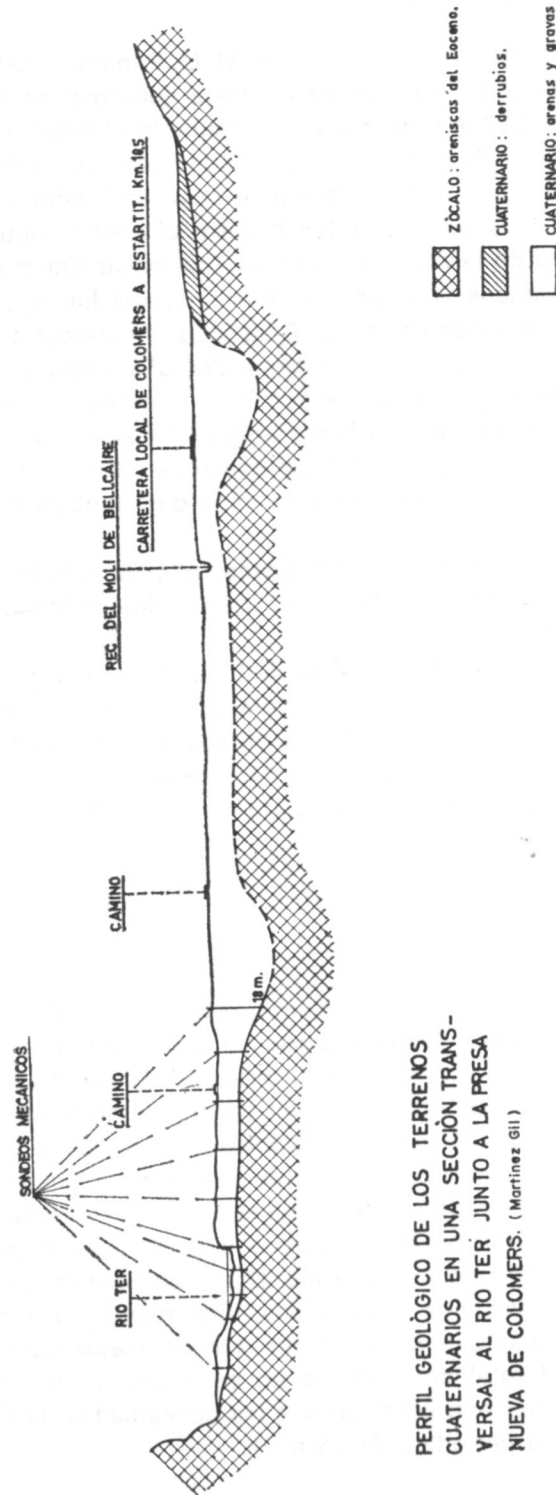


Figura 6.7

**Zona de St. Iscle**

Según los datos del pozo núm. 139, bajo una capa de fangos arenosos de color gris oscuro y de arcillas negras, con un espesor total de 32,5 m., existe en esta zona una formación de gravas en la que el pozo penetra solamente un metro. Esta formación constituye, al parecer, un buen acuífero, del que el pozo obtiene prácticamente más de 60 m<sup>3</sup>/h. a caudal constante.

Según los datos de los pozos núms. 132 al 137, parece ser que, bajo un primer acuífero superficial y bajo unos depósitos de limos arenosos, existe un nivel de arenas y gravas que se sitúan entre los 10 y 15 m. de profundidad, por debajo del cual de nuevo aparecen los limos. A partir de los 18 m. (según los datos de los pozos núms. 136, 137 y 138) existe un importante acuífero de gravas que permite extraer caudales de 200 m<sup>3</sup>/h., 240 m<sup>3</sup>/h. y 200 m<sup>3</sup>/h., respectivamente, con el sistema clásico del tubo hincado de 4 pulgadas de diámetro, lo que nos da una idea de la **extraordinaria permeabilidad de esta formación.**

**Zona del Canet de Vergés**

Bajo el acuífero superficial de gravas con arenas, que llega hasta los 5 m. de profundidad, existe una potente formación de limos arenosos de color gris, a veces muy oscuro. En general, los limos se continúan en esta zona hasta por debajo de los 30 m. de profundidad. Sin embargo, a profundidades que oscilan entre los 18 y los 25 m. se encuentran por toda esa zona diversos niveles de gravas con arenas, que constituyen al parecer excelentes acuíferos.

En el sondeo núm. 50 se encontró a los 32,5 m. una importante formación acuífera de gravas, cuyo basamento impermeable se sitúa a los 37,95 m. La transmisibilidad de esta formación es, al menos, del orden de los 350 m<sup>2</sup>/día.

**Zona del Estanque de Ullestret**

En la zona ocupada por el llamado Estanque de Ullestret se han hecho varias pruebas con tubos hincados y nunca se cortó ningún nivel importante de gravas o arenas. Solamente uno de los tubos —el que se probó en el Manso Lilla— tocó el zócalo a los 20 m. de profundidad; hasta esta



profundidad los terrenos están constituidos únicamente por fangos arenosos de color gris oscuro, casi negro, que a veces se tratan fundamentalmente de arcillas negras.

#### **Zona comprendida entre Canet de Vergés, sierra de Daró y Torroella de Montgrí**

El sondeo núm. 49 encontró el zócalo del cuaternario a los 43,5 m. de profundidad, sin que al parecer se encontrara ningún acuífero profundo de cierta importancia. El sondeo núm. 71, a los 27,6 m. encontró un zócalo de arenisca duro, sin haber localizado tampoco ninguna formación profunda de gravas. El sondeo núm. 48 encontró el zócalo a los 13,6 m. de profundidad, y el núm. 42 a los 23 m. El pozo núm. 160, que abastece de agua potable a Torroella de Montgrí, sólo tiene 13 m. de profundidad. Sin embargo, el sondeo de reconocimiento hidrogeológico núm. 72, realizado por el S. G. del M. O. P., encontró a los 32 m. una formación de gravas muy permeables, que deben constituir un excelente acuífero.

En general, en toda esta zona existe un nivel acuífero de arena que es prácticamente continuo y se sitúa a profundidades comprendidas entre los 9 y 16 m.

#### **Zona de aguas abajo de Torroella de Montgrí hasta el mar (consultar figura 6.1 y los cortes geológicos V, VII y VIII del anexo II)**

Esta zona comprende parte de los municipios de Torroella de Montgrí, Gualta, Fontanillas y Pals. Corresponde a la llanura que, desde un punto de vista morfológico, podríamos llamar «delta del Ter». Es una zona en la que apenas se han realizado perforaciones de cierta profundidad, que puedan darnos una información geológica acerca del espesor y de la naturaleza de los materiales cuaternarios. Normalmente los pozos de esta zona tienen una profundidad media comprendida entre los 6 y los 4 m. **Se trata, pues, de una zona totalmente desconocida, que está todavía por explorar desde el punto de vista hidrogeológico.**

En la margen izquierda —en el punto núm. 161, situado junto a la desembocadura del Ter Vell y a unos 100 m. de la playa— se realizó una prueba con tubo hincado, en la que se descendieron hasta los 30 m. A los 7 m. se encontró un pequeño nivel de arenas, pero el resto de los terrenos atravesados fueron fangos arenosos de color gris oscuro y a veces negros. No se alcanzó el zócalo.

En el pozo núm. 211 del Más Marqués, a los 7 m. aparecieron los fangos grises, que se continuaron hasta el fondo del pozo, de 14 m.

Cerca de la desembocadura actual del Ter —en la zona de La Platera— tenemos referencias de una serie de sondeos que allí se realizaron para la Empresa Nacional de Turismo, algunos del orden de los 30 m. de profundidad. Estos sondeos fueron realizados por la empresa AUXINI, pero hasta el presente no hemos conseguido ninguna información concreta.

En la margen derecha del Ter —en la zona próxima al pozo núm. 152 del Mas Pla— se realizaron varias pruebas con tubos hincados, que descendieron hasta los 20 m., donde a excepción de algunas arenas superficiales no se encontraron más que fangos arenosos sin haber alcanzado el zócalo en ninguna de ellas.

En la zona del Mas Gelabert se han hecho pruebas hasta los 20 m. de profundidad, sin haber encontrado tampoco ni el zócalo ni niveles importantes de gravas o de arenas. Otro tanto se hizo en la zona del Mas Roig.

En las Casas de Campo que existen junto a la desembocadura del Ter, a los 7 m. de profundidad apareció un nivel de arenas de 2 m. de potencia, por debajo del cual —y hasta los 20 m. que descendieron las pruebas— todos los materiales atravesados fueron fangos oscuros (a veces arenosos y a veces arcillosos de color negro).

La interpretación de las medias obtenidas en los perfiles geoelectricos I y II del anexo IV realizados en esta zona por el Instituto Nacional de Colonización muestra la posible existencia de una zona de arenas —o de gravas— que entre los puntos 8 y 12 podría situarse a profundidades máximas de 30 m. (consultar fig. 6.1). Entre los puntos geoelectricos núms. 13 y 20 parece igualmente posible la existencia de niveles detríticos hasta una profundidad máxima de 15 m. —que entre los puntos núms. 3 y 7 estaría situada a unos 20 m. En los puntos núms. 41, 42 y 43 (consultar fig. 6.6) parece también posible la presencia de niveles detríticos hasta la profundidad de 12 m. En general, por debajo de estas profundidades las bajas resistividades registradas obligan a pensar en la existencia de una masa de materiales bastante homogéneos de tipo fangoso.

En el perfil geoelectrico II (S. E. V. 8 al 20) puede pensarse en la presencia del zócalo a profundidades del orden de los 60 m., profundidades que en los alrededores de los puntos núms. 19 y 20 (próximos a los afloramientos eocénicos del Mas Pinell) son sensiblemente menores. De todas las maneras —y todavía más en el caso de existir espesores de cuaternario del orden de los 60 m.—, teniendo en cuenta el relativamente débil espesor de las formaciones detríticas incluidas en los limos arenosos, no hay que dar fe absoluta a los resultados de estas interpretaciones geofísicas; es decir, que en el «delta del Ter» podría perfectamente existir una

formación detrítica profunda dentro de los limos arenosos, a pesar de que no haya sido detectada en los sondeos geoelectrónicos.

#### 6.2.2.6 El Corredor de Albons (consultar figura 6.8)

Sabemos que en el emplazamiento del sondeo núm. 27 existe una formación de gravas y arenas a partir de los 29,3 m. de profundidad; esta formación tiene, al menos, 5 m. de espesor y jamás ha sido explotada en esa zona.

Al norte del sondeo núm. 27 los pozos de tubo núms. 114 al 122 explotan un importante nivel acuífero por debajo de los 33 m. de profundidad, del que tampoco conocemos la profundidad de su basamento ni su permeabilidad; sin embargo, se sabe que los caudales que se extraen de estos pozos —cuyo diámetro varía entre 3 y 4 pulgadas— son al menos del orden de los 100 m<sup>3</sup>/h., y que a juzgar por los datos facilitados por el pozo número 122 —que se hizo con una perforadora de rotación— se sabe también que el acuífero en esta zona está formado por unas gravas gruesas muy limpias. El nivel piezométrico de esta formación acuífera se sitúa normalmente alrededor de 1 m. por debajo del suelo. En algunas épocas el acuífero ha llegado incluso a ser **surgente**. Los propietarios de los pozos nos han informado que nunca han notado interferencias en los bombeos, a pesar de la proximidad de todos los pozos entre sí.

El pozo de perforación núm. 41 (situado cerca del Mas Martí) encontró un nivel de gravas entre los 28,9 y los 33,3 m.; estas gravas se sitúan sobre un zócalo de arcillas muy plásticas de color ocre; se sabe, además, que constituyen un excelente acuífero, cuya permeabilidad ha sido calculada superior a los 125 m/día (según los datos que nos han sido facilitados por la empresa constructora PROHIDRO). Este pozo está actualmente (junio 1968) siendo puesto en explotación para incrementar el abastecimiento de agua potable a L'Escala.

Cerca de Cinc Claus, los datos que nos han sido facilitados del sondeo núm. 39 —que llegó hasta el zócalo del cuaternario—, nada nos dicen respecto a la geología detallada de estos materiales; sin embargo, una prueba que se hizo frente a dicho sondeo (al otro lado del camino; consultar figura 6.8), a los 17 m. se encontró —según se nos ha informado— un nivel acuífero salado (?). El sondeo núm. 39 tiene 238 m. de profundidad, y encontró el zócalo formado por las calizas cretácicas a los 68 m. (consultar Corte Geológico I del anexo II).

Se sabe que en el sondeo núm. 38 (cerca de Pelacals) existen unos 25 m. de diferentes niveles de arenas y gravas que constituyen un continuo acuífero, del que se sabe también que en una prueba de «valvuleo» a razón de 18 m<sup>3</sup>/h., el nivel del agua en el interior del pozo se estabilizó (al

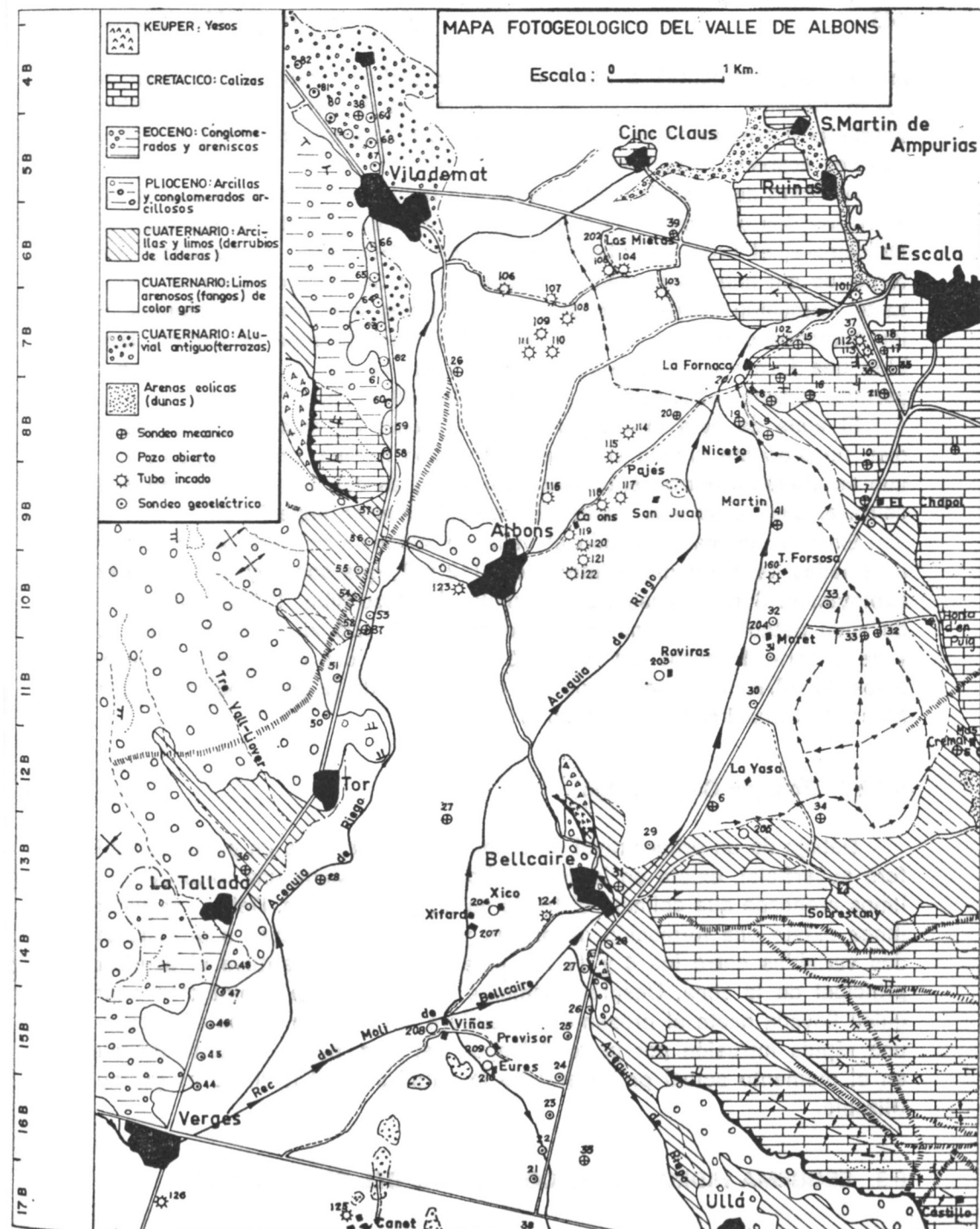


Figura 6.8

menos aparentemente) a los 5 m. de profundidad tras un descenso de 1,6 m. Hacemos constar que en la perforación de este sondeo se utilizó bentonita y que no se procedió al lavado del acuífero en la zona próxima una vez acabada la perforación.

Al oeste de L'Escala —en la estrecha franja de cuaternario que existe entre los dos afloramientos calcáreos por donde pasa el Rec del Molí de Belcaire—, el pozo de tubo núm. 101 encontró 35 m. de terrenos cuaternarios sin haber alcanzado el zócalo; a los 34 m. encontró una importante formación acuífera de arenas muy finas, que crean problemas en los bombeos debido al arrastre de sólidos. En esta zona se explota también una formación acuífera situada a unos 12 m. de profundidad, que permite obtener caudales del orden de los 60 m<sup>3</sup>/h.

El agua de esta última formación, a pesar de estar tan próxima al mar, no presenta ningún síntoma de polución marina, probablemente porque se alimenta permanentemente de las aguas del Rec del Molí de Belcaire, el cual, a su vez, impide la intrusión marina superficial.

Existen, además, en todo el valle de Albons otra serie de acuíferos confinados de profundidad intermedia (12 m.), que son hoy día objeto de explotación. Son los casos, por ejemplo, del pozo núm. 123, que abastece de agua potable a Albons; del pozo núm. 124, que abastece a Belcaire, y de la serie de pozos del núm. 103 al 111, que, con caudales superiores a los 40 m<sup>3</sup>/h., permiten la puesta en regadío de la zona indicada en el Mapa de Situación Local (anexo I).

### 6.2.2.7 Zona de Cala Montgó

Debajo de un primer nivel de arenas, que constituye un pequeño acuífero superficial, existe en la zona indicada en el Mapa una formación de limos arenosos que colmata el fondo de un antiguo valle. Debajo de estos limos existe una formación de gravas y de arenas gruesas a profundidades variables entre los 8 y 11 m.; esta formación constituye el acuífero principal de la zona. Desgraciadamente, a causa de la explotación anárquica llevada hasta el presente, el acuífero está sufriendo los efectos de una rápida intrusión por parte del agua del mar, hasta el punto de que en el momento actual prácticamente la mitad sur del acuífero es ya inutilizable.

## 6.3 ESQUEMA HIDROGEOLOGICO GENERAL DEL CUATERNARIO

Por todo lo expuesto en los anteriores apartados puede pensarse en la existencia, a partir de Colomers, de una formación de naturaleza deltaica

constituida por dos ramas separadas entre sí por el macizo de Montgri (figura 6.9).

Una de estas ramas, la rama derecha, se dirige desde Colomers directamente al mar, siguiendo el actual curso del Ter. La rama izquierda, a partir de Verges se dirige hacia el norte, en dirección hacia el Fluviá, colmatando el fondo del corredor de Albons con espesores de materiales superiores al menos a los 35 m. (consultar cortes geológicos del anexo II).

Hay que sospechar que, en principio, la estructura hidrogeológica de este supuesto delta puede ser muy semejante a la de los deltas de los ríos Besós y Llobregat, en la provincia de Barcelona, es decir, que se trataría de un conjunto cuaternario en el que se albergan dos formaciones acuíferas principales: una superficial y otra profunda, separadas entre sí por unos depósitos fango-arenosos de color gris oscuro (a veces negro), cuyo espesor crece en dirección al mar hasta profundidades máximas comprendidas entre los 40 y 60 m. Estos depósitos fango-arenosos engloban en su interior a numerosas formaciones detríticas de gravas y arenas, de carácter más o menos local, que constituyen a su vez acuíferos muy interesantes para la explotación.

En nuestro caso, la existencia del acuífero superficial es evidente, tal y como hemos descrito ya en el apartado 6.2.1 del presente capítulo y en el croquis hidrogeológico para la investigación de los acuíferos cuaternarios no confinados del anexo I.

La presencia del depósito de fangos arenosos de color gris oscuro está perfectamente comprobada y cuidadosamente representada sobre fondo blanco sin trama en el Mapa Geológico y en los Cortes Geológicos del anexo II.

La existencia de un acuífero profundo entre Colomers y Verges, y entre Verges y Cinq Claus, que ocuparía gran parte del fondo del corredor de Albons, es bastante probable y prácticamente está comprobada a través de los datos que hemos descrito hasta aquí de los pozos núms. 125, 126 y 139; de los sondeos núms. 20, 27 y 41 y los pozos núms. 144 al 122.

Podría objetarse que las gravas y arenas encontradas en estos pozos y sondeos podrían corresponder quizá a pequeñas formaciones aisladas de origen lateral, de extensión muy local, que no formaran entre sí la unidad continua que esquemáticamente hemos dibujo en los Cortes Hidrogeológicos de la figura 6.10 y en el croquis hidrogeológico de la figura 6 del anexo I. Sin embargo, vista la estructura de los deltas conocidos del Mediterráneo Occidental y dadas las dimensiones de la cuenca del Ter, no parece demasiado probable esta idea, por lo que en principio podemos admitir como razonable el esquema que hemos trazado en las dos últimas citadas figuras.

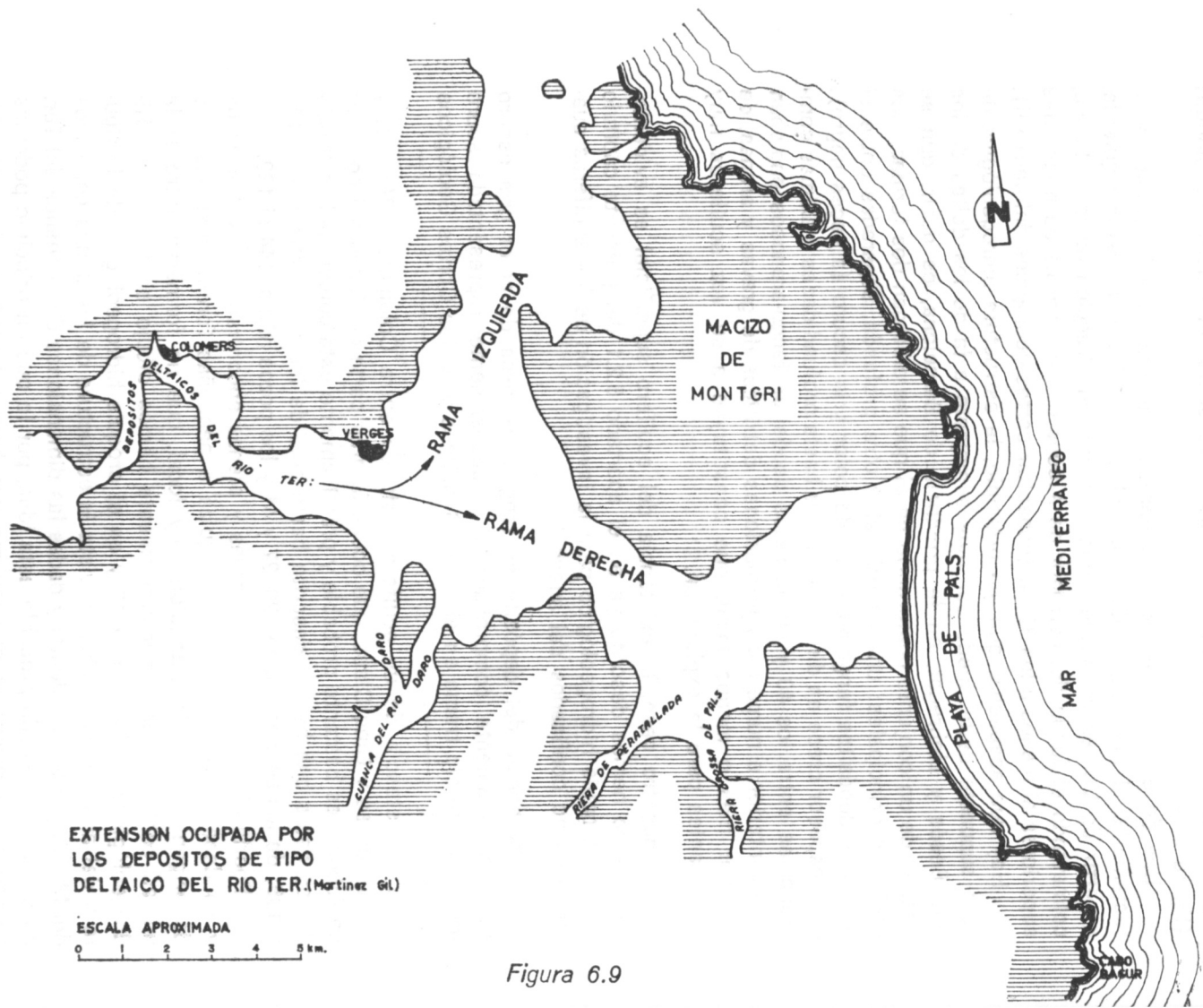


Figura 6.9



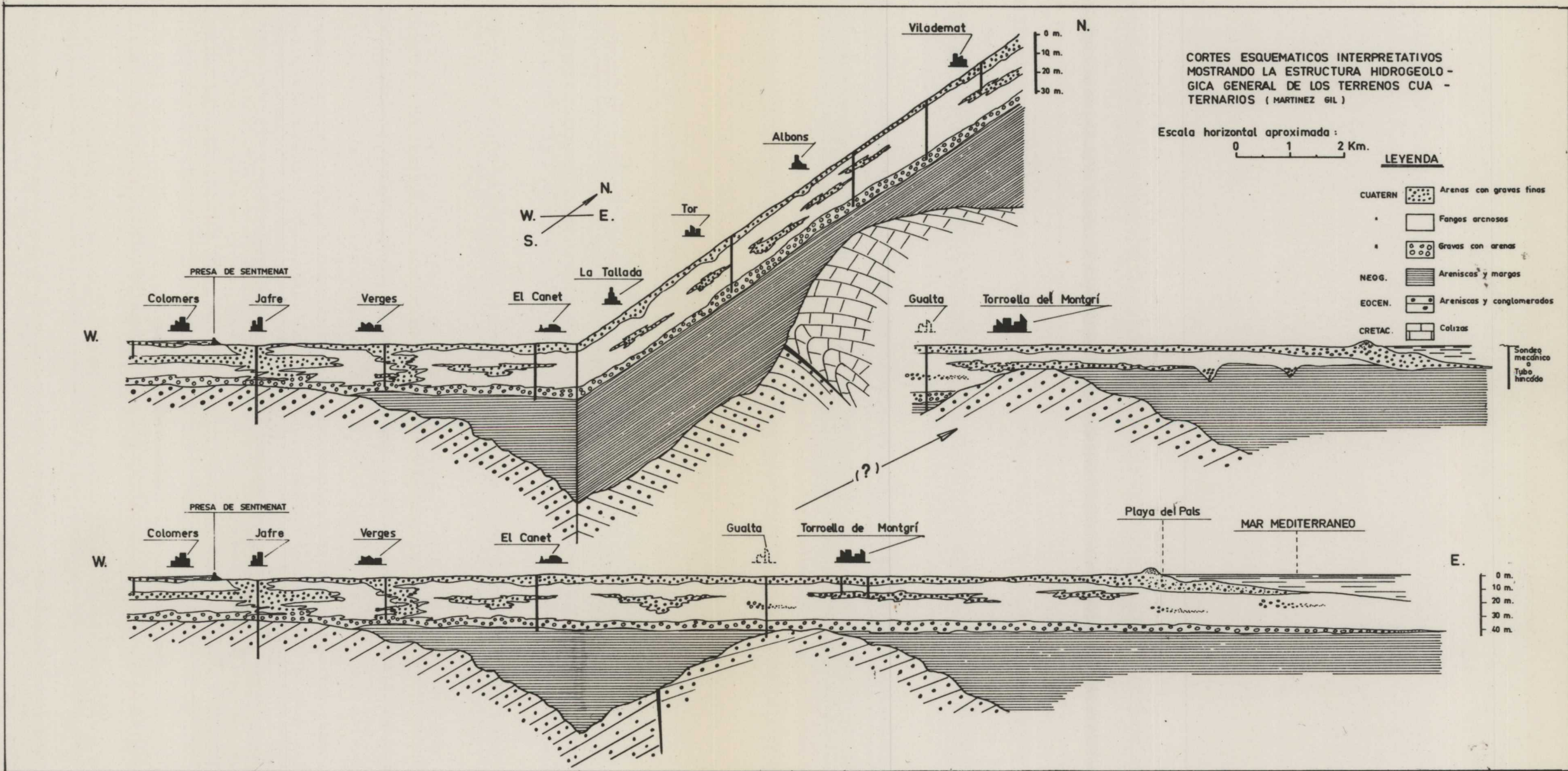


Fig. 6.10

En cuanto a la rama derecha del delta, ya hemos dicho que actualmente nos es desconocida en profundidad; no obstante, podemos sospechar la existencia de una capa acuífera profunda cautiva bajo los limos arenosos (figura 6.8), la cual —caso de existir y de acuerdo con una serie de consideraciones geomorfológicas— quedaría localizada con bastante aproximación dentro de la zona indicada en el Croquis Hidrogeológico de la figura 5 (anexo I).

La presencia del estrechamiento obligado del acuífero profundo entre Torroella de Montgrí y Gualta nos hace pensar en la posibilidad de la existencia en dicha zona de un umbral del zócalo cuaternario. De existir este umbral (consultar figura 6.10) la hidrogeología profunda del cuaternario, situado aguas abajo de Torroella de Montgrí, sería independiente de la historia geológica del Ter durante los períodos glaciares e interglaciares, con lo que el Ter nunca habría desembocado en la Playa de Pals; su curso actual y el del llamado Ter Vell, son dos episodios recientes, posteriores al depósito de los limos arenosos. En este supuesto habría que descartar la idea de una potente formación de gravas oculta bajo los fangos arenosos aguas abajo de Torroella de Montgrí, con lo que los acuíferos profundos de esta zona —aparentemente deltaica— quedarían reducidos fundamentalmente: 1) a los acarrees detríticos de la franja marginal del borde sur del Macizo de Montgrí; 2) a la prolongación de los acuíferos confinados de las Rieras de Peratallada y de Pals, y 3) a algunos pequeños acuíferos localizados al pie del Macizo de Bagur. De todas formas esta idea no nos parece demasiado probable.

El Croquis Hidrogeológico para la Investigación de los Acuíferos Cuaternarios Confinados (figura 5, anexo I) no pretende ser un mapa de las formaciones en él representadas, sin embargo, ante la ausencia de datos concretos y de acuerdo con la información que hemos podido recoger al recorrer detalladamente la región y de acuerdo con nuestro conocimiento geológico de la misma, puede ser utilizado al menos como una base —o primera hipótesis de trabajo— que servirá para programar una prospección hidrogeológica racional de la región. En este mismo croquis indicamos las directrices generales que nos parecen más racionales a seguir en un **programa de prospección hidrogeológica del cuaternario profundo de la región.**

## **CAPITULO 7**

### **LAS RESERVAS Y LOS RECURSOS EN EL BAJO AMPURDAN**

#### **7.1 CONCEPTO Y DEFINICION DE LOS TERMINOS «RESERVAS» Y «RECURSOS»**

#### **7.2 LAS RESERVAS Y LOS RECURSOS EN AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS EN EL BAJO AMPURDAN**

**7.2.1 Volumen de agua subterráneamente embalsada**

**7.2.2 Recursos subterráneos**

**7.2.3 Reservas subterráneas (brutas y explotables)**

**7.2.4 Recursos hidráulicos brutos**

**7.2.5 Recursos hidráulicos útiles**

## 7.1 SOBRE EL CONCEPTO DE RECURSOS Y DE RESERVAS EN LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS REGIONALES.—INTRODUCCION

Una de las finalidades primordiales de los estudios hidrológicos regionales es la de llegar a conocer el funcionamiento hidráulico de las regiones estudiadas, es decir, llegar a conocer el modo cómo circulan sus aguas (superficiales y subterráneas), por dónde circulan y cuál es el medio y el programa más eficaz para su explotación. Sin embargo, los estudios hidrológicos regionales no suelen detenerse aquí; por lo general, van todavía más lejos y no solamente pretenden saber cómo circula y dónde está el agua, sino también qué **cantidad** de esa «agua circulante» a lo largo de un ciclo hidrológico puede ser aprovechada y durante cuánto **tiempo**; todo ello con el objeto de poder planificar racionalmente el desarrollo industrial, agrícola y demográfico de las regiones estudiadas.

Al hablar de «cantidad de agua que puede ser aprovechada» y de «durante cuánto tiempo» se hace ya referencia a los conceptos de RECURSOS y RESERVAS. Definir estos dos conceptos —así como otros varios relacionados con ellos— nos parece fundamental y urgente en este momento en que tanto auge están tomando y tanta atención están recibiendo por parte de nuestra Administración los estudios hidrológicos regionales.

Conceptos tan básicos como éstos a los que nos referimos —cuya estimación cuantitativa constituye en sí una de las finalidades primordiales de los estudios hidrológicos regionales— están siendo hoy día utilizados con bastante indiscriminación y confusión, lo que se presta no ya sólo a un lenguaje hidrológico-hidrogeológico poco preciso, sino también a la utilización de resultados numéricos finales que muy frecuentemente, cuando nos encontramos ante ellos, no sabemos exactamente qué es lo que expresan ni qué margen de confianza pueden ofrecernos en la práctica.

Si a la existencia de este lenguaje poco claro y mal definido añadimos **el carácter más o menos personal y subjetivo que es inherente a este tipo de cálculos**, resulta que en la práctica puede fácilmente llegarse a resul-



tados que de hecho se prestan a especulación —no por ello sin dejar de dar la impresión, al no especialista en la materia, de una gran precisión de cálculo, que en buena parte no es más que ilusoria.

### 7.1.1 AGUA SUBTERRANEAMENTE EMBALSADA

Muy generalmente acostumbra a designarse como reservas subterráneas al volumen de agua libre (agua gravífica) que existe dentro de una formación acuífera, o simplemente, dentro de una formación geológica saturada de agua.

Según esta definición, para el cálculo de las reservas subterráneas bastaría con cubicar la zona saturada del acuífero o formación geológica considerada, y atribuir un índice de porosidad eficaz al terreno. A la cifra así obtenida, en este estudio se le ha llamado **volumen de agua subterráneamente embalsada en un momento dado**, en vez de «reservas subterráneas» (más adelante se verá por qué).

### 7.1.2 RESERVAS SUBTERRANEAS

El concepto de reservas subterráneas está íntimamente relacionado —en nuestra opinión— con el concepto de **sobreexplotación**.

Cuando el descenso piezométrico (o freático, según los casos) producido por la explotación de un acuífero, es la consecuencia de extracciones no muy fuertes en relación con la capacidad de recarga del acuífero explotado, la recuperación del nivel piezométrico (o freático) inicial puede producirse a lo largo del ciclo hidrológico considerado, gracias a las fuentes naturales de recarga (las lluvias, las alimentaciones normales de los ríos, las grandes avenidas, etc.).

Existe, sin embargo, un límite en la explotación de un acuífero que produce un descenso piezométrico tal que por debajo de él se entra en lo que se llama **régimen de sobreexplotación**, es decir, un régimen de explotación de las aguas subterráneas en que las oscilaciones del nivel piezométrico del acuífero explotado tienen lugar, año tras año, entre límites cada vez más bajos (se trata de una explotación subterránea en la que se saca más agua de la que puede entrar en la formación acuífera considerada, en las condiciones hidráulicas en que se lleva su explotación).

En el concepto de sobreexplotación entra naturalmente el **factor tiempo**, en lo que se refiere a la duración del ciclo hidrológico considerado.

Al volumen de agua libre subterráneamente embalsada por debajo de esa posición crítica del nivel piezométrico que nos define el comienzo de

la **sobreexplotación** es lo que se ha definido en este estudio como **RESERVAS SUBTERRANEAS BRUTAS**.

Ahora bien, no todas las reservas subterráneas así definidas pueden ser consideradas como **reservas útiles**, o explotables, ya que el vaciado total de un acuífero requiere en la mayor parte de los casos un despliegue de medios técnicos y económicos, y unas condiciones de explotación especiales, que en la práctica marcan un límite a la explotación de las reservas subterráneas brutas.

El cálculo de las reservas subterráneas útiles (o explotables) no sólo es función, pues, de los parámetros geométricos del acuífero (volumen del terreno acuífero situado por debajo de la posición de sobreexplotación) y de sus parámetros hidrológicos (porosidad eficaz y coeficiente de almacenamiento), sino también de otra serie de **factores técnicos, económicos y de planificación de la explotación** hidráulica de la región, que son determinantes y que, por tanto, deben ser claramente definidos en el momento de lanzar una cifra.

**Por ejemplo:** supongamos una zona en la que existe un considerable volumen de agua subterránea embalsada en un acuífero que está ya en régimen de sobreexplotación; supongamos que las demandas de agua de la zona en cuestión son superiores a sus disponibilidades totales en aguas superficiales y subterráneas, y supongamos también que los estudios estadísticos preveen un incremento considerable de las demandas en los próximos años. Supongamos que existan una serie de soluciones definitivas al problema, como podrían ser: la desalinización del agua del mar, la traída de importantes caudales de aguas superficiales de otras cuencas o la reutilización de las aguas usadas. Supongamos que entretanto existan una serie de **soluciones de espera**, como podrían ser: la desalinización de un determinado caudal de agua del mar, la traída de ciertos caudales de aguas superficiales de otras cuencas, la reutilización de un determinado grupo de aguas usadas, y la explotación racional de las reservas subterráneas útiles de la zona hasta su total agotamiento. En este momento se plantea la pregunta **¿cuál es el volumen de las reservas subterráneas útiles?**

**La respuesta es**, pues, que no se trata de un valor fijo que se puede calcular «a priori» simplemente a través de unos parámetros geométricos del acuífero, sino que a partir de una cifra límite (cual es el volumen de las reservas subterráneas totales) su valor estará limitado por la serie de **condiciones económicas** que ofrezcan las otras soluciones parciales citadas. La solución a adoptar se hará después de un estudio económico comparativo de todas las posibilidades técnicas que permitirá —finalmen-

te— definir y calcular el valor de las reservas subterráneas útiles de la región considerada.

### 7.1.3 RECURSOS SUBTERRANEOS

Se trata de un concepto sobre el que —en nuestra opinión— existe también bastante confusión.

En sí, considerado aisladamente, sin tener en cuenta la repercusión de la explotación de las aguas subterráneas sobre las aguas superficiales (y viceversa), el concepto de recursos subterráneos no tiene un sentido real. Se trata de un concepto que debe ser definido dentro de un contexto mayor del que forma parte integrante, cual es el de los **recursos hidráulicos brutos** de la región considerada.

En principio, podemos definir los recursos subterráneos como la cantidad máxima de agua que puede ser extraída de los acuíferos de una región a lo largo de un ciclo hidrológico de duración definida (anual o plurianual) sin que se produzca detrimento alguno sobre sus reservas (dentro siempre de unos condicionados técnicos y económicos convenientes y en función de una distribución concreta en el tiempo de las demandas de agua de la región considerada).

Ya se comprende que para una región dada el valor de los recursos subterráneos así definidos **será función**: en primer lugar, **de la longitud del ciclo hidrológico considerado** (debido a la influencia de los años muy lluviosos de gran período de retorno); en segundo lugar, **de la magnitud de los caudales superficiales disponibles** no procedentes del acuífero o de los acuíferos de la región, y, en tercer lugar, **de la capacidad de regulación subterránea** (tanto de las aguas procedentes de las precipitaciones como de las aguas superficiales).

La consideración de la longitud del ciclo puede ser particularmente importante en los climas mediterráneos, donde para largos períodos el coeficiente de irregularidad de las precipitaciones puede ser superior a cuatro e incluso a cinco, tal como ya se ha indicado en el capítulo 4.

**La disponibilidad de un caudal constante de aguas superficiales que pueda ser aprovechado para mantener una recarga natural constante en los acuíferos en contacto, es particularmente importante para la valoración de los recursos subterráneos de una región**, puesto que permitirá, en determinadas zonas —si la permeabilidad de los acuíferos en contacto es elevada— que no se alcance la sobreexplotación a no ser con extracciones muy considerables que se aproximen al volumen total de los caudales superficiales disponibles. En casos como éste, puede ocurrir que las re-

servas subterráneas útiles no supongan más que un valor muy insignificante en comparación con el de los recursos subterráneos.

Llegados aquí debemos señalar que los recursos subterráneos de una región no suponen una especie de renta anual de sus reservas subterráneas —como a veces se ha divulgado—, puesto que en el sentido en que nosotros los acabamos de definir, ambos conceptos (recursos y reservas) son independientes entre sí; por ello se da el caso de acuíferos que, poseyendo unas reservas fabulosas, poseen, en cambio, unos recursos subterráneos prácticamente insignificantes, y viceversa, acuíferos que poseyendo recursos subterráneos muy considerables no poseen apenas ninguna reserva, por ser su capacidad de almacenamiento muy pequeña en relación con el volumen de los recursos. En este último caso, el concepto de reserva deja de existir, por no tener un significado real.

**RESUMIENDO**, diremos que en el concepto «recursos subterráneos» entran, pues, los factores: **tiempo** (por la mayor o menor longitud del ciclo hidrológico considerado), **medios técnicos**, **aguas superficiales susceptibles de ser desviadas a los acuíferos para su aprovechamiento subterráneo**, **rentabilidad económica**, **distribución en el tiempo de las demandas** y **planificación** de la explotación hidráulica regional; factores todos ellos que deben ser **claramente definidos** en el momento de lanzar una cifra, que de lo contrario carecería de sentido.

No puede calcularse el valor de los recursos subterráneos de una región a partir del simple planteamiento de la ecuación:

**«Entradas en los acuíferos = salidas de los acuíferos»**

aplicada a un tipo de ciclo hidrológico y de explotación hidráulica regional cualquiera, puesto que, salvo en casos muy concretos, esta ecuación responde a un tipo de equilibrio hidráulico definido por unas condiciones de explotación que el hombre puede hacer variar dentro de unos ciertos límites.

**El cálculo de los recursos subterráneos de una región no puede realizarse, pues —a nuestro entender— si no es dentro del contexto general de los recursos hidráulicos totales de la región considerada.**

### 7.1.4 RECURSOS HIDRAULICOS TOTALES DE UNA REGION

Entendemos por recursos hidráulicos totales (o brutos) de una región —considerada ésta hidrológica e hidrogeológicamente aislada de las regiones vecinas— el conjunto de precipitaciones no evapotranspiradas, es

decir, el conjunto de las precipitaciones atmosféricas que escapan al poder evaporante de la atmósfera y de las plantas sin haber sido previamente controladas (aprovechadas) por el hombre. En rigor, podría considerarse como recursos hidráulicos brutos el conjunto de las precipitaciones atmosféricas caídas sobre una región a lo largo de un ciclo hidrológico de longitud definida; sin embargo, podemos admitir que las aguas evapotranspiradas por vía natural (1) constituyen un volumen irremediablemente perdido, que en principio no puede ser sujeto a control humano para su aprovechamiento.

Los recursos hidráulicos brutos de una región suponen, pues, según esta última definición, la suma de las evacuaciones superficiales de la región más la parte de las infiltraciones que después de haber alcanzado los acuíferos escapa subterráneamente de la región considerada.

El cálculo de los recursos hidráulicos brutos puede realizarse con cierta aproximación de orden práctico a través de un minucioso control de las evacuaciones superficiales de la región (estaciones de aforo debidamente instaladas y vigiladas), de la utilización de las modernas técnicas de prospección hidrogeológica y de la aplicación de las leyes fundamentales de la hidráulica subterránea. Ahora bien, no todos los recursos hidráulicos así calculados pueden ser considerados como recursos hidráulicos útiles; solamente una fracción de aquéllos será la que, de acuerdo con las características topográficas de las cuencas de la región, con los medios técnicos y económicos disponibles, con la capacidad de regulación superficial y subterránea de los recursos hidráulicos brutos y con la distribución en el tiempo de las demandas de agua, pueda ser sujeta a control y aprovechamiento por el hombre. A esa fracción o porcentaje de los recursos hidráulicos brutos de una región es a la que hemos llamado **recursos hidráulicos útiles** (o explotables). Su cálculo exige, pues, **conocer y determinar esa serie de factores hidrológicos, topográficos, técnicos, económicos, hidrogeológicos y de distribución de demandas en el tiempo**, a los que ya hemos aludido.

Los recursos hidráulicos útiles así definidos constituyen las máximas disponibilidades de agua (superficial y subterránea) de una región. En función de los factores que los definen, los recursos hidráulicos útiles deberán ser explotados en parte por vía superficial y en parte por vía subterránea, en el porcentaje más conveniente en cada momento del ciclo y en cada zona de la región, de acuerdo con un programa de explotación regional claramente definido. La parte de los recursos hidráulicos útiles

(1) No incluimos aquí el suplemento de agua evapotranspirada por las plantas sometidas a régimen de regadío.

de una región que, según el plan de explotación hidráulica regional trazado, haya de ser aprovechada por vía subterránea es, pues, la que nosotros hemos definido ya anteriormente como **RECURSOS SUBTERRANEOS**.

Ya se comprende, por tanto, que el valor de los recursos subterráneos es función del valor de los recursos hidráulicos útiles de una región y del **programa de explotación** necesario para poder llegar a aprovechar estos recursos.

Ahora bien, aparte de estos recursos que podríamos llamar «de primera mano», existen los incalculables recursos de «segundas», «terceras»..., etcétera, «manos»; es decir, existe un porcentaje de los recursos de «primera mano» que en función de la planificación más o menos perfecta de los usos y demandas puede ser sucesivamente reutilizado (en mayor o menor porcentaje, según sus usos, calidad química y bacteriológica exigida por las demandas y rentabilidad económica frente al conjunto de disponibilidades que se puedan ofrecer a las demandas) antes de abandonar definitivamente la cuenca o región considerada o antes de quedar definitivamente irreutilizable. Estos sucesivos recursos de «segundas», «terceras»..., etc., «manos», se van acumulando a los recursos iniciales «de primera mano» hasta poder, incluso, superar el valor de lo que hasta aquí se ha definido como «recursos hidráulicos totales brutos», es decir, la suma de las entradas superficiales más las subterráneas, más las esorrentías directas e indirectas y más las fugas subterráneas. Así, por ejemplo, los consumos de agua por parte de una industria para fines de refrigeración, a un coste económico más o menos conveniente, pueden ser permanentemente recuperados para su reutilización en un elevado porcentaje; igualmente, las aguas utilizadas para usos domésticos y sanitarios en los abastecimientos públicos pueden ser recuperadas en un porcentaje variable entre el 50 y el 80 por 100 (aproximadamente) en unas condiciones de calidad que las hacen útiles para ciertos fines como «recursos de segunda mano», tales como el riego, el lavado de calles y el arrastre de ciertos desechos industriales. En cambio, algunos usos, tales como los riegos, cuando son perfectamente administrados, son totalmente consumitivos y no retornan ni a los acuíferos ni a los cauces. Sin embargo, es éste un problema, que, aunque fundamental cuando de sacar unas cifras y apoyar en ellas unas conclusiones y decisiones importantes se trata, desborda, desde luego, las posibilidades de los medios de trabajo y de información que en este estudio se han dispuesto, por entrar ya de lleno en el campo de lo económico, técnico, social, político, etc. Por ello, en el presente estudio nos hemos tenido que limitar a definir unos condicionados futuros relativamente próximos (del orden de una a dos décadas) de consumo,

uso y demanda y, en función de ellos, definir los recursos hidráulicos totales explotables de la región, indicando el papel que en su explotación podrían jugar los acuíferos, es decir, el valor de los recursos subterráneos.

## 7.2 LAS RESERVAS Y LOS RECURSOS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS EN EL BAJO AMPURDÁN

No se considerarán en los siguientes cálculos más que los terrenos cuaternarios y una parte de los neógenos, ya que son los que juegan con ventaja el papel hidrogeológico más importante de la región. Se ha prescindido también de la cuenca del río Aubí y de las pequeñas cuencas litorales que vierten directamente al mar, por considerar que forman parte de otras unidades hidrogeológicas, independientes del gran conjunto pliocuaternario del Ampurdán; por esta misma razón se ha considerado como parte integrante de la región la cabecera del río Daró, pues aunque geográficamente no pertenece al Bajo Ampurdán, hidrogeológicamente está integrada en esta gran unidad.

Queremos señalar, antes de nada, que **el conjunto cuaternario del Bajo Ampurdán no constituye en sí una unidad hidrogeológica independiente, sino que corresponde a la mitad sur de la gran unidad hidrogeológica que forman los depósitos fango-arenosos deltaicos y las formaciones detríticas en ellos incluidas que colmatan el fondo de las tierras bajas de todo el Ampurdán.**

### 7.2.1 VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA

Hemos calculado que la extensión de los depósitos cuaternarios fango-arenosos presentes en la región, aguas abajo de Colomers, es de unos 120 Km<sup>2</sup>; por otra parte, hemos estimado en 25 m. el espesor medio de estos depósitos, con lo que el volumen del conjunto deltaico bajo-ampurdanés puede ser estimado en unos 3.000 Hm<sup>3</sup>.

Si se desprecia el volumen de agua almacenada en los acuíferos cautivos bajo el efecto de la compresión hidráulica, se obtiene —según que se considere para la porosidad eficaz de estos terrenos cuaternarios un valor medio del orden del 10, del 25 o del 40 por 100— los volúmenes respectivos siguientes: 300 Hm<sup>3</sup>, 750 Hm<sup>3</sup> y 1.200 Hm<sup>3</sup>, que representan el volumen de agua subterránea actualmente embalsada en dichos depósitos en el momento de hacer estos cálculos.

### 7.2.2 LOS RECURSOS SUBTERRANEOS

En el sentido tradicional, el volumen de los recursos subterráneos corresponde de modo general al conjunto de las **ENTRADAS** en los acuíferos de la región a lo largo de un ciclo hidrológico medio, o lo que es lo mismo, al conjunto de las **SALIDAS** que, como ya se ha explicado, representan la suma de: **a)** las aguas superficiales que tienen su origen en los acuíferos; **b)** las salidas subterráneas, y **c)** los bombeos (1). Contando con los medios y con los datos básicos elementales necesarios, es relativamente sencillo y preciso el cálculo de cada uno de estos tres últimos sumandos. En nuestro caso, sin embargo, ante la ausencia de datos concretos sería más fácil calcular los recursos totales a partir de la estimación de las **ENTRADAS**.

Para el cálculo de los recursos subterráneos totales a partir de la estimación de las entradas en los acuíferos se ha considerado que los cursos superficiales de la región (Ter, Daró y sus canales) actúan siempre a modo de corrientes efluyentes con respecto a los acuíferos. En tal supuesto, las únicas entradas posibles en los acuíferos serían, en primer lugar, las producidas directamente por las infiltraciones de las lluvias y, en segundo lugar, las entradas subterráneas procedentes de fuera de la región.

Para el cálculo de las infiltraciones eficaces precedentes de las precipitaciones, ante la ausencia de datos concretos, se ha tenido que recurrir a los **criterios subjetivos siguientes:**

1.º Se ha supuesto que el 25 por 100 de la precipitación media anual caída sobre la zona llana de la región, es decir, la ocupada por los depósitos fango-arenosos, llega a alcanzar el nivel freático de las aguas subterráneas tras haber satisfecho previamente el déficit de humedad de los suelos atravesados. En esta zona —que tiene 120 Km<sup>2</sup> de extensión— la escorrentía superficial es prácticamente nula y la permeabilidad del suelo muy elevada, de aquí, pues, que utilizemos un índice de infiltración eficaz tan elevado.

En un año de precipitación media (650 mm.) el volumen de las infiltraciones procedentes de las precipitaciones sería, pues, del orden siguiente:

$$I_1 = 0,65 \text{ m} \times 120 \times 10^6 \text{ m}^2 \times \frac{25}{100} = 19,5 \text{ Hm}^3.$$

(1) En mayor o menor porcentaje, según su uso.

2.º Se ha supuesto que el 15 por 100 de las precipitaciones anuales caídas sobre los terrenos cuaternarios arcillosos que bordean las formaciones deltaicas y sobre los afloramientos de los terrenos precuaternarios, son aguas de escorrentía que desembocan en la zona llana de la región, ocupada por los fangos arenosos, donde la red hidrográfica desaparece y donde ya se ha considerado que el 25 por 100 se infiltra. La extensión total de estos terrenos supone unos 370 Km<sup>2</sup>; sin embargo, para nuestros cálculos se ha considerado que las aguas de escorrentía de los 160 Km<sup>2</sup> correspondientes a las cuencas hidrográficas del Daró y del Risech (hasta la confluencia de ambos) se canalizan y que a través del cauce del río Daró y del Rec del Molí de Pals atraviesan la llanura deltaica alcanzando el mar, con lo que esos 370 Km<sup>2</sup> iniciales quedan reducidos —a efectos prácticos de nuestros cálculos— a 210 Km<sup>2</sup>. En este supuesto, las infiltraciones procedentes de la escorrentía de estos 210 Km<sup>2</sup> en un año de precipitación media serían las siguientes:

$$I_2 = 0,65 \text{ m} \times 210 \times 10^6 \text{ m}^2 \times \frac{15}{100} \times \frac{25}{100} \approx 5 \text{ Hm}^3$$

3.º Finalmente, se ha supuesto que el 5 por 100 de las precipitaciones anuales caídas sobre los 50 Km<sup>2</sup> que representan —aproximadamente— los terrenos cuaternarios arcillosos y limosos que circundan la llanura aluvial y deltaica se infiltra y subterránea y lateralmente pasa a alimentar los depósitos fangoarenosos que la constituyen, lo que en un año de precipitación media supondrá:

$$I_3 = 0,65 \text{ m} \times 50 \times 10^6 \text{ m}^2 \times \frac{5}{100} = 1,6 \text{ Hm}^3$$

La suma de las infiltraciones de las lluvias ( $I = I_1 + I_2 + I_3$ ) supondrá, pues, durante un año de precipitación media, un valor aproximado de 26 Hm<sup>3</sup>. En los años extremos (húmedo o seco), debido por una parte a las variaciones de las precipitaciones y debido por otra parte a la variación de su distribución en el tiempo y a las diferentes demandas del suelo, esta cifra de 26 Hm<sup>3</sup> puede estimarse fluctuante entre la mitad y el doble.

En cuanto a la estimación del segundo sumando de las **ENTRADAS**, es decir las aportaciones subterráneas procedentes de fuera de la región ( $E_{ab}$ ), puede admitirse que no se verifican más que a través de los depósitos subálveos del Ter en la zona de la «cerrada de Colomers», donde para un gradiente hidráulico del 1 por 100, una permeabilidad media de 250 m/día y una sección de 10.000 m<sup>2</sup>, obtenemos unas aportaciones subterráneas anuales del orden de 10 Hm<sup>3</sup> (consultar figura 6.7).

**El conjunto de los dos sumandos ( $I + E_{ab}$ ) arroja un total aproximado del orden de 35 Hm<sup>3</sup> para los recursos subterráneos totales de la región en un tipo de año medio.**

¿A dónde van a parar estos 35 Hm<sup>3</sup> anuales?

Si se estiman en 5 Hm<sup>3</sup> (como máximo) las extracciones subterráneas actuales para riego y abastecimiento a poblaciones, y se supone que las entradas subterráneas son aproximadamente iguales a las salidas subterráneas, se llega a la conclusión de que los 20 Hm<sup>3</sup> restantes vuelven a salir de los acuíferos en forma de aguas superficiales a través del Ter, de sus principales canales y de las varias decenas de Km de acequias de drenaje (lo que supone un caudal constante aproximado de 0,7 m<sup>3</sup>/s), lo que nos conduce a admitir que —salvo raras ocasiones— el Ter y sus canales actúan, en efecto, a su paso por la región, y **en el equilibrio hidrológico actual**, como corrientes efluyentes, tal como se había supuesto anteriormente.

Ahora bien, **en nuestro caso, los recursos subterráneos así calculados son susceptibles de ser incrementados considerablemente debido a un doble hecho: 1.º) la disponibilidad de unos volúmenes muy considerables de aguas superficiales que entran en la región por el río Ter procedentes de sus 2.933 Km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica que son susceptibles de ser desviados a las formaciones acuíferas, y 2.º) a la presencia de formaciones acuíferas superficiales altamente permeables, de considerables dimensiones, en buen contacto hidráulico con los cauces superficiales (ríos y canales sin revestir).**

En este sentido, una explotación subterránea convenientemente realizada y planificada, en zonas suficientemente próximas a los cauces principales, podría «provocar» una importante recarga natural, con lo que a la cifra anteriormente calculada (35 Hm<sup>3</sup>/año) habría que añadir la capacidad de regulación subterránea «natural» sobre las aportaciones anuales del Ter.

Tal y como se ha expuesto en el capítulo 2, apartado 2.2.1.2, aunque no existen datos concretos sobre las aportaciones del Ter a su entrada en la región aquí estudiada (la estación de aforos más próxima está en el embalse de SAU: figura 2.1), se ha estimado —mediante el proceso de cálculo presentado detalladamente en dicho apartado— que las aportaciones anuales más frecuentes en Colomers (abstracción hecha de las derivaciones de la cuenca y de la regulación de los embalses superficiales) pueden ser consideradas del orden de 750 Hm<sup>3</sup>. Estas mismas aportaciones, durante un año seco con probabilidad de retorno de unos veinte años serían (aproximadamente) de unos 390 Hm<sup>3</sup>.

Tal y como se ha expuesto detalladamente en el capítulo 2, se puede racionalmente prever que en el futuro allí supuesto las aportaciones superficiales del Ter a su entrada en nuestra región quedarán reducidas a unos 425 Hm<sup>3</sup> en el tipo de año y medio, por causa de las derivaciones de la cuenca para el nuevo abastecimiento de Barcelona y por causa también de los futuros consumos aguas arriba de la región.

Si se estima en un 25 por 100 el porcentaje máximo que sobre las aportaciones anuales del Ter en Colomers podría ser derivado hacia los acuíferos de la región aquí estudiada mediante una preparación adecuada de los cauces menor y medio del río Ter y los de sus principales canales, junto con un sistema y un programa de explotación subterránea conveniente, el incremento de los recursos subterráneos primarios sería de unos 105 Hm<sup>3</sup>/año, con lo que el valor de los recursos subterráneos totales sería entonces de 140 Hm<sup>3</sup>/año (105 Hm<sup>3</sup> + 35 Hm<sup>3</sup>). Si por el contrario no se estima más que en un 10 por 100 el porcentaje máximo que sobre las aportaciones anuales del Ter en Colomers podría ser derivado en condiciones técnicas y económicas convenientes hacia los acuíferos, los recursos subterráneos totales serían en este caso del orden de 80 Hm<sup>3</sup>/año (45 Hm<sup>3</sup> + 35 Hm<sup>3</sup>).

Se puede estimar que, en principio al menos, un 50 por 100 del caudal de los recursos subterráneos totales así calculados podría ser captado y aprovechado para el consumo, con lo que el valor de los **RECURSOS SUBTERRANEOS UTILES** podríamos estimarlo ya, «a priori», no inferior a los 50, siendo, probablemente, del orden de 75 a 100 Hm<sup>3</sup>/año.

### 7.2.3. LAS RESERVAS SUBTERRANEAS

Tal y como se ha expuesto en el apartado 7.1.2 del presente capítulo, la valoración de las reservas subterráneas requiere el conocimiento previo de los recursos subterráneos y de su programa de explotación.

Conocidos el valor de los recursos subterráneos y las dimensiones geométricas de los acuíferos y establecido su programa de explotación, se puede calcular la **posición mínima del nivel piezométrico por debajo de la cual el «embalse subterráneo» no intervendrá en la regulación del volumen que suponen los recursos subterráneos totales**. Por ello, en nuestro caso particular, en el que un gran porcentaje del volumen total de los recursos subterráneos depende de las disponibilidades de aguas superficiales, y en el que el aprovechamiento de estos recursos es posible realizarlo a través de las zonas acuíferas próximas a los recursos de los

ríos, debemos considerar las reservas subterráneas simultáneamente bajo los dos prismas siguientes:

1) Se trata, en primer lugar, de considerar la fracción de los recursos subterráneos totales que provienen de las infiltraciones de las precipitaciones, para cuyo aprovechamiento total sería necesaria la intervención general de toda la extensión superficial del acuífero cuaternario mediante un número elevado de pozos.

2) En segundo lugar, se trata de considerar el hecho de que siendo la fracción más importante de los recursos subterráneos la que proviene de las aguas superficiales que pueden ser derivadas a los acuíferos, **su captación y aprovechamiento no requiere la utilización de todo el embalse subterráneo, sino únicamente una pequeña parte de él**, es decir, la constituida por los acuíferos superficiales de gravas y arenas que están en contacto directo con los cursos de agua.

El mantenimiento en cada momento de un caudal conveniente en el río Ter y en sus principales canales de derivación, y el emplazamiento en las zonas de mayor permeabilidad de varios sistemas de captación del tipo **pozo radial**, permitiría el aprovechamiento de esta importante fracción de los recursos subterráneos, no utilizando para ello más que un reducido volumen del embalse subterráneo, con lo que el volumen restante formaría parte de las reservas subterráneas (consultar figura 7.1).

Bajo la óptica de estos dos prismas, si admitimos: a) un espesor medio de 8 m. para los acuíferos superficiales situados por debajo del nivel de las aguas del Ter y de sus canales, b) una anchura media de 1.000 m. y, c) una longitud aproximada de 15 Km, el volumen del terreno acuífero así definido no es más que de 120 Hm<sup>3</sup>. Por otro lado, el volumen máximo de embalse subterráneo necesario para regular los 26 Hm<sup>3</sup> anuales procedentes de las infiltraciones de las lluvias sería de 60 Hm<sup>3</sup>, 100 Hm<sup>3</sup> ó 250 Hm<sup>3</sup>, según que consideremos la porosidad eficaz del terreno acuífero de un 40 %, de un 25 % ó un 10 %, respectivamente.

En el caso de una porosidad eficaz media del 25 %, el volumen total de **acuífero no utilizado para la regulación de los recursos** sería, pues, del orden de:

$$3.000 \text{ Hm}^3 - 220 \text{ Hm}^3 = 2.780 \text{ Hm}^3.$$

**El agua contenida permanentemente dentro de este volumen constituiría las reservas subterráneas brutas de la región.**

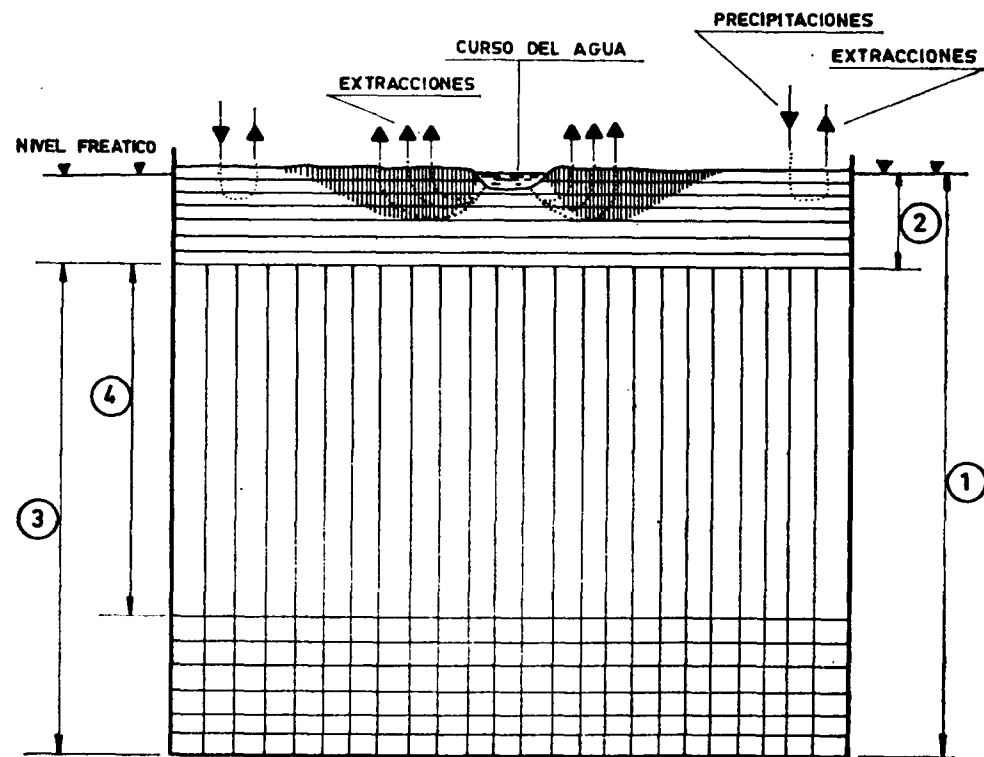
Según que la porosidad eficaz del acuífero sea del 10 %, del 25 % o del 40 %, el valor de las reservas subterráneas brutas (tal y como aca-



VOLUMEN DE EMBALSE SUBTERRANEO NECESARIO PARA REGULAR EL PORCENTAJE DE LAS APORTACIONES SUPERFICIALES SUSCEPTIBLES DE SER DERIVADAS A LOS ACUIFEROS POR PROCEDIMIENTOS "NATURALES" DE RECARGA PARA SU EXPLOTACION SUBTERRANEA.



VOLUMEN DE EMBALSE SUBTERRANEO NECESARIO PARA REGULAR EL VOLUMEN DE LAS INFILTRACIONES DE LAS LLUVIAS Y DE LAS ESCORRENTIAS.



- 1: VOLUMEN DE AGUA SUBTERRANEA EMBALSADA
- 2: VOLUMEN DE ACUIFERO NECESARIO PARA LA REGULACION DE LOS RECURSOS SUBTERRANEOS TOTALES.
- 3: RESERVAS SUBTERRANEAS TOTALES.
- 4: RESERVAS SUBTERRANEAS UTILES.

Figura 7.1

bamos de definir las) sería, pues, de 278 Hm<sup>3</sup>, de 695 Hm<sup>3</sup> ó de 1.112 Hm<sup>3</sup>.

Ahora bien, las reservas subterráneas explotables (útiles) ya hemos dicho en el apartado 7.1.2 que son función de una serie de condiciones técnicas y económicas y de unas circunstancias de demanda y de disponibilidad del momento. Sin embargo, si suponemos que en nuestro caso el embalse subterráneo está definido por dos planos paralelos de 120 Km<sup>2</sup> de superficie cada uno, separados entre sí 25 m., y que una explotación del acuífero «a ultranza» podría llegar a vaciarlo en un espesor medio de 15 m., al volumen que suponen las reservas subterráneas brutas habría que descontar el volumen de agua embalsada por debajo de esos 15 primeros metros, puesto que se trataría de un volumen de agua libre embalsada no susceptible de ser explotada en condiciones técnicas y económicas convenientes.

Procediendo así, obtenemos los valores tope siguientes: 158 Hm<sup>3</sup>, 395 Hm<sup>3</sup> y 632 Hm<sup>3</sup> (según que la porosidad eficaz considerada sea del 10 %, del 25 % o del 40 %).

#### 7.2.4 LOS RECURSOS HIDRAULICOS BRUTOS DE LA REGION

La suma de las entradas superficiales (E<sub>sp</sub>) de las entradas subterráneas (E<sub>sb</sub>) y de las aguas que proceden de las precipitaciones escapan a la evapotranspiración (R), corresponde al concepto que en el apartado 7.1.4 hemos definido como recursos hidráulicos brutos (o totales).

En nuestro caso, el primero de estos tres sumandos: (E<sub>sp</sub>), como ya hemos visto, en el futuro supuesto representará en el tipo de año medio unos 425 Hm<sup>3</sup>. El segundo sumando (E<sub>sb</sub>), ya hemos visto que representa un total aproximado de 10 Hm<sup>3</sup>/año —son las aguas subterráneas que suponemos que anualmente entran en nuestra región, atravesando los terrenos cuaternarios de la cerrada de Colomers. El tercero de los sumandos (R), representa las aguas de las precipitaciones que, cayendo en la región, escapan al poder evapotranspirante de la atmósfera y de las plantas, en parte infiltrándose en el terreno y en parte escurriendo directamente a los cursos de agua. Este sumando supone (de acuerdo con lo que hemos expuesto en los apartados anteriores) la suma de : a) las infiltraciones de las lluvias que alcanzan el nivel freático de las aguas subterráneas: 1 = 26 Hm<sup>3</sup>/año, b) la escorrentía de los 160 Km<sup>2</sup> de la cuenca alta y media de los ríos Daró y Risech —lo que en un año de precipitación media (700 mm. aprox. en esta zona montañosa) con un coeficiente de escorrentía del orden del 20 % representa aproximadamente unos 22 Hm<sup>3</sup>/año—, y c) la escorrentía hipodérmica del resto de la re-

gión, que hemos considerado prácticamente despreciable. En conjunto, pues, este tercer sumando (R) representa unos 48 Hm<sup>3</sup>/año.

Procediendo así se llega a la cifra de 483 Hm<sup>3</sup>/año para los recursos hidráulicos brutos durante el tipo año medio, y en el futuro, relativamente próximo, supuesto hasta aquí.

### 7.2.5 LOS RECURSOS HIDRAULICOS UTILES

Ya hemos dicho que los recursos hidráulicos útiles son función de: **a) de las características topográficas de la cuenca, b) de su capacidad de regulación superficial y subterránea, c) del programa de explotación en función de las demandas y de las disponibilidades del momento, y d) de una serie de factores económicos.**

Como en nuestro caso (salvo en las cabeceras del Daró y del Risech) no existen condiciones topográficas favorables para la construcción de embalses superficiales, **el valor de los recursos hidráulicos útiles de la región dependerá fundamentalmente de la capacidad de regulación de los caudales del Ter aguas arriba de Colomers**, así como de la capacidad de regulación subterránea de nuestra región y de la **distribución en el tiempo de las demandas**. Este último factor permitirá hacer un mayor o menor aprovechamiento de los recursos hidráulicos totales.

#### EN EL SUPUESTO SIGUIENTE:

1.º de que los 145 Hm<sup>3</sup> —cifra que representan los excedentes de los volúmenes actualmente regulables en Sau y Susqueda, después de haber cubierto las necesidades del nuevo abastecimiento de Barcelona, las de Gerona y zona de influencia, y las de las tierras potencialmente transformables en regadío en la zona de El Pasteral-Colomers— pudieran ser aprovechados para el consumo en su 50 %...

2.º de que los 280 Hm<sup>3</sup>/año, que supondrán las aportaciones superficiales futuras no regulables en el complejo Sau-Susqueda, pudieran ser regulados parcialmente mediante la construcción de nuevas presas en las rieras de Amer, Llémana y Osor (cuyas aportaciones respectivas son de 33 Hm<sup>3</sup>, 25 Hm<sup>3</sup> y 30 Hm<sup>3</sup>), y de que esta supuesta regulación pudiera afectar al 75 % de la aportación total de las tres cuencas (88 Hm<sup>3</sup>), y que a su vez el 75 % de este volumen regulable pudiera ser utilizado para el consumo (lo que supondrá 50 Hm<sup>3</sup>/año)...

3.º de que los 192 Hm<sup>3</sup> restantes no susceptibles de ser regulados (280 Hm<sup>3</sup> - 88 Hm<sup>3</sup>) pudieran ser aprovechados para el consumo en su

10 % (bien sea mediante riegos o mediante derivaciones naturales a los acuíferos), lo que supondrá pues 19 Hm<sup>3</sup>/año...

4.º) que la regulación de las cabeceras del Daró y el Risech permitiera un aprovechamiento anual de 5 Hm<sup>3</sup>...

5.º) que el 50 % del volumen de las infiltraciones procedentes de las precipitaciones (26 Hm<sup>3</sup>/año) y el 50 % del volumen de las entradas subterráneas (10 Hm<sup>3</sup>/año) pudieran ser captados subterráneamente...

...el valor de los **RECURSOS HIDRAULICOS UTILES** de la región sería, pues, de 165 Hm<sup>3</sup>/año (72'5 Hm<sup>3</sup> + 50 Hm<sup>3</sup> + 19'2 Hm<sup>3</sup> + 5 Hm<sup>3</sup> + 13 Hm<sup>3</sup> + 5 Hm<sup>3</sup>), es decir —hablando en términos de orden de magnitud—, de unos 175 Hm<sup>3</sup>/año.

Sin embargo, siendo el valor de los recursos hidráulicos útiles función de una serie de factores económicos y de planificación de la explotación frente a las demandas, creemos que en determinadas circunstancias económicas de demanda esta cifra de 165 Hm<sup>3</sup>/año podría ser incrementada considerablemente mediante una planificación conveniente de la explotación, en la que entrarían en juego la construcción de nuevos embalses y la instalación de importantes plantas depuradoras.

En el caso «optimista» en el que el 75 % de las probables aportaciones superficiales futuras no regulables del Ter a su entrada en nuestra región pudieran ser aprovechadas, gracias a una sabia planificación de la explotación subterránea, los recursos hidráulicos útiles serían entonces del orden de 300 Hm<sup>3</sup>/año.



**CAPITULO 8**  
**HIDROGEOQUIMICA**

- 8.1 ACUIFEROS EN TERRENOS PRECUATERNARIOS**
- 8.2 ACUIFEROS EN TERRENOS CUATERNARIOS**
- 8.3 POLUCIONES SUPERFICIALES**

## INTRODUCCION

Se ha dispuesto, en primer lugar, de una serie de 25 análisis químicos «completos», que representan a otras tantas muestras de agua que han sido tomadas en diferentes puntos de la región. Dos de estas muestras corresponden a aguas superficiales: una tomada en el Ter, bajo el puente de Torroella de Montgrí, y la otra tomada en el Aubí, bajo el puente del Mas Durán (27 A - 44 B). Estas muestras fueron analizadas en los laboratorios de la SOCIEDAD DE AGUAS DE BARCELONA, donde aparte de los principales aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ) y cationes ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ , y  $\text{K}^+$ ), alcalinidad, dureza, pH y demanda biológica de oxígeno, hemos pedido que se nos hiciera también el análisis de los detergentes, puesto que en determinados casos pueden actuar como elementos trazadores en la investigación hidrogeológica.

En segundo lugar, se ha dispuesto también de otra serie de 6 análisis químicos, menos «completos», que nos fue facilitada por la COMISARIA DE AGUAS DEL PIRINEO ORIENTAL. Se ha dispuesto, además, de una serie de medidas sobre la salinidad total del agua extraída en los sondeos de reconocimiento realizados por el SERVICIO GEOLOGICO DEL M. O. P. en el año 1962 sobre las calizas cretácicas del Macizo de Montgrí.

Finalmente, se ha dispuesto de la información verbal que hemos podido recoger en numerosos pozos sobre algunas de las propiedades físicas de las aguas subterráneas: color, olor, sabor, etc...

No se puede pretender con sólo esta documentación hacer un estudio detallado del comportamiento hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la región mediante la construcción de mapas de isoconcentraciones, de isoresistividades o de relaciones aniónicas, ya que la densidad de datos de que se ha dispuesto no es suficiente. Sin embargo, se pretende

ofrecer una idea acerca de la calidad química de las aguas de los principales acuíferos conocidos en la región, así como del estado de polución de algunas zonas.

En algunos aspectos, los análisis químicos nos han permitido no solamente dictaminar sobre la calidad química de las aguas sino también confirmar algunas hipótesis hidrogeológicas que habían sido formuladas anteriormente por diferente camino.

Los puntos en los que se ha verificado la toma de muestras y los puntos de los que se ha tenido alguna indicación cualitativa o cuantitativa están señalados en el Mapa Geológico General (Anexo I). Los resultados de todos los análisis aparecen en el anexo V. En el Croquis Fotogeológico de los Depósitos Deltaicos del Ampurdán (figura 3.3) se presenta la situación de las principales zonas químicamente polucionadas.

## 8.1 LOS ACUIFEROS EN TERRENOS PRECUATERNARIOS

### 8.1.1 LAS CALIZAS CRETACICAS DEL MACIZO DE MONTGRI

Debemos destacar el porcentaje tan elevado en sales de las aguas contenidas en las calizas del Macizo de Montgrí, a partir de una profundidad próxima a la cota cero.

En el cuadro VIII (1) aparecen los datos concretos que poseemos referentes a la calidad química de las aguas subterráneas de esta zona.

### 8.1.2. LOS ACUIFEROS EN LOS TERRENOS DEL EOCENO

En los sondeos núm. 45 (Vilopriú) y núm. 46 (Colomers) los acuíferos surgentes que se cortaron en los bancos calcáreos del Tramo Rojo Inferior resultaron estar altamente contaminados en gases CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en proporciones del 11 % al 17 %, al igual que los acuíferos surgentes del Tramo Calcáreo cortados por estos mismos sondeos.

En La Bisbal —según los datos del sondeo núm. 47— las calizas del Tramo Calcáreo contienen asfaltos. Por el contrario, el agua contenida en los acuíferos del Tramo Calcáreo cortados en los pozos de perforación núm. 37 (Captaciones de Torrent) y núm. 53 (Camping Ipsel) y en los pozos abiertos núm. 227 (28 A -32 B) y núm. 228 (28 A -33 B) —según muestran sus respectivos análisis presentados en el anexo V—, es perfectamente potable y no contiene ningún elemento anómalo, por lo que

no creemos que haya nada que temer respecto a la impotabilidad de los posibles acuíferos que pudieran ser explotados dentro del Tramo Calcáreo en la zona que hemos marcado en el Croquis Hidrogeológico para la Investigación de los Terrenos Precuaternarios (figura 3, anexo I).

De los acuíferos que forman las areniscas arcóscicas del Tramo Medio se ha hecho el análisis de una muestra tomada en el pozo núm. 219 (27 A -31 B); como puede verse en el anexo V, se trata de aguas perfectamente potables, en las que cabe destacar, sin embargo, su contenido relativamente elevado en sulfatos, en comparación con las restantes muestras analizadas en el resto de la región.

## CUADRO VIII (1)

ANALISIS DE SALINIDAD EN LOS SONDEOS Y POZOS QUE CORTAN LAS CALIZAS CRETACICAS DEL MONTGRI  
(En gr/l..)

Sondeo o pozo núm. (1)	Profundidad de la toma			
	10 m.	15 m.	20 m.	30 m.
7	—	5,1	—	—
8	0,3	1,2	—	—
9	0,3	—	0,4	—
10	—	1,4	3,1	—
11	—	—	0,4	—
12	1,7	1,5	2,3	—
13	—	—	0,8	1,4
14	—	—	—	0,6
15	—	—	0,6	—
16	—	0,7	0,8	—
17	—	2,9	—	3,4
21	0,2	—	1,7	—
22	7,3	—	7,9	—
23	1,0	1,5	1,9	—
24	0,6	1,4	—	—
25	0,3	—	1,2	—
32	A los 54 m., agua salada en las calizas			
33	Entre los 12 y 18 m., corriente de agua salada			

(1) Los datos de los sondeos núms. 7 al 25 han sido obtenidos de MACAU (1965).

## 8.2 LOS ACUIFEROS EN TERRENOS CUATERNARIOS

### 8.2.1 LOS ACUIFEROS SUPERFICIALES DE ARENAS EN CONTACTO CON EL MAR

#### 8.2.1.1 Zona de La Fornaca

En la estrecha franja de materiales cuaternarios, sobre la que discurre el tramo final del Rec del Molí de Bellcaire, existe un acuífero superficial de arenas y otro profundo (situado éste a unos 30 m. de profundidad). Según nos informó un encargado de una importante urbanización allí emplazada, después de dos años de explotación del acuífero profundo comenzó a notarse en el pozo núm. 101 una salinización creciente del agua bombeada (aparte de otros problemas producidos por el arrastre de arenas que se habían presentado ya desde el principio), que obligó a explotar únicamente el acuífero superficial, como lo hacían ya antes otros pozos.

El acuífero superficial, por el contrario, no presenta síntomas aparentes de polución marina. Ello es debido, en nuestra opinión, a que las fuertes infiltraciones y el constante estado de recarga en que se encuentra el acuífero —tanto por parte del Rec del Molí como por parte de la acequia que discurre paralela a él—. impiden la intrusión. Se trata, pues, de un acuífero superficial hidrogeológicamente bien emplazado, que puede ser utilizado para el abastecimiento de aguas potables a toda la zona de La Fornaca. No obstante, creemos que este acuífero corre el riesgo de ser salinizado —al menos temporalmente— si no se controla la expansión del cono de depresión del acuífero superficial y las fuertes depresiones producidas en el acuífero profundo.

#### 8.2.1.2 Zonas de Cala Riells y Cala Montgó

El pequeño acuífero cuaternario que forman las arenas de la Cala Riells —al SE. de L'Escala— en la actualidad es inservible para el abastecimiento de agua potable debido a su elevado contenido en sales. Aunque no hemos hecho analizar ninguna muestra de este acuífero, se ha tenido ocasión, al menos, de probar el agua de algunos de sus pozos. De hecho se trata de aguas tan saladas que resultan muy desagradables para beber.

En situación parecida se encuentra el acuífero cuaternario que desemboca en la Cala Montgó, donde a consecuencia de las extracciones incontroladas para el abastecimiento en verano de la población turística que en esta zona se aglomera, se está produciendo una rápida intrusión del agua del mar. Actualmente los pozos situados en la mitad sur del acuífero son ya inservibles para el abastecimiento de aguas potables.

#### 8.2.1.3 El acuífero libre del frente de arenas de la Playa de Pals

A lo largo de los 9 Km. de la Playa de Pals —desde L'Estartit hasta la Punta Sa Forn (en Pals)— existe una ininterrumpida formación de arenas que se prolonga tierra adentro, constituyendo un acuífero libre (consultar figura 6.1 en el capítulo 6).

En la margen izquierda del Ter Vell, el acuífero está fuertemente salinizado; así, por ejemplo, el camping allí emplazado de hecho no puede utilizar las aguas del acuífero a causa de su sensible sabor salado.

La margen derecha del Ter Vell está igualmente contaminada según se ha podido constatar al probar el agua de algunos pozos, por lo que las urbanizaciones y apartamentos de la zona se abastecen con las aguas municipales de L'Estartit. Más al sur, el acuífero que constituyen las arenas de la zona de La Platera también está polucionado por el agua del mar, el cual en ocasiones de fuertes temporales invade la zona, originando de este modo la presencia de marismas durante una buena parte del año.

**Al sur de la desembocadura del Ter el acuífero no está polucionado ni aún incluso a distancias muy próximas al mar.** En esta zona parece ser que existe un nivel de aguas dulces «flotando» por encima de las aguas saladas, que suponemos invaden en profundidad el acuífero. En esta zona las principales explotaciones corresponden al camping El Delfín Verde, a la urbanización Mas Pinell, a la Emisora Radio U.S.A. y a la urbanización Los Arenales del Mar.

En el Delfín Verde se nos ha informado que se albergan más de 2.000 personas, en permanencia durante toda la temporada turística.

En el pozo de la emisora de radio U.S.A., aunque no la utilizan para beber, el agua es potable (o al menos perfectamente tolerable) según nos informó, de acuerdo con los resultados de un análisis químico, el Farmacéutico de Pals.

En la urbanización Mas Pinell (pozo núm. 153) se ha tomado una muestra cuyo análisis presentamos en el anexo V. Nos llama la atención su

bajo contenido en cloruros (63'2 mg/l.) dado que el pozo se encuentra prácticamente en la playa.

### 8.2.2 LOS ACUIFEROS DE LAS DUNAS DEL MACIZO DE BAGUR

Se ha analizado una muestra tomada en las captaciones más importantes que sobre estas formaciones conocemos; se trata del pozo núm. 220 (53 A - 28 B) de la urbanización Sa Punta, cuya agua no presenta ningún contenido anómalo en cuanto a potabilidad se refiere. El pozo explota las aguas de uno de los pequeños valles excavados en las pizarras y que posteriormente fueron parcialmente colmatados de arenas por la invasión de las dunas.

### 8.2.3 LOS ACUIFEROS DE LA CUENCA DEL DARO

Se presentan en el anexo V los resultados del análisis de dos muestras: una fue tomada en el tramo libre del acuífero principal (en las captaciones municipales de La Bisbal) y la otra unos 8 Km. aguas abajo en el pozo núm. 141 (15 A - 22 B) de Can Font, situado en el tramo cautivo del acuífero (consultar figura 6. 3, en el capítulo 6).

Del estudio comparativo de estos análisis se deduce —si se supone que el flujo subterráneo principal se verifica en la dirección de aguas abajo del Daró— que existe un aumento considerable de la salinidad total en la dirección del flujo subterráneo. En efecto, el análisis del pozo núm. 141 dio 716 ppm. de residuo seco a 110° C, mientras que si se considera a 18° C como buena la equivalencia:

$$\text{conductividad} \times 1,30 = \text{residuo seco}$$

se tendrían aproximadamente unas 408 ppm. para la muestra del pozo núm. 61.

Desconocemos las condiciones en que se tomó esta última muestra, así como los días que transcurrieron entre la toma y el análisis; de todas formas, aun en el caso de que hubiera habido una precipitación del  $\text{CO}_3\text{H}^-$  por pérdida de  $\text{CO}_2$  durante el transporte, esta no pudo haber sido muy grande, puesto que ya la diferencia del contenido en  $\text{Cl}^-$  y en  $\text{SO}_4^{=}$  entre el pozo núm. 141 y el pozo núm. 61 es muy considerable: 156,0 mg/l. frente a 37,3 mg/l. en  $\text{Cl}^-$  y 64,3 mg/l frente a 9,6 mg/l en  $\text{SO}_4^{=}$ , respectivamente.

Dos análisis aislados no suponen ningún poderoso argumento para sacar conclusiones hidrogeológicas definitivas; sin embargo, aun teniendo presente que las aguas, en su caminar, se enriquecen en sales, el aumento tan considerable del ion cloro en este caso puede hacer sospechar en la influencia de los vertidos residuales de La Bisbal y, por tanto, en una conexión con la formación acuífera principal. Desgraciadamente, del pozo núm. 141 no se pudo tomar agua suficiente para hacer también el análisis del contenido en detergentes, que en este caso su presencia habría sido un argumento definitivo.

En cuanto a la **POTABILIDAD** —aunque en principio en ninguno de los dos análisis han sido valoradas las proporciones presentes de todos los elementos que pueden ser nocivos para el organismo humano— puede decirse que, en principio, se trata de aguas al menos sanitariamente tolerables. Las aguas del pozo núm. 61, que abastece a La Bisbal, son bastante blandas: 13,4° franceses de dureza, mientras que las aguas del pozo núm. 141 son más bien «algo duras»: 29,2° franceses.

Dado que la formación detrítica profunda es la que proporciona probablemente los mayores volúmenes al cabo del año de todos los acuíferos explotados en la región, y que sus aguas son utilizadas casi exclusivamente para los riegos (consultar Mapa de Situación Local, anexo I), se ha creído oportuno calcular el valor del índice S. A. R., puesto que servirá para ofrecer una idea cuantitativa de la nocividad del  $\text{Na}^+$  para la permeabilidad de los suelos regados con estas aguas:

$$\text{S.A.R.} = \frac{\text{Na}}{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}} \quad (\text{expresados en meq/l.})$$

$$\text{S.A.R.} = \frac{1,71}{\frac{3,45 + 2,41}{2}} = 0,585$$

Se trata, pues, de un valor muy bajo, que no ofrece ningún riesgo de provocar impermeabilizaciones en los suelos.

Si se tienen en cuenta los posibles usos industriales que pudieran darse a las aguas de este acuífero profundo y si se considera además la vida de los revestimientos metálicos de los pozos (entubaciones y rejillas), a juzgar por los resultados del análisis de la muestra del pozo núm. 141 conviene señalar que se trata de un «AGUA AGRESIVA», que contiene un exceso de  $\text{CO}_2$  libre con respecto al bicarbonato disuelto.

#### 8.2.4 LOS ACUIFEROS DE LA CUENCA DE LA RIERA GROSSA DE PALS

Al igual que para la cuenca del Daró, se presentan aquí los datos de dos muestras de agua, tomadas: una en el tramo libre del acuífero (pozo núm. 222) y otra en el tramo confinado del mismo (Captaciones de Torrent).

Las dos muestras corresponden en principio a un agua potable, aunque de considerable dureza.

De acuerdo con los criterios de clasificación que figuran en el cuadro VIII (2), las aguas del pozo núm. 222 serían «aguas muy duras»: 57° franceses, y las de las Captaciones de Torrent serían «aguas duras»: 37° franceses. En esta última muestra debemos destacar su contenido en materia orgánica marcadamente superior al de la muestra del pozo núm. 222.

Las aguas del pozo núm. 222 son ligeramente agresivas, mientras que las de Captaciones de Torrent son incrustantes.

Teniendo en cuenta que las aguas subterráneas de esta cuenca se utilizan en buena parte para el riego se ha creído conveniente calcular también el valor del índice S.A.R., el cual ha resultado ser muy bajo: 0,93 en las Captaciones de Torrent y 0'65 en el pozo núm. 222.

Las muestras núms. 1, 2 y 3 del anexo V fueron tomadas en las Captaciones de Torrent en diferentes momentos. La núm. 1 fue tomada en noviembre de 1964, es decir, antes de la puesta en explotación definitiva de las Captaciones; la núm. 2, fue tomada en marzo de 1965, es decir, después de algunos meses de fuerte explotación del acuífero; y, la núm. 3, fue tomada más recientemente (mayo 1968) después de tres años de intensa explotación del acuífero (figura 8.1).

**CUADRO VIII (2)**  
CLASIFICACION DE LAS AGUAS SEGUN SU DUREZA

Dureza total en ppm. de CO <sub>3</sub> Ca	CLASE
de 0 a 70	agua muy dulce
70 a 140	• dulce
140 a 200	• moderadamente dulce
200 a 300	• algo dura
300 a 500	• dura
más de 500	• muy dura

# DIAGRAMA DE ANALISIS DE AGUA

d'après H. SCHOELLER  
et N. BERKALOFF

## L E Y E N D A

no	Rés. sec mg/l	$\rho$ ohms/cm	dp	pH
----	------------------	-------------------	----	----

**CAPTACIONES DE TORRENT.**  
(acuifero cuaternario:  
formación detrítica principal)

- 17 Noviembre 1964
- - - 27 Marzo 1965
- · - 5 Mayo 1968

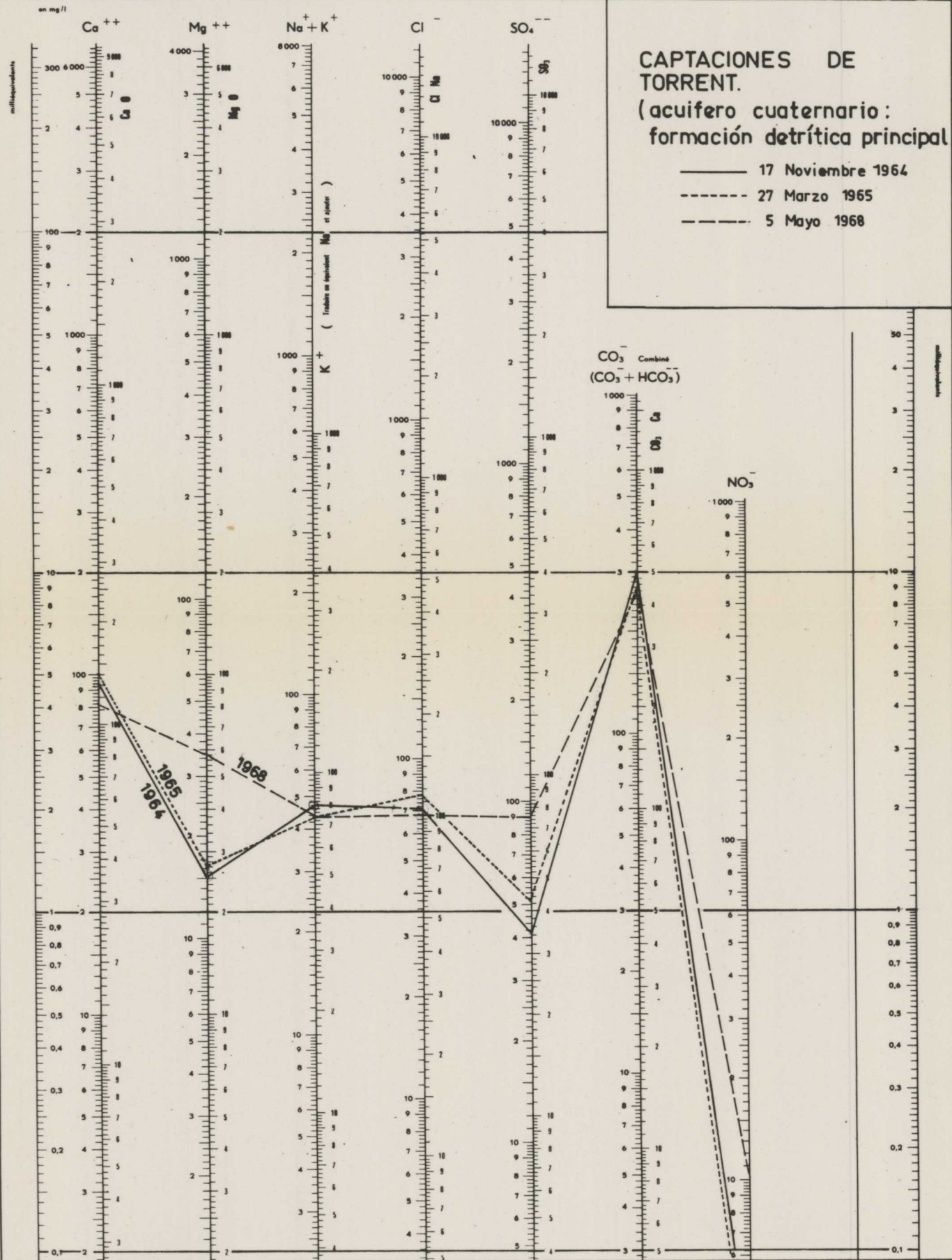


Fig. 8.1



Estas tres muestras corresponden, según la clasificación de SCHOELLER (consultar SCHOELLER, 1962, pp. 316 y 317) al mismo tipo de agua; se trata de un agua «clorurada normal», «sulfatada normal» e «hipocarbonatada».

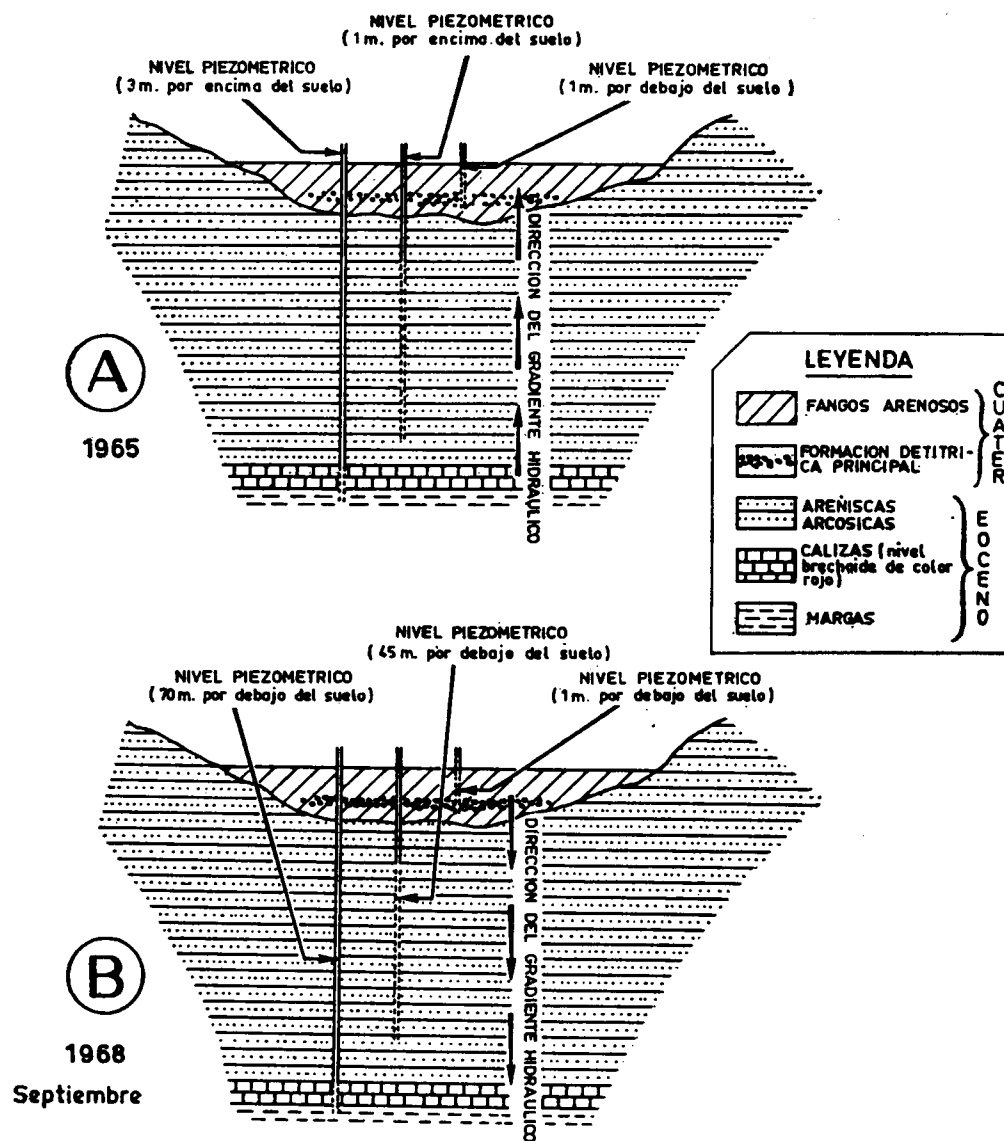
No obstante, debemos señalar la existencia de una cierta **evolución en la composición química de las tres muestras**. Ha habido, en efecto, un aumento progresivo de la dureza total (296 mg/l en noviembre de 1964 frente a 350 mg/l en mayo de 1968), del contenido en sulfatos (de 41,3 mg/l en noviembre de 1964 a 90,2 mg/l en mayo de 1968), del contenido en nitratos (de 3,2 mg/l a 10,2 mg/l), del contenido en magnesio (de 15,1 mg/l a 35,0 mg/l); pero sobre todo lo que nos parece más significativo es el aumento de materia orgánica: de 0,31 mg/l de oxígeno consumido en la muestra tomada en noviembre de 1964 a 4,15 mg/l en mayo de 1968.

Un aumento tan considerable del contenido en materia orgánica —observado en las tres muestras— confirma, casi con toda certeza, cuál es el origen del agua bombeada en las Captaciones de Torrent. A pesar de que los tres pozos que actualmente explotan el acuífero cuaternario profundo tienen su rejilla emplazada únicamente frente a la formación detrítica que se encuentra incluida en los fangos arenosos, opinamos que el agua bombeada a partir de un cierto tiempo del comienzo de las explotaciones en las Captaciones proviene de los fangos arenosos —si bien a través de la formación detrítica principal—.

Si se tienen en cuenta las dimensiones tan reducidas de la formación detrítica incluida en los fangos, frente a la magnitud de los volúmenes bombeados anualmente (superiores a 0,5 Hm<sup>3</sup>), ya se comprende que el agua bombeada no puede proceder exclusivamente de dicha formación. Nos parece evidente que el papel que juega la formación detrítica frente a los fangos arenosos es fundamentalmente el de un gran colector natural entre los pozos y los fangos, de forma que el verdadero acuífero lo constituyen estos últimos, y la formación detrítica no es más que una gran galería natural que nos permite drenar y explotar los fangos arenosos como acuífero.

En los testigos obtenidos durante los sondeos realizados en los fangos de esta zona, hemos podido comprobar personalmente la presencia constante de abundante materia orgánica vegetal. En los análisis químicos realizados en las aguas extraídas de estos mismos fangos en la zona del Bajo Ter han sido encontradas cantidades de materia orgánica equivalente siempre a más de 3,5 mg/l de O<sub>2</sub> (consultar los análisis núms. 15, 18, 24 y 25 del anexo V).

Según se puede ver en los diagramas de la figura 8.1 el aumento del



EVOLUCION DEL NIVEL PIEZOMETRICO DESDE 1965 EN LAS TRES FORMACIONES ACUIFERAS SUPERPUESTAS (DE MARTINEZ GIL 1968)

Figura 8.2

contenido en sales en las muestras núms. 1, 2 y 3 es debido casi exclusivamente al aumento del  $\text{SO}_4\text{Mg}$ .

El aumento observado en el contenido de nitratos en estas tres muestras (de 3,2 mg/l a 10,2 mg/l) denuncia, en principio, la existencia en la actualidad de una alimentación más directa del acuífero a partir de las infiltraciones de las lluvias que no lo era al comienzo de la explotación, en el año 1965. En efecto, antes de la puesta en explotación de las Captaciones de Torrent, podemos pensar que el acuífero cuaternario estaba alimentado en gran parte desde su basamento gracias a la existencia del acuífero profundo de las calizas del Eoceno que se comunicaba con los fangos arenosos del Cuaternario a través de las areniscas arcóscas (consultar figura 8.2 A). De este modo nos explicamos, pues, que el contenido en nitratos fuera entonces más bajo que el actual.

Actualmente —después de tres años de fuerte explotación del acuífero de las calizas del Eoceno— la alimentación en profundidad del acuífero Cuaternario ya no es posible debido a las nuevas condiciones hidráulicas resultantes (consultar figura 8.2 B), con lo que su recarga ya no puede tener lugar en la actualidad más que a través de la infiltración directa de las lluvias, las cuales, antes de llegar a ser captadas subterráneamente en la formación detrítica considerada, lavan los suelos abonados y los fangos arenosos que atraviesan; de aquí, pues, la explicación que damos al aumento experimentado tanto en el contenido de nitratos como en el de materia orgánica.

### 8.2.5 LOS ACUIFEROS DE LA CUENCA DEL AUBI (figuras 6.2, 6.3 y 8.3)

Presentamos —al igual que en las cuencas del Daró y de la Riera Grossa de Pals— dos muestras tomadas en el tramo libre del acuífero y una en el tramo confinado. Presentamos, además, un análisis de las aguas superficiales del Aubí.

El análisis del agua del pozo núm. 223 (tramo libre) presenta como única anomalía a destacar su contenido relativamente elevado en materia orgánica: 3,1 mg/l. El análisis del agua del pozo núm. 224 (tramo libre) tampoco presenta ningún elemento anómalo a destacar, a no ser los 11,9 mg/l de nitratos, que son perfectamente explicables a través de la influencia del lavado de los suelos abonados.

El pozo núm. 158 del Mas Durán está situado ya en el tramo confinado del acuífero. El estudio comparativo de los resultados de los análisis del agua del pozo núm. 158 y del agua del Aubí tomada bajo el puente próximo al Mas Durán es muy interesante.

Las aguas del Aubí, durante una buena época del año no son casi exclusivamente otra cosa que los **vertidos residuales** de Palafrugell; así lo demuestra, además, el análisis de sus aguas, del que llama poderosamente la atención el elevado contenido de detergentes (27,13 mg/l), en materia orgánica (10,4 mg/l), en amoníaco directo (4,4 mg/l), en sulfatos (204,5mg/l), en cloruros (359,5 mg/l), en sodio y en potasio (213,0 mg/l y 46,5 mg/l, respectivamente), y el pH de 8,15. En determinadas zonas, la conexión hidráulica entre la formación detrítica principal y el cauce del Aubí es evidente. Esta conexión se manifiesta claramente a través de los resultados del análisis químico del agua del pozo del Mas Durán (núm. 158), del que destacamos sus 54,8° franceses de dureza y su elevado contenido en detergentes: 5,3 mg/l.

Durante la primavera de 1967 fue cuando empezó a notarse en el citado pozo la influencia de los vertidos de Palafrugell (vertidos que desde hacía pocas semanas circulaban ya por el Aubí). Con anterioridad, las aguas que se bombeaban en el pozo del Mas Durán eran, al menos, sanitariamente tolerables, puesto que desde hacía años las necesidades domésticas y el abastecimiento de agua potable al Mas se realizaban con las aguas de este pozo. En pocas semanas las dejaron de beber, a consecuencia de su sabor desagradable, y poco más tarde el efecto de la presencia de los detergentes resultó espectacular. En la actualidad, incluso los animales rechazan beber estas aguas.

Esta misma influencia nociva del Aubí se ha notado en otros pozos situados aguas abajo. Por el momento, todavía no se han observado síntomas de polución en las captaciones de La Fosca y Palamós, situadas unos 3,5 Km aguas abajo del pozo del Mas Durán.

A este último respecto no queremos ser demasiados optimistas, puesto que un sencillo cálculo, en el supuesto de que el acuífero principal tuviera una permeabilidad del orden de 100 m./día y que el gradiente hidráulico en condiciones naturales fuera del 0,5 %, muestra que la velocidad de avance del agua, dentro de la formación detrítica, sería tan solo de 0,5 m./día (es decir, 15 m./mes). Este mismo avance, en los fangos arenosos podemos estimarlo unas 10 veces menor, es decir, 1,5 m./mes.

Si suponemos que, durante 9 meses al año, los bombeos aguas arriba de las captaciones de La Fosca y Palamós son prácticamente despreciables y que el gradiente hidráulico medio fuera de 0,5 %, al cabo de este período el avance del agua, dentro de la formación detrítica, teóricamente habría sido del orden de 135 m. En los limos arenosos que engloban a la formación detrítica y que constituyen el verdadero depósito subterráneo este avance no habría sido más que de 13,5 m.

Es difícil decir, en el estado actual de nuestro conocimiento de la zo-

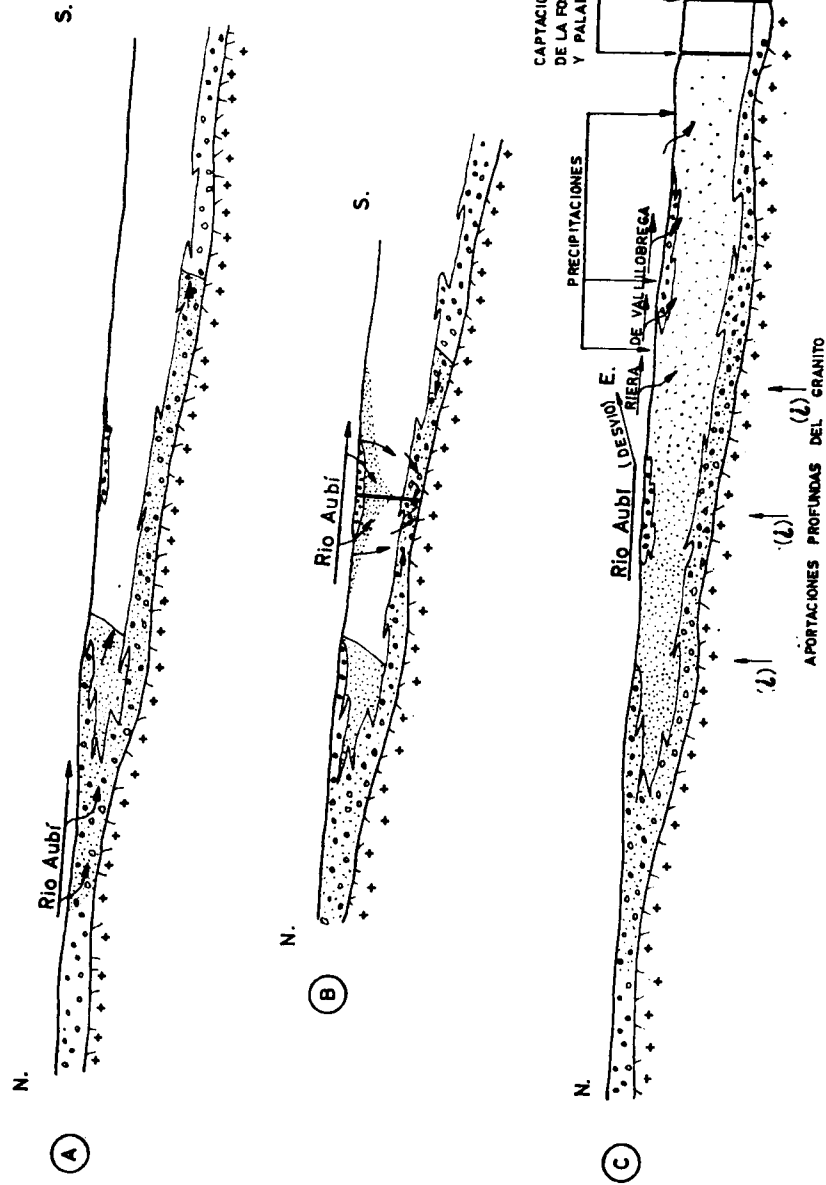
na, qué es lo que pasa durante los tres meses de verano, en los que los bombeos son casi constantes. No podemos saber cómo se verifica el flujo general del acuífero durante esta época porque las condiciones hidráulicas naturales se rompen. De todas formas, dadas las pequeñas dimensiones del acuífero, puede suponerse que cada pozo (o cada grupo de pozos próximos) actúa a modo de sumidero o barrera hidráulica que corta la mayor parte del flujo subterráneo natural durante la época de fuertes bombeos (aprox. 3 meses), impidiendo de este modo el avance del «frente polucionado». Sin embargo, si durante el verano puede suponerse que el avance del frente es detenido por efecto de los bombeos, puede suponerse, igualmente, que durante esta época es cuando se producirá el paso más importante de las aguas del Aubí a los terrenos Cuaternarios. Este paso estará provocado por los fuertes descensos piezométricos debidos a los bombeos en las zonas próximas al cauce del río.

Durante la mayor parte del año, el Aubí se comporta con respecto a los terrenos cuaternarios próximos al cauce como una corriente efluente, mientras que en la actualidad y durante el verano, lógicamente debe ser influyente, debido, por una parte, a que el caudal del río es mayor por el aumento de los vertidos, y por otra parte debido al descenso del nivel piezométrico en los terrenos próximos al río por efecto de los bombeos. Durante el verano, además, al ser mayor el volumen de los vertidos su «dilución» en las aguas propias del río es prácticamente nula.

No se sabe si los vertidos de Palafrugell están hidráulicamente conectados con la formación detrítica profunda del Aubí a lo largo de todo su cauce hasta su derivación al mar en el punto 27 A-44 B; de todas formas, de cara a la influencia que sobre el abastecimiento de La Fosca y Palamós pudiera tener esta polución, lo que interesa primordialmente conocer es el punto de contacto más próximo a estas captaciones.

Si suponemos que ese punto de contacto está en el lugar más próximo posible (es decir, en el punto en que los vertidos se derivan del cauce del Aubí hacia el mar), el «frente polucionado» teóricamente tardaría en llegar unos 10 años a las captaciones de La Fosca a través de la formación detrítica (esto en el caso simple de considerar una distancia dada y una permeabilidad y un gradiente medios constantes).

Una vez llegado el «primer frente de polución», es decir, el frente que avanza dentro de la formación detrítica, el agua bombeada en ese momento en las captaciones de La Fosca **respondería a una mezcla química** de las aguas provinientes puramente del flujo directo de la formación detrítica y de las provinientes del drenaje de los limos arenosos a través de ésta en la zona de influencia de las captaciones. **De esta forma el efecto de la polución podrá ser, incluso, imperceptible.**



(A) AVANCE GENERAL DE LA POLUCION EN DOS FRENTES DE VELOCIDAD DIFERENTE.  
 (B) DETENCION DEL AVANCE DEL FRENTES POLUCIONADO DURANTE LA EPOCA DE VERANO POR EFECTO DE LOS BOMBEO Y CONTAMINACION DE LOS POZOS PROXIMOS AL CAUCE A TRAVES DE LOS FANGOS ARENOSOS.  
 (C) MEJORAMIENTO NATURAL DEL FRENTES POLUCIONADO POR EFECTO DE LAS APORTACIONES PROFUNDAS, DE LAS INFILTRACIONES DE LAS LLUVIAS Y DE LA RIERA DE VALLLOBREGA Y POR LA DERIVACION AL MAR DE LAS AGUAS POLUCIONADAS DEL RIO AUBI.

Figura 8.3

El mal grave se planteará cuando llegue el «segundo frente de polución», es decir, el que avanza a través de los limos arenosos que constituyen el verdadero depósito subterráneo.

Sin embargo, debemos señalar que aguas abajo de la derivación de los vertidos de Palafrugell hacia el mar, posiblemente existen importantes aportaciones de aguas subterráneas sobre los limos arenosos, provinientes principalmente de los depósitos Cuaternarios de la Riera de Vall-Llobregat y, quizá también, de las aportaciones en profundidad del zócalo granítico, aportaciones todas ellas que, junto con la infiltración directa del agua de las lluvias, deben lógicamente contribuir a diluir las aguas subterráneas químicamente polucionadas que se dirigen hacia Palamós, pudiendo incluso llegar a anular los efectos de la polución del Aubí.

La valoración cuantitativa del fenómeno y el poder llegar a conclusiones prácticas medianamente convincentes requiere un reconocimiento experimental detallado de la cuenca; reconocimiento que escapa del cuadro de nuestro estudio general del Bajo Ampurdán. Nosotros nos limitamos simplemente a denunciar el hecho y a dar a nuestra opinión sobre la manera de enfocar teóricamente el problema práctico que se plantea.

En cuanto a la calidad química del agua del acuífero profundo, en el pozo núm.141 del Mas Durán diremos que rebasa los límites de potabilidad y de lo que podría ser incluso sanitariamente tolerable. Desde el punto de vista agronómico, en cambio, no presenta ningún carácter alarmante (al menos en los elementos analizados), y desde el punto de vista de los posibles usos industriales hay que destacar su elevada dureza: 54,8° franceses.

8.2.6 LOS ACUIFEROS DEL CORREDOR DE ALBONS (consultar fig. 6.8)

De los acuíferos superficiales del Corredor de Albons únicamente ha sido tomada una muestra. Se trata del pozo núm. 202, llamado «Las Miestas», situado en la parte más septentrional de nuestra zona de estudio (20 A-6 B), muy próximo a Cinc Claus, donde en determinadas épocas del año se nos ha informado que surgen manantiales de «agua salada» (?).

Del análisis de este último pozo destacamos su contenido en Cl<sup>-</sup>: 129,9 mg/l., y en Na<sup>+</sup>: 85,5 mg/l. Se trata de un agua potable, según las normas del Cuadro VIII (3), aunque con un contenido relativamente elevado de materia orgánica: 2,24 mg/l., y una dureza de 33,8° franceses. Tiene

un considerable defecto de CO<sub>2</sub> libre con respecto a su alcalinidad, por lo que resulta ser un agua incrustante para los usos industriales.

De los restantes pozos del acuífero libre, representados en el Croquis Hidrogeológico de la figura núm. 4 (Anexo I) no ha sido tomada ninguna muestra, porque en principio no ha sido sospechado ningún síntoma especial de polución.

Respecto a los acuíferos confinados del Corredor de Albons, solamente se pone el análisis del pozo núm. 124, que abastece de agua potable a Belcaire, y el del pozo núm. 160 de la Torre Forsosa (22 A-10 B). El pozo de Belcaire capta sus aguas a 22 m. y a 25 m. de profundidad mediante dos tubos hincados que explotan una formación de arenas. El acuífero es artesiano y según las épocas es, además, surgente. Se trata de aguas potables de 23° franceses de dureza. El pozo de la Torre Forsosa capta sus aguas a 26 m. de profundidad, en unos depósitos de arenas mezcladas con fangos arenosos de color negro, que al ser arrastrados por la bomba dan un aspecto turbio al agua, además de un olor y un cierto sabor a barro; se trata de un agua impotable, de la que destacamos los 1,57 mg/l. de nitritos y los 3,54 mg/l. de materia orgánica.

Respecto al que hemos llamado, en el capítulo 6 «acuífero profundo del Ter», no se ha podido tomar ninguna muestra; sin embargo, según se nos ha informado, las aguas que se bombean en los pozos núm. 114 al núm. 122 son «bastante duras», de modo que, al hervirlas, dejan una película blanca de cal flotando en la superficie.

En Vergés se nos ha informado en el Ayuntamiento que el agua municipal que se bombea en el pozo núm. 126 es también bastante dura, según los datos de un análisis realizado.

### 8.3 POLUCIONES SUPERFICIALES DEBIDAS A LA PRESENCIA PROBABLE DE LAGUNAS SALADAS RECIENTEMENTE DESAPARECIDAS.

La zona de El Sobrestany (21 a 24A-9 a 13B), el llamado Estany de Ullestret, el llano donde se ubican el Mas Pla, el Mas Pinell, La Relojería 23-29A - 21-22B) y una pequeña zona situada al norte de Pals, son zonas todas ellas que en las fotografías aéreas aparecen a los ojos del fotointerpretador con el aspecto de lagunas recientemente desecadas.

De hecho, se sabe que la ciudad ibérica de Ullestret, emplazada sobre una pequeña colina, estuvo rodeada por las aguas; se sabe, además, que en su época tuvo un pequeño puerto. En Fontanillas, parece ser que todavía existen los pilones de piedra que servían para amarrar las embarcaciones (?). Por otra parte, el nombre catalán de Sobrestany («sobre estanque») es altamente expresivo.

Todo ello, como primera hipótesis, nos condujo a pensar que probablemente una gran parte de las actuales tierras del Bajo Ter y del Corredor de Albons han estado en época histórica cubiertas por las aguas, bien sea en forma de varias lagunas litorales, conectadas permanentemente o no con el mar, o bien en forma de una albufera o de una bahía de poco fondo.

CUADRO VIII (3)  
NORMA ESPAÑOLA DE POTABILIDAD DE LAS AGUAS  
(mg/l.)

CARACTERES QUIMICOS	CONVENIENTE	LIMITE MAXIMO
pH	de 7,0 a 8,5	Inf. a 6,5, sup. a 9,2
Residuo seco 110°	750	1.500
Cloruros (en lón cloro)	250	350
Sulfatos (en lón sulfato)	200	400
Nitratos (en lón nitrato)	30	30
Calcio (en lón calcio)	100	200
Magnesio (en lón magnesio)	50	100
Hierro + Manganeso	0,2	0,3
O <sub>2</sub> absorbido del permanganato	3	3

Componentes extraños prohibidos: Fosfatos, Nitritos, Amoníaco, Aminas, Sulfuros, Hidrocarburos, Grasas y Detergentes.

En la región, varias personas nos han «asegurado» que «hace años» la mayor parte de las tierras del Bajo Ter estuvieron cubiertas por las aguas del mar y que la labor continuada de generaciones —terraplenando las partes más bajas y drenando las tierras al mismo tiempo— fue poco a poco «despachando» las aguas del mar, haciendo tierra firme de lo que antaño era dominio de las aguas. Se trataría, pues, de algo parecido a lo realizado en Holanda, pero naturalmente a una escala mucho menor. Estas afirmaciones están fundamentadas en la transmisión oral de padres a hijos.

Nuestra sorpresa ha sido hasta cierto punto grande cuando los análisis de las aguas que hemos tomado en los pozos del Mas Pinell (28 A - 22 B), del Mas Pla (27 A - 22 B), del Mas Marqués (28 A - 17 B) y de la Torre Forsosa (22 A - 10 B) y en los pozos núms. 212, 213, 214 —situados todos ellos en la zona (28 a 30 A - 17 a 19 B)— han revelado los contenidos en Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> que presentamos en el Cuadro VIII (4). Las aguas de estas zonas descritas son de muy mala calidad, no se utilizan para beber, despiden un fuerte olor a «barro» y tienen un contenido de materia orgánica en general bastante elevado; en la región se las conoce bajo el calificativo de «aguas salmásticas», «aguas fadas» o «aguas fluxas».

En el Croquis Fotogeológico de los Terrenos Cuaternarios Deltaicos del Ampurdán de la figura 3.3 se presentan de manera semiesquemática la extensión y la forma probable de estas antiguas lagunas, de acuerdo con nuestros criterios fotointerpretativos, con el apoyo de los análisis químicos realizados y con las indicaciones que al respecto hemos podido recoger al recorrer detenidamente la región. La presencia de esas posibles lagunas (saladas o salobres) sería la causante de una contaminación, probablemente muy superficial, de los terrenos Cuaternarios en contacto. Allí donde la composición de los terrenos primitivamente contaminados era fundamentalmente arenosa, el «lavado» posterior ha debido ser considerablemente más rápido que en los fangos arenosos, de forma tal que mientras aquéllos ya no presentan vestigios de contaminación, éstos todavía los conservan.

#### CUADRO VIII (4)

CONTENIDOS EN ION CLORO Y SODIO DEL AGUA DE ALGUNOS POZOS SITUADOS SOBRE LAS ZONAS OCUPADAS POR LOS ANTIGUOS «ESTANYS»

Pozo núm.	Situación	Toponimia	Cl <sup>-</sup> (mg/l.)	Na <sup>+</sup> (mg/l.)
152	27A - 22B	El Pla	2.416	1.530
211	28A - 18B	Mas Marqués	514	310
212	28A - 18B	C. Jaime	652	336
213	29A - 18B	Casa Nova	644	420
214	30A - 18B	C. Cruz	400	242
215	28A - 20B	Capt. de L'Estartit	245	173
230	28A - 22B	Mas Pinell	454	?

La presencia del acuífero de arenas gruesas y de gravas finas del Ter Vell puede ser tanto anterior como posterior a la existencia de los supuestos «estanys», pero lo importante es que en el conjunto hidrogeológico que forman los terrenos cuaternarios de aquella zona, la formación detrítica principal del Ter Vell actúa a modo de un gran dren natural, que junto con la acción de los fuertes bombeos que se producen en la zona, activa el lavado de los terrenos contaminados que le rodean (consultar figura 6.1 en el capítulo 6).

En las captaciones de L'Estartit —que explotan el acuífero del Ter Vell—, además del contenido relativamente elevado en Cl<sup>-</sup> y en Na<sup>+</sup> (245 y 173 gm/l. respectivamente) tienen algún contenido químico anómalo que produce un precipitado de color casi negro, que causa serios problemas al abastecimiento municipal (consultar en el anexo V el análisis número 20).

## CAPITULO 9

### CONSUMOS Y DEMANDAS

#### INTRODUCCION

- 9.1 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A POBLACIONES
- 9.2 NECESIDADES DE LA AGRICULTURA
- 9.3 NECESIDADES DE LA INDUSTRIA

## **INTRODUCCION**

Se presentan en este capítulo los consumos y las demandas de agua de la región, agrupados bajo tres grandes conceptos: abastecimiento de agua potable a poblaciones, necesidades de la Agricultura y necesidades de la Industria.

### **9.1 ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A POBLACIONES**

La población total de la región, de acuerdo con lo expuesto en el capítulo 1 (apartado 1.4, cuadro I (1)), supone 49.391 personas.

En razón de los diferentes problemas que se plantean en cada sector, se ha creído conveniente dividir la región en tres grandes zonas, en vez de considerarla toda en un conjunto.

Se trata, en primer lugar, del conjunto de pueblos costeros que sufren anualmente los efectos de una afluencia turística relativamente importante; en segundo lugar, se trata de los pueblos del Valle del Daró, y en tercer lugar, de los pequeños núcleos aislados repartidos por el resto de la región.

El consumo de agua potable por habitante ya se sabe que no es una cifra constante que pueda ser aplicada con cierta aproximación a todo tipo de poblaciones. El consumo de agua, puesta en una red de distribución, dividido por el número de beneficiarios directos, varía enormemente con el nivel de vida de la población, con el sentido del ahorro del agua, con la utilización del agua suministrada (usos industriales, usos domésticos, etc.) y varía con la calidad de la red de distribución (no hay que olvidar que las pérdidas en la red son uno de los mayores consumidores de agua de un abastecimiento).

Diremos, a título ilustrativo, que mientras las fichas de consumo en la red municipal de Sevilla arrojan un índice de 24 litros por persona bene-



ficiada y por día, en Alicante este índice sube a 105, en Barcelona a 195 y en Zaragoza a 422 (según encuesta realizada por el Centro de Estudios de Investigación y Aplicaciones del Agua).

En el Plan Nacional de Abastecimientos y Saneamientos de la Dirección General de Obras Hidráulicas del M. O. P. (O. M. 14 de abril de 1965) se han establecido de modo general las dotaciones que exponemos en el cuadro IX (1), según los diferentes niveles de población.

CUADRO IX (1)

NIVEL	HABITANTES	DOTACION (l/h/d.)	
		Actual	1985
A	500-1.000	100	160
B	1.000-6.000	150	250
C	6.000-12.000	175	290
D	12.000-50.000	200	320
E	50.000-250.000	300	490
F	250.000	400	640

En las instrucciones del Plan se han fijado las dotaciones necesarias, estimando que el consumo urbano mínimo es de 150 l/h. día, teniendo en cuenta, además, el decrecimiento general y rápido de los núcleos incluidos en el nivel A, el decrecimiento menos rápido del nivel B, la estabilidad general de los núcleos del nivel C y D y el índice de crecimiento, en general elevado, de los núcleos de los niveles E y F.

### 9.1.1 LA ZONA DE NUCLEOS COSTEROS

#### 9.1.1.1 Distribución de la población

Englobamos en el presente grupo todos los municipios costeros de la región, puesto que todos son afectados muy sensiblemente por la afluencia turística.

Se trata, pues, de los municipios siguientes: L'Escala, Torroella de Montgrí, Pals, Bagur, Palafrugell y Palamós, a los que hay que añadir los famosos barrios playeros: Riells, Montgó, L'Estartit, Sa Riera, Sa Tuna, Aiguafreda, Fornells, Aiguablava, Tamariu, Llafranch, Calella y La Fosca.

Existe una carencia casi total de datos concretos y sistemáticos respecto al número de personas que en las diferentes épocas del año se albergan en cada uno de los seis municipios citados. Para su determinación nos hemos servido, en parte, de las opiniones que hemos recogido en nuestras visitas a los ayuntamientos y en parte de los resultados de un reciente estudio: AGUAS POTABLES DE SAN FELIU DE GUIXOLS, S. A. - C. E. D. E. C. (1968), que afecta a casi todo el sector sur de la Costa Brava, desde Pals hasta Tossa de Mar.

El abastecimiento de agua potable se ha constituido en uno de los problemas más importantes a resolver en estos pueblos, debido a las exigencias de un turismo creciente, que durante los meses de julio y agosto llega a duplicar la cifra que supone el total de la población permanente durante el resto del año.

Diremos brevemente que en el verano de 1967 se sufrió una considerable penuria de agua en Palamós, y que en L'Escala hubo necesidad de recurrir a varios días de restricciones, que fueron acompañadas de las consiguientes fuertes protestas. En Torroella de Montgrí —en parte debido a la anticuada red de distribución y en parte debido a la escasez de disponibilidades, muchos usuarios tienen que recurrir en verano a poner en servicio sus pozos particulares.

En Bagur y Palafrugell —que junto con sus respectivos barrios playeros son actualmente abastecidos por las captaciones de Torrent— a pesar de la fuerte sobreexplotación a que están sometidos los dos acuíferos afectados por las captaciones, las actuales disponibilidades están en disminución alarmante, de manera tal que el futuro inmediato del abastecimiento de la zona a partir de las actuales captaciones no aparece despejado y, de hecho, plantea ya serias preocupaciones a los dos municipios, a los que hay que añadir el de Regencós y, sobre todo, el de Pals, que está en pleno auge de expansión turística.

CUADRO IX (2)

#### POBLACION PERMANENTE DE LA ZONA COSTERA

L'Escala	3.021
Torroella de Montgrí	4.683
Pals	1.760
Bagur	1.870
Palafrugell	11.300
Palamós	9.169
<b>TOTAL</b>	<b>31.803</b>

Aunque la fuerte afluencia turística tiene lugar fundamentalmente en verano, el turismo está presente todo el año en la región.

La población permanente (la no turística) es de 31.803 personas durante todo el año en el conjunto de municipios afectados (consultar cuadro IX (2) ).

La población total, en la época de mayor apogeo turístico, julio, agosto y parte de junio y septiembre, es difícil conocerla con cierta precisión, puesto que no existen datos concretos que nos permitan calcularla. Según información verbal que hemos recibido en los diferentes ayuntamientos, la población total durante esta época del año sería la que presentamos en el cuadro IX (3).

**CUADRO IX (3)**

POBLACION TOTAL DURANTE LA EPOCA TURISTICA EN LA ZONA COSTERA  
(según estimación de los respectivos ayuntamientos)

L'Escala ... ..	40.000
Torroella de Montgrí ... ..	15.000
Pals ... ..	} 30.000
Bagur ... ..	
Palafrugell ... ..	
Palamós ... ..	35.000
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>120.000</b>

Las cifras de este cuadro ofrecen, naturalmente, muy poca garantía, puesto que están basadas en criterios de pura apreciación personal más que en los resultados de un control sistemático. Particularmente, la cifra correspondiente a L'Escala nos parece bastante desorbitada.

De «Aguas Potables de San Feliú de Guixols, S. A. - C. E. D. E. C.» (1968) deducimos que la capacidad teórica máxima de albergue turístico, según los diferentes conceptos (hoteles, pensiones, apartamentos y campings) es la que presentamos en el cuadro IX (4).

La cifra referente a la capacidad de campings de Pals está en el presente año notablemente incrementada, debido a la reciente puesta en servicio del camping Ipsel, con capacidad para más de 1.000 personas.

Puesto que no disponemos de datos concretos respecto a la capacidad teórica de albergue turístico de Torroella de Montgrí ni de L'Escala, hemos supuesto, en primera aproximación, que la proporción entre el número de habitantes fijos y el número de plazas teóricas de albergue tu-



rístico es la misma en estos dos municipios que en Palamós y en Palafrugell, donde según los datos del cuadro IX (4) la capacidad teórica de albergue turístico representaba en 1967 el 77 por 100 y el 47 por 100, respectivamente, de la población fija. Para L'Escala y Torroella de Montgrí hemos tomado, pues, el valor medio de estas dos últimas cifras, es decir, el 62 por 100.

Según este procedimiento de estimación hemos obtenido 1.873 plazas teóricas en L'Escala y 2.903 en Torroella de Montgrí, con lo que el número total de consumidores de agua durante la época veraniega en el conjunto de pueblos costeros de nuestra región sería teóricamente, pues, de 51.497.

Si suponemos que en término medio, durante la época no veraniega, la población turística no supone más que un 10 por 100 de la población turística de verano, el número de consumidores durante la mayor parte del año sería de 33.772.

Existe, como se ve, una clara discrepancia entre las cifras de apreciación personal, mostradas en el cuadro IX (3), y las calculadas de acuerdo con la capacidad máxima teórica de albergue turístico, mostradas en el cuadro IX (4).

**CUADRO IX (4)**

DISTRIBUCION DE LA POBLACION TOTAL DURANTE LA EPOCA TURISTICA  
SEGUN LAS PLAZAS TEORICAS

DISTRIBUCION DE LA POBLACION	PERMANENTE	HOTELES	CAMPINGS	APARTAMENTOS	TOTAL
L'Escala ... ..	3.021	(?)	(?)	(?)	4.894
Torroella de Montgrí	4.683	(?)	(?)	(?)	7.585
Pals ... ..	1.760	41	200	508	2.509
Bagur ... ..	1.870	761	279	1.085	3.995
Palafrugell ... ..	11.300	2.423	832	2.047	16.202
Palamós ... ..	9.169	1.302	2.341	3.500	16.312
<b>TOTAL ... ..</b>					<b>51.497</b>

Es difícil saber cuál es exactamente la realidad. Nosotros, particularmente, creemos que las cifras reales son superiores a la capacidad teórica máxima, debido fundamentalmente a la superpoblación de los campings y al turismo no declarado en casas particulares.

### 9.1.1.2 Cálculo de las necesidades

El valor de las demandas en la época punta interesa conocerlo, no sólo para buscar los caudales necesarios, sino también para el dimensionado de las instalaciones.

Para el cálculo de las demandas disponemos de las cifras de consumos domiciliarios de la Sociedad de Aguas Potables de San Fellú de Guixols, presentadas en el estudio ya referido anteriormente. Según dicho estudio, el consumo unitario medio, tanto para el turista de hotel como para el de apartamento o camping, es del orden de 7,33 m<sup>3</sup>/mes, lo que equivale aproximadamente a 250 litros diarios por turista. En el caso del turista de camping el consumo está referido a las plazas teóricas, con lo que el error del cálculo que supondría la estimación de la superpoblación queda salvado.

Si suponemos que en nuestra región el consumo de la población permanente durante los meses de verano es igualmente de 250 litros diarios por persona, y suponemos también que en esta cifra queda incluido el consumo de los turistas albergados en casas particulares, el consumo total durante esta época será, pues, de 12.875 m<sup>3</sup>/día (lo que equivale a un caudal constante de 447 litros/segundo durante ocho horas diarias (1.609 metros cúbicos/hora).

Para el resto del año (33.772 personas) una dotación en domicilio de 200 litros diarios por habitante nos arroja un total de 6.754 m<sup>3</sup>/día, lo que supone un caudal instantáneo de 235 l/s. durante ocho horas diarias (846 m<sup>3</sup>/h.).

Las demandas reales en los núcleos eminentemente turísticos, en general vienen a situarse por encima de los 300 litros diarios por habitante e incluso a veces por encima de los 400 litros.

Debemos señalar que la dotación de 250 litros/habitante/y día que hemos aplicado en nuestros cálculos no es baja con respecto a estas últimas cifras, ya que se refiere a consumos domiciliarios, es decir, que se trata de una cifra experimental obtenida, no a partir de los caudales puestos en la red de distribución, sino a partir de las tarjetas de consumo de cada contador particular.

En una interesante encuesta llevada a cabo por el CENTRO DE ESTUDIOS, INVESTIGACION Y APLICACIONES DEL AGUA durante el año 1963, entre 111 importantes empresas de abastecimiento de aguas potables, resultó que el promedio durante el año 1961 (de entre las 48 empresas que proporcionaron datos concretos) sólo el 57 por 100 del agua puesta en la red llegó a formar parte del consumo domiciliario. El 43 por 100 restante

correspondió, por orden de importancia, a: las pérdidas, abastecimiento para usos industriales y a los servicios municipales (fuentes públicas y «diversos»).

Si aplicamos los resultados de esta encuesta a nuestro caso particular, se obtiene que los caudales necesarios en la red serían de 22.587 metros cúbicos/día durante la época veraniega y de 11.847 m<sup>3</sup>/día durante el resto del año; lo que equivaldría a 784 l/s. y 412 l/s. durante ocho horas diarias, respectivamente.

Sobre las demandas del nuevo abastecimiento de Palafrugell, Bagur, Pals y Regencós hemos hecho un detallado estudio (consultar MARTINEZ GIL, 1968; capítulo VII, pp. 75-86).

### 9.1.2 LA ZONA DEL VALLE DEL DARO

El núcleo de mayor demanda es La Bisbal: 6.000 habitantes.

Durante el verano de 1967 La Bisbal sufrió una gran penuria de agua en el suministro urbano, debida a una fuerte disminución de las disponibilidades en las captaciones municipales. Estas captaciones están emplazadas en una zona hidrogeológicamente poco favorable, donde el espesor del terreno acuífero es mínimo y donde, además, el espesor de la zona saturada viene determinado por el estado de las aguas superficiales del río Daró, el cual frecuentemente en verano queda totalmente seco. Por otra parte, las reservas de explotación en la zona de influencia de estas captaciones son muy pequeñas.

En la actualidad se ha constituido una mancomunidad para el abastecimiento a La Bisbal y a cinco núcleos más del Valle del Daró: Casavells, Monells, Corsá, Cruilles y San Sadurní, mediante unas nuevas captaciones que deberán alumbrar los caudales necesarios. El número total de personas a abastecer, mediante estas nuevas captaciones, será, de acuerdo con el cuadro I (1) del capítulo 1, de 8.249, lo que de acuerdo con las normas del Plan Nacional exigirá unas disponibilidades mínimas de 1.750 m<sup>3</sup>/día, es decir, 60 l/s. para un bombeo de ocho horas diarias (216 m<sup>3</sup>/h.).

La obtención de este caudal no ofrece ningún problema desde el punto de vista hidrogeológico, si se tienen en cuenta las magníficas perspectivas que ofrece el Valle del Daró, según lo expuesto en el capítulo 6 (apartado 6.2.2.4).

### 9.1.3 LOS PEQUEÑOS NUCLEOS AISLADOS

En general, el abastecimiento de agua potable a los pueblos del interior, que no han sido incluidos en los dos apartados anteriores, no presen-

ta dificultades en los núcleos que están emplazados sobre el cuaternario fango-arenoso del corredor de Albons, del Bajo Ter, o en las proximidades de uno u otro, puesto que los caudales necesarios son mínimos y las posibilidades de obtenerlos son evidentes. Tal es el caso de La Tallada, Albons, Bellcaire, Jafre, Colomérs, Serra de Daró, Gualta, Viladomat, etc.

El problema es diferente en los núcleos del interior alejados de la llanura cuaternaria, como p. e.: Vilopriu, Les Olives, Garrigoles, Marenya, Palau Borrell, Ullestret, Llaviá, etc., donde, a pesar de que los caudales necesarios, son también mínimos (del orden de 40 m<sup>3</sup>/día), las posibilidades de obtenerlos no son tan evidentes. Por otra parte, se trata de núcleos bastante aislados cuya integración en una posible futura red de abastecimiento general a toda la región sería económicamente prohibitiva.

## 9.2. NECESIDADES DE LA AGRICULTURA

Se ha supuesto —en primera aproximación— que las 6.250 Ha. que sobre los depósitos fango-arenosos deltaicos ocupan las tierras llanas de la **margen izquierda del Ter** (entre Colomérs y el límite norte de nuestra región), por sus condiciones topográficas, por la calidad de su suelo y por su emplazamiento hidrogeológico, son susceptibles de ser puestas en regadío —bien sea mediante el aprovechamiento de las aguas superficiales, de las subterráneas, o bien sea mediante un sistema combinado de ambas.

Consideramos la totalidad de esta cifra como extensión regable útil, puesto que el descuento que habría que hacer debido a la extensión ocupada por los canales, acequias, caminos, etc., está ampliamente compensado por la extensión que ocupan las restantes tierras llanas situadas entre el límite de los fangos y la cota 20 m.; extensión que es igualmente susceptible de ser puesta en regadío.

Si a las 6.250 Ha. que supondrían las tierras regables de la margen izquierda, se añaden las 7.015 Ha. afectadas por el **proyecto de la margen derecha**, la extensión total susceptible de ser regada en nuestra región, aguas abajo de Colomers, sería, pues, de **13.265 Ha.** (sin tener en cuenta la cuenca del Aubí).

En GONZALEZ RUIZ, 1965 (pp. 52-37), se aconseja un sistema determinado de cultivo intensivo en régimen alternativo para los regadíos afectados por el proyecto de la margen derecha del Ter. De acuerdo con los datos meteorológicos de las estaciones de Bagur y Gerona, el Autor hace un cálculo de las necesidades hídricas de estos cultivos durante las diferentes épocas del año, según los métodos empíricos de THORNTHWAITE, BLANEY CRIDDLE y el llamado METODO MIXTO. En el anexo núm. 16 del citado estudio se muestran los resultados obtenidos.

De este estudio hemos sacado una serie de valores que nos han permitido construir el cuadro IX (5), en el que se hacen extensivos los valores calculados por GONZALEZ RUIZ a partir de los datos meteorológicos de la estación de Gerona a toda nuestra región. En este cuadro se aprecia que la época de fuerte demanda hídrica corresponde a los meses de mayo, junio, julio y agosto, en los que los volúmenes de agua necesarios para cubrir las demandas de las plantas de las 13.265 Ha., que hemos supuesto regables en una y otra margen del Ter, oscilan entre 21,57 Hm<sup>3</sup> (mes de mayo) y 27,68 Hm<sup>3</sup> (mes de julio).

Las demandas anuales de estos futuros regadíos serían del orden de 117 Hm<sup>3</sup>.

Las demandas durante la época de cuatro meses de fuerte consumo serían de 98 Hm<sup>3</sup> (es decir, el 84 por 100 de las demandas totales anuales) lo que equivale a un caudal constante mínimo de 8,3 m<sup>3</sup>/s. (mes de mayo) y máximo de 10,6 m<sup>3</sup>/s. (mes de julio) durante las 24 horas del día.

CUADRO IX (5)  
NECESIDADES DE AGUA PARA LA AGRICULTURA

MES	Dosis de riego por Ha. (riego de ple: eficacia 60 %)	Consumos en 13.265 Ha.
E	68,5 m <sup>3</sup>	0,91 Hm <sup>3</sup>
F	00,0 »	0,00 »
M	8,8 »	0,12 »
A	676,6 »	8,98 »
M	1.626,3 »	21,57 »
J	1.658,2 »	22,00 »
J	2.087,0 »	27,68 »
A	2.027,0 »	26,89 »
S	446,0 »	5,92 »
O	227,7 »	3,02 »
N	0,0 »	0,00 »
D	0,0 »	0,00 »
TOTAL	8.826,1 m <sup>3</sup>	117,09 Hm <sup>3</sup>

## 9.3. NECESIDADES DE LA INDUSTRIA

Las necesidades actuales de agua para la industria de nuestra región son insignificantes y pueden considerarse incluidas en los cálculos que

hemos presentado para la demanda de agua potable en el abastecimiento a poblaciones. Sin embargo, **creemos que esta región está llamada a desarrollar en pocos años un gran potencial industrial**, facilitado en gran parte por la necesidad de descongestión de la industria emplazada en torno a Barcelona, fundamentalmente, de la industria que necesita mayores consumos de agua, que es, en definitiva, la que obliga ya a pensar en los grandes proyectos hidráulicos que traigan a Barcelona el agua que quizá estas mismas industrias podrían ir a buscar, **evitando quizá de este modo importantes gastos del presupuesto nacional y contribuyendo al mismo tiempo al desarrollo industrial de otras regiones del país que cuentan con considerables riquezas naturales.**

## CAPITULO 10

### BALANCE HIDROLOGICO GENERAL

- 10.1 LAS DEMANDAS FUTURAS EN LA CUENCA DEL TER AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE SAU
- 10.2 CAPACIDAD DEL APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL DEL RIO TER FRENTE A LAS DEMANDAS FUTURAS
- 10.3 PANORAMA FUTURO
- 10.4 SOLUCIONES A ADOPTAR
- 10.5 NECESIDAD IMPERIOSA DE UN ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DE LAS FORMACIONES CUATERNARIAS COMPRENDIDAS ENTRE EL PASTERAL Y EL MAR

### 10.1 LAS DEMANDAS FUTURAS EN LA CUENCA DEL TER AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE SAU

El conjunto de cifras obtenidas hasta aquí en los capítulos 2, 7 y 9 es altamente expresivo. Las conclusiones que se desprenden de nuestros planteamientos y cálculos consiguientes, en lo que se refiere a las posibles demandas futuras de agua, podemos resumirlas en los cuadros (1), (2), (3) y (4).

**C U A D R O X (1)**  
NECESIDADES ANUALES FUTURAS

Nuevo abastecimiento (Barcelona) ... ..	250 Hm <sup>3</sup>
Abastecimiento de Gerona y parte de la Costa Brava ...	50 »
Regadíos entre El Pasteral y Colomers ... ..	25 »
» en nuestra región ... ..	117 »
Abastecimiento de aguas potables a nuestra región ... ..	7 »
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>449 Hm<sup>3</sup></b>

**C U A D R O X (2)**  
NECESIDADES DURANTE EL MES DE MAYOR DEMANDA (MES DE JULIO)

Nuevo abastecimiento (Barcelona) ...	8,0 m <sup>3</sup> /s.	20,9 Hm <sup>3</sup>
Abastecimiento de Gerona y parte de la Costa Brava ... ..	2,0 »	5,2 »
Regadíos entre El Pasteral y Colomers. ... ..	2,3 »	6,0 »
» en nuestra región ... ..	10,6 »	27,7 »
Abastecimiento de aguas potables a nuestra región ... ..	1,2 » (1)	1,1 »
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>24,1 m<sup>3</sup>/s.</b>	<b>60,9 Hm<sup>3</sup></b>

(1) Durante ocho horas diarias.

CUADRO X (3)

NECESIDADES DURANTE LA TEMPORADA DE MAYOR DEMANDA  
(Mayo-agosto, inclusive)

Nuevo abastecimiento (Barcelona) ... ..	83 Hm <sup>3</sup>
Abastecimiento de Gerona y parte de la Costa Brava ...	18 "
Regadíos entre El Pasteral y Colomers ... ..	22 "
Regadíos en nuestra región ... ..	98 "
Abastecimiento de aguas potables a nuestra región ... ..	4 "
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>225 Hm<sup>3</sup></b>

CUADRO X (4)

NECESIDADES DURANTE EL MES DE MENOR DEMANDA

Nuevo abastecimiento (Barcelona) ...	8 m <sup>3</sup> /s.	20,8 Hm <sup>3</sup>
Abastecimiento de Gerona y parte de la Costa Brava ... ..	1,5 "	3,9 "
Regadíos entre El Pasteral y Colomers.	0	0
Regadíos en nuestra región ... ..	0	0
Abastecimiento de aguas potables a nuestra región ... ..	0,5 " (1)	0,5 "
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>10,0 m<sup>3</sup>/s.</b>	<b>25,2 Hm<sup>3</sup></b>

(1) Durante ocho horas diarias.

## 10.2 LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO SUPERFICIAL DEL RIO TER FRENTE A LAS DEMANDAS FUTURAS

Hemos estudiado (a partir de las aportaciones mensuales del Ter en Sau, durante el período 1950-51 a 1966-67, y a partir de la capacidad actual de embalse útil en el complejo Sau-Susqueda: 360 Hm<sup>3</sup>) el tipo más conveniente de regulación, de manera a poder atender correctamente no sólo las necesidades del nuevo abastecimiento de Barcelona, sino también las del futuro abastecimiento de Gerona, las de la Costa Brava, los de los regadíos futuros que puedan existir aguas abajo de El Pasteral y las del abastecimiento de nuestra región (expuestas todas ellas en los cuadros X (1 al 4) ).

Teniendo en cuenta la distribución irregular de las necesidades generales a lo largo del año, ya se ve la conveniencia de efectuar una explotación de los embalses a dos caudales diferentes, según la variación de las demandas: a) uno para asegurar los caudales necesarios durante la época de fuerte consumo (mayo-agosto), y b) otro para el resto del año.

De la satisfacción correcta de las demandas de esta época de fuerte consumo dependerán: en primer lugar, los cultivos de los futuros regadíos aguas abajo de El Pasteral (superiores a 16.000 Ha.); en segundo lugar, el suministro del nuevo abastecimiento de Barcelona (que afectará no sólo a Barcelona, sino también a parte de su provincia: Mataró, Granollers, etcétera), y, en tercer lugar, el abastecimiento de Gerona, el de su zona de influencia industrial y el de una buena parte de la Costa Brava.

Según se ha expuesto ya —cuadros X (2) y (3)— durante la época del año de gran demanda será necesario disponer de un volumen del orden de 225 Hm<sup>3</sup>, lo que equivale prácticamente a un caudal constante de 25 m<sup>3</sup>/s.

Hemos calculado que a lo largo del período 1950-51 a 1966-67 el asegurar un caudal de 25 m<sup>3</sup>/s. durante los cuatro meses de mayo a agosto no habría permitido durante el resto del año más que un aprovechamiento constante en los embalses a 8 m<sup>3</sup>/s., de lo que se deduce que si las necesidades del Nuevo Abastecimiento hubieran tenido que ser debidamente atendidas durante el «resto del año» a razón de 8 m<sup>3</sup>/s., los embalses habrían tenido que permanecer constantemente cerrados, cortando así todo caudal aguas abajo de El Pasteral, procedente de esta parte media y alta de la cuenca, con lo que los únicos caudales que habrían circulado por el cauce del Ter aguas abajo de esta presa habrían sido, durante esta época de ocho meses del año, únicamente las aportaciones no regulables del resto de la cuenta y las no regulables en Sau-Susqueda.

En este último supuesto, durante los períodos de estiaje de este gran «resto del año», el Ter no llevaría a su entrada en el Ampurdán más que un caudal del orden de 2,2 m<sup>3</sup>/s. (con un período de retorno aproximado de cinco años).

Las aportaciones de la Riera Mayor y de la Riera de Rupit, que actualmente vierten al complejo Sau-Susqueda, nos había permitido, quizá, elevar la cifra de explotación de 8 m<sup>3</sup>/s. a 8,5 m<sup>3</sup>/s.

En la figura 10.1 presentamos gráficamente cuál habría sido la evolución, durante el período 1950-51 a 1966-67 de las épocas de almacenamiento y «desalmacenamiento» en el conjunto de los dos embalses, a partir de una regulación de 25 m<sup>3</sup>/s. durante la época de fuerte demanda y de 10 m<sup>3</sup>/s. durante el resto del año.

En el cuadro X (5) expresamos numéricamente cuáles habrían sido las sucesivas fluctuaciones del volumen total embalsado después de cada pe-



## CUADRO X (5)

FLUCTUACION DEL VOLUMEN DE AGUA EMBALSADA EN LOS EMBALSES DE SAU Y SUSQUEDA DURANTE EL PERIODO 1950-51 A 1966-67, CON UNA EXPLOTACION DE 25 m<sup>3</sup>/s. DURANTE LOS MESES DE MAYO A AGOSTO (inclusive) Y DE 10 m<sup>3</sup>/s. DURANTE EL RESTO DEL AÑO, EN FUNCION DE LAS APORTACIONES DEL RIO TER EN EL EMBALSE DE SAU (MARTINEZ GIL)

FECHA	BALANCE DE ENTRADAS Y SALIDAS: Hm <sup>3</sup>		ESTADO DEL EMBALSE: Hm <sup>3</sup>	EXCEDENTES (no regulados) Hm <sup>3</sup>
	(-)	(+)		
1 octubre 1950	(?)	(?)	LLENO	—
1 febrero 1951	24,7	—	335,3	—
1 julio 1951	—	72,5	LLENO	47,8
1 octubre 1951	28,5	—	331,5	—
1 febrero 1952	—	60	LLENO	31,5
1 abril 1952	5,2	—	354,8	—
1 mayo 1952	—	13,0	LLENO	7,8
1 septiembre 1953	247	—	113	—
1 noviembre 1953	—	28,5	141,5	—
1 diciembre 1953	3,9	—	137,6	—
1 enero 1954	—	28,5	166,1	—
1 febrero 1954	5,2	—	160,9	—
1 julio 1954	—	232	LLENO	32,9
1 enero 1955	143	—	217	—
1 marzo 1955	—	13,0	230	—
1 junio 1955	50,8	—	179,2	—
1 julio 1955	—	11,7	190,9	—
1 agosto 1955	7,8	—	113,1	—
1 octubre 1955	—	35	148,1	—
1 diciembre 1955	9,1	—	139	—
1 enero 1956	—	6,5	145,5	—
1 marzo 1956	19,5	—	126	—
1 junio 1956	—	157	283	—
1 noviembre 1956	124	—	159	—
1 diciembre 1956	—	1,3	160,3	—
1 abril 1957	69	—	91,3	—
1 julio 1957	—	158	249,3	—
1 octubre 1957	74	—	175,3	—
1 diciembre 1957	—	24,7	200,0	(— 67 Hm <sup>3</sup> )
1 diciembre 1958	267	—	VACIO	(— 67 Hm <sup>3</sup> )
1 enero 1959	—	39	39	—
1 febrero 1959	10,4	—	28,6	—
1 mayo 1959	—	415	LLENO	83,6
1 septiembre 1959	114	—	246	—
1 mayo 1960	—	470	LLENO	356
1 septiembre 1960	108	—	252	—

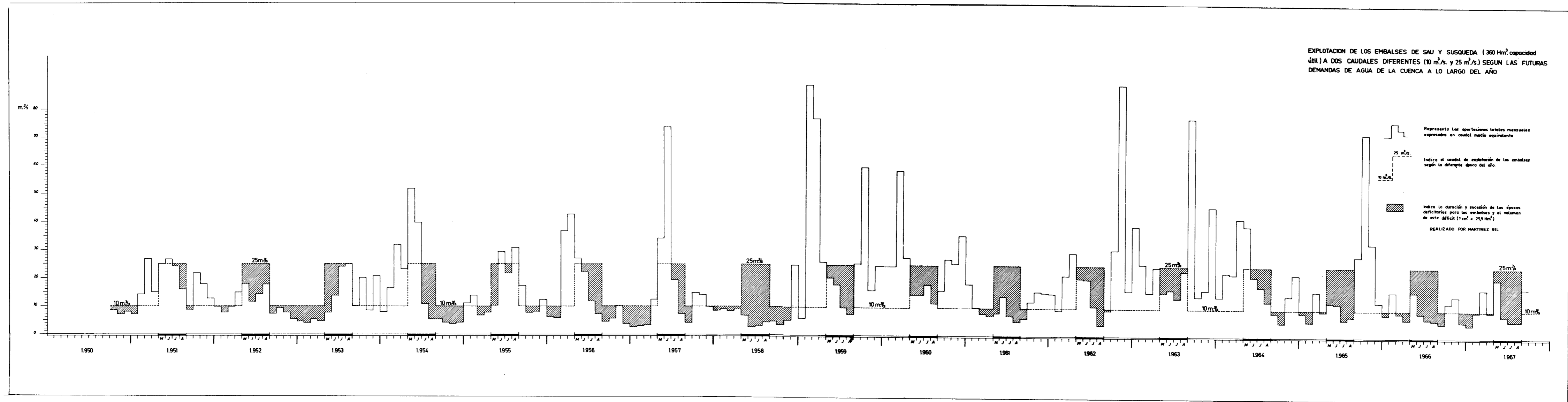


Fig. 10.1

CUADRO X (5)

(Continuación)

FECHA	BALANCE DE ENTRADAS Y SALIDAS: Hm <sup>3</sup>		ESTADO DEL EMBALSE: Hm <sup>3</sup>	EXCEDENTES (no regulados) Hm <sup>3</sup>
	(-)	(+)		
1 marzo 1961	—	190	LLENO	82
1 junio 1961	198	—	162	—
1 febrero 1962	—	46,8	208,8	—
1 marzo 1962	2,6	—	206,2	—
1 mayo 1962	—	80,5	286,7	—
1 octubre 1962	133	—	153,7	—
1 mayo 1963	—	440	LLENO	233
1 septiembre 1963	88,5	—	271,5	—
1 junio 1964	—	493	LLENO	404
1 noviembre 1964	80,5	—	279,5	—
1 enero 1965	—	43	312,5	—
1 marzo 1965	16,9	—	305,6	—
1 abril 1965	—	15,6	321,2	—
1 septiembre 1965	165	—	156,2	—
1 enero 1966	—	280	LLENO	76
1 febrero 1966	5,2	—	354,8	—
1 marzo 1966	—	15,6	LLENO	10,4
1 octubre 1966	192	—	168	—
1 diciembre 1966	—	16,9	184,9	—
1 marzo 1967	28,5	—	156,4	—
1 abril 1967	—	18,2	174,6	—
1 septiembre 1967	160	—	14,6	—
1 octubre 1967	—	19,5	34,1	—

ríodo de almacenamiento o vaciado en función de las entradas y salidas de los embalses. En dicho cuadro se ve que durante los años 1957 y 1958 habría habido necesidad de recurrir a fuertes restricciones generales, tanto para los regadíos como para el nuevo abastecimiento, puesto que el déficit al final de agosto de 1968 habría sido de 68 Hm<sup>3</sup>. Igualmente, el año 1967 habría sido (desde el mes de enero) un año de fuertes restricciones, puesto que de lo contrario el volumen embalsado a finales de agosto no habría sido más que de 14 Hm<sup>3</sup>, con el consiguiente riesgo de quedar los embalses vacíos durante el mes de septiembre.

El disminuir las explotaciones durante los ocho meses del «resto del año» de 10 m<sup>3</sup>/s. a 8 m<sup>3</sup>/s. habría permitido evitar el vaciar completamen-

te los embalses en el año 1958 (con la consiguiente falta de disponibilidades durante la mayor parte del verano). Sin embargo, el problema prácticamente habría sido el mismo, puesto que no sabiendo de antemano las aportaciones que van a venir durante los meses siguientes, existe de hecho una cota mínima de «alarma», a partir de la cual hay que recurrir a las restricciones; por ello, la probabilidad de riesgo de restricción es prácticamente lo mismo consumiendo 8 m<sup>3</sup>/s. que consumiendo 10 m<sup>3</sup>/s., puesto que en el fondo **el problema no es el de falta de aportaciones, sino el de falta de capacidad de embalse frente a las fuertes demandas que son requeridas durante un corto período del año.**

### 10.3 PANORAMA FUTURO

Esta falta de capacidad de embalse superficial es la que permite apreciar la importancia y transcendencia de un estudio hidrogeológico de la cuenca.

En efecto, la falta de capacidad de embalse superficial ante la que nos encontramos obliga a pensar en **tres posibles soluciones: se trata, sea de construir nuevas presas, sea de utilizar los embalses subterráneos existentes (los terrenos acuíferos), sea de adoptar una solución mixta.**

Sobre la segunda de estas tres posibles soluciones: **la utilización de los embalses subterráneos**, queremos llamar la atención, pues las formaciones aluviales existentes entre El Pasteral y nuestra región (aunque todavía no han sido estudiadas desde el punto de vista hidrogeológico), se puede decir ya, «a priori», que ofrecen en conjunto unos recursos subterráneos anuales muy importantes (los procedentes del flujo subterráneo, los procedentes de las infiltraciones de las lluvias y los procedentes de la capacidad de aprovechamiento subterráneo de los 280 Hm<sup>3</sup>/año que supondrán —en promedio— las aguas superficiales no regulables que circularán aguas abajo de El Pasteral en el supuesto futuro hasta aquí considerado).

El croquis de la figura 2.5 en el capítulo 2 nos ofrece una idea bastante aproximada de la extensión superficial que ocupan las formaciones aluviales cuaternarias comprendidas entre El Pasteral y Colomérs.

Creemos que, posiblemente, mediante algunas captaciones del tipo **pozo radial**, podrían ser aprovechados si no los 75 Hm<sup>3</sup> que constituyen las demandas futuras de la zona El Pasteral-Colomérs, sí al menos un elevado porcentaje de ellas, a través de los acuíferos cuaternarios, **cuya exploración hidrogeológica detallada sería sin duda incomparablemente más económica que cualquier proyecto hidráulico que permitiera asegurar este mismo volumen.**

La posibilidad de explotación de los acuíferos de nuestra región podría suponer, igualmente, un gran alivio al complejo superficial Sau-Susqueda, pues ya hemos visto que el conjunto de: **a) las infiltraciones de las lluvias; b) las entradas subterráneas, y c) la capacidad de regulación subterránea de los 425 Hm<sup>3</sup>/año que de todas las maneras entrarán superficialmente en nuestra región (independientemente del tipo de regulación superficial que se programe), puede ofrecer una posibilidad de explotación del orden de 100 Hm<sup>3</sup>/año.** Recordemos que las necesidades futuras de la región han sido calculadas en 125 Hm<sup>3</sup>/año (117 Hm<sup>3</sup> para regadíos y 8 Hm<sup>3</sup> para abastecimientos a poblaciones y a pequeñas industrias). Los 25 Hm<sup>3</sup>/año que faltarían para cubrir las necesidades de la región tendrían que ser asegurados mediante el aprovechamiento directo de las aguas superficiales.

Recordemos, también, a este último respecto, que los recursos hidráulicos útiles con que podrá contar en el futuro nuestra región los hemos estimado en 165 Hm<sup>3</sup>/año (incluidos aquí los 100 Hm<sup>3</sup> de los recursos subterráneos).

### 10.4 SOLUCIONES A ADOPTAR

Teniendo en cuenta que la raíz del problema planteado en la cuenca del Ter (concretamente al complejo de embalses Sau-Susqueda) está principalmente en que el desarrollo del potencial agrícola de nuestra región necesitará unos elevados volúmenes de agua, que serán requeridos durante una época muy reducida del año, **creemos de urgencia considerar en los planes de riego que afectan tanto a nuestra región como a la zona El Pasteral-Colomérs (16.000 Ha. en total), la posibilidad de sustituir parcialmente, en ciertas zonas, los regadíos proyectados a base de caudales superficiales por regadíos basados en el alumbramiento de aguas subterráneas.**

Esta sustitución tendría que ser hecha juiciosamente en las zonas donde no solamente fuera posible alumbrar los caudales necesarios, sino allí donde, además, las fuertes extracciones producidas durante la época de mayo a agosto pudieran ser restituidas a los acuíferos a partir de los volúmenes que llevaría el Ter, en su mayor parte no regulados.

Hay que considerar, a este último respecto, que nuestra región está surcada por varias decenas de kilómetros de antiguos canales, **no revestidos**, que atraviesan zonas acuíferas.

#### 10.5 NECESIDAD IMPERIOSA DE UN ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DETALLADO DE LAS FORMACIONES CUATERNARIAS DEL TER ENTRE EL PASTERAL Y EL MAR.

La necesidad de conocer bien, y con urgencia, las posibilidades hidrogeológicas, tanto de nuestra región como de las zonas aluviales próximas al curso principal del Ter: desde el Pasteral hasta Colomérs, es imperiosa, puesto que **en ello, creemos, que están comprometidos: a) el mejor aprovechamiento del potencial agrícola e industrial no sólo de la región, sino el de una gran parte de la provincia de Gerona; b) los caudales requeridos por el nuevo abastecimiento de Barcelona, y c) la eficaz contención de las grandes avenidas del Ter que tan duramente han castigado a Gerona y al Ampurdán.**

Queremos, finalmente, insistir en el hecho de que un estudio hidrológico integral de la cuenca del Ter, **como base de los proyectos de planificación agrícola e industrial**, debe llevar forzosamente a un estudio integral de todo el Ampurdán y, por tanto, al estudio de las cuencas de los ríos Fluviá y Muga, y al de las demandas futuras de estas dos cuencas.

Es, pues, dentro de este cuadro general, donde creemos que hay que estudiar finalmente el problema de las demandas de agua, de los recursos y de las reservas de la cuenca del río Ter, así como el de sus «excedentes».

Un tipo de estudio hidrogeológico-hidrológico así concebido debe ser realizado coordinadamente por los diferentes organismos de la Administración, que llevan la responsabilidad de la planificación industrial, agrícola y social de un país, junto con los organismos encargados de la investigación y explotación del subsuelo.

## SEGUNDA PARTE

### Estudio hidrogeológico —teórico experimental— detallado del acuífero cuaternario de la Riera Grossa de Pals, Gerona

## **CAPITULO 1**

### **ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO CUATERNARIO DE LA CUENCA DE LA RIERA GROSSA DE PALS**

- 1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL ACUIFERO**
- 1.2 ESTUDIO DE SU SUPERFICIE PIEZOMETRICA**
- 1.3 CALCULO DE SUS PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS**
  - Pruebas de permeabilidad en sondeos
  - Ensayos de bombeo
  - Estudio de un bombeo cíclico
- 1.4 INFLUENCIA DE LA RIERA GROSSA DE PALS**
- 1.5 APLICACION DEL METODO DE LAS IMAGENES**
- 1.6 LA DESCARGA Y LA RECARGA DEL ACUIFERO**

## 1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL ACUIFERO

Hasta la altura de Pals (límite de este estudio de detalle) la cuenca de la Riera Grossa tiene 40,5 Km<sup>2</sup> (consultar figura 1'.1).

Para el reconocimiento detallado de los terrenos cuaternarios de la cuenca se ha dispuesto de los datos de 37 sondeos mecánicos, cuya profundidad oscila entre 5 y 30 m. (profundidad media, 18 m.). Estos sondeos fueron realizados por el SERVICIO GEOLOGICO del M. O. P. durante el año 1964, con objeto de reconocer en detalle la zona de influencia de las captaciones de Torrent. Se ha dispuesto, además, de los datos de 63 pozos, que hemos reunido al realizar el inventario de puntos de agua de esta zona.

El conjunto de todos estos datos nos ha permitido, en primer lugar, dibujar los cinco perfiles geológicos detallados que figuran en el anexo VI (la situación exacta de estos perfiles está indicada en el mapa geológico detallado de la cuenta de la Riera Grossa, figura 1'.2); en segundo, nos ha permitido realizar el mapa de isopacas de los terrenos cuaternarios de la cuenca (figura 1'.3).

Los perfiles del anexo VI muestran no solamente que el zócalo de los terrenos cuaternarios está constituido en su mayor parte por los terrenos del Eoceno Medio (areniscas), sino que, además, sobre dicho zócalo se ha desarrollado una serie de surcos —convergentes hacia el norte— que testifican la presencia de una **antigua red hidrográfica fosilizada por los terrenos cuaternarios más recientes.**

Estos surcos, a la altura de Pals (consultar perfil V del anexo VI) han convergido todos en un solo gran surco, que se sitúa a 30 m. de profundidad y a unos 20 m. **por debajo del nivel actual del mar.**

Los terrenos acuíferos cuaternarios presentes en la cuenca se reducen prácticamente sólo a los limos arenosos de color gris azulado —que a veces son negros— que colmatan estos surcos. Estos limos son de origen marino, o al menos salobre, a juzgar por el fósil **Cardium edulae**, encontrado en casi todos los sondeos.



Se trata, naturalmente, de un acuífero de muy baja permeabilidad, que puede ser explotado gracias a la presencia en su interior de varias formaciones aluviales de arenas gruesas y gravas finas, que permiten drenar subterráneamente los limos mediante pozos que afecten a estas formaciones detríticas.

De todas las formaciones aluviales incluídas en los limos, la más importante desde el punto de vista espesor, anchura y longitud es la que denominaremos, de ahora en adelante, **acuífero cuaternario de las captaciones de Torrent**. Esta formación aluvial, en sección transversal tiene la forma de un lentejón muy aplanado, que no sobrepasa los 6 m. de espesor medio, frente a una anchura media del orden de 150 m. En superficie, el límite sur de esta formación se sitúa a la altura del paralelo  $41^{\circ} 56'$  (consultar figura 1'.4) mientras que por el norte se continúa hasta más allá de nuestro límite de estudio, uniéndose probablemente a otras formaciones aluviales de la llanura del Bajo Ter (consultar Mapa Geológico General, en el anexo I).

La composición granulométrica de esta formación detrítica varía de un punto a otro de la cuenca. No obstante, los análisis granulométricos de que hemos dispuesto —representando todas las zonas y todas las profundidades—, nos muestran que, en general, no existen más que dos tipos de granulometrías verdaderamente diferentes, que hemos representado por sus curvas acumulativas de «porcentaje de retenidos» en las figuras 1'.5 y 1'.6. La primera de estas dos curvas granulométricas representa a la mayor parte de la formación. Se caracteriza por su bajo índice de finura:  $d_{50} = 1,12$  milímetros, y por su gran heterogeneidad: **coeficiente de uniformidad:**  $d_{40}/d_{90} = 100$ . La curva granulométrica de la figura 1'.6 representa más bien un tipo de formación arenosa muy homogéneo:  $d_{50} = 0,45$  mm. y  $d_{40}/d_{90} = 5$ , que se encuentra generalmente intercalada en forma de pequeños lentejones dentro del gran lentejón detrítico representado por la granulometría de la figura 1'.5; es un tipo de granulometría que corresponde exactamente al de las arenas de las dunas que cubren gran parte del macizo de Bagur.

El porcentaje de «finos» tiene una importancia capital en el momento de elegir la abertura de las ranuras de la rejilla de los pozos. De ello se habla detalladamente en el capítulo siguiente.

En la figura núm. 1'.7 se presenta un perfil geológico detallado de los terrenos cuaternarios, transversal a uno de aquellos surcos. El perfil se sitúa a la altura de las captaciones de Torrent y lo hemos podido realizar gracias a los datos de los numerosos sondeos mecánicos efectuados en la zona.

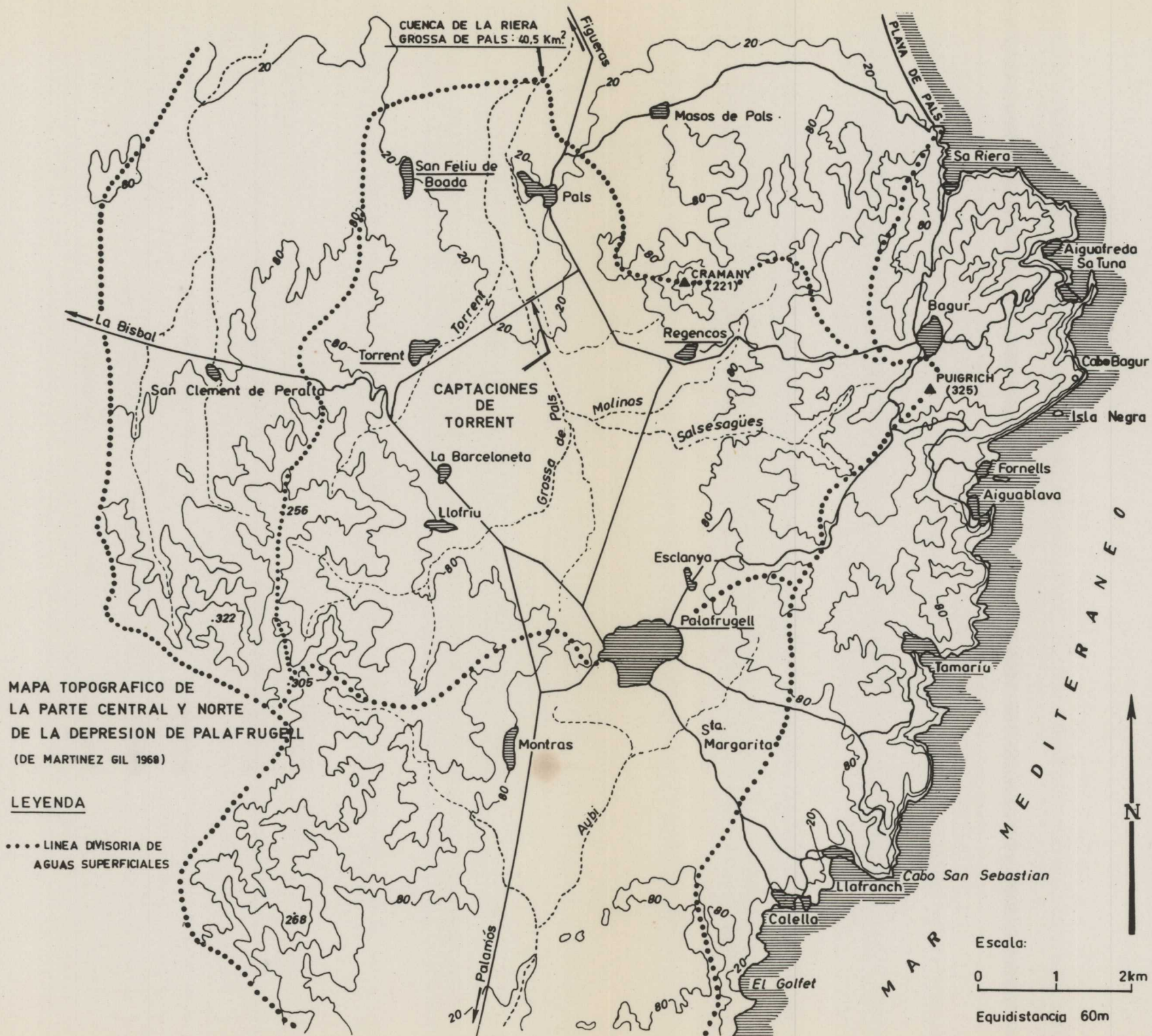


Fig. 1'1

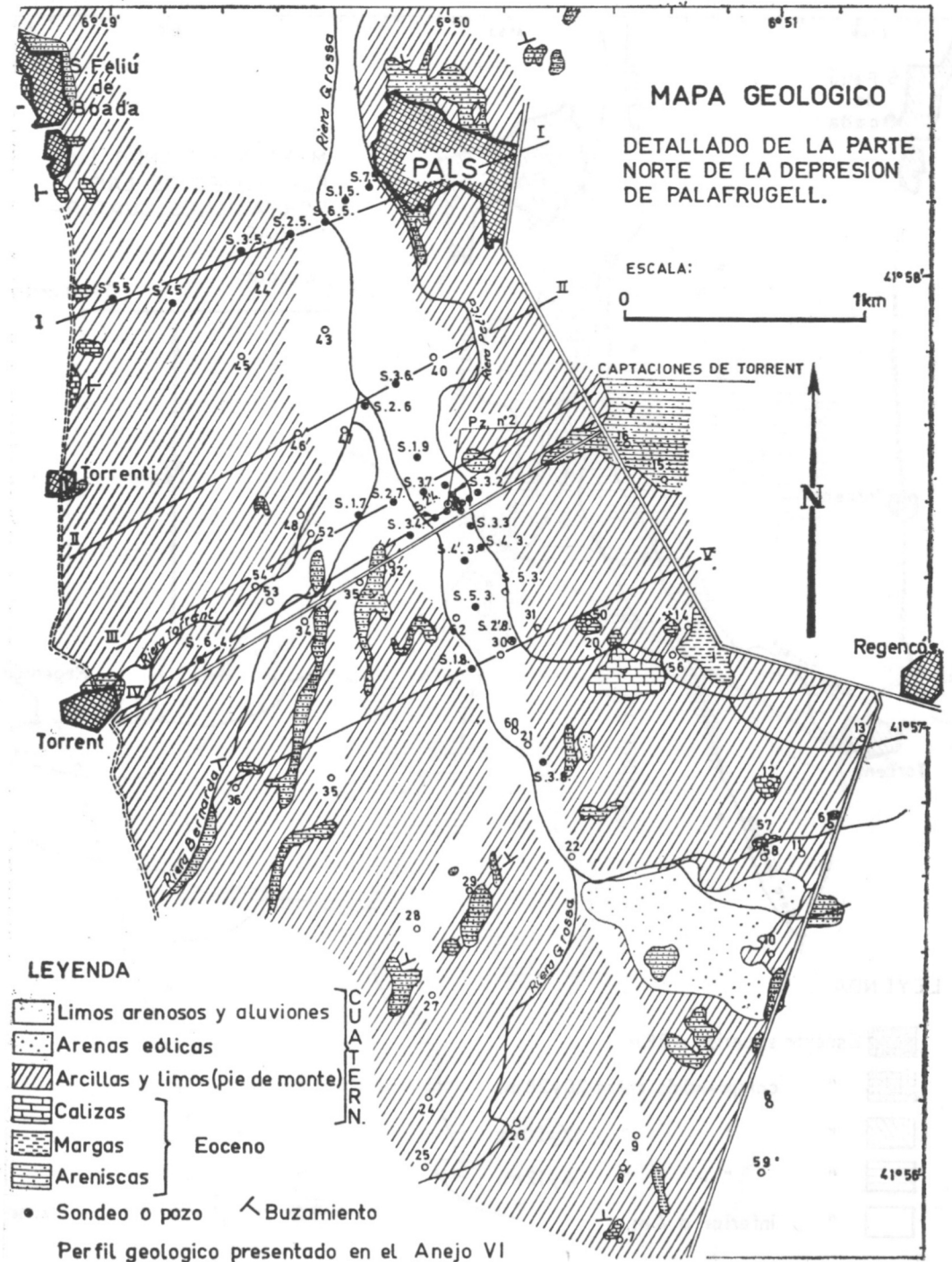


Figura 1'.2



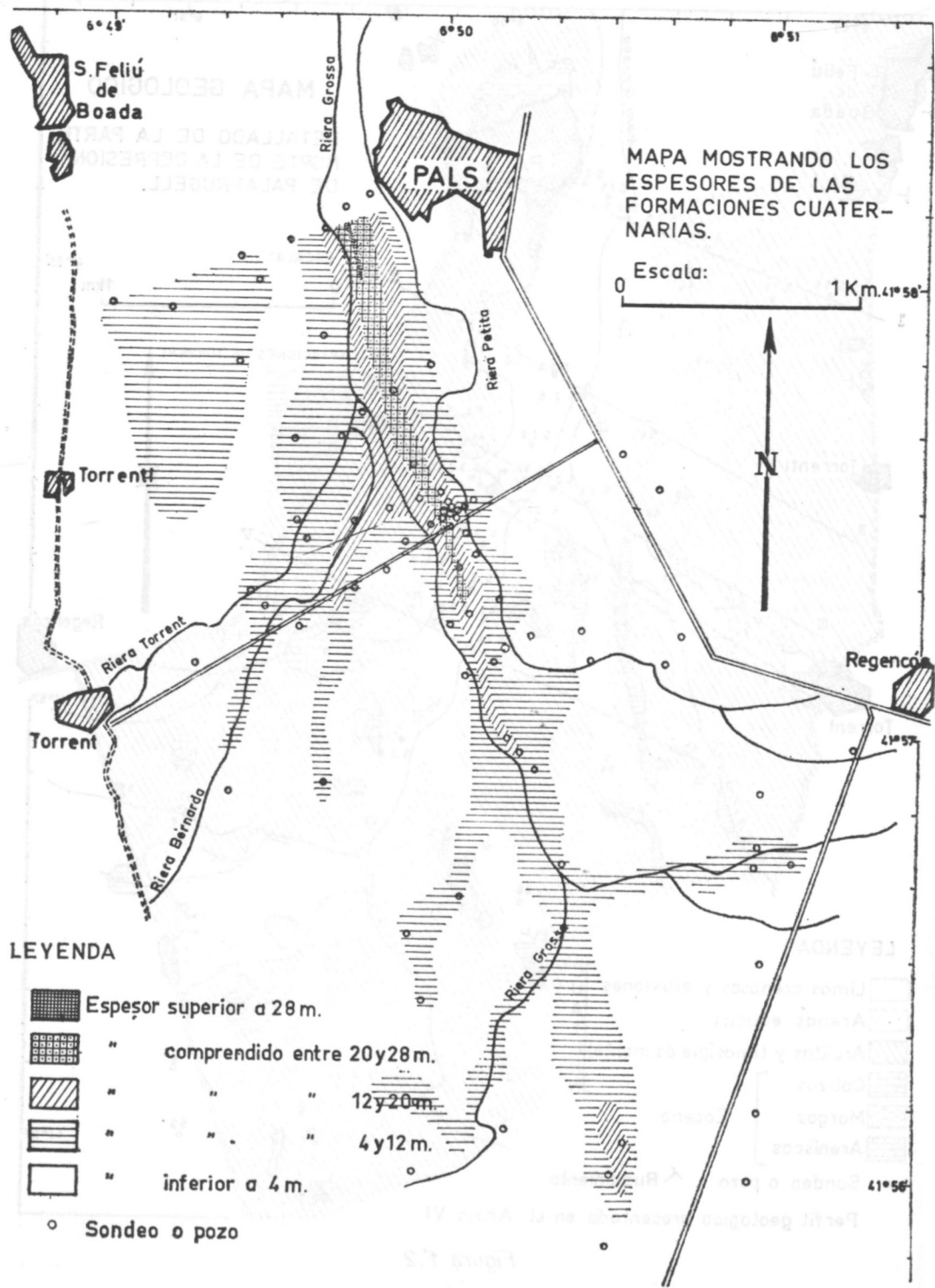


Figura 1.3

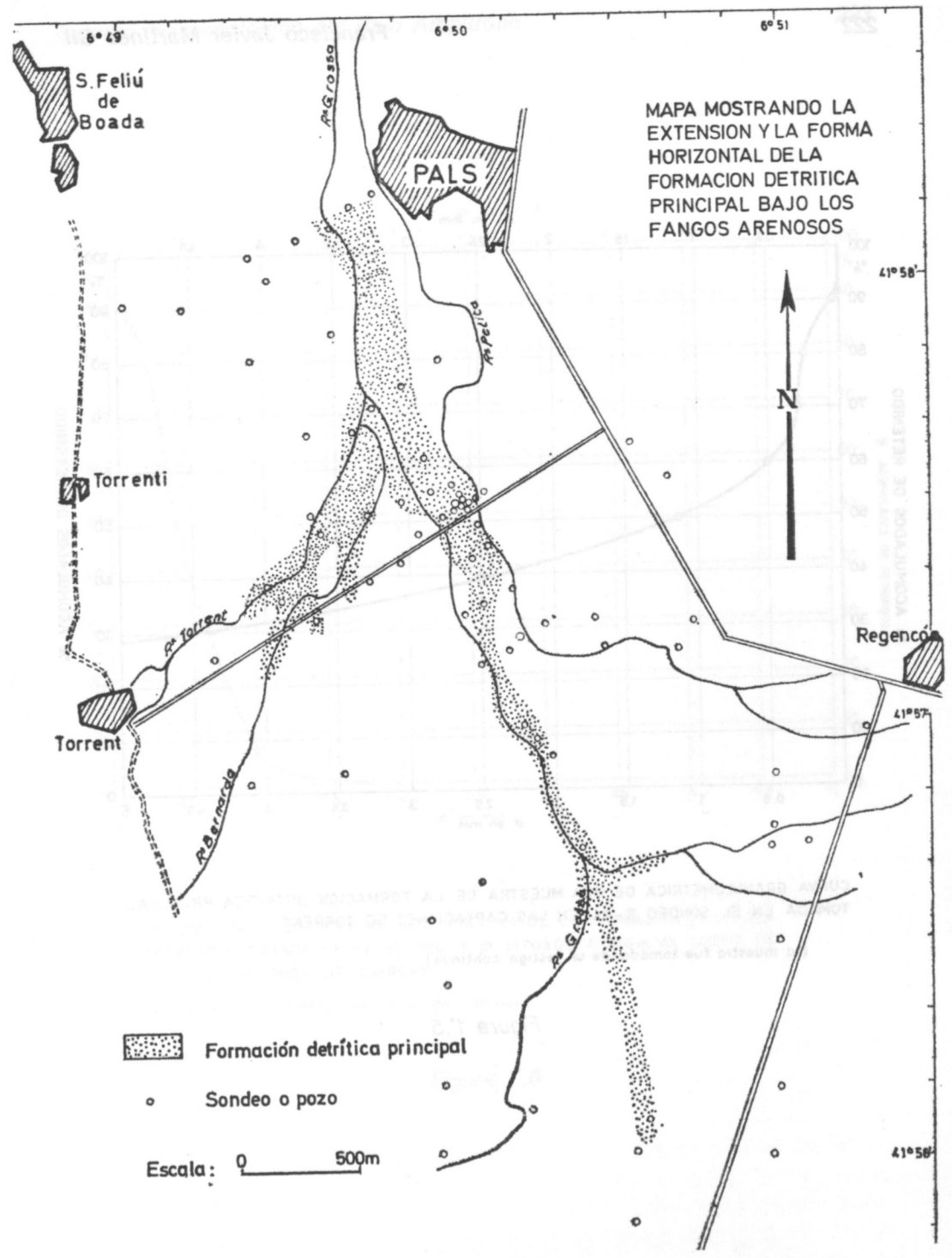
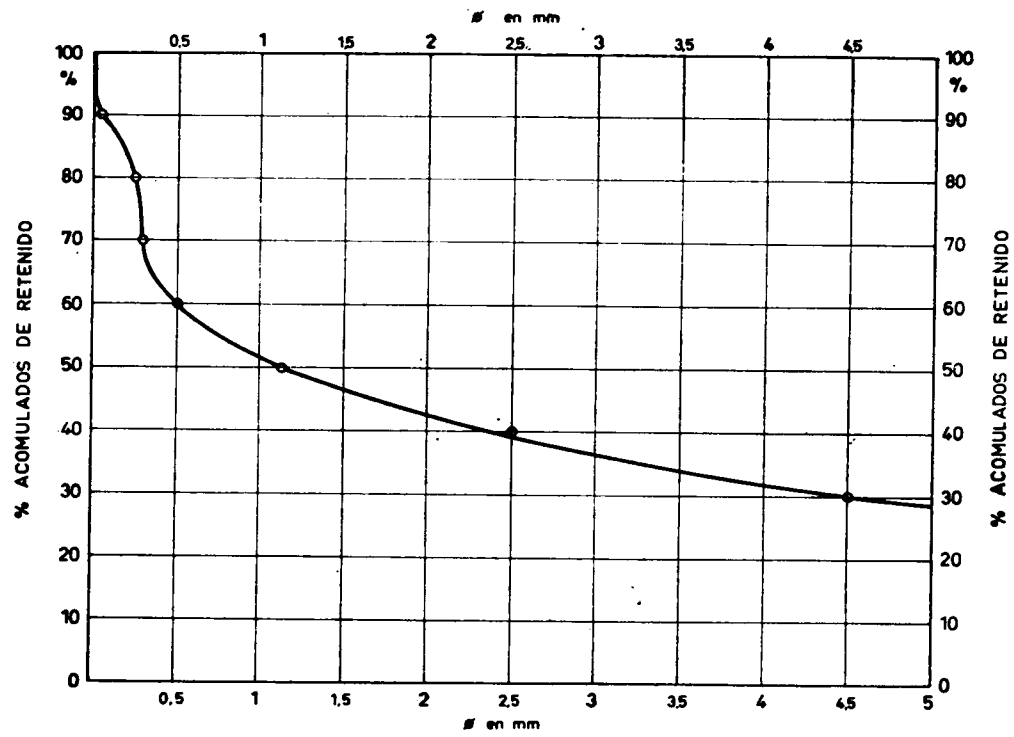


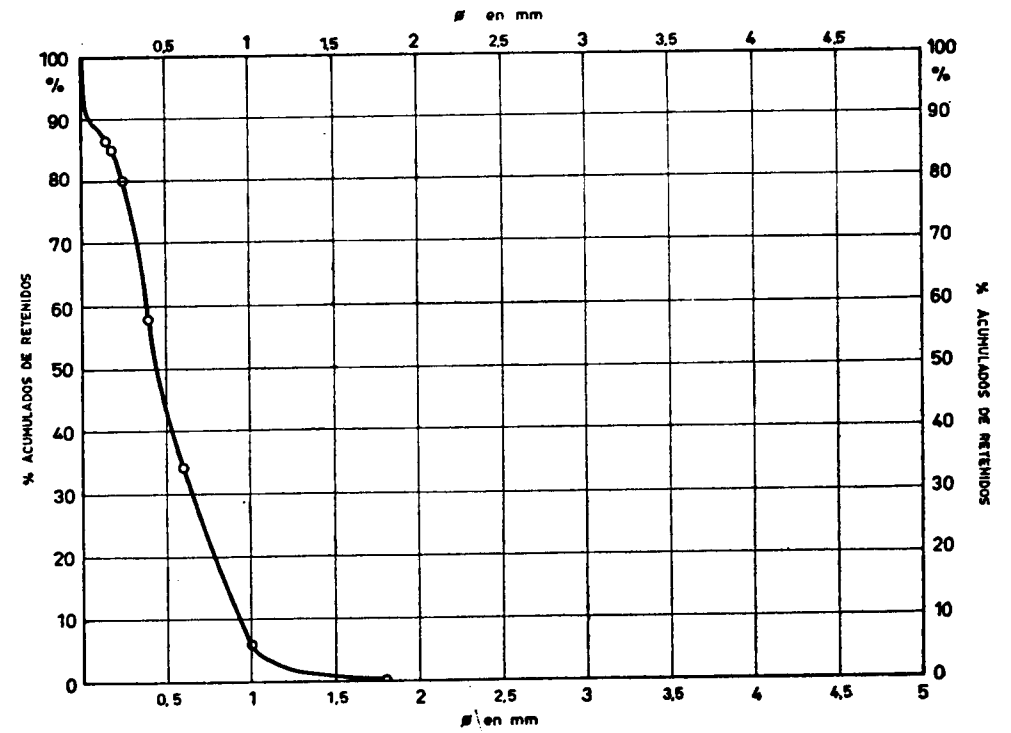
Figura 1.4



CURVA GRANULOMETRICA DE UNA MUESTRA DE LA FORMACION DETRITICA PRINCIPAL TOMADA EN EL SONDEO S-24, EN LAS CAPTACIONES DE TORRENT.

(la muestra fue tomada de un testigo continuo.)

Figura 1.5



CURVA GRANULOMETRICA DE UNA MUESTRA DE LA FORMACION DETRITICA PRINCIPAL TOMADA EN EL SONDEO S-31, SITUADO A 100m. AL NORTE DE LAS CAPTACIONES DE TORRENT.

(la muestra fue tomada de un testigo continuo.)

Figura 1.6

## 1.2 ESTUDIO DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA DE LOS TERRENOS CUATERNARIOS DE LA CUENCA

Se ha hecho el estudio detallado de la superficie piezométrica por medio del mapa de curvas «isopiezas», que presentamos en la figura 1'.8. Para ello se ha supuesto que todos los terrenos cuaternarios de la cuenca pertenecen a una misma unidad hidrogeológica —aunque con permeabilidades diferentes (a veces muy diferentes) según los terrenos—.

Para la construcción del mapa se han utilizado las medidas efectuadas en 63 pozos y en 37 piezómetros. La densidad de puntos de agua ha sido, pues, de 6,6/Km<sup>2</sup>. El mapa ha sido confeccionado a partir de los datos recogidos a principios de 1965.

Del estudio del mapa se pueden sacar las **conclusiones siguientes:**

- 1) El flujo subterráneo general de los terrenos cuaternarios se «verificaba» en el momento de confeccionar el mapa hacia la zona comprendida entre las rieras Grossa y Petita de Pals. A partir de esta zona interfluvial el flujo subterráneo se «canaliza», tomando la dirección norte.
- 2) La presencia de la formación detrítica, incluida dentro de los limos arenosos, es decir, «el acuífero cuaternario de las captaciones de Torrent», se manifiesta por la aparición de una zona larga y estrecha, donde el gradiente hidráulico es mucho más débil que en el resto, lo que se traduce por la formación de un «seno», muy claro, en la marcha general de las curvas isopiezas, **denunciando de este modo la presencia de una zona de flujo más fácil**, es decir, de mayor transmisibilidad.
- 3) Las rieras Grossa y Petita de Pals drenaban, en 1965, los terrenos cuaternarios.
- 4) El gradiente hidráulico natural en la zona de flujo subterráneo más fácil era del orden de 0,5 por ciento. Esta cifra nos será de gran interés, una vez que conozcamos la permeabilidad de los terrenos cuaternarios en una sección transversal a la dirección del flujo general, porque permitirá calcular las salidas subterráneas de la cuenca.

Se ha podido constatar que entre 1964 y 1965 —por tanto, antes de la puesta en explotación de las captaciones de Torrent—, las fluctuaciones piezométricas naturales en los pozos y sondeos que interesaban únicamente a la formación detrítica principal no fueron nunca superiores a a 0,75 metros.

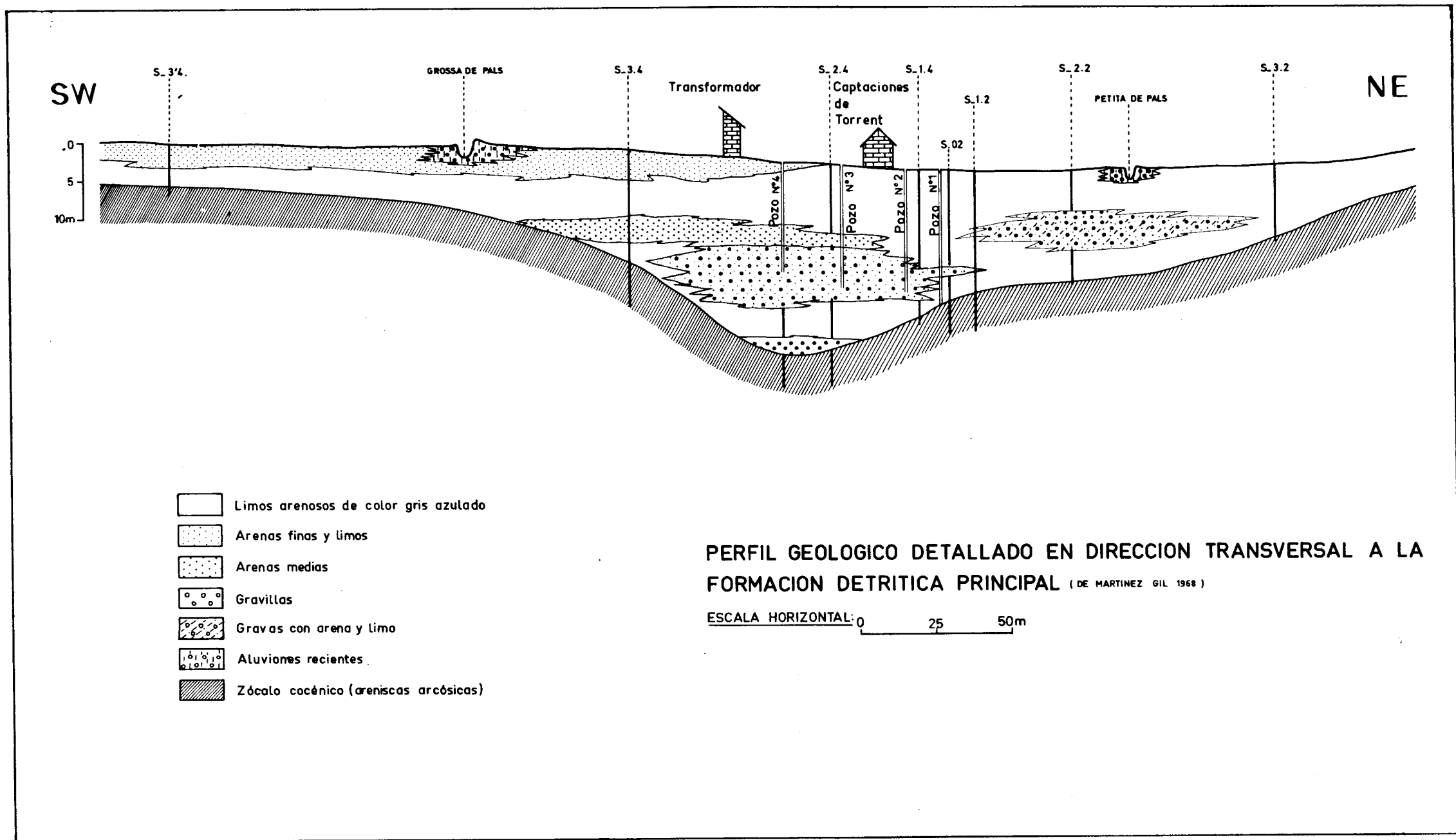


Fig. 1'7



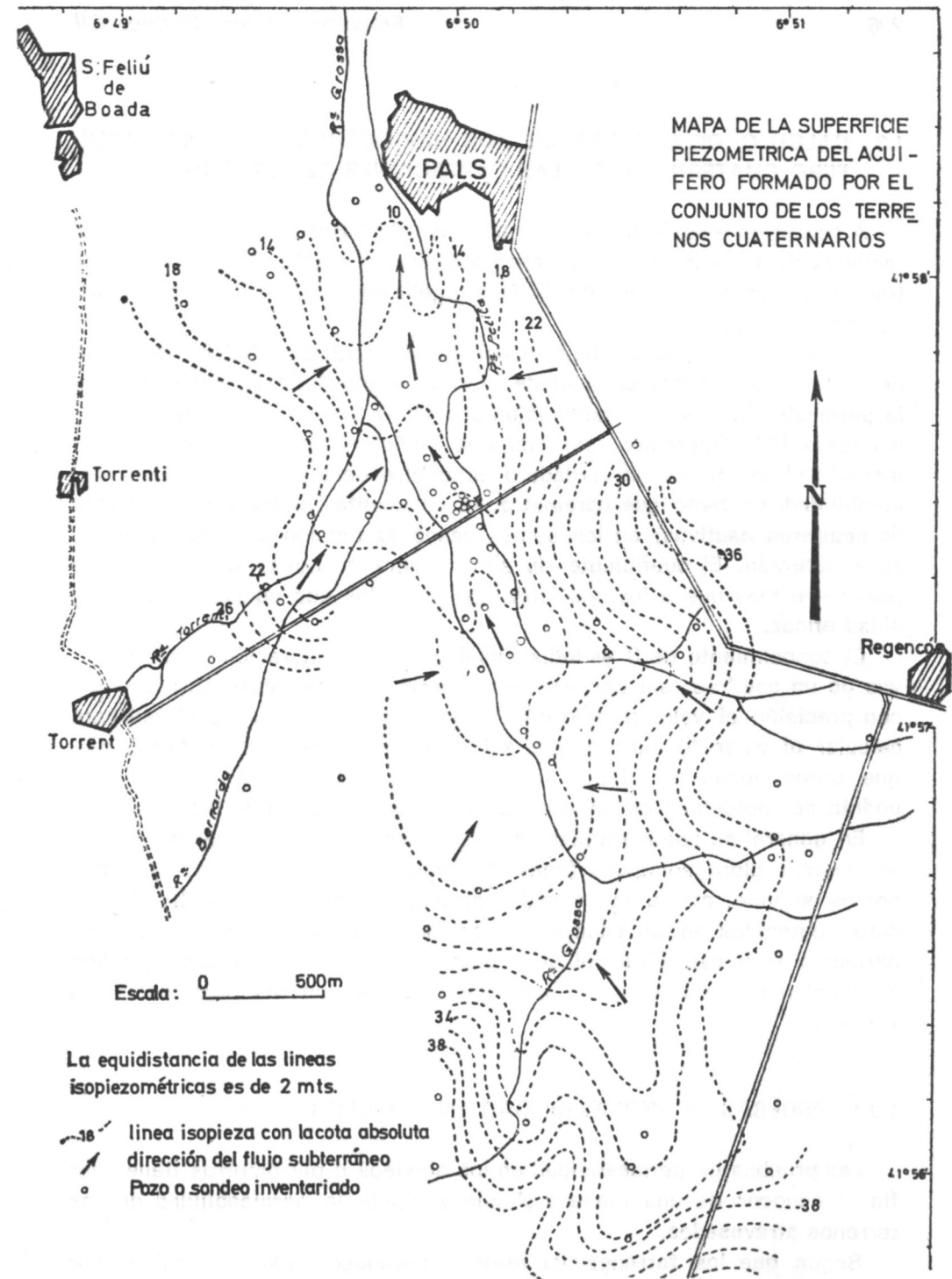


Figura 1.8

**1.3 CALCULO DE LOS PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS DEL «ACUI-FERO CUATERNARIO DE LAS CAPTACIONES DE TORRENT»**

A través de esta formación, se obtienen 0,52 Hm<sup>3</sup> anuales en las captaciones de Torrent, lo que representa el 50 por ciento del agua suministrada al nuevo abastecimiento de Palafrugell, Bagur, Pals, Regencós y playas adyacentes.

En general, se designa bajo el nombre de parámetros hidrogeológicos de un terreno acuífero al valor de ciertas características, principalmente la permeabilidad (K), la transmisibilidad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S). Queremos, sin embargo, señalar que únicamente la permeabilidad constituye un verdadero parámetro de los acuíferos. **La transmisibilidad, en tanto que parámetro, es solamente aplicable en los casos de acuíferos cautivos; en los demás casos es función del espesor de la zona saturada.** El coeficiente de almacenamiento no es aplicable como parámetro más que a los acuíferos libres, en los que equivale a la porosidad eficaz.

El conocimiento de S es indispensable para la valoración de las reservas de un acuífero; sin embargo, en general, es más interesante conocer con precisión el valor de K o de T; en primer lugar, porque sirven para calcular el valor de los recursos subterráneos y, en segundo lugar, porque proporcionan los datos necesarios para prever los caudales que podrán ser obtenidos en un pozo de características determinadas.

En general se pueden utilizar diversos métodos para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos (consultar figura 1'.9). En nuestro caso nos hemos servido: a) de las medidas directas en los sondeos; b) de los datos obtenidos en un ensayo de bombeo y finalmente, d) del control periódico de la evolución del nivel piezométrico durante un largo período de bombeos, a régimen de explotación normal, en las captaciones de Torrent.

**1.3.1 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD EN SONDEOS**

Las pruebas de permeabilidad en los sondeos o piezómetros tienen por fin el conocer de una manera simple y rápida la permeabilidad de los terrenos atravesados.

Según que los terrenos acuíferos a reconocer sean permeables por poros o fisuras, y según que estos terrenos se encuentren por debajo o

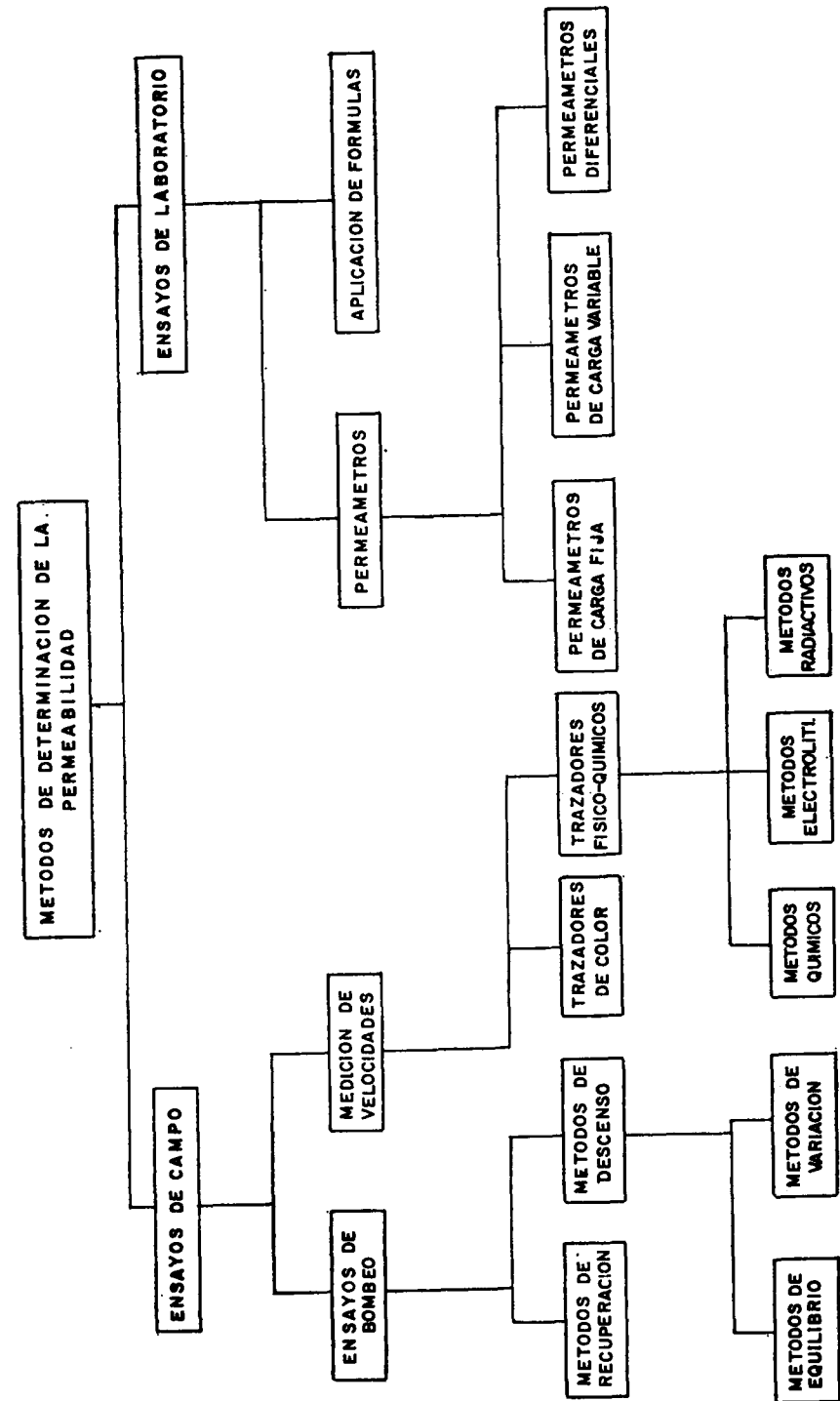


Figura 1'.9

por encima de la zona de saturación de las aguas subterráneas, los métodos y las fórmulas a emplear son también diferentes.

El principio de todos estos métodos es siempre el mismo: se trata de conocer la permeabilidad de los terrenos mediante la inyección de un volumen de agua destinada sea a mantener una carga hidráulica constante en el interior de los piezómetros, para medir el caudal así infiltrado en el acuífero, sea destinada a controlar el descenso en el tiempo de un nivel piezométrico, creado artificialmente en el interior de un sondeo, hasta una altura dada.

En nuestro caso se ha utilizado el segundo procedimiento, es decir, se ha medido el descenso, en función del tiempo, de un nivel de agua dado en cuatro piezómetros, esparcidos de manera que representen casi toda la extensión del acuífero. Estos cuatro piezómetros fueron llenados de agua hasta una altura dada, situada muy por encima del nivel piezométrico del acuífero. La fórmula utilizada fue la de GILD-GAVARD para el caso de un terreno poroso situado en la zona de saturación de las aguas subterráneas. Esta fórmula es la siguiente:

$$K = \frac{1308 \cdot d^2 \cdot \Delta h}{A \cdot hm \cdot \Delta t} \quad (\text{consultar VIDAL, 1962, pp. 12, 13 y 21})$$

en la que:

- K = permeabilidad del terreno reconocido, expresada en cm./s.
- d = diámetro de la tubería piezométrica, expresado en m.
- Δh = descenso del nivel piezométrico durante un tiempo Δt.
- hm = carga hidráulica creada por encima del nivel piezométrico del acuífero, expresada en m.
- A = parámetro que depende de la longitud de la zona ranurada y del diámetro de la tubería piezométrica (consultar ábacos de las figuras 1'.10 y 1'.11).

Los resultados obtenidos, expresados en m./día, son los del cuadro siguiente:

PIEZOMETRO	PERMEABILIDAD EN M/DIA
S.-1.3	250
S.-1.7	120
S.-5.3	141
S.-6.5	137

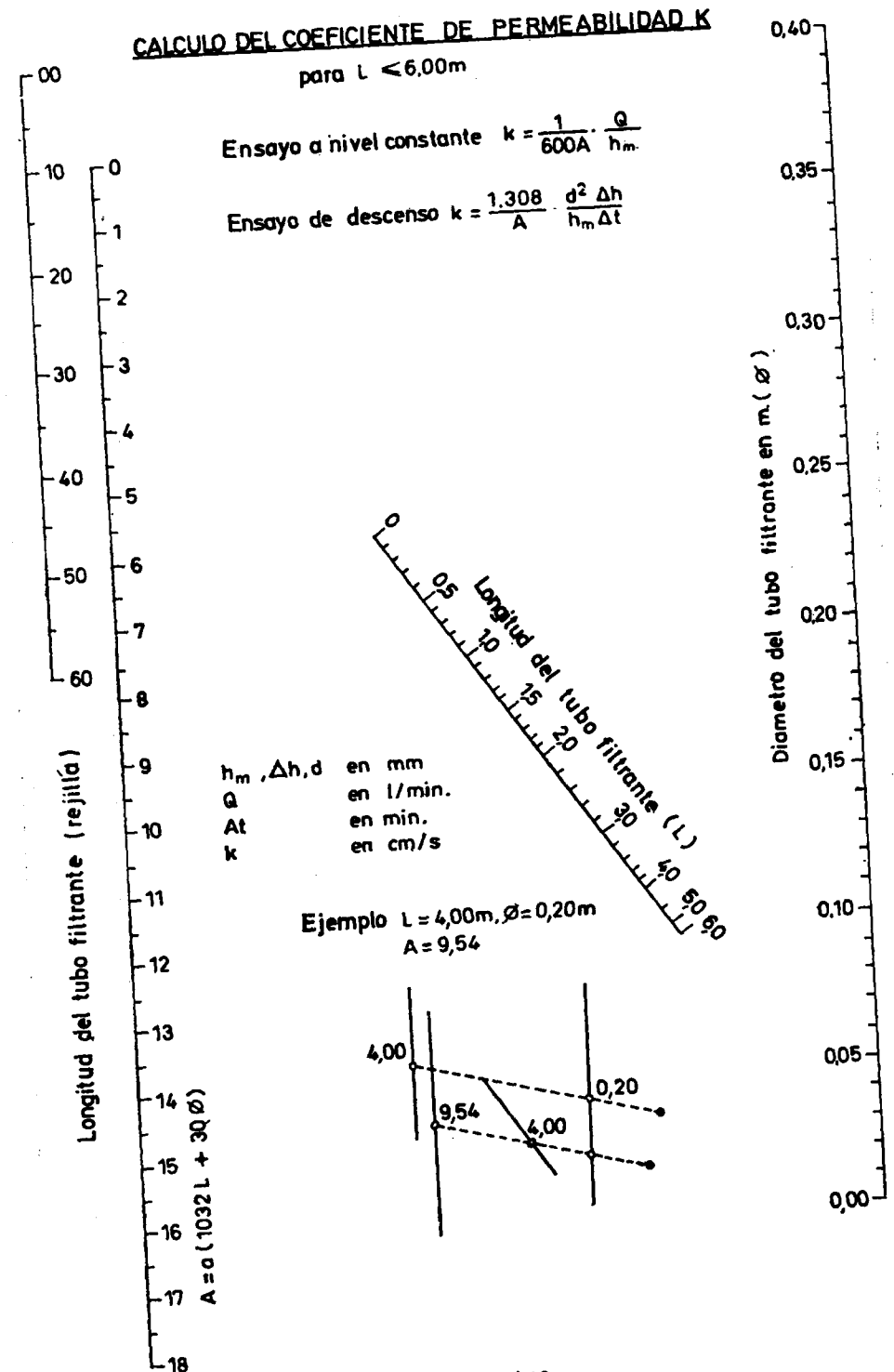


Figura 1'.10

para  $L \geq 6,00m$

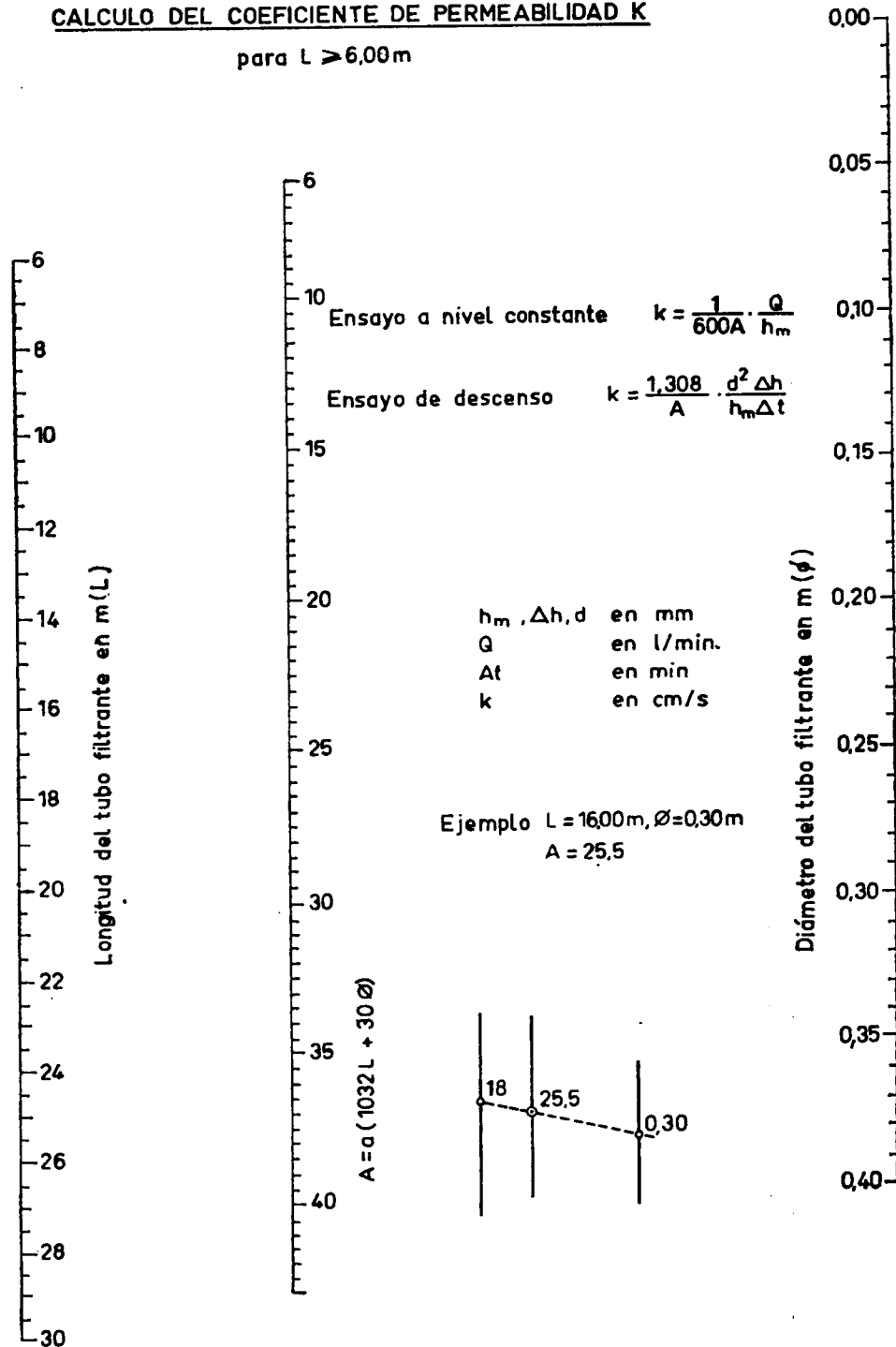


Figura 1.11

Insistimos en que los resultados obtenidos por un método tan sencillo como el que se acaba de exponer no pueden ofrecer la garantía de otros métodos más rigurosos, como son, por ejemplo, los ensayos de bombeo. Un método así, rápido y sencillo, no tiene otra finalidad que la de dar una idea de orden de magnitud, sea sobre la permeabilidad, sea sobre el emplazamiento correcto o incorrecto de la rejilla de un pozo, realizado en un acuífero de permeabilidad conocida.

Se realizaron, también, algunas medidas en otros piezómetros instalados enteramente en los limos arenosos que envuelven a la formación detrítica. Los resultados obtenidos son los del cuadro siguiente:

PIEZOMETRO	PERMEABILIDAD EN M/DIA
S.-1.2	25
S.-3.2	25
S.-5.3	33

1.3.2 ENSAYOS DE BOMBEO

Los métodos que proporcionan los resultados más exactos en la determinación de los parámetros hidrogeológicos de un terreno acuífero son actualmente los ensayos de bombeo sobre pozos, acompañados del control simultáneo del descenso del nivel piezométrico en uno o varios sondeos de pozos de observación. Sin embargo, suelen ser éstos unos procedimientos económicamente muy costosos, que han aparecido como consecuencia del desarrollo de toda una teoría físico-matemática basada en una simplificación muy importante del fenómeno real de la circulación del agua subterránea hacia un pozo, cuyo rigorismo de cálculo hace frecuentemente olvidar el verdadero sentido real, y sobre todo, práctico, de los problemas que se intentan resolver, y derivar hacia cuestiones y problemas más o menos sofisticados; este hecho suele ser relativamente frecuente entre los hidrogeólogos que todavía no han digerido su formación teórica, o entre pseudocientíficos afanosos de impresionar al prójimo ignorante. Los problemas de hidrología subterránea (hidrogeología) —al igual que la mayor parte de otros muchos problemas del campo de las Ciencias— requieren fundamentalmente una buena dosis de sentido práctico que guíe y sentencie la aplicación y validez de los complicados y sofisticados sistemas de resolución.

En los apartados que constituye esta Segunda Parte del Estudio no se

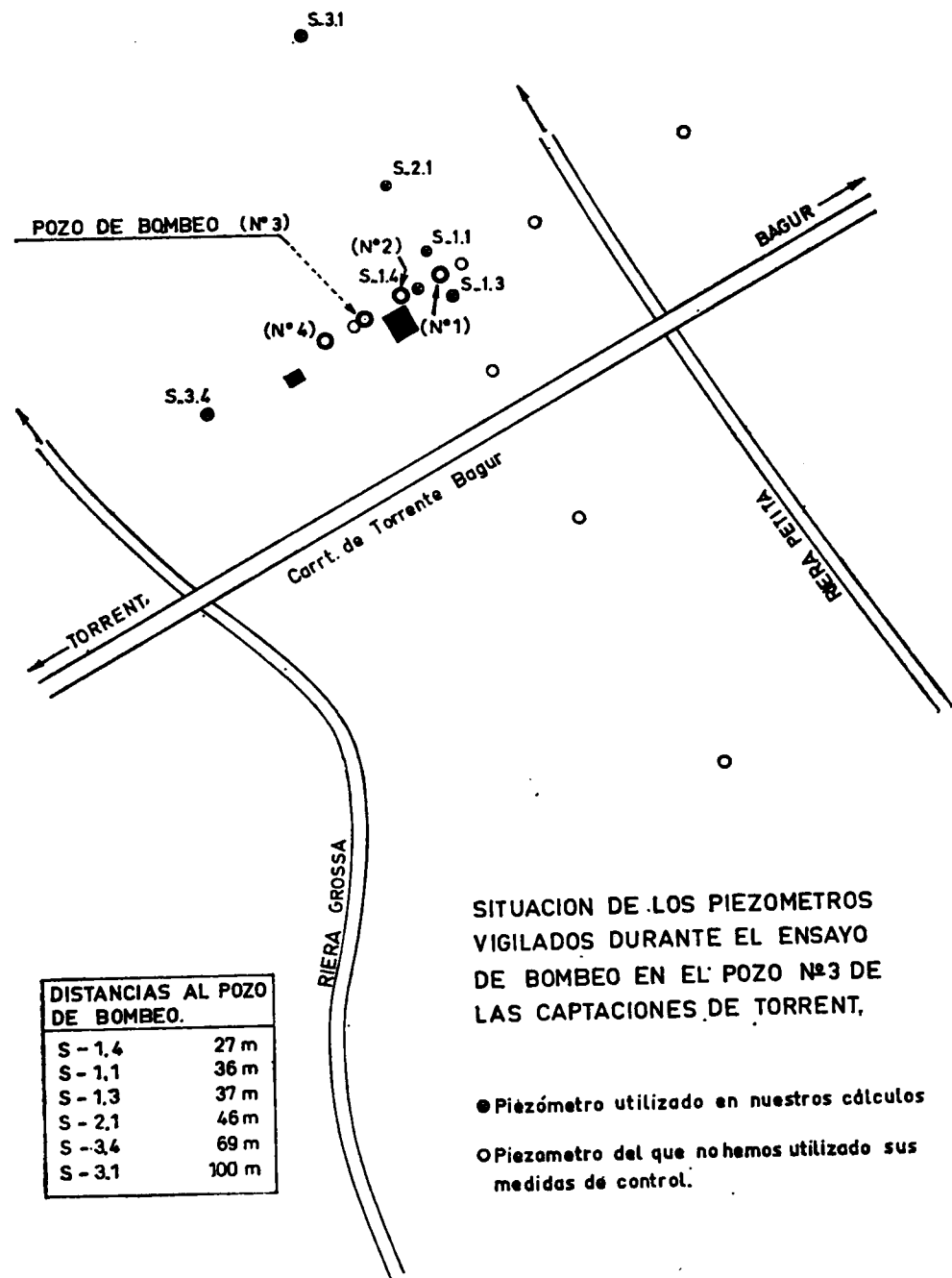


Figura 1'.12

trata de resolver ningún problema práctico determinado —porque en este caso nuestra mentalidad habría sido probablemente muy diferente de lo que de aquí pueda deducirse— sino de exponer y aplicar, en cierto modo de una manera pedagógica, la metodología de estos procedimientos.

Para el presente estudio se ha dispuesto de las medidas tomadas durante un ensayo de bombeo realizado por el SERVICIO GEOLOGICO del M.O.P. en el pozo núm. 3 de las captaciones de Torrent (consultar figura 1'.12) en noviembre de 1964. Estas medidas fueron efectuadas en 15 piezómetros, sin embargo, se ha estimado que únicamente los datos de 6 piezómetros son válidamente interpretables; ello es debido al hecho de que no todos los piezómetros afectan a la formación detrítica, y a que algunos de ellos tiene toda la longitud de su tubería ranurada, poniendo así en comunicación los limos arenosos y la formación detrítica estudiada. Estos 6 piezómetros están indicados en la figura 1'.12.

El caudal de bombeo fue de 6,3 l/s. y su duración de 48 horas. El bombeo fue realizado con una bomba de eje vertical, alimentada por corriente eléctrica. Las aguas bombeadas fueron evacuadas por un sistema de tubos a más de 200 m. aguas abajo de la Riera Petita de Pals.

Las medidas de los niveles piezométricos fueron tomadas con una sonda eléctrica y una sonda mecánica del tipo H.W.K. Los caudales de bombeo fueron controlados cada 6 horas por cronometraje del tiempo de llenado de un bidón de 200 litros. Al mismo tiempo, cada 12 horas se controló la temperatura y la calidad química de las aguas bombeadas.

1.3.2.1 Algunas limitaciones teóricas al método de interpretación utilizado.

Se ha utilizado, para el cálculo de S y T, el «método aproximado de JACOB», en cada uno de los 6 piezómetros. La representación a escala semilogarítmica de la evolución de la superficie piezométrica durante el bombeo en cada uno de estos seis piezómetros, así como los cálculos que hemos hecho, aparece en el anexo VII.

Antes de comentar los resultados obtenidos conviene señalar que en el caso que nos ocupa se está lejos de las condiciones de base impuestas en el «modelo» concebido por JACOB para la deducción de su fórmula, sobre todo en lo referente a la extensión horizontal del acuífero y en lo referente también al carácter «incompleto» del pozo de bombeo.

En cuanto a la primera de estas limitaciones, recordaremos que la formación detrítica estudiada no presenta en la zona de las captaciones más que una anchura de unos 100 m., y que, además, el pozo de bombeo

está situado a 30 m. aproximadamente de uno de los límites, tal como ha sido representado ya en la figura 1'.7.

En cuanto a la segunda de las dos limitaciones, diremos que se trata, en efecto, de un pozo incompleto de 300 mm. de diámetro, revestido con una tubería de hierro sobre la que se ha ranurado solamente una longitud de 1,20 m., mientras que el espesor total de la formación detrítica es de 6 m. Ha sido a causa de esta limitación por lo que no hemos querido interpretar las medidas tomadas en dos piezómetros situados a 2 m. y a 5 m. del pozo de bombeo.

Existen, también, otras limitaciones —como por ejemplo la heterogeneidad relativa del terreno acuífero en un mismo horizonte— que tienen un carácter totalmente secundario frente a los dos anteriores.

### 1.3.2.2 Los resultados obtenidos

En el cuadro adjunto figuran los diferentes valores obtenidos para la transmisibilidad (T) y para el coeficiente de almacenamiento (S):

PIEZOMETRO	DISTANCIA AL EJE DEL POZO DE BOMBEO	T (en m <sup>2</sup> /día)	S
S.—1.4	27 m.	474	2,0 · 10 <sup>-2</sup>
S.—1.1	36 "	410	8,7 · 10 <sup>-4</sup>
S.—1.3	37 "	445	3,9 · 10 <sup>-3</sup>
S.—2.1	46 "	383	5,0 · 10 <sup>-4</sup>
S.—3.4	69 "	433	1,6 · 10 <sup>-3</sup>
S.—3.1	100 "	474	3,6 · 10 <sup>-4</sup>

A pesar de la limitaciones teóricas apuntadas en el apartado anterior, hay que admitir que los resultados obtenidos en los diferentes piezómetros están bastante agrupados, siendo, además, de un orden de magnitud perfectamente lógico; por otra parte, se trata también de valores del mismo orden de magnitud que los obtenidos en las pruebas de permeabilidad realizadas en los piezómetros.

La transmisibilidad podemos considerarla, pues, de unos 435 m<sup>2</sup>/día (valor medio de los 6 resultados obtenidos).

El coeficiente de almacenamiento podemos considerarlo comprendido entre  $5 \times 10^{-4}$  y  $5 \times 10^{-3}$ , lo que corresponde a un acuífero semiconfinado, como era de esperar.

### 1.3.3 ESTUDIO DE UN BOMBEO CICLICO REALIZADO EN LAS CAPTACIONES DE TORRENT DURANTE UN LARGO PERIODO A REGIMEN DE EXPLOTACION NORMAL (realizado por J. M. Niñerola y F. J. Martínez Gil).

Partiendo de unas medidas de control del nivel piezométrico efectuadas en 4 piezómetros por la Compañía que dirige la explotación de las captaciones de Torrent, se ha intentado valorar por un procedimiento diferente a los de los apartados 1.3.1 y 1.3.2 la transmisibilidad del acuífero.

Las medidas del nivel piezométrico fueron tomadas una vez por semana desde junio hasta octubre de 1965.

Según la Compañía que dirige la explotación, aunque el caudal de bombeo no fue controlado con exactitud durante esta época, parece que se puede estimar que estuvo probablemente comprendido entre 50 l/s. y 70 l/s., siendo la duración diaria del bombeo variable entre 8 y 11 horas.

Para este estudio no se ha utilizado más que un período de 100 días consecutivos. Con objeto de simplificar más los cálculos, se ha hecho la hipótesis de considerar que el bombeo fue cíclico a razón de 10,2 horas por día (cifra que corresponde a la media diaria obtenida de los partes de bombeo).

Si se supone que el acuífero estuvo hidrogeológicamente aislado, es decir, sin ninguna aportación externa, se podría aplicar con cierta aproximación la fórmula siguiente:

$$[1] \quad sn = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \cdot \log \frac{nl}{(1-p) \dots (n-p)} \quad \text{[consultar DA COSTA, 1963, p.p.: 2.94 a 2.99]}$$

en la que:

$sn$  = descenso piezométrico producido al cabo de  $n$  días de bombeo cíclico.

$Q$  = caudal de bombeo, expresado en m<sup>3</sup>/día.

$T$  = transmisibilidad del terreno acuífero, expresada en m<sup>2</sup>/día.

$n$  = número de ciclos (días) de bombeo.

$p$  = fracción de bombeo durante cada ciclo.

Aunque durante el período de 100 días que consideraremos en nuestro cálculo las aportaciones de las lluvias fueron prácticamente despreciables, conviene señalar, sin embargo, que en aquella época (verano 1965) era posible la existencia de una cierta alimentación en profundidad a partir del acuífero de las calizas brechoides del Tramo Calcáreo (consultar

figuras 1'.13 y 1'.14). En aquella época, en efecto, el nivel piezométrico del acuífero profundo de las calizas era en la zona de las captaciones superior en 4 m. al nivel piezométrico del acuífero cuaternario, siendo, además, prácticamente evidente la conexión hidráulica entre ambos acuíferos a través de las areniscas arcólicas del Tramo Medio (consultar figura 8.2).

La fórmula anterior puede ser escrita bajo la forma siguiente:

$$\frac{sn \cdot T}{0,183 \cdot Q} = \log \frac{nl}{(1-p) \dots (n-p)}$$

En el caso que nos ocupa, siendo  $n = 100$  y  $p = 0,43$  días (10,2 horas), el valor del segundo miembro de la ecuación anterior es de 1,07, por lo que podremos escribir:

$$\frac{sn \cdot T}{0,183 \cdot Q} = 1,07$$

En esta última expresión conocemos el valor de  $Q$  (estimado entre 50 l/s. y 70 l/s.) y los valores  $sn$  observados en los 4 piezómetros vigilados, con lo que el valor de  $T$  puede ser calculado.

Los valores reales de  $sn$ , correspondientes a los descensos piezométricos observados al cabo de los 100 días considerados, fueron los siguientes:

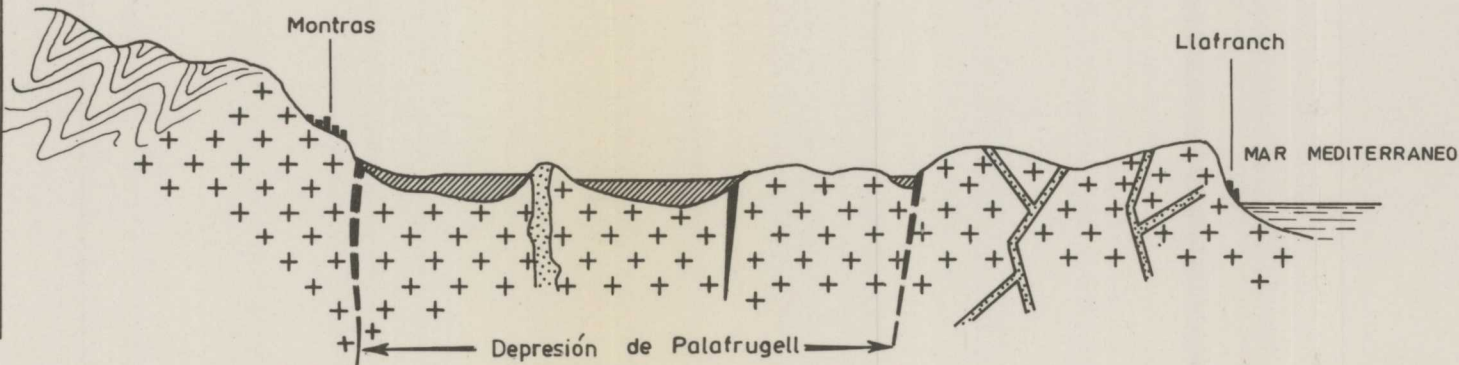
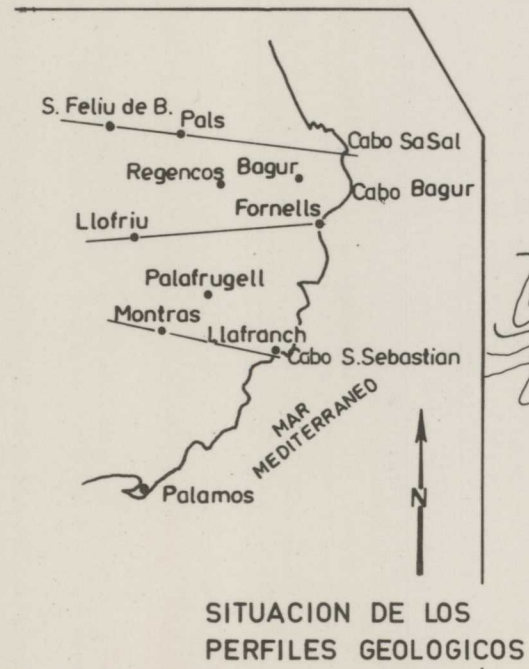
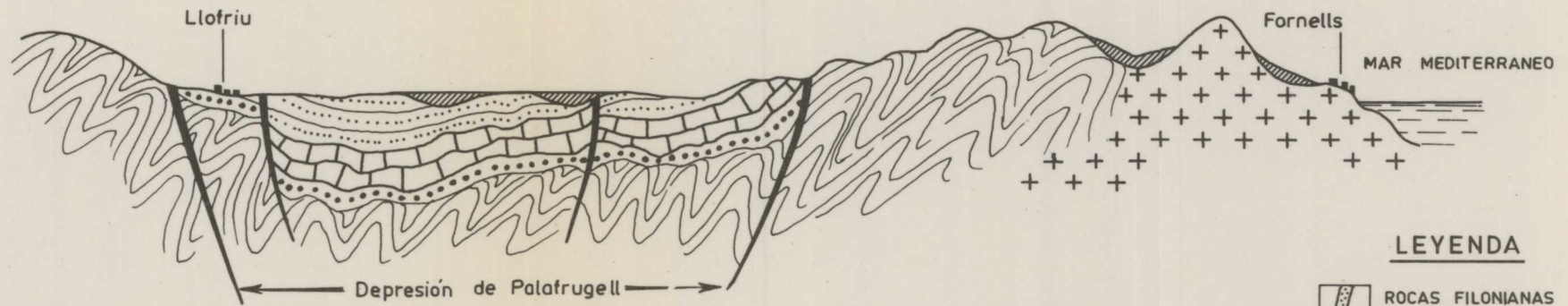
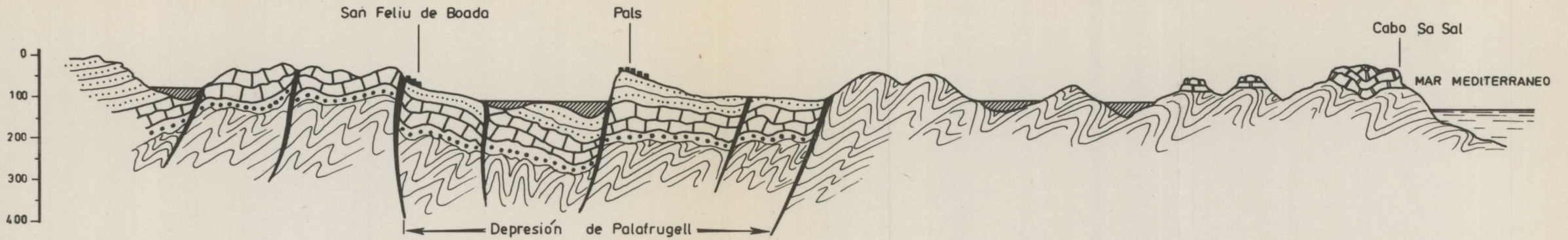
PIEZOMETRO	DESCENSO
S.—3.1	2,14 m.
S.—3.4	2,16 »
S.—4.3	1,96 »
S.—3.6	1,72 »

Los resultados obtenidos para el valor de  $T$ , de acuerdo con la expresión anterior son los siguientes:

Q (l/s.)	sn (m.)	T (m <sup>2</sup> /día)
50	2,14	395
	2,16	390
	1,96	430
	1,72	490
70	2,14	550
	2,16	548
	1,96	603
	1,72	687



Escala vertical en m.

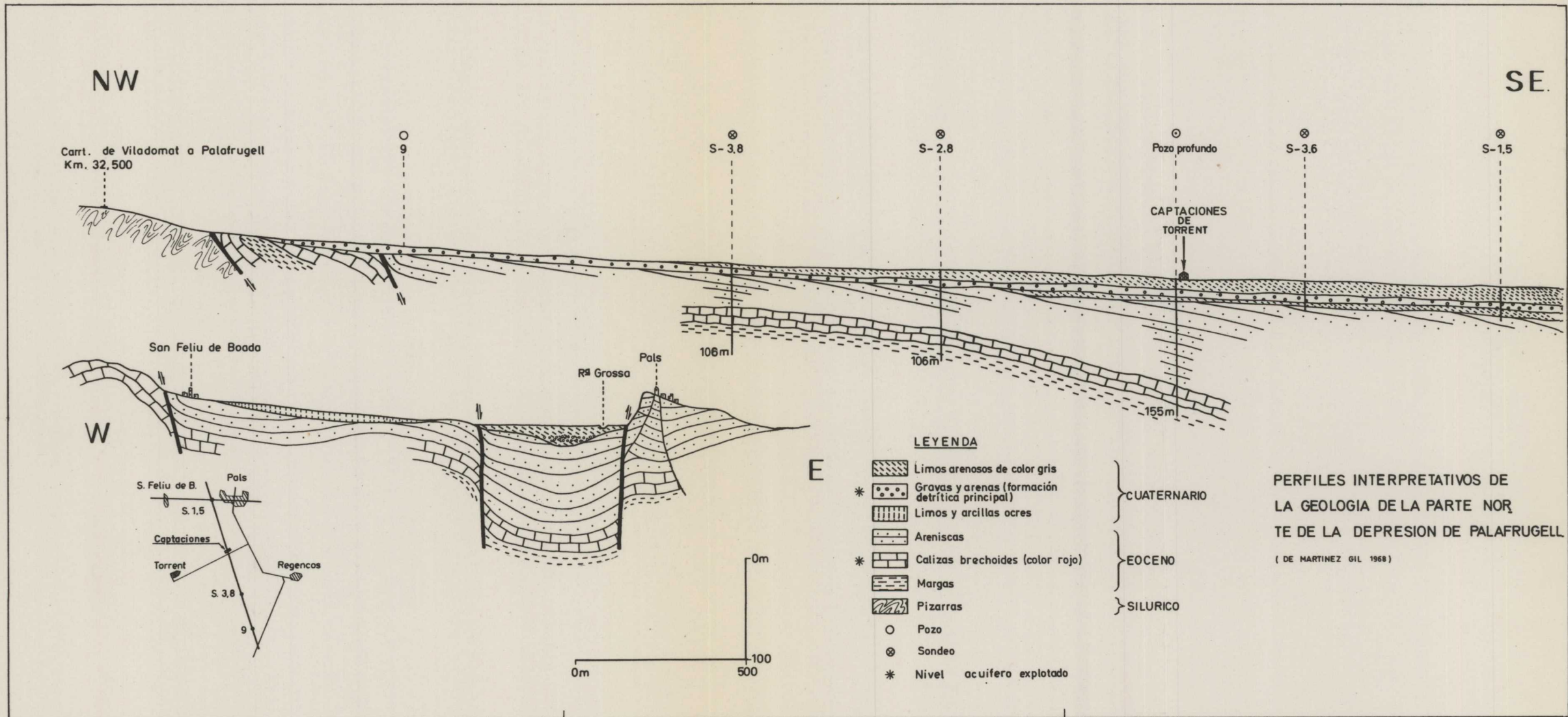


LEYENDA

- ROCAS FILONIANAS
  - GRANITO
  - PIZARRAS
  - CALIZAS Y MARMOLES
  - CONGLOMERADOS
  - CALIZAS Y MARGAS
  - ARENISCAS
  - LIMOS, ARCILLAS, ARENAS CUATER. Y GRAVAS
- SILURICO  
DEVONICO  
EOCENO  
CUATER.

Escala : 0 1km

Fig. 1.13



PERFILES INTERPRETATIVOS DE LA GEOLOGIA DE LA PARTE NORTE DE LA DEPRESION DE PALAFRUGELL  
( DE MARTINEZ GIL 1968 )

Fig. 1'.14

Se ve, pues, que los valores de  $T$  obtenidos a partir de  $Q = 50$  l/s. son muy próximos a los valores calculados mediante el ensayo de bombeo.

En cuanto al caudal medio realmente bombeado durante el período considerado, creemos que la estimación de 70 l/s. fue sin duda demasiado elevada, teniendo en cuenta que durante el período de enero a marzo de 1967 los caudales bombeados fueron siempre muy próximos a 40 l/s. (según un control minucioso que realizamos periódicamente) y que, por otra parte, según la opinión del personal encargado de la vigilancia y control de las captaciones, no ha habido desde el comienzo de la explotación una disminución tan sensible de los caudales bombeados. En este caso, el valor de 50 l/s. sería, pues, más aceptable que el de 70 l/s.

Todas estas consideraciones nos permiten aceptar la fórmula [1] como prácticamente válida para el caso que nos ocupa, a pesar de las limitaciones teóricas apuntadas al comienzo del apartado.

El interés práctico que resulta de la aplicación correcta de esta fórmula radica en el hecho de **poder predecir los descensos piezométricos generales que se producirán en el acuífero superficial de las captaciones de Torrent al cabo de «n» días de bombeo a un caudal «Q», durante un número determinado de horas diarias.** Todo ello, naturalmente, a lo largo de un período seco, en el que no se produzcan «precipitaciones eficaces».

En el caso particular que nos ocupa, de haber utilizado dicha fórmula —conociendo ya la transmisibilidad (435 m<sup>2</sup>/día), el caudal medio de bombeo (50 l/s.) y el tiempo diario de bombeo (10,2 horas)— se habría podido «predecir» que el descenso general del acuífero habría sido de 1,94 m. (Recordemos que los descensos reales observados en los 4 piezómetros vigilados fueron: 2,16 m., 2,14 m., 1,96 m., y 1,72 m.)

#### 1.4 INFLUENCIA DE LA RIERA GROSSA DE PALS DURANTE EL ENSAYO DE BOMBEO

Al examinar los gráficos de JACOB, correspondientes a los 6 piezómetros analizados, se observa una disminución de la pendiente de la primera recta a partir de un cierto tiempo (consultar gráficos del anexo VII). Un cambio de pendiente así (suponiendo que el caudal de bombeo haya permanecido constante y que las aguas bombeadas hayan sido adecuadamente evacuadas) traduce un aumento de la transmisibilidad del terreno acuífero en la zona de influencia del bombeo. Este cambio de pendiente se produce cuando el cono de depresión en su expansión alcanza o una zona más transmisible del acuífero o una fuente de alimentación directa a partir de las aguas superficiales.



En principio se pensó que en nuestro caso podría tratarse de una alimentación del acuífero a partir de las aguas de la riera Grossa de Pals a través de las arenas y los limos arenosos (consultar figura 1'.7).

### 1.5 APLICACION DEL METODO DE LAS IMAGENES

En la deducción de las fórmulas de los métodos de equilibrio y de no equilibrio, se hace la hipótesis de un terreno acuífero de extensión horizontal infinita. En la realidad, la mayor parte de las formaciones acuíferas están limitadas lateralmente por barreras, frecuentemente muy próximas, por lo que en estos casos en rigor no podría aplicarse ninguna de las anteriores fórmulas después de que el efecto de las barreras del acuífero haya hecho su aparición.

Cuando las barreras de un acuífero no son muy complicadas, existe, sin embargo, una solución sencilla y precisa que evita el recurrir a modelos matemáticos, que serían demasiado complicados. Se trata del llamado **Método de las Imágenes**, que consiste en una serie de soluciones gráficas basadas en estudios analógicos a partir de campos electrostáticos (consultar BENITEZ, 1963, p.p. 103 - 122).

El método de las imágenes hace la hipótesis simplificadora de considerar que las barreras que limitan lateralmente los acuíferos son verticales. Estas barreras pueden ser agrupadas en dos categorías: barreras positivas y barreras negativas.

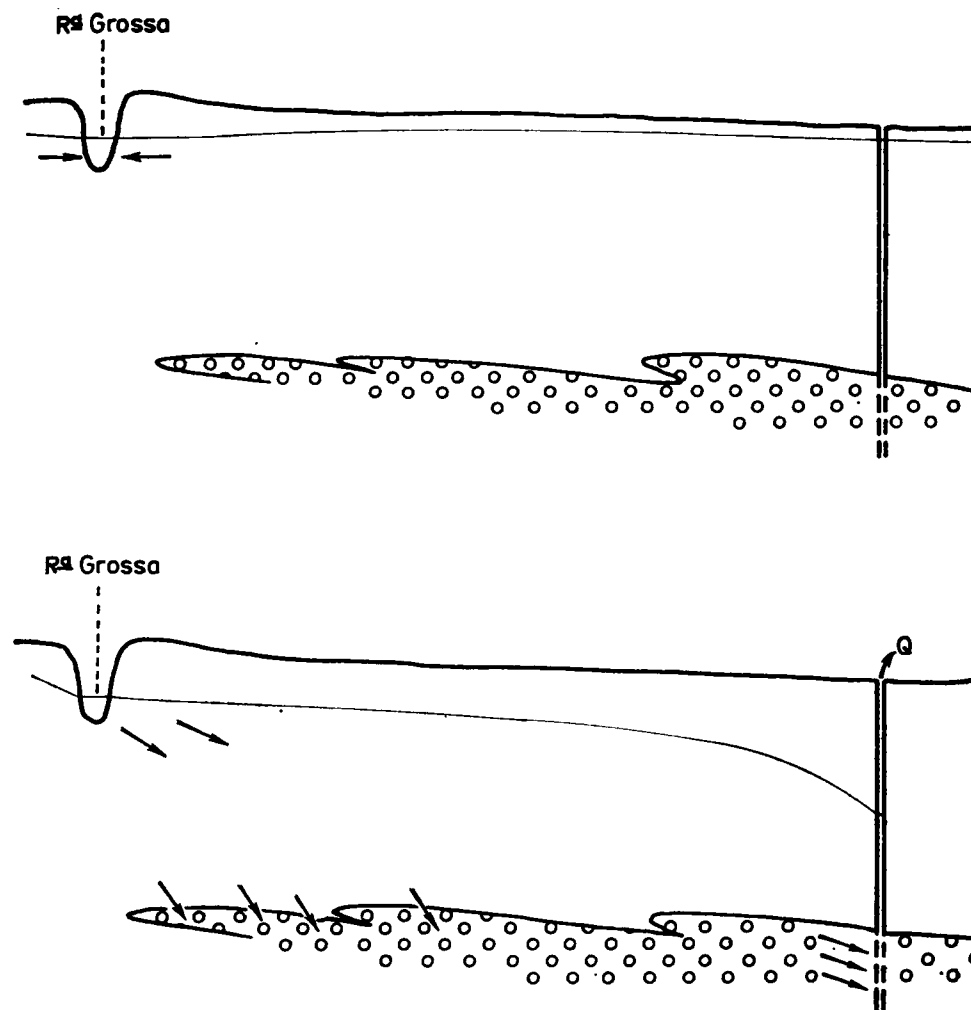
**Las barreras positivas** existen principalmente en los contactos de los terrenos acuíferos con las aguas superficiales, manteniendo invariable el nivel piezométrico en su proximidad.

**Las barreras negativas** se forman en los contactos del acuífero con los terrenos impermeables.

En el caso que nos ocupa se ha supuesto que durante el ensayo de bombeo en el pozo núm. 3 de las captaciones de Torrent, la riera Grossa actuó a modo de barrera positiva.

En el caso de las barreras positivas, todo ocurre como si desde el comienzo del bombeo existiera otro pozo (imaginario) de recarga situado del otro lado de la barrera y en posición simétrica con respecto al pozo de bombeo. El caudal suministrado por este pozo imaginario sería el mismo que el extraído por el pozo de bombeo.

En la figura 1'.15 se representa de manera esquemática la situación del nivel piezométrico del acuífero en condiciones de reposo (antes del bombeo) y en posición dinámica (después de un cierto tiempo de bombeo).



ESQUEMA MOSTRANDO LA POSICION DEL NIVEL PIEZOMETRICO Y EL FLUJO DEL ACUIFERO CUATERNARIO ANTES Y DESPUES DEL COMIENZO DE LOS BOMBEOOS BAJO LA INFLUENCIA DE LA RIERA GROSSA DE PALS

Figura 1'.15

La aplicación de la propiedad fundamental de la superponibilidad de los efectos piezométricos en cada punto de un acuífero permite conocer el descenso real en un punto cualquiera al cabo de un tiempo de bombeo determinado.

En el cuadro siguiente se indican, para el caso que nos ocupa, las distancias respectivas de cada piezómetro al «pozo imaginario de recarga» y el tiempo real a partir del cual la ruptura de la pendiente de la recta de JACOB tuvo lugar.

PIEZOMETRO	DISTANCIA AL POZO IMAGEN	RUPTURA DE LA PENDIENTE
S.—3.4	180 m.	4,3 horas
S.—1.4	270 »	6,0 »
S.—1.1	280 »	8,4 »
S.—1.3	280 »	8,4 »
S.—2.1	285 »	8,4 »
S.—3.1	310 »	12,0 »

Se observa, pues, que cuanto más alejado se encuentra el punto de observación del pozo imagen más largo fue el tiempo de la ruptura de la pendiente, lo que demuestra que, en principio, el fenómeno que origina la perturbación está situado del lado de la riera y que, además, es función de las distancia al pozo imagen.

Con objeto de saber si en un plano teórico la ruptura de la pendiente de la recta de JACOB podría ser debida a la influencia de las aguas superficiales de la riera Grossa, se ha querido conocer el tiempo a partir del cual teóricamente podría esperarse la influencia del pozo imagen sobre el piezómetro más próximo (180 m.) y sobre el más alejado (310 m.) y comparar a continuación los tiempos teóricos así calculados con los tiempos reales observados.

Para poder hacer estos cálculos se han despreciado los 5 m. de arenas de grano medio y limos arenosos que separan el cauce de la riera Grossa de la formación detrítica, suponiendo así que ambos están en contacto directo. Los cálculos realizados están basados en la fórmula aproximada de JACOB.

JACOB supuso que en la fórmula «exacta» de THEIS:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u);$$

donde:

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u}$$

cuyo desarrollo en serie sería:

$$W(u) = -0,5772 - \ln \cdot u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

$$\text{siendo: } u = \frac{r^2 \cdot S}{4T \cdot t}$$

Q = caudal de bombeo

T = transmisibilidad del terreno acuífero

S = coeficiente de almacenamiento del terreno acuífero

$\Delta$  = descenso piezométrico producido en la superficie del acuífero, en un punto situado a una distancia r del eje del pozo de bombeo, al cabo de un tiempo t de iniciado el bombeo:

a partir de un cierto tiempo del comienzo del bombeo y en el caso concreto de puntos de observación no demasiado alejados del eje del pozo de bombeo podrían despreciarse todos los términos del desarrollo en serie de W(u) situados más allá del segundo sin riesgo de cometer errores apreciables desde el punto de vista práctico. En nuestro caso —conocidos ya los valores de r, S, T y t, el error que se cometería con esta simplificación sería inferior a  $2 \cdot 10^{-3}$  sobre el valor de W(u), con lo que podría aplicarse la simplificación de JACOB. En este caso la fórmula de THEIS tendría la forma siguiente:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u) = \frac{Q}{4\pi \cdot T} (-0,5772 - \ln \frac{r^2 \cdot S}{4T \cdot t});$$

es decir:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi \cdot T} (\ln \frac{4T \cdot t}{r^2 \cdot S} - 0,5772)$$

En el momento  $t_0$ , en el que la influencia del pozo imagen de recarga llegue a un punto situado a r metros de él (teniendo en cuenta que en

ese preciso momento la subida del nivel piezométrico, debida a la influencia de la recarga, será todavía nula) se podrá escribir que:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \left( \ln \frac{4T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} - 0,5772 \right) = 0;$$

por tanto:

$$\ln \frac{4T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} = 0,5772$$

es decir:

$$\frac{4T \cdot t_0}{r^2 \cdot S} = e^{0,5772},$$

de donde:

$$t_0 = 1,773 \frac{r^2 \cdot S}{T} \cdot \frac{1}{4}$$

finalmente, pues:

$$t_0 = \frac{r^2 \cdot S}{2,25 T}$$

Al aplicar esta última expresión a los diferentes valores de  $r$  (180 m. y 310 m.) y de  $S$  (variable entre  $5 \cdot 10^{-3}$  y  $5 \cdot 10^{-4}$ ) se obtienen los valores del cuadro siguiente:

S	r	$t_0$	Tiempo real
$5 \cdot 10^{-4}$	180 m.	0,4 horas	4,3 horas
$5 \cdot 10^{-3}$	180 "	4,2 "	
$5 \cdot 10^{-4}$	310 "	1,2 horas	12,0 horas
$5 \cdot 10^{-3}$	310 "	12,0 "	

Los valores reales de la llegada de la perturbación fueron, como ya hemos mostrado, de 4,3 horas y 12,0 horas para los piezómetros S.3.4 y S.3.1, alejados 180 m. y 310 m., respectivamente, del pozo imagen. Estamos, pues, ante una concordancia exacta para el caso de  $S = 5 \cdot 10^{-3}$ :

Se puede concluir, pues, admitiendo la posibilidad de una conexión hidráulica, prácticamente directa, entre la riera Grossa y la formación detrítica del acuífero cuaternario de las captaciones de Torrent.

## 1.6 LA DESCARGA Y LA RECARGA DEL ACUÍFERO

Se puede afirmar que actualmente (1969) la descarga del conjunto acuífero cuaternario de la cuenca de la riera Grossa de Pals no se verifica más que a través del flujo subterráneo y de los bombeos en las captaciones de Torrent. Los restantes bombeos son muy poco importantes y no se realizan más que durante un período muy corto del año, por lo que pueden ser considerados como prácticamente despreciables.

El drenaje efectuado por las rieras Grossa y Petita, que se encajan en los limos arenosos, es desde hace casi tres años prácticamente inexistente, puesto que el nivel piezométrico de los terrenos cuaternarios, debido a las fuertes explotaciones, se encuentra constantemente situado muy por debajo del cauce de estas rieras.

En cuanto a la recarga, diremos:

- 1º) que las citadas rieras están en la actualidad constantemente secas (salvo en casos muy excepcionales, como puede ser después de una importante precipitación, hecho que no ocurre todos los años).
- 2º) que los límites geológicos laterales de los limos arenosos en su zona de saturación están constituidos exclusivamente por las areniscas arcóscas del Eoceno (consultar perfiles geológicos detallados del anexo VI).
- 3º) que el nivel del acuífero profundo de las calizas marrones del Tramo Calcáreo está situado desde hace más de dos años varias decenas de metros por debajo del nivel piezométrico del acuífero cuaternario. Lo mismo ocurre en las areniscas arcóscas situadas entre ambos acuíferos (consultar figura 8.2).

Hay que considerar forzosamente, pues, que en la actualidad la fuente de recarga más importante la constituyen las lluvias que caen directamente sobre los limos, puesto que tanto la escorrentía superficial como los aportes subterráneos están también excluidos.

En cuanto a la influencia de las precipitaciones sobre el nivel piezométrico del acuífero cuaternario, hemos podido observar que únicamente las grandes lluvias tienen un efecto inmediato, sensible, sobre las subidas de dicho nivel. Al respecto diremos que la frecuencia más probable de aparición de precipitaciones superiores, por ejemplo a 30 mm., es inferior a 4 veces por año (según los datos del pluviómetro de JAFRE correspondientes al período 1945 - 1968). En el año «más húmedo» se registraron 11 precipitaciones superiores a 30 mm. y en el año «más seco» sólo 1.

Se ha podido observar también que la subida del nivel piezométrico, producida a consecuencia de una gran precipitación, no empieza a notarse generalmente antes de transcurridas unas cuantas horas a partir del comienzo de la lluvia. La subida se continúa a ritmo decreciente durante 3, 4 ó 5 días.

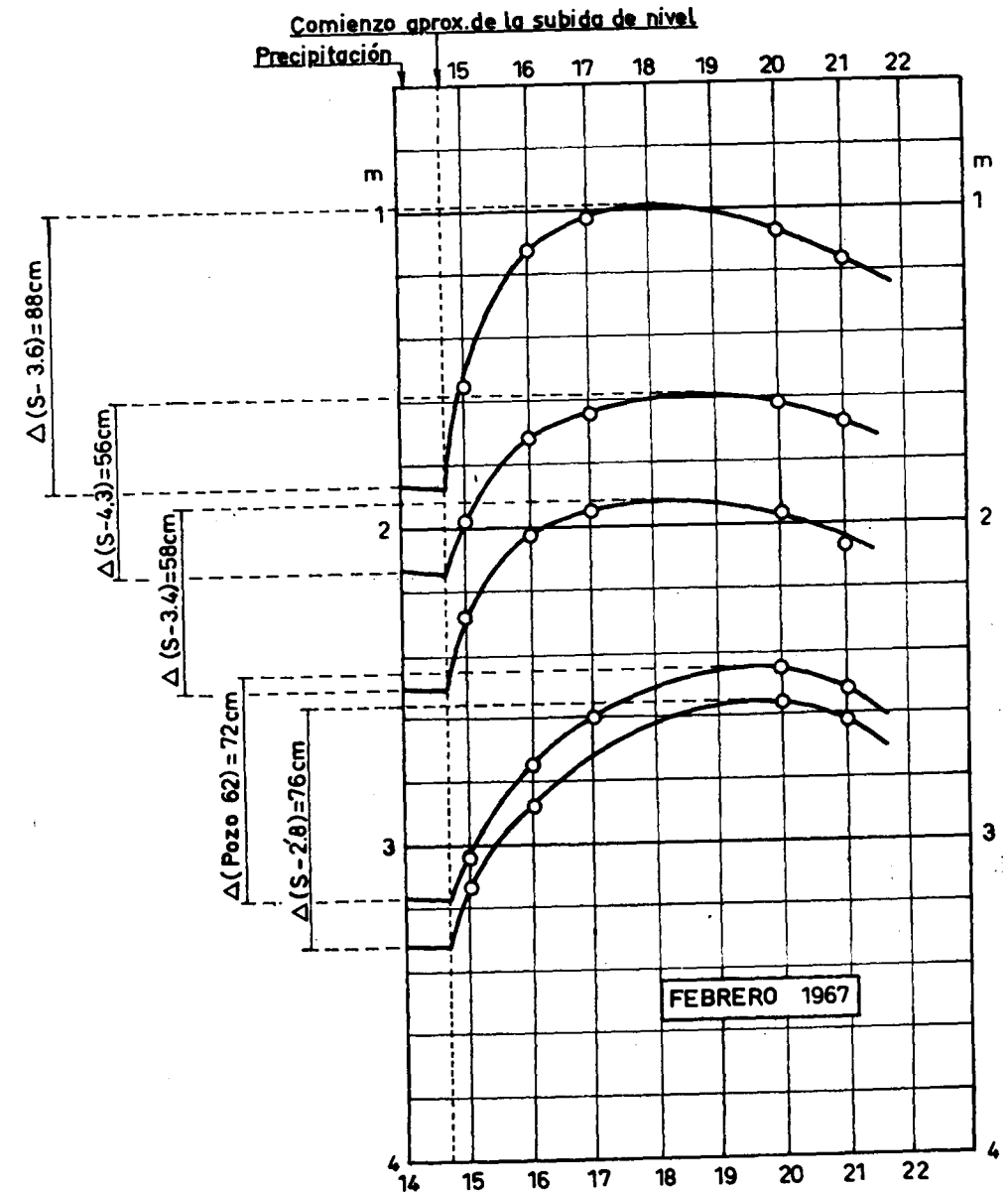
En los gráficos de la figura 1'.16 está indicada la evolución de la subida del nivel piezométrico en cinco puntos del acuífero a consecuencia de una gran precipitación que tuvo lugar el 14 de febrero de 1967. En esta fecha estábamos sobre el terreno y tuvimos ocasión de seguir la subida del nivel piezométrico durante una semana. Las medidas fueron tomadas cada día entre las 8'30 h. y las 9'10 h. de la mañana, siempre antes del comienzo de los bombeos en las captaciones de Torrent. La lluvia comenzó el 14 de febrero y se prolongó casi ininterrumpidamente hasta el día 16. En total se recogieron 90 mm.

Si se desean obtener conclusiones medianamente precisas, es absolutamente necesario efectuar medidas diarias minuciosamente tomadas, de acuerdo con un plan racional, puesto que la influencia de la expansión progresiva del cono de depresión creado cada día por efecto de los bombeos en las captaciones de Torrent perturba una gran parte de la superficie del acuífero, falseando así las medidas tomadas y, por tanto, falseando las conclusiones que de ellas puedan sacarse.

En la figura 1'.17 aparecen los datos de una experiencia realizada en la zona de influencia de las captaciones. Ha sido realizada con objeto de conocer la influencia de los bombeos sobre las medidas de los niveles piezométricos en función del tiempo de bombeo, para ello se ha medido en cuatro piezómetros situados a diferentes distancias de las captaciones la evolución del descenso del nivel piezométrico a lo largo de una jornada de explotación normal a razón de 30 l/s.

Se observa en dicha figura que en las medidas tomadas durante la primera hora de bombeo un error de 15 minutos en el tiempo de toma de unos días a otros puede arrastrar errores en las medidas variable entre 20 cms. y 150 cms. en el caso del piezómetro S.0.2., situado a unos 15 m. del pozo de bombeo más próximo. Para el caso del piezómetro S.3.1. (situado a 115 m. aguas abajo de los tres pozos de bombeo) la misma imprecisión anterior en el tiempo de toma comportaría errores en la medida variables entre 16 cms. y 40 cms. En el piezómetro S.4.3. (situado 180 m. aguas arriba) los errores estarían comprendidos entre 12 cms. y 18 cms. Finalmente, en el piezómetro S.5.3., situado 400 m. aguas arriba, el error sería prácticamente inexistente.

Los resultados de esta experiencia deberían ser seriamente considerados, puesto que desde hace más de dos años se miden todos los días



EVOLUCION DE LA SUPERFICIE PIEZOMETRICA DEL ACUIFERO CUATERNARIO DE LA CUENCA DE LA RIERA GROSSA DE PALS COMO CONSECUENCIA DE UNA GRAN PRECIPITACION DE 90mm. CAIDA DURANTE LOS DIAS 14, 15 y 16.

Figura 1'.16



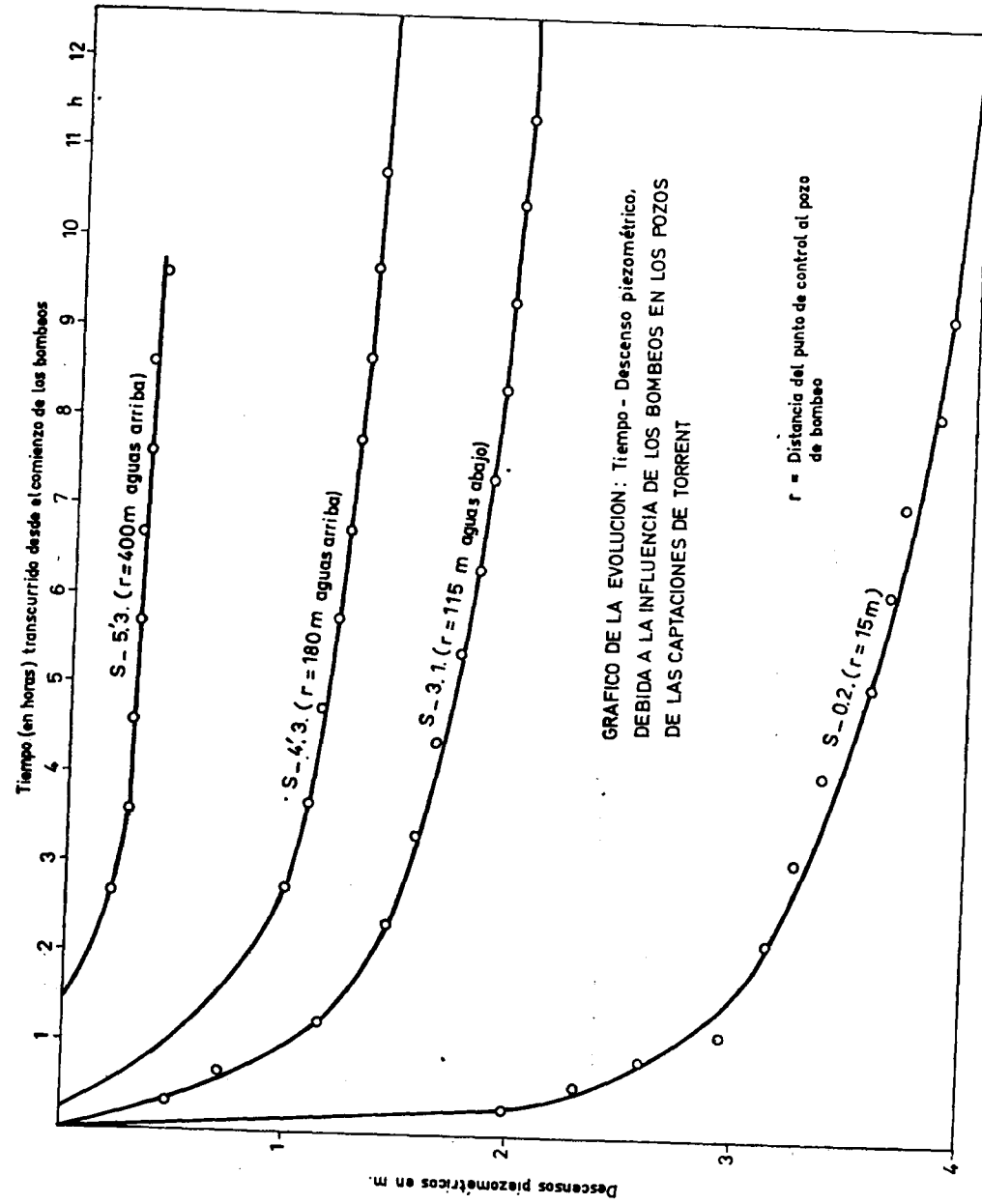


Figura 1'17

en las captaciones los niveles piezométricos en los S.0.2. y S.2.4. situados a dos metros y a 15 m., respectivamente, de los pozos de bombeo núm. 2 y núm. 3. Estas medidas se toman con la intención de estudiar las fluctuaciones del acuífero en relación con los bombeos y con las aportaciones de las lluvias. Estas medidas sistemáticas se hacen en general sea «entre» los 15 minutos y los 45 minutos primeros de bombeo, sea por la tarde «entre» las 7,00 y las 8,00 horas. Nosotros hemos dispuesto de estas medidas, pero hemos llegado a la conclusión de que no son interpretables al nivel de precisión que requiere esta experiencia, debido fundamentalmente a la imprecisión del tiempo en lo que respecta a la toma de la medida, puesto que los errores así cometidos son demasiado grandes en relación con las fluctuaciones diarias producidas en el nivel piezométrico por los bombeos y por las infiltraciones. De este modo se llegan a observar oscilaciones diarias del nivel piezométrico de cierta consideración, sin que por ello haya habido la menor precipitación (recordamos que una precipitación de 90 mm. nos produjo únicamente una recuperación comprendida entre 56 y 88 cm.).

De la observación de los gráficos de la figura 1'17 se deduce que las medidas tomadas al final de la jornada de bombeo son más correctas que las tomadas por la mañana. Sin embargo, teniendo en cuenta que no se puede imponer una duración diaria constante del tiempo de bombeo en las captaciones —puesto que depende de las demandas— las medidas más correctas serían las tomadas diariamente antes del comienzo de los bombeos. Estas medidas tendrían todavía más valor si fueran tomadas lo más lejos posible de los pozos de las captaciones (por ejemplo en los piezómetros 2'.8., 5'.3., 4'.3., ó 3'.1. o en el pozo núm. 63) puesto que la influencia de los bombeos y de las variaciones diarias de la duración de los mismos estarían amortiguadas por la distancia y por el tiempo transcurrido desde el final de los bombeos del día anterior.

## **CAPITULO 2**

### **HIDRODINAMICA Y EXPLOTACION POSIBLE DEL ACUIFERO CUATERNARIO DE LA RIERA GROSSA DE PALS**

#### **INTRODUCCION**

#### **2.1 DESCENSOS PIEZOMETRICOS Y CAUDALES TEORICOS**

#### **2.2 LAS PERDIDAS DE CARGA HIDRAULICA**

#### **2.3 VELOCIDAD REAL DEL AGUA AL ATRAVESAR UNA REJILLA**

#### **2.4 DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS QUE DEBIERAN TENER LOS POZOS CONSTRUIDOS EN LA FOR- MACION DETRITICA**

##### **2.4.1 Profundidad de las obras**

##### **2.4.2 Longitud y diámetro de la rejilla**

##### **2.4.3 Abertura de las ranuras**

##### **2.4.4 Empaquetado de gravas**

## INTRODUCCION

Queremos indicar, ante todo, que nuestro objeto no ha sido aquí el de hacer un proyecto sobre una obra de captación determinada. Se pretende presentar de una manera racional, progresiva y crítica los diferentes aspectos que deben ser seriamente considerados en los proyectos de captación de cierta envergadura económica, de acuerdo con los modernos conceptos de la hidráulica subterránea.

Hemos tenido la gran oportunidad de presentar estas consideraciones dentro de un marco concreto: el de la formación detrítica del acuífero cuaternario de la cuenca de la riera Grossa de Pals, cuyo estudio hidrogeológico de detalle acabamos de presentar en el capítulo 1.

### 2.1 DESCENSOS PIEZOMETRICOS Y CAUDALES TEORICOS

Conocido ya el valor de la transmisibilidad y el del coeficiente de almacenamiento de la formación detrítica del acuífero cuaternario de la cuenca de la riera Grossa de Pals, se han calculado los descensos piezométricos teóricos que debieran producirse en un punto de la superficie del acuífero situado a una distancia dada del eje de un pozo determinado, al cabo de una jornada de bombeo dada, a un caudal determinado.

Según se ha expuesto en el capítulo anterior, la ecuación que rige la evolución de la superficie piezométrica de un acuífero, para el caso particular de zonas no muy alejadas del eje del pozo de bombeo, puede ser aplicada prácticamente a partir de un cierto tiempo de comenzado el bombeo bajo la forma siguiente:

$$\Delta = \frac{Q}{4 \pi \cdot T} \left( \ln \frac{4 T \cdot t}{r^2 \cdot S} - 0,5772 \right)$$

En esta expresión todos los factores del segundo miembro son ya conocidos en el caso que nos ocupa, por lo que se podrá calcular el valor de  $\Delta$ .

En los gráficos de la figura 2'.1 aparecen los descensos teóricos que han sido calculados para el caso de un punto situado a 0,5 m. de distancia del eje de un pozo, en el que se bombeen caudales desde 20 l/s. hasta 100 l/s., siendo la transmisibilidad del terreno acuífero de 500 m<sup>2</sup>/día, su coeficiente de almacenamiento variable entre 10<sup>-1</sup> y 10<sup>-5</sup>, y el tiempo ininterrumpido de bombeo de 10 horas.

Los descensos así calculados corresponderían, pues, a los descensos piezométricos mínimos producidos en el interior de un pozo que tuviera 1 m. de diámetro y cuyo rendimiento hidráulico fuera perfecto; es decir, en el caso teórico que las pérdidas de carga debidas al paso del agua del terreno al interior del pozo fueran nulas. Un pozo así podría ser prácticamente realizado utilizando una rejilla apropiada y bombeando a caudales débiles.

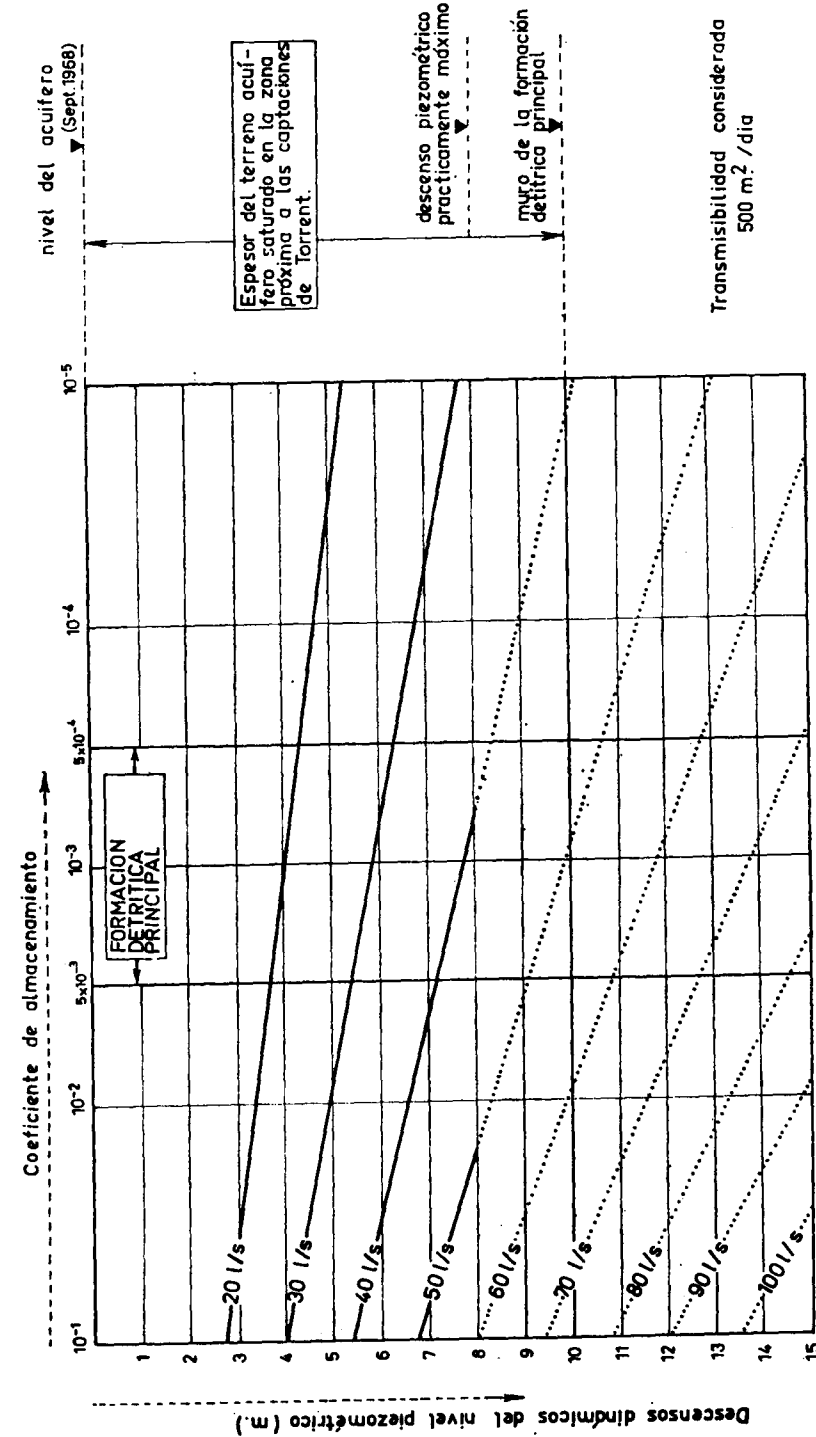
El interés práctico de los gráficos de la figura 2'.1 está en el hecho de que ofrece una idea de orden de magnitud sea sobre el caudal máximo que podrá obtenerse para un descenso dado del agua en el interior del pozo sea, inversamente, sobre el descenso mínimo que habrá que producir en el interior de un pozo de diámetro conocido para obtener un caudal determinado.

En nuestro caso —en la zona del emplazamiento de las captaciones de Torrent— los gráficos de la figura 2'.1 tienen un interés especial, puesto que los caudales máximos susceptibles de ser bombeados están ya limitados por el espesor de la zona saturada, situada por encima de la base de formación detrítica. En septiembre de 1968 el espesor de la zona saturada así definida era, en la zona de las captaciones, de 10 m.

Se deduce del estudio de dichos gráficos que un **descenso de 8 m. en el interior de un pozo de 500 mm. de radio que fuese hidráulicamente perfecto no podría proporcionar caudales superiores a 44 l/s.**

## 2.2 LAS PERDIDAS DE CARGA HIDRAULICA

Ya se sabe que las pérdidas de carga se traducen de un modo general por un aumento del precio del agua bombeada, puesto que es necesario gastar más energía por volumen de agua elevada. Sin embargo, en el caso que nos ocupa esta consideración sería completamente secundaria, teniendo en cuenta el pequeño espesor de la zona susceptible de ser drenada. Por el contrario, lo que sí conviene considerar es el hecho de que las pérdidas de carga equivaldrían a una disminución del caudal máximo suscep-



DESCENSOS PIEZOMETRICOS QUE TEORICAMENTE DEBEN SER ESPERADOS AL CABO DE UNA JORNADA DE 10 HORAS DE BOMBEO ININTERRUMPIDO EN UN PUNTO SITUADO A 0,5 m. DEL EJE DE UN POZO DE BOMBEO ( DE MARTINEZ GIL 1968 )

Figura 2'.1

tible de ser extraído, puesto que en la zona de las captaciones de Torrent los caudales máximos están limitados no tanto por la permeabilidad del terreno acuífero como por el débil espesor de la zona saturada; **espesor que tenemos interés en aprovechar hidráulicamente al máximo**, evitando descensos innecesarios.

La pérdida total de carga hidráulica ( $H$ ) entre el nivel del agua en el interior de un pozo que está bombeando y el nivel estático en el pozo antes de comenzar el bombeo, puede ser considerada como la suma de los tres factores ( $h_1, h_2, h_3$ ) siguientes (consultar figura 2'.2):

a) Las pérdidas  $h_1$  son las debidas al flujo subterráneo entre el límite de la «zona de llamada» y una zona próxima a la pared del pozo, definida ésta por el radio de la zona de influencia de las operaciones de desarrollo disponibles. Para un pozo de diámetro determinado y para un caudal determinado de bombeo son función únicamente de la permeabilidad del terreno y, por tanto, inevitables.

b) Las pérdidas  $h_2$  corresponden al flujo subterráneo entre las proximidades del pozo (definidas éstas como anteriormente) y la pared del pozo. Se trata de pérdidas que pueden ser, ya que no evitadas, al menos reducidas considerablemente, aumentando la permeabilidad del terreno en esta zona mediante las llamadas «operaciones de desarrollo».

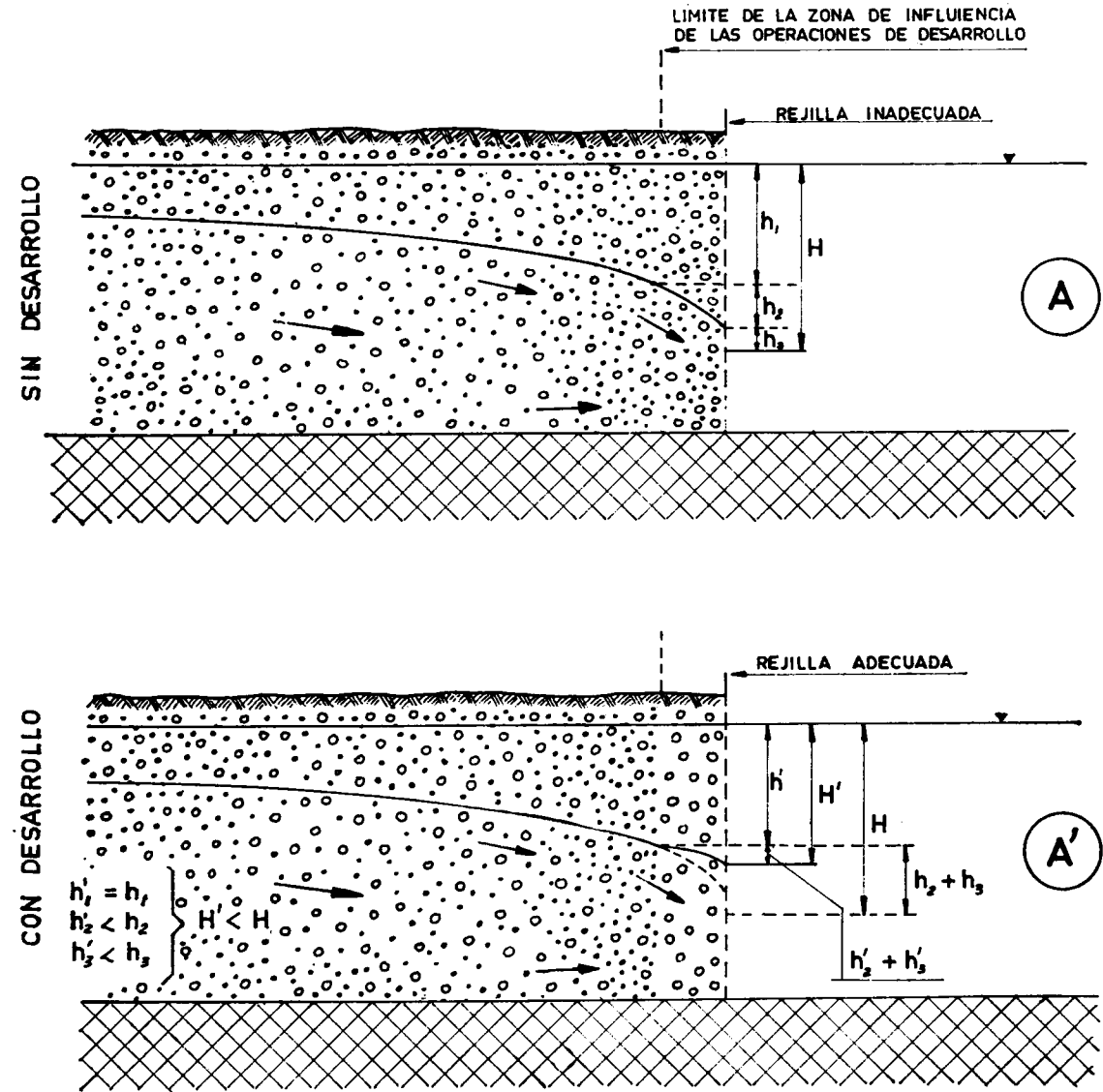
c) Las pérdidas  $h_3$  son pérdidas adicionales debidas a la presencia de la rejilla. Son función de la velocidad de flujo del agua al atravesar la rejilla, es decir, de la «superficie de admisión eficaz» de ésta en relación con el caudal bombeado. Se trata de pérdidas que pueden ser prácticamente evitadas en el caso de pozos proyectados para velocidades de flujo que no sean demasiado elevadas. Se comprende, pues, que la influencia del diámetro de la rejilla sobre el valor de  $h_3$  es muy importante.

En el cuadro II (1) presentamos el incremento de caudal de un pozo en función de su diámetro y la variación de la velocidad de flujo a través de la rejilla.

CUADRO II (1)

Diámetro	D	2D	3D	4D
Caudal	Q	1,12 Q	1,19 Q	1,25 Q
Velocidad de flujo	V	2 V	3 V	4 V

Vemos, pues, que si bien en general la influencia del diámetro sobre el caudal tiene una importancia secundaria, su influencia sobre la velocidad



**A** REPRESENTA LAS PERDIDAS DE CARGA POR LOS DIFERENTES CONCEPTOS:  $h_1, h_2, h_3$ , EN UN POZO SIN DESARROLLADO, PROVIS- TO DE UNA REJILLA INADECUADA PARA EL CAUDAL DE BOM- BEO Y PARA LA GANULOMETRIA DEL TERRENO ACUIFERO.

**A'** EN EL MISMO CASO ANTERIOR, PERO CON UNA REJILLA ADECUADA Y CON EL POZO DESARROLLADO.

Figura 2'.2

de flujo del agua a través de la rejilla es, por el contrario, primordial. Una rejilla que tuviera 300 mm. de diámetro «impondría» a su través una velocidad de flujo doble que la exigida por una rejilla de 600 mm. (naturalmente, para un mismo caudal de bombeo).

El diámetro, la longitud y las aberturas de las ranuras de la rejilla juegan, junto con la granulometría del terreno, en la determinación de la velocidad real de entrada del agua a un pozo.

### 2.3. LA VELOCIDAD REAL DEL AGUA AL ATRAVESAR UNA REJILLA

Sobre el valor óptimo de la velocidad real del agua al atravesar una rejilla, hemos constatado durante un seminario internacional sobre técnicas modernas de construcción de pozos celebrado en Barcelona en mayo de 1968, que no existen datos concretos. En dicho seminario intentamos atraer la atención sobre el hecho de que los valores preconizados por los diferentes constructores de pozos y de rejillas son muy dispersos (a veces en proporción de 1 a 10) y que —sobre todo— el origen de los cálculos de esta «velocidad óptima» raramente aparecen explicados en la bibliografía.

Esta última observación nos parece muy importante, pues el simple hecho de considerar la ecuación:

$$[1] \quad Q = S_a \cdot V;$$

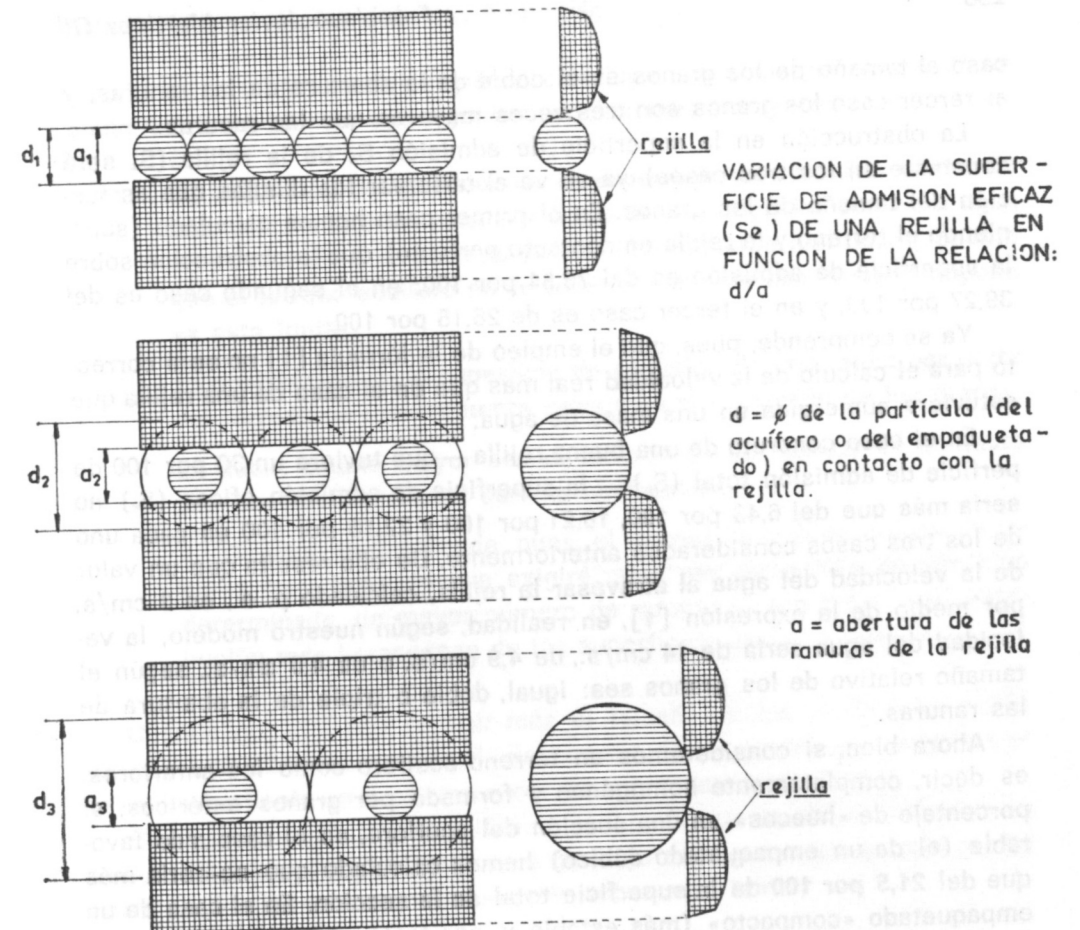
en la que:

- Q = caudal de bombeo,
- S<sub>a</sub> = superficie de admisión (huecos) de la rejilla,
- V = velocidad del agua a través de la rejilla,

conduce a valores de V que no corresponden ciertamente a la velocidad real del agua al atravesar la rejilla. **Las velocidades reales serán sin duda superiores** (incluso muy superiores) **a los valores así calculados**; ello es debido al hecho de que una parte de la superficie de admisión (S<sub>a</sub>) de la rejilla está obstruída por los granos del terreno acuífero en contacto.

En los dibujos de la figura 2'3 se representa una rejilla en la que la abertura de las ranuras es la misma en los tres dibujos. En ellos hemos considerado tres casos diferentes, según el tamaño de los granos del terreno. En los tres casos se ha supuesto la granulometría uniforme y la forma de los granos esférica.

El primer caso corresponde a un terreno en el que el tamaño de los granos es igual a la abertura de las ranuras de la rejilla. En el segundo



$$\left. \begin{aligned} d_1 &= \frac{d_2}{2} = \frac{d_3}{3} \\ a_1 &= a_2 = a_3 \end{aligned} \right\} \frac{d_1}{a_1} = \frac{1}{2} \times \frac{d_2}{a_2} = \frac{1}{3} \times \frac{d_3}{a_3}$$

Hemos calculado: en el caso de una rejilla de superficie de admisión total (S<sub>a</sub>) 30%, que:

- Se<sub>(1)</sub> = 6,43 %
- Se<sub>(2)</sub> = 18,21 %
- Se<sub>(3)</sub> = 22,15 %

A mayor índice: d/a, mayor Se

Figura 2'3

caso el tamaño de los granos es el doble de la abertura de las ranuras, y el tercer caso los granos son tres veces mayores que las ranuras.

La obstrucción en la superficie de admisión  $S_a$  de la rejilla ( $S_a$  será constante en los tres casos) ya se ve al observar los dibujos que es función del tamaño de los granos. En el primer caso hemos calculado (suponiendo el terreno y la rejilla en contacto perfecto) que la obstrucción sobre la superficie de admisión es del 78,54 por 100; en el segundo caso es del 39,27 por 100, y en el tercer caso es de 26,16 por 100.

Ya se comprende, pues, que el empleo de la fórmula [1] no será correcto para el cálculo de la velocidad real más que en el caso de una rejilla que estuviera sumergida en una masa de agua.

En el caso concreto de una buena rejilla —que tuviera un 30 por 100 de perficie de admisión total ( $S_a$ )— la superficie de admisión eficaz ( $S_e$ ) no sería más que del 6,43 por 100, 18,21 por 100 y 22,15 por 100 en cada uno de los tres casos considerados anteriormente. De ello resulta que un valor de la velocidad del agua al atravesar la rejilla, calculado p. e., en 3 cm/s. por medio de la expresión [1], en realidad, según nuestro modelo, la velocidad del agua sería de 14 cm/s., de 4,9 cm/s. o de 4,0 cm/s., según el tamaño relativo de los granos sea: igual, doble o triple de la abertura de las ranuras.

Ahora bien, si consideramos un terreno acuífero como los anteriores, es decir, completamente homogéneo y formado por granos esféricos, el porcentaje de «huecos» en una sección del acuífero, en el caso más favorable (el de un empaquetado cúbico) hemos calculado que no sería más que del 21,5 por 100 de la superficie total de la sección. En el caso de un empaquetado «compacto» (más estable y, por tanto, más probable que el empaquetado cúbico) la superficie de huecos de una sección así considerada no sería más que del 9,7 por 100.

Una rejilla ideal sería aquélla que mantuviera los granos del acuífero por medio de contactos puntuales; una rejilla así conservaría en el primero de los dos casos considerados anteriormente los 21,5 por 100 de huecos de la sección del terreno o los 9,7 por 100 del segundo caso, de manera que no habría ninguna obstrucción de la superficie de admisión del terreno por parte de la rejilla.

Ya se comprende, pues, que para el cálculo de la velocidad real del agua a la entrada de un pozo hay que considerar tanto la obstrucción de la superficie de admisión de la rejilla por parte del terreno como, viceversa, la obstrucción de la superficie de admisión del terreno por parte de la superficie ciega de la rejilla.

En la realidad es difícil saber cómo están empaquetados los granos de un terreno acuífero en cada caso particular, sobre todo cuando la granulo-

metría no es uniforme ni los granos esféricos; sin embargo, dentro de un plano teórico podemos sacar ya las conclusiones siguientes:

- 1.ª **La utilización de un valor de la superficie de admisión eficaz de una rejilla a 21,5 %, para el cálculo de la «velocidad real» del agua en su entrada a un pozo no parece teóricamente justificada, puesto que el terreno acuífero en su zona de contacto con la rejilla impone ya este límite.**
- 2.ª **La obstrucción de la superficie de admisión de una rejilla por parte del terreno es inversamente proporcional al tamaño de los granos.**

Es decir, cuanto mayor sea el tamaño de los granos en contacto con las ranuras menor será la obstrucción.

De aquí se desprende, pues, el interés en utilizar rejillas de ranuras muy finas, lo que exigirá, para una superficie de admisión determinada, un mayor número de ranuras y, por tanto, una distribución más homogénea de las superficies ciegas y huecas.

Cuando no se pueda reducir más el tamaño de las ranuras se puede recurrir a un aumento «artificial» del tamaño de los granos en contacto con la rejilla mediante su sustitución por un empaquetado de gravas.

Como conclusión final, señalamos el interés que existe en precisar los cálculos hechos sobre la velocidad de flujo del agua a su entrada en un pozo, si se quiere entrar en discusión sobre este tema.

#### 2.4 DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS QUE DEBIERAN TENER LOS POZOS CONSTRUIDOS EN LA FORMACIÓN DETRÍTICA DEL ACUIFERO DEL CUATERNARIO DE LAS CAPTACIONES DE TORRENT.

Se plantea aquí el problema práctico de la construcción de un pozo que estuviera situado en una zona próxima a las captaciones de Torrent, sobre la formación detrítica principal estudiada en el capítulo anterior.

Se trata, pues, de proyectar un pozo destinado a dar un rendimiento hidráulico lo más perfecto posible, conociendo ya de antemano el caudal máximo probable que podrá extraerse (consultar figura 2'.1), los parámetros hidrogeológicos  $K$  y  $S$ , y las dimensiones de la formación acuífera —presentados ya todos ellos en los correspondientes apartados del capítulo anterior.



En un caso así es obligado considerar detalladamente la profundidad de la obra y las dimensiones de la rejilla (diámetro, longitud y ranuras). Estos tres últimos parámetros tienen que ser considerados en función del caudal máximo que se prevee extraer y en función de la granulometría del terreno acuífero.

2.4.1 PROFUNDIDAD DE LAS OBRAS

La profundidad de las obras destinadas a la construcción de un pozo que desee obtener el caudal máximo permitido por el terreno acuífero debe alcanzar al menos la base de la formación detrítica, con objeto de poder aprovechar al máximo el espesor de la zona saturada.

En esta última perspectiva, en nuestro caso, sería conveniente profundizar las obras aproximadamente hasta un metro por debajo de la base de la formación detrítica y rellenar posteriormente el fondo de la obra con gravas finas hasta dicha base, lo que permitiría colocar la bomba lo más baja posible y evitar, a la vez, la succión de partículas finas procedentes de los limos arenosos que constituyen el zócalo de la formación detrítica (consultar figura 2'.4).

2.4.2 LONGITUD Y DIAMETRO DE LA REJILLA

2.4.2.1. Caso de un pozo que debiera obtener un caudal de 40 l/s.

Se ha considerado el caso concreto de un pozo proyectado para poder extraer un caudal del orden de 40 l/s., dado que este caudal representa aproximadamente en nuestro caso las posibilidades máximas para un pozo de perforación, tal y como se ha mostrado ya en el apartado 2.1 del presente capítulo.

Si se admite que 3 cm/s. es el valor óptimo para la velocidad del agua al atravesar una rejilla (consultar JOHNSON, 1967, p. 3) —y si se admite también que esta cifra corresponde a una velocidad real— en el caso de un pozo proyectado para 40 l/s. se podría establecer la ecuación siguiente:

$$S_e = \frac{Q}{V} = \frac{40.000 \text{ cm}^3/\text{s.}}{3 \text{ cm/s.}} = 13.333 \text{ cm}^2$$

es decir, que la superficie de admisión eficaz del pozo tendría que ser de unos 13.333 cm<sup>2</sup>.

Este valor puede ser obtenido por diferentes combinaciones del diámetro, de la longitud de la rejilla y del tipo de ranuración.

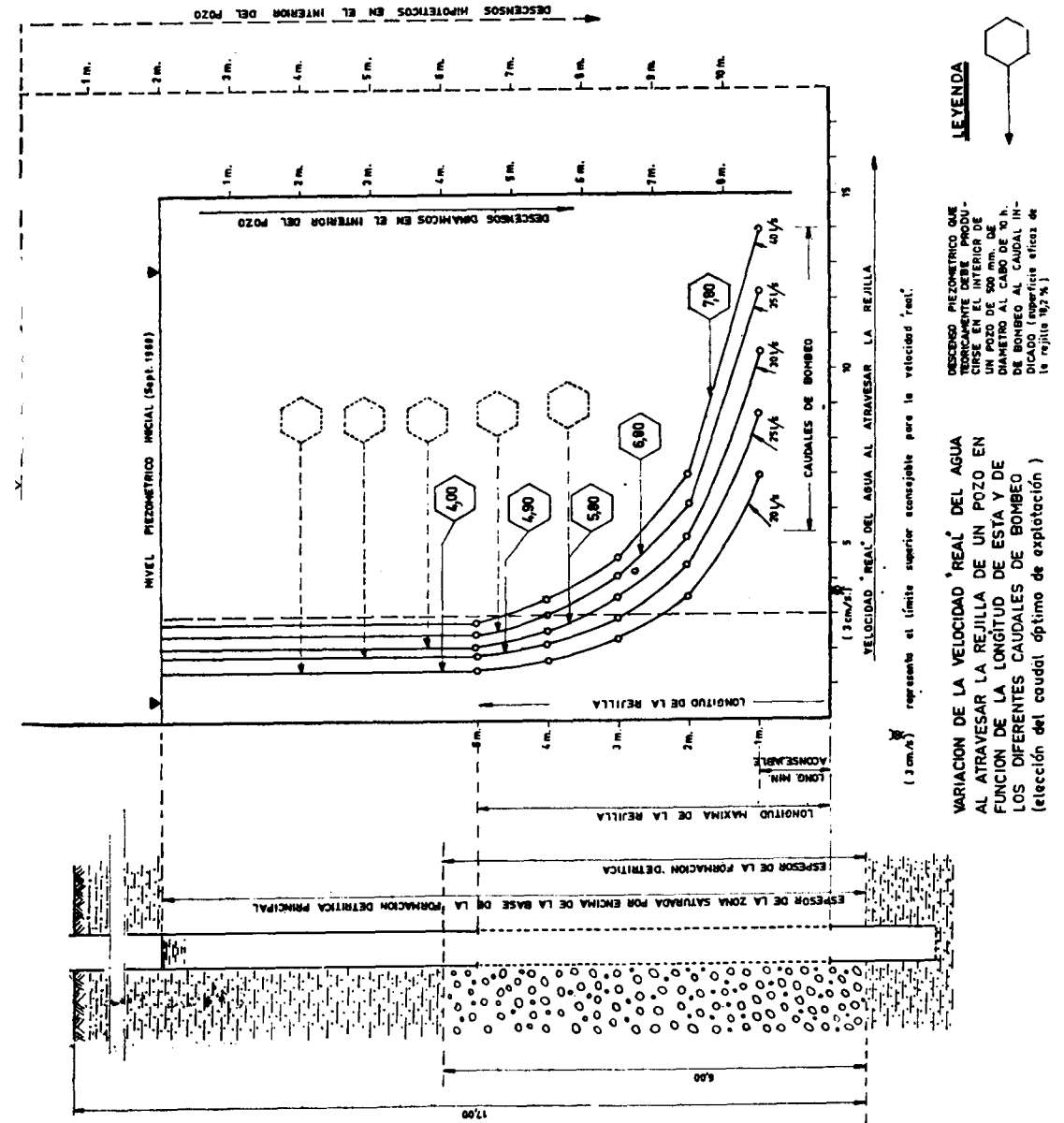


Figura 2'.4

En el caso que nos ocupa, teniendo en cuenta el espesor limitado de la formación detrítica, la longitud de la rejilla debe ser forzosamente inferior a 5 m.; pero, por otra parte, si se tiene en cuenta que al cabo de diez horas de bombeo al caudal de 40 l/s. el nivel del agua en el interior del pozo teóricamente habrá descendido ya 8 m., y si se tiene en cuenta, además, el espesor de zona saturada por encima de la base de la formación detrítica (10 m. en septiembre de 1968), se deduce que la longitud de la rejilla no convendrá que sea superior a 1,50 m.

En este caso, si se parte de una buena rejilla que tenga una superficie de admisión del 30 por 100, se puede establecer la siguiente ecuación:

$$2 \pi r \cdot 150 \text{ cm.} \cdot \frac{18,2}{100} = 13.333 \text{ cm}^2.$$

siendo:

$r$  = radio de la rejilla.

18,2 % = superficie eficaz de una rejilla que tuviera un 30 % de superficie de admisión total, cuya abertura de ranuras fuera la mitad del diámetro de los granos del acuífero (según lo explicado en el apartado 2.3 del presente capítulo)

de donde se deduce:

$$r = 77 \text{ cm.}$$

es decir, que el diámetro del pozo debería ser de 1,44 m., si no se quiere sobrepasar el límite de 3 cm/s.; dimensión que no sólo está fuera de las posibilidades de los métodos normales de perforación, sino que, además, exige una rejilla especialmente concebida para el caso. Por otro lado, al no tener la rejilla más que 1,5 m. de altura, la transmisibilidad del terreno acuífero en su contacto será muy inferior al valor de 500 m<sup>2</sup>/día, que corresponde a los 6 m. de espesor de la formación detrítica, con lo que los descensos teóricos mínimos calculados en la fig. 2'.1 deberán ser todavía mayores y, en suma, el caudal de 40 l/s. no se podría mantener como caudal de explotación.

#### 2.4.2.2 Caso de un pozo de 500 mm. de diámetro

Consideremos ahora el caso de un pozo de 0,5 m. de diámetro, que pretendiera también obtener un caudal de 40 l/s.

Para el mismo tipo de rejilla que el caso anterior, la velocidad del agua al atravesar el sistema «terreno-rejilla» sería:

$$V = \frac{Q}{S_e} = \frac{40.000 \text{ cm}^3/\text{a}}{2 \pi \cdot 25 \text{ cm} \cdot 150 \text{ cm}} \cdot \frac{100}{18,2} = 9 \text{ cm/s.}$$

Se trataría, pues, de una velocidad en principio demasiado elevada, que acarrearía probablemente pérdidas de carga hidráulica muy considerables, que impedirían obtener el caudal deseado de 40 l/s.

En los gráficos de la figura 2'.4 se ha representado la variación de la velocidad de flujo del agua al atravesar el sistema «terreno-rejilla» en un pozo de 0,5 m. de diámetro, en función de las diferentes longitudes de rejilla y en función de los diferentes caudales de bombeo. En nuestros cálculos se ha considerado siempre la misma rejilla de los casos anteriores, es decir, de 30 por 100 de superficie de admisión total y 18,2 por 100 de superficie de admisión eficaz.

De los gráficos de la figura 2'.1 se desprende que para caudales de bombeo de 20 l/s., 25 l/s., 30 l/s., 35 l/s. y 40 l/s., los descensos mínimos exigidos en el interior del pozo al cabo de 10 horas de bombeo teóricamente serían del orden de: 4,0 m., 4,9 m., 5,8 m., 6,8 m. y 7,8 m., respectivamente. Ahora bien, al llevar estas cifras sobre los gráficos de la figura 2'.4, se deduce que las velocidades mínimas del agua al atravesar la rejilla son, respectivamente: 1,4 cm/s., 2,0 cm/s., 2,9 cm/s., 4,6 cm/s. y 9 cm/s. (resultados obtenidos naturalmente partiendo de la situación del nivel piezométrico «estático» en la zona de las captaciones en septiembre de 1968; en ese momento el espesor de la zona saturada por encima de la base de la formación detrítica era de 10 m., es decir, 7 m. por debajo del suelo).

Se puede afirmar —estudiando comparativamente los gráficos de las figuras 2'.1 y 2'.4— que **únicamente los caudales inferiores a 30 l/s. exigirán velocidades en la rejilla no superiores a 3 cm/s.**; esto, repetimos, para la posición del nivel piezométrico estático situado a 7 m. por debajo del suelo.

El acuífero en cuestión está siendo sobreexplotado y los niveles piezométricos fluctúan año tras año entre límites cada vez más bajos (consultar MARTINEZ GIL, 1968, pp. 78 a 86). Sin embargo, si por efecto de una disminución de las extracciones, o como consecuencia de un año extraordinariamente húmedo, el nivel piezométrico general del acuífero ascendiera muy sensiblemente, los gráficos de la figura 2'.4 serían igualmente válidos; únicamente habría que desplazar hacia arriba los hexágonos de trazo continuo, que indican la posición que alcanzaría el agua en el interior

del pozo al cabo de 10 horas de bombeo ininterrumpido, con lo que el «caudal crítico» (definido por una velocidad real del agua de 3 cm/s.) al atravesar la rejilla será superior. Así, por ejemplo, si la posición estática del nivel piezométrico viniera a situarse en la zona de las captaciones a 5 m. por debajo del suelo, el caudal crítico para el pozo en cuestión en vez de ser 30 l/s. sería de 40 l/s., tal y como se muestra en la figura 2'4.

Los gráficos de dicha figura tienen en sí un considerable interés práctico, puesto que permiten elegir la longitud de rejilla más conveniente para no sobrepasar el límite de 3 cm/s., en función del caudal previsto y de la posición probable del nivel del agua en el interior del pozo al cabo de una jornada de diez horas de bombeo ininterrumpido.

Se deduce finalmente que, teniendo en cuenta el descenso general observado en el nivel piezométrico del acuífero desde el comienzo de las explotaciones en las captaciones de Torrent, los pozos proyectados para pequeños caudales podrán ser utilizados en condiciones hidráulicamente convenientes durante más tiempo que los pozos del mismo diámetro proyectados para fuertes caudales. Es decir, que, por ejemplo, dos pozos proyectados para obtener un caudal de 15 l/s. cada uno, podrán ser utilizados durante más tiempo a pleno rendimiento que un solo pozo del mismo diámetro proyectado para extraer 30 l/s., puesto que en éste la parte superior de la rejilla quedará expuesta «al aire» mucho antes que en aquéllos.

### 2.4.3 ABERTURA DE LAS RANURAS DE LA REJILLA

Siendo el objeto principal de la rejilla mantener las paredes de los pozos permitiendo al mismo tiempo un bombeo de agua libre de partículas finas, ya se comprende que la **abertura de las ranuras deberá ser elegida en función de la granulometría del terreno.**

Salvo en los casos de terrenos muy homogéneos, siempre es recomendable hacer un desarrollo del terreno acuífero próximo a los pozos con objeto de mejorar la permeabilidad de la zona próxima a la rejilla, reduciendo de este modo las pérdidas de carga « $h_2$ » (consultar el apartado 2.2 y la figura 2'2).

En las operaciones de desarrollo la apertura de las ranuras juega también un papel muy importante. Las rejillas de gran diámetro raramente tienen una apertura de ranura inferior a un mm., y, por otra parte, por razones económicas, la mayor parte de los constructores de pozos de nuestro país se ven obligados a fabricarse ellos mismos sus rejillas utilizando sopletes o taladros. Esta producción «artesanal» raramente permite una apertura

de ranura inferior a 2 mm. (1) y una superficie de admisión total superior al 15 por 100.

Ya se comprende que en los casos en los que el terreno acuífero sea muy heterogéneo, con un índice de finura ( $d_{50}$ ) muy bajo, se plantearán problemas: en primer lugar, para asegurar un fuerte caudal de agua limpia y, en segundo lugar, para conseguir un buen desarrollo de los pozos.

Este último es, pues, el caso que nos ocupa. En efecto, la curva granulométrica de la figura 1'4 tiene un grado de uniformidad igual a 100, y un índice de finura de 1,12 mm. En casos como éste es obligado a recurrir al emplazamiento de un empaquetado de gravas alrededor de la rejilla **de manera que los pequeños poros que forman entre sí los granos del empaquetado puedan retener las partículas finas del terreno acuífero que la rejilla no puede detener, jugando así el papel de una rejilla «artificial» de abertura de ranura tan pequeña como se desee.**

### 2.4.4 EL EMPAQUETADO DE GRAVAS

#### 2.4.4.1. Características granulométricas

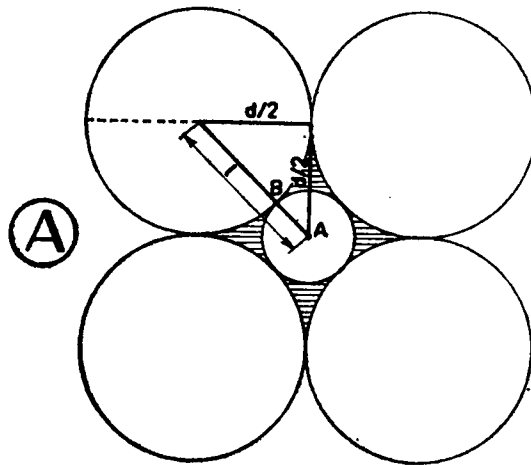
Hemos calculado (consultar figura 2'5A que en el caso de un empaquetado cúbico de granos esféricos los espacios libres que quedan entre los granos (los poros) no permiten el paso de las partículas de diámetro superior a:  $(\sqrt{2} - 1)d$ , es decir, aproximadamente, superiores a  $0,4d$ , siendo  $d$  el diámetro de los granos del empaquetado. En el caso de un empaquetado «compacto» (consultar figura 2'5 B), este valor es igual a:  $(2/3 \sqrt{3} - 1) d$ , es decir, aproximadamente  $0,15 d$ .

Existen diferencias de criterio entre los principales constructores de pozos y de rejillas en lo que respecta a las características granulométricas y a las dimensiones del empaquetado de gravas. Hay aquellos que preconizan la utilización de un solo anillo (capa de gravas alrededor de la rejilla) de granulometría tal que las partículas superiores al valor de la abscisa correspondiente al 40 por 100 —o incluso al 50 por 100— de la curva granulométrica de «retenidos» sean retenidas. Este es el caso, por ejemplo, de JOHNSON (consultar JOHNSON, 1966, p. 190).

Por el contrario, otros constructores preconizan la utilización de uno, dos e incluso tres anillos de gravas de granulometría diferente, de manera a obtener un porcentaje de retención en el terreno acuífero muy diferente del anterior. Este es el caso, por ejemplo, de NOLD (consultar NOLD, 1962).

(1) Generalmente suele ser de 3 a 5 mm.

CALCULO DEL TAMAÑO DEL PORO  
EN UN EMPAQUETADO DE GRANOS  
ESFERICOS DE TAMAÑO HOMOGE-  
NEO (DE MARTINEZ GIL 1968)

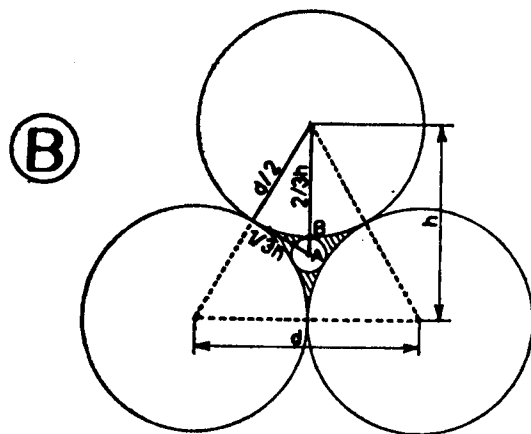


$$l = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{d}{\sqrt{2}}$$

$$AB = l - d/2 = \frac{d}{\sqrt{2}} - \frac{d}{2}$$

$$AB = d \left( \frac{2 - \sqrt{2}}{2\sqrt{2}} \right) \approx 0,20d$$

$$2AB \approx 0,40d$$



$$h = \sqrt{d^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{d}{2} \sqrt{3}$$

$$AB = \frac{2h}{3} - d/2 = \frac{2}{3} \frac{d}{2} \sqrt{3} - \frac{d}{2} = d \left( \frac{\sqrt{3}}{3} - \frac{1}{2} \right)$$

$$2AB = d \left( \frac{2\sqrt{3}}{3} - 1 \right)$$

$$2AB \approx 0,15d$$

Figura 2'.5

Nuestra opinión al respecto es que cada tipo de empaquetado responde a exigencias diferentes: sea del caudal que se quiere bombear, sea de los parámetros de las rejillas de que se dispone, sea de la granulometría del terreno acuífero, sea de los problemas técnicos que podría provocar un desarrollo excesivo del pozo (p. e., hundimientos, inclinación de los pozos, etc.), etc...

En el caso que nos ocupa —en el que la granulometría del terreno es bastante fina y heterogénea y las rejillas de que normalmente puede disponerse no poseen una superficie de admisión superior al 20 por 100, y en las que además la abertura de las ranuras raramente es inferior a 2 ó a 3 mm.—se comprende que será necesaria, en primer lugar, la colocación de un empaquetado de gravas si se quiere evitar la colmatación progresiva de los pozos por causa de caudales de bombeo elevados (como es nuestro caso).

En segundo lugar, si se quieren eliminar del terreno acuífero las partículas finas de diámetro inferior por ejemplo al  $d_{50}$  (1,12 mm.) —reteniendo el 50 por 100 restante— será necesario que el diámetro de los granos homogéneos de las gravas del empaquetado sea tal que:

$$(2/3 \sqrt{3} - 1) d = 1,12 \text{ mm.};$$

de donde:

$$d = 7,4 \text{ mm.}$$

#### 2.4.4.2 Espesor del empaquetado

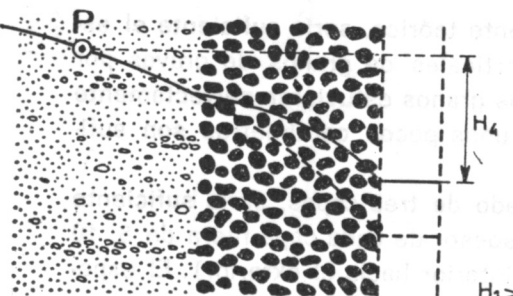
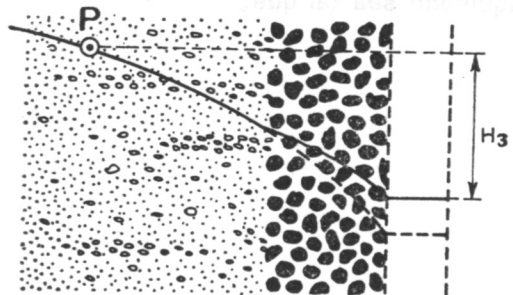
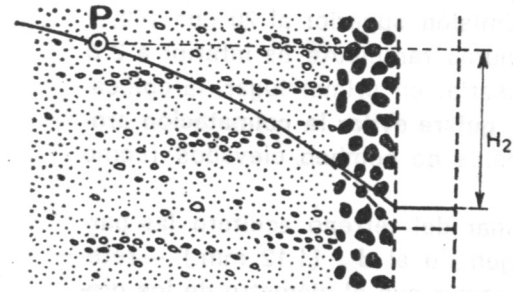
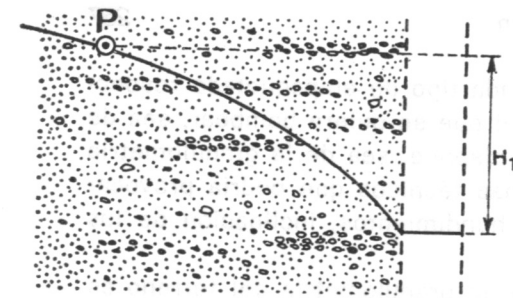
Desde un punto de vista completamente teórico, sería suficiente el espesor correspondiente a tres capas verticales de granos de gravas por cada anillo o capa, a condición de que los granos estuvieran perfectamente colocados. En la práctica, se sabe que unos pocos centímetros son suficientes.

En nuestro caso, para un empaquetado de tres capas, sería suficiente (según NOLD, 1962, p. 19) con que el espesor de cada capa fuera de 6, 10 y 12 cm. sucesivamente (partiendo del interior hacia el exterior). El espesor total sería, pues, de 28 cm.

Según JOHNSON (1967) el espesor del empaquetado debe variar entre 6 cm., como mínimo, y unos 20 cm. como máximo.

Desde un punto de vista teórico, sin embargo, el espesor del empaquetado es únicamente función del grado de uniformidad y de la talla de sus granos. Es evidente que para un mismo espesor de empaquetado habrá

ESQUEMA MOSTRANDO LA INDEPENDENCIA ENTRE LA VELOCIDAD DE FLUJO DEL AGUA EN EL TERRENO ACUIFERO Y EL ESPESOR DEL EMPAQUETADO DE GRAVAS  
(MARTINEZ GIL 1968)



LA VELOCIDAD DE FLUJO EN P ES EN LOS 4 CASOS LA MISMA.

$$V_p = K_t \times I_p$$

$K_t$  = PERMEABILIDAD DEL TERRENO ACUIFERO

$I_p$  = GRADIENTE HIDRAULICO EN P

$K_g$  = PERMEABILIDAD DEL EMPAQUETADO

$$K_t < K_g$$

$H_1 > H_2 > H_3 > H_4$

LEYENDA


 EMPAQUETADO ARTIFICIAL DE GRAVAS

Figura 2'.6

tantas más capas verticales de granos cuanto más pequeña sea la talla de éstos.

Frecuentemente se cree que el espesor del empaquetado limita la eficacia de las operaciones de desarrollo y que, por tanto, interesa siempre hacer los empaquetados lo más delgados posible.

Sin embargo, desde un punto de vista estrictamente teórico, debemos precisar que para unas condiciones hidrogeológicas constantes el único factor que actúa sobre una partícula del terreno que se quiere: sea atraer hacia el interior del pozo, sea rechazar hacia zonas más alejadas de éste, es la velocidad del agua en el lugar donde se encuentra emplazada la partícula considerada.

En primera aproximación —en régimen laminar y para un caudal fijo— se puede considerar que la velocidad del agua en un punto del acuífero es únicamente función de la sección de flujo, es decir:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{2 \pi \cdot r \cdot h} = \frac{\text{constante}}{r \cdot h}$$

En el caso de acuíferos cautivos, teniendo en cuenta que  $h$  es constante, la velocidad del agua en un punto cualquiera del acuífero no es función más que de  $r$  (distancia al eje del pozo). En el caso de acuíferos libres,  $h$  no es constante, sino que varía parabólicamente con la distancia  $r$  en función de la permeabilidad del terreno. En este último caso la velocidad del agua en un punto cualquiera, situado a una distancia  $r$ , no es función más que de la permeabilidad de la sección cilíndrica en la que se encuentra la partícula considerada. **Por tanto, el espesor del empaquetado no condiciona la velocidad del agua en el terreno acuífero** (consultar figura 2'.6).

En la práctica, el espesor conveniente puede considerarse comprendido entre 10 y 20 cm., según el grado de uniformidad y el tamaño de los granos del empaquetado.

**RESUMEN**  
**Y**  
**CONCLUSIONES MAS IMPORTANTES**

## CONCLUSIONES MAS IMPORTANTES DE LA PRIMERA PARTE DEL ESTUDIO

### 1. DEMANDAS DE AGUA

El **abastecimiento** correcto de agua potable a los núcleos costeros de la región aquí estudiada, aunque en la actualidad no puede ser considerado como deficitario, plantea ya en todos ellos serias inquietudes de cara a un futuro próximo. Del abastecimiento correcto durante la época estival depende la continuidad del importante auge turístico que viene experimentando la región, en la que se ubica una gran parte de las más famosas playas de la Costa Brava. Las demandas domiciliarias actuales durante la época estival (julio-agosto), de fuerte consumo, han sido estimadas en este estudio en 13.000 m<sup>3</sup>/día para el conjunto de los seis municipios costeros afectados (Palamós, Palafrugell, Bagur, Pals, Torroella de Montgrí-L'Estacit, L'Escala). En un futuro próximo (aproximadamente a lo largo del quinquenio 1975-1980), hemos estimado que estas mismas demandas podrán ser del orden de 17.500 m<sup>3</sup>/día (1).

La puesta en marcha del potencial **agrícola** de la región (que tiene posibilidades para más de 13.000 ha. de regadío) podrá suponer unas demandas anuales del orden de 115 hm<sup>3</sup>, de los que un 85 por 100 (aproximadamente 100 hm<sup>3</sup>) serán requeridos durante el período de los cuatro meses de mayo a agosto. Estas demandas exigirán unas disponibilidades de caudales constantes durante dicho período, comprendidas entre 8 m<sup>3</sup>/s. (mayo) y 11 m<sup>3</sup>/s. (agosto).

---

(1) Nos referimos siempre a consumos domiciliarios. Las disponibilidades requeridas en la red de distribución para atender tales demandas serán, sin duda, bastante superiores. Si aplicamos al respecto los resultados de una interesante encuesta realizada por el Centro de Estudios de Investigación y Aplicaciones del Agua entre numerosas empresas privadas y servicios municipales proveedores de agua para abastecimientos a poblaciones, en la que los consumos domiciliarios no suponen más que el 57 por 100 del total del agua puesta en la red de distribución, obtenemos la cifra de 30.700 m<sup>3</sup>/día.



Las necesidades de las pequeñas **industrias** (actuales y futuras) pueden considerarse incluidas dentro de los cálculos presentados para las necesidades de abastecimiento de agua potable a poblaciones. Sin embargo, hay que considerar que la región está capacitada para recibir importantes complejos industriales que requieran elevados consumos de agua.

Así, pues, el conjunto de las posibles **necesidades futuras** de la región ha sido estimado en este estudio en unos 125 hm<sup>3</sup>/año (117 hm<sup>3</sup> para los regadíos y 8 hm<sup>3</sup>, aproximadamente, para los abastecimientos a poblaciones y a pequeñas industrias). No están incluidos en esta cifra los consumos de los importantes complejos industriales que en su día pudieran venir a establecerse en la región.

Los cuadros I y II muestran cuáles pueden llegar a ser las demandas futuras en el conjunto de la cuenca del Ter, aguas abajo de los embalses reguladores de Sau y Susqueda.

**C U A D R O I**  
DEMANDAS ANUALES

Nuevo Abastecimiento Barcelona ... ..	250 Hm <sup>3</sup>
Abastecimiento de Gerona y parte de la Costa Brava ... ..	50 »
Regadíos entre El Pasteral y Colomers ... ..	25 »
Regadíos en nuestra región ... ..	117 »
Abastecimiento de aguas potables a nuestra región ... ..	8 »
<b>TOTAL</b> ... ..	<b>450 Hm<sup>3</sup></b>

**C U A D R O II**  
DEMANDAS DURANTE LA TEMPORADA DE MAYOR CONSUMO  
(Mayo-agosto, incluidos)

Nuevo Abastecimiento Barcelona ... ..	83 Hm <sup>3</sup>
Abastecimiento de Gerona y parte de la Costa Brava ... ..	18 »
Regadíos entre El Pasteral y Colomers ... ..	22 »
Regadíos en nuestra región ... ..	98 »
Abastecimiento de aguas potables a nuestra región ... ..	4 »
<b>TOTAL</b> ... ..	<b>225 Hm<sup>3</sup></b>

## 2. PRINCIPALES CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LA REGION

Desde el punto de vista hidrogeológico, el reconocimiento geológico realizado en este estudio permite considerar los terrenos cuaternarios fan-

goarenosos de origen deltaico como el **gran acuífero** del Ampurdán que permite la explotación de la mayor parte de los recursos subterráneos de la región, así como probablemente también la mayor parte de sus reservas subterráneas totales.

El interés hidrogeológico que ofrecen las formaciones precuaternarias creemos que es prácticamente nulo, salvo en lo que respecta a las formaciones calcáreas eocenas del Tramo Calcáreo, que se encuentra inmediatamente encima del tramo Rojo de **Vidalina gerundensis**. Este nivel calcáreo probablemente podrá llegar a jugar en un futuro un papel muy importante en la explotación hidráulica subterránea de la región; en este sentido, su zona de interés queda limitada a una franja adosada al borde septentrional de los macizos de Bagur y Las Gabarras. Quizá convenga también destacar aquí dentro de las formaciones precuaternarias —aunque en un plano ya más secundario— los probables niveles detríticos del Neógeno, hoy día todavía ignorados, que ofrecen un campo abierto a la prospección.

En las figuras 3, 4 y 5 del anexo I se dan las directrices generales para un posible programa futuro de prospección destinado a investigar las características hidrogeológicas de los diferentes terrenos presentes en la región.

## 3. RECURSOS HIDRAULICOS DE LA REGION

El cálculo de los recursos hidráulicos de una región constituye un problema, a la vez que importante, delicado; su planteamiento debe ser hecho en unos términos bastante más precisos de lo que generalmente acostumbra a hacerse, dentro de unos **condicionados concretos**, restringidos a situaciones reales (actuales o programadas para el futuro). El problema es realmente complejo, porque aparte de los recursos que podríamos llamar «de primera mano» —de definición más o menos compleja debido al gran número de factores que los determinan— existen los incalculables recursos de «segundas», «terceras»..., etc., manos; es decir, existe un porcentaje de los recursos de «primera mano» que en función de una serie de factores (calidad química, planificación de los usos, rentabilidad económica, etc.) puede ser sucesivamente reutilizado antes de abandonar definitivamente la cuenca o la región consideradas, o antes de quedar definitivamente irreutilizable. Sin embargo, es éste un problema que, aunque **fundamental** cuando de sacar unas cifras y apoyar en ellas unas conclusiones importantes se trata, desborda desde luego las posibilidades de los medios de trabajo y de información de que en este estudio se han dis-

puesto, por entrar ya de lleno en el campo de lo económico, técnico, social, político, etc., trascendiendo del campo de la **Hidrogeología** para entrar en otros dominios en los que ésta pasa a ocupar un puesto secundario. Se trata, pues, en nuestra opinión, de un problema que debe ser abordado por diferentes técnicos representantes del campo demográfico, industrial, agronómico, económico, social, político, etc. de la Administración de un país, en auténtica colaboración, realizada mediante **verdaderos** equipos de trabajo. Esta colaboración en auténticos equipos es **imprescindible** cuando de hacer algo realmente serio se trata; de lo contrario, el tiempo y dinero empleados en este tipo de grandes estudios regionales, aunque no totalmente estéril, serán —considerados a largo plazo— de un rendimiento extraordinariamente pobre.

Sin embargo, es imperativo para nosotros presentar hoy aquí ciertas consideraciones futuristas en cuanto a demandas y recursos se refiere, dar algunas cifras y ofrecer, al mismo tiempo, las soluciones más plausibles de cara a ese posible futuro; por ello, las conclusiones que de aquí salgan deberán ser aceptadas con las consiguientes reservas que el tratamiento demasiado simplista del problema y la falta de datos referentes a situaciones futuras reales implican.

### 3.1 LOS RECURSOS HIDRAULICOS TOTALES BRUTOS

En las posibles condiciones futuras que en la Memoria se fijan, y de acuerdo con las definiciones allí dadas, se há calculado en este estudio que los recursos hidráulicos totales brutos de la región podrán ser del orden de 480 hm<sup>3</sup>/año (independientemente del programa de regulación que del río Ter pueda seguirse en los embalses de Sau y Susqueda), repartidos de la siguiente manera:

- 425 hm<sup>3</sup>/año, procedentes de las entradas superficiales, vía Ter (1),
- 10 hm<sup>3</sup>/año, procedentes de las entradas subterráneas,
- 25 hm<sup>3</sup>/año, procedentes de las infiltraciones profundas de las lluvias de la región que alcanzan sus acuíferos,
- 20 hm<sup>3</sup>/año, procedentes de las infiltraciones poco profundas y escorrentías directas de la región que contribuyen a alimentar los cauces de sus ríos y canales.

Esta cifra de 480 hm<sup>3</sup>/año se refiere únicamente a los que hemos llamado «recursos de primera mano».

(1) Consultar la nota (1) al pie de la página 278.

### 3.2 LOS RECURSOS HIDRAULICOS TOTALES EXPLOTABLES

Diversos factores técnicos y económicos marcan en la práctica un límite en el aprovechamiento de lo que se ha definido como recursos hidráulicos totales brutos. En este sentido, teniendo en cuenta las condiciones hidrológicas, hidrogeológicas y de demanda de la región, hemos estimado que el aprovechamiento bajo control, con garantía de servicio al menos del orden del 90 por 100, podría ascender a unos 175 hm<sup>3</sup>/año (aproximadamente) sin necesidad de recurrir a procedimientos de explotación exhaustivos ni a reutilizaciones de las aguas usadas.

### 3.3 LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS

La parte de los recursos hidráulicos totales explotables de una región que, de acuerdo con un plan de explotación hidráulica regional claramente definido, debe ser aprovechada por vía subterránea, es la que se ha definido en la Memoria como recursos hidráulicos subterráneos. Se trata de un concepto que considerado aisladamente, sin tener en cuenta la planificación de la explotación hidráulica general de toda la región, no tiene —en nuestra opinión— un sentido real.

Dentro de las limitaciones que impone la falta de datos concretos (puesto que actualmente no existe una planificación de la explotación hidráulica del río Ter) se ha estimado en este estudio que de los 175 hm<sup>3</sup>/año que suponen (aproximadamente) los recursos hidráulicos totales explotables de la región, un volumen mínimo comprendido entre 50 y 75 hm<sup>3</sup>/año sería susceptible de ser aprovechado por la vía subterránea sin riesgo de producir ninguna sobreexplotación ni desequilibrio hidráulico importante en el conjunto de la región. El aprovechamiento subterráneo de estos volúmenes requerirá, naturalmente, un sistema de captación adecuado y un programa de explotación racionalmente planificado.

### 3.4 LAS RESERVAS SUBTERRANEAS

El volumen de agua libre actualmente «almacenada» en los terrenos cuaternarios deltaicos que constituyen el gran embalse subterráneo de la región puede ser estimado entre 300 y 1.200 hm<sup>3</sup>, y las reservas subterráneas explotables pueden ser estimadas entre 150 y 650 hm<sup>3</sup>, según que la

porosidad eficaz de los terrenos considerados en nuestro modelo de cálculo esté comprendida entre un 10 y un 40 por 100.

#### 4. PANORAMA FUTURO

El problema concreto que podrá tener planteado, dentro de un posible futuro relativamente próximo, la región aquí estudiada —y en general toda la cuenta del Ter— si desde ahora se desea desarrollar su potencial agrícola, industrial y turístico, es la prácticamente imposibilidad de atender desahogadamente (es decir, con suficiente garantía) al conjunto de necesidades que en ese momento pueda tener planteada la cuenca. La raíz de este supuesto problema futuro no está en una aportación insuficiente del conjunto de la cuenca frente a un elevado volumen de demandas (1); el problema radica en la **insuficiente capacidad de regulación superficial** actual frente a un volumen de demandas que, aunque no supondrá más del 65 por 100 de la aportación anual media de la cuenca, en su 40 por 100 serán requeridas durante una época relativamente reducida del año (de mayo a septiembre) (2) y en el 60 por 100 restante requerirán una garantía de servicio prácticamente total, durante el resto del año (3).

#### 5. POSIBLES SOLUCIONES AL PROBLEMA PLANTEADO

El atender debidamente al conjunto de posibles necesidades futuras de la cuenca del Ter requerirá, según nuestra opinión, una de las tres soluciones probables siguientes:

- a) Construcción de nuevas presas en las principales subcuencas, con objeto de aumentar la actual capacidad de regulación superficial de la cuenca del Ter.

(1) La aportación natural media de la cuenca del Ter a su entrada en nuestra región es del orden de 750 Hm<sup>3</sup>. El conjunto de consumos y derivaciones, aguas arriba de la región, no se prevé que en un futuro próximo pueda llegar a ser superior a 325 Hm<sup>3</sup>/año, con lo que las aportaciones del Ter a la región aquí considerada serán, como mínimo, del orden de 425 Hm<sup>3</sup>/año. Por otra parte, el conjunto de las posibles necesidades próximas futuras de la región, no parece probable que en un plazo inferior a una o dos décadas llegue a ser superior a 150 Hm<sup>3</sup>/año (115 Hm<sup>3</sup> para el riego de todo su potencial agrícola transformable en regadío, 10 Hm<sup>3</sup> para el abastecimiento del conjunto de pueblos, y 25 Hm<sup>3</sup> para los posibles complejos industriales cuyo fuerte consumo no pueda considerarse incluido en los 10 Hm<sup>3</sup> del abastecimiento a poblaciones).

(2) Lo que supone un caudal mínimo de 25 m<sup>3</sup>/s.

(3) Lo que supone un caudal mínimo de 10 m<sup>3</sup>/s.

- b) Utilización planificada de los acuíferos aluviales y deltaicos del Ter y, quizá también, el (o los) de las calizas eocenas.
- c) Solución mixta de las dos anteriores.

Si la segunda solución pudiera llegar a ser factible, es evidente que sería la más racional y económica de las tres. A este respecto opinamos aquí que, posiblemente, mediante una serie de captaciones de tipo **pozo radial**, que afectasen fundamentalmente a los **acuíferos aluviales cuaternarios libres**, emplazadas en sectores juiciosamente estudiados y escogidos a lo largo de toda la zona que va desde El Pasteral hasta el mar, podría llegar a extraerse un porcentaje muy elevado de las futuras demandas de la cuenca. Estas captaciones tendrían que ser emplazadas en zonas donde no solamente fuera posible alumbrar los caudales requeridos, sino donde, además, las fuertes extracciones producidas durante la época de mayor consumo (de mayo a septiembre) pudieran ser restituidas a los acuíferos a partir de los volúmenes no regulables que llevaría el Ter durante la mayor parte del año, no utilizando para ello más que los procesos «naturales» de recarga, tales como la derivación durante la época de septiembre a mayo de la mayor parte posible de los caudales no regulables que llevaría el Ter, utilizando para ello la red existente de canales y acequias no revestidos que, a lo largo de varios kilómetros, surcan las formaciones aluviales libres, o la facilitación de una recarga más intensa de los acuíferos mediante pequeños azudes de elevación del nivel del agua en el río.

Además de los acuíferos cuaternarios aluviales libres está el **gran acuífero deltaico confinado**, que suponemos se extiende por debajo de una buena parte de la región, y el **acuífero de las calizas eocenas**; ambos pueden llegar a jugar también un papel muy importante en la regulación subterránea de los aproximadamente 300 hm<sup>3</sup> anuales que ahora discurren por el cauce del Ter sin posibilidad de regulación superficial con las posibilidades del sistema hidráulico actual.

Esta magnífica perspectiva, que parece que ofrecen los acuíferos de la región y los acuíferos aluviales de la parte media de la cuenca, necesita para su confirmación de un estudio hidrogeológico detallado, **de carácter fundamentalmente experimental**, basado en una minuciosa campaña de prospección, experimentación, observación y control.

#### 6. NECESIDAD DE ENFOCAR Y DE REALIZAR LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS REGIONALES CON CRITERIO ABIERTO Y SENTIDO PRACTICO

Queremos señalar aquí, como conclusión final de carácter general, que, en nuestra opinión, los estudios hidrológico-hidrogeológicos regionales de-

ben ser concebidos como base de otros proyectos de expansión y desarrollo demográfico, industrial, agrícola y, en definitiva, social. En este sentido creemos que deben ser siempre realizados **coordinadamente** por los diferentes organismos de la Administración de un país, en los que estén representados —al nivel que les corresponda por su competencia profesional y responsabilidad (tanto sobre la finalidad última de este tipo de estudios como sobre sus sucesivas etapas)— los diferentes científicos y técnicos de todos los campos interesados y afectados.

Probablemente, uno de los mejores caminos para llegar a conseguir esta coordinación entre los diferentes organismos de la Administración de un país interesado por las cuestiones del agua, sea a través de la creación de un **Organismo centralizador** que dirija la investigación, prospección, explotación y coordinación de los grandes estudios hidrológico-hidrogeológicos. Sin embargo, **tan importante** como esto creemos que es el que en dicho organismo centralizador tengan auténtica cabida y oportunidad de desarrollar su capacidad los diferentes científicos y técnicos interesados y formados en las cuestiones de prospección, explotación, utilización y protección de las aguas, que atañen, ya sea a la finalidad última de este tipo de estudios (político-económico-social), ya sea a la dirección y realización de cada una de sus diferentes etapas (prospección, alumbramiento, distribución, etc.). Es lógico que un organismo de este tipo funcione así porque, entre otras razones de más peso quizá, está el hecho de que en la hidrogeología confluyen cada vez ramas más diferentes y numerosas del saber, que van desde la Geología y la Química, pasando por la Física y la Matemática, hasta la Ingeniería Agrícola, la Ingeniería de la Construcción, la Economía y la Política, que requieren una **verdadera** colaboración (abierta y auténtica), cada vez más intensa, entre los científicos y técnicos de los diferentes campos que en ella confluyen.

El resultado de una acción así, **coordinada**, no solamente evitará la duplicación de los estudios y la multiplicación de los esfuerzos que frecuentemente observamos, sino que además repercutirá muy sensiblemente en la **eficacia** de los mismos y en su coste **económico**.

El sentido eminentemente **práctico y social** que debe guiar la realización de estos estudios es fundamental y debe ser exigido por encima de todo afán de sensacionalismos o seudocientifismos. Este sentido práctico supondrá siempre un ahorro considerable de tiempo y una verdadera **eficacia** de este tipo de estudios.

## CONCLUSIONES MAS IMPORTANTES DE LA SEGUNDA PARTE DEL ESTUDIO

**PRIMERA:** Una vez calculados los parámetros geométricos, granulométricos e hidrogeológicos y las condiciones hidrodinámicas naturales del acuífero detrítico cuaternario, semiconfinado, de la cuenca de la riera Grossa de Pals, puede decirse que, al menos en un plano teórico, no parece probable que se puedan llegar a obtener caudales permanentes de explotación superiores a 30 l/s. mediante una sola obra de captación del tipo «pozo de perforación», es decir, de un diámetro comprendido entre 400 y 600 mm.

**SEGUNDA:** En la mayor parte de los casos, en el cálculo de la velocidad real del agua al atravesar una rejilla, no parece justificada la utilización (en el caso de acuíferos porosos) de un índice de superficie de admisión superior al 21,5 por 100, a pesar de que las rejillas utilizadas puedan tener índices de superficie de admisión considerablemente más elevados; esto es debido a la limitación misma que impone la sección porosa del acuífero poroso que se encuentra en contacto con la rejilla. Probablemente, en la mayoría de los casos, el índice de superficie hueca del sistema acuífero-rejilla es considerablemente menor que dicha cifra.

## BIBLIOGRAFIA

- ASAHUER-TEICHMULLER (1935): *Origen y desarrollo de las cordilleras variscas y alpidicas de Cataluña*. (Traduc. de J. M.º Ríos.) Publ. Extr. Geol. Esp.; t. III, pp. 7-102 (48 figs. de cortes y esquemas, y láminas plegadas con mapas y cortes). Madrid, 1946.
- BENITEZ, A. (1963): *Captación de aguas subterráneas*. Ed. Dossat, 1 vol. 157 pp. Madrid, 1963.
- BENITO, F. (1942): *Aprovechamiento de las cuencas hidráulicas subterráneas*. Min. y Metalurg., núm. 16, pp. 4-7. Madrid, 1942.
- (1943): *Necesidad del estudio sistemático del conjunto de las cuencas hidrológicas subterráneas*. Bol. Inst. Geol. Min. Esp. T. LVI, pp. 601-641, 7 figs. Madrid, 1943.
- BENITO, F., y GIMENEZ (1947): *Máximo aprovechamiento de las cuencas hidráulicas subterráneas* (conferencia pronunciada el día 2 de febrero en el local de la Asociación de Ing. de Minas de España). Min. y Metalurg., núm. 73, pp. 18-25, 4 figuras. Madrid, 1947.
- BREMOND, R. (1965): *Contribution à l'interprétation des mesures de débit et de rabattement dans les nappes souterraines*. Ed. Gauthier-Villars, 1 vols. 118 pp. París, 1965.
- CARANDELL, J. (1942-1945): *El Bajo Ampurdán: Ensayo Geográfico*. Bol. Univ. Granada, núms. 71 (pp. 375-424), 74 (pp. 453-557) y 80 (pp. 423-441). Granada.
- CASTANY, G. (et coll.) (1962): *Méthodes d'études et de recherches des nappes aquifères*. Pub. B.R.G.M. 74, rue de la Fédération, 1 vol. 157 pp. París, 1962.
- CASTANY, G. (1963): *Traité pratique des eaux souterraines*. Ed. Dunod, 1 vol. 657 pp. París, 1963.
- (1968): *Prospection et exploitation des eaux souterraines*. Ed. Dunod, 1 vol. 717 pp. París, 1968.
- COMPTE, A. (1963): *El Alto Ampurdán*. Tesis Doctoral sobre Geografía, leída en la Fac. de Letras de Madrid. Pub. C.S.I.C. PIRINEOS, núms. 67-74. Zaragoza, 1963-64.
- CORRAL, A., y MUZAS, J. A. (1964): *Extracción de aguas subterráneas*. Pub. núm. 30. Ed. Centro de Estudios Hidrográficos. P.º Virgen del Puerto, Madrid, 1964.
- COSTA (da), J. A., y FALCON, E. (1963): *Manual de métodos cuantitativos en el estudio de las aguas subterráneas*. Ed. Geological Survey Phoenix, Arizona, 1 vol. 122 pp.
- DAVIS and DE WIEST (1966): *Hydrogeology*. Ed. John Wiley & Sons. 1 vol. 463 pp. Nueva York, 1966.
- DE WIEST, R. J. (1966): *Geohydrology*. Ed. John Wiley & Sons. 1 vol. 366 pp. Nueva York, 1966.
- DIPUTACION PROVINCIAL DE GERONA (1957): *Oposición de la provincia de Gerona al Anteproyecto y Proyecto de desviación de las aguas de las cuencas de los ríos Ter y Tordera*.

- DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS (1966): *Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los ríos Besós y Bajo Llobregat*. C.A.P.O. y S.G. del M.O.P., Via Layetana, 33. 5 vol. Barcelona, 1966.
- FAURA y SANS (1925): *Memoria sobre el abastecimiento de aguas potables para la villa de Palafrugell (Gerona)*. Informe presentado por el Ayuntamiento de Palafrugell. 1 vol. 50 pp.
- *Explicació de la fulla núm. 24 «Sant Fellú de Gulxols»*. Servei del Mapa Geologic de Catalunya. Ed. Dip. Prov. Barcelona. 1 vol. 85 pp.
- FEBRER, J. (1930): *Atlas pluviométric de Catalunya*. 1 vol. 523 pp. Institució Patxot. Barcelona, 1930.
- FERRIS, J. G. (1962): *Theory of aquifer test*. 1 vol. 174 pp. Ed. Geological Survey Water Supply. Paper: 1.536. Ed. Phoenix, Arizona.
- FONTBOTE, J. M.; MASSACHS, V., y SOLE SABARIS, L. (1954): *Estudio geológico del permiso de investigación de hidrocarburos «Pensylvania»* (in litteris). Lab. Geog. Física. Fac. Ciencias. Univ. Barcelona.
- FONTBOTE, J. M., y GARCIA RODRIGO, B. (1958): *Le versant sud des Albères*. Pub. en Bull. Soc. Géol. de France.
- GLANGEAUD, L. (1967): *Evolution néotectonique de la mer d'Alboran et ses conséquences paléogéographiques* (en col. con C. BOVIER y G. BELLAICHE). t. 215, pp. 1.672 a 1.675. C. R. Sci. Pub. 27 noviembre 1967. París.
- (1968): *Les méthodes de la Géodynamique et leurs applications aux structures de la Méditerranée Occidentale*. pp. 83 à 137. Rev. de Géog. Physique et de Géol. Dynamique. 2.<sup>ème</sup> série, vol. X, fasc. 2. Mars-Mai, 1968. Masson et Cie. Ed. Paris, 1968.
- GOMEZ DE PABLOS, M. (1969): *Explotación planificada y controlada de los recursos hidráulicos*. Conferencia pronunciada en la inauguración del III Curso de Hidrología Subterránea de Barcelona. Pub. en la revista AGUA, enero-febrero 1969. pp. 2-11. Barcelona, 1969.
- GONZALEZ RUIZ, A. (1965): *Estudio de la viabilidad del establecimiento de riego por aspersión en la zona regable de la margen derecha del Bajo Ter*. 1 vol. 84 pp., 18 anexos y cinco planos. Conf. Hidrograf. Pirineo Oriental. (Servic. Aplicac. Agronom. Aragón, 383. Barcelona.)
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZACION (1961): *Prospección de aguas subterráneas en La Escala-Viladesens-Bañolas (Gerona)*. Informe realizado por Aero-Service LTD (Madrid). Diciembre 1961.
- JACOB, C. E. (1950): *Flow of ground water*. Ed. John Wiley. Nueva York (en Engineering Hydraulics: H. Rouse).
- JOHNSON, E. (1966): *Ground Water and Wells*. Published by Edward Johnson. 1. vol. 440 pp. Inc. Saint Paul, Minnesota (U.S.A.).
- (1967): *Le journal du forage d'eau* (núm. 18). 1 fasc. 8 pp. Ed. E. Johnson, Naintré, Vienne, France.
- LLOPIS, N. (1947): *Contribución al conocimiento de la morfoestructura de las catalánides*. 1 vol. 372 pp. Edit. C.S.I.C. Barcelona.
- (1941-42): *Sobre la geología de La Garrotxa y la estructura del borde occidental del Ampurdán*. Ann. Univ. Barcelona.
- MACAU, F. (1961): *Perspectivas ampurdanesas ante el plan de riego Muga-Fluviá*. Revista de Gerona, núm. 17.
- (1965): *Informe geológico acerca del estudio de los recursos hidráulicos de la Costa Brava: zona del macizo montañoso comprendido entre L'Estartit y L'Escala (provincia de Gerona)*. 1 vol. 23 pp. y cuatro anexos. S.G. del M.O.P.

- MARCET RIBA, J. (1930): *Las terrazas del nordeste de España*. Mem. R. Acad. Ciencias y Artes, Barcelona, vol. XXII.
- MARGAT, J. (1965): *Age des eaux souterraines et renouvellement des réserves des nappes. Reflexions sur les bases de l'Hydrochronologie*. 1 vol. 24 pp. Ed. B.R.G.M., núm. DS. 65 A88. Octubre 1965.
- (1967): *Le bilan des nappes captives*. 1 vol. 17 pp. Ed. B.R.G.M., núm. DS. 67 A85. Junio 1967. París.
- MARTINEZ GIL, F. J. (1967): *Importancia de los estudios hidrogeológicos previos a la realización de obras de captación de cierta envergadura económica*. Ponencia presentada en el II Coloquio de Investigaciones sobre el agua. Pamplona, 1967, ponencia núm. 42 (a aparecer en Revista AGUA, del C.E.I.A.A., P.º San Juan, 29, Barcelona).
- (1968): *Etude hydrogéologique de la partie sud du Bas Ampurdán (Géronne, Espagne)*. 1 vol. 112 pp. 30 figs. y tres anexos. Tesis Doctoral presentada en la Fac. de Ciencias de la Univ. de París. Diciembre 1968.
- NOLD, J. (1962): *Guide Nold sur les filtres des puits*. 1 vol. 103 pp. Ed. J. F. Nold & Cie. Stockstadt. a Rh. Allemagne.
- PELLA Y FORGAS, J. (1883): *Historia del Ampurdán*. 1 vol. 788 pp. Ed. Barcelona.
- REMIENIERAS, G. (1965): *L'Hydrologie de l'ingénieur*. 1 vol. 413 pp. Ed. Eyrolles, París.
- SCHOELLER, H. (1962): *Les eaux souterraines*. 1 vol. 642 pp. Masson & Cie., Edit. París.
- SAN MIGUEL ARRIBAS, A. (1955): *Algunas observaciones sobre la génesis de los lampródidos*. Ed. en el tomo de homenaje póstumo al doctor D. F. Pardillo Vaquer. Univ. Barcelona. Secret. de Pub. Fac. Ciencias, pp. 99-115. Barcelona, 1955.
- SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M., y SOLE SABARIS, L. (1933): *Geología del Macís de Montgrí*. Butll. Inst. Catal. de Hist. Nat. Vol. XXXIII, núms. 1 y 3. Barcelona.
- SOLE SABARIS, L. (1933): *La geología dels voltans de Figueres i la tectónica de l'Empordá*. Barcelona, 1933.
- (1958): *Geografía de Catalunya*. 2 vols. (vol. I: 665 pp.). Ed. Aedos, Barcelona.
- SOLE SABARIS, L.; FONTBOTE, J. M.; MASSACHS, V., y VIRGILI, C. (1955): *Continuidad de las escamas de corrimiento del Ampurdán entre Figueras y el macizo de Montgrí y edad de su formación*. Ed. en el tomo de homenaje póstumo al doctor D. F. Pardillo Vaquer. Univ. Barcelona. Secret. Pub. Fac. Ciencias, pp. 145-152. Barcelona, 1955.
- SOLE SABARIS, L., y LLOPIS, N. (1939): *Estudio de la terminación septentrional de la cordillera costera catalana*. Estudios geomorfológicos de la península ibérica. Número 1, tomo VI (1 vol., 87 pp.).
- TOOD, D. K. (1959): *Ground Water Hydrogeology*. 1 vol. 336 pp. Ed. Wiley & Sons.
- TRUPING, G., et MARGAT, J. (1964): *Manuel pratique d'essais de pompage: Notions générales sur l'hydraulique des puits*. 1 vol. 183 pp. Ed. B.R.G.M., núm. DS. 64. 160. París, 1964.
- VIDAL, M. (1962): *Estudio acerca de la permeabilidad del terreno*. 1 vol. 66 pp. Boletín número 15. Ed. del S.G. del M.O.P., Madrid.
- WALTON, W. C. (1962): *Selected Analytical Methods for Wells and Aquifer Evaluation*. 81 pp. Bull. 49. Ed. State Water Survey Division. Urbana, Illinois (U.S.A.).

## SUMARIO

	<u>Págs.</u>
Prólogo ... ..	9
Agradecimientos ... ..	11

### Introducción

— Finalidad del Estudio ... ..	13
— Por qué se ha elegido el Ampurdán ... ..	13
— Metodología y estructura del presente Estudio ... ..	14

### PRIMERA PARTE

#### CAPITULO 1.—DATOS GENERALES

1.1 Datos geográficos ... ..	19
1.1.1 Situación general ... ..	19
1.1.2 El Ampurdán ... ..	19
1.1.3 El Bajo Ampurdán ... ..	21
1.1.3.1 Descripción de sus unidades fisiográficas ...	21
1.1.3.2 El relieve ... ..	23
1.2 Descripción geológica general ... ..	23
1.2.1 Situación ... ..	23
1.2.2 Constitución geológica de las unidades fisiográficas.	26
1.2.3 Estructura geológica general ... ..	28
1.3 Breve aspecto demográfico ... ..	29
1.4. Breve aspecto económico-social ... ..	30



	Págs.
1.4.1 La agricultura ... ..	30
1.4.1.1 Ocupación del suelo ... ..	30
1.4.1.2 Breve aspecto agronómico ... ..	31
1.4.1.3 Los regadíos ... ..	32
1.4.2 La industria ... ..	33
1.4.3 El turismo ... ..	34
<b>CAPITULO 2.—HIDROLOGIA DE SUPERFICIE</b>	
2.1 Datos hidrográficos ... ..	37
2.1.1 La red actual ... ..	37
2.1.2 La red en tiempos históricos ... ..	37
2.2 Datos hidrológicos ... ..	39
2.2.1 El Ter ... ..	39
2.2.1.1 Características generales de la cuenca ... ..	39
2.2.1.2 Cálculo de las aportaciones naturales del Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán ... ..	40
2.2.1.3 Cálculo de la capacidad de regulación superficial sobre las aportaciones totales de la cuenca ... ..	46
2.2.1.4 Cálculo de las posibles aportaciones futuras del Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán ... ..	46
2.2.2 El Daró ... ..	51
<b>CAPITULO 3.—GEOLOGIA</b>	
Introducción ... ..	55
3.1 Los terrenos precuaternarios ... ..	55
3.1.1 El granito ... ..	55
3.1.2 Los terrenos paleozoicos ... ..	56
3.1.3 Los terrenos de la Era Secundaria ... ..	57
3.1.3.1 El Keuper ... ..	57
3.1.3.2 El Jurásico ... ..	57
3.1.3.3 El Cretácico ... ..	58
3.1.4 Los terrenos de la Era Terciaria ... ..	58
3.1.4.1 El Eoceno ... ..	58
3.1.4.2 El Neógeno ... ..	67
3.2 Los terrenos cuaternarios ... ..	69
3.2.1 Los depósitos detríticos antiguos ... ..	69

	Págs
3.2.2 Las terrazas altas ... ..	70
3.2.3 Los depósitos fluviales recientes ... ..	70
3.3 Estructura geológica ... ..	73
3.3.1 Rasgos estructurales de mayor importancia ... ..	74
3.3.1.1 La falla de la terminación septentrional de la cordillera costera catalana ... ..	74
3.3.1.2 Posible estructura en escamas ... ..	74
3.3.1.3 El corredor de Palafrugell ... ..	78
3.3.1.4 El corredor de Albons ... ..	79
3.3.1.5 Las erupciones volcánicas ... ..	80
3.4 Historia geodinámica ... ..	80
3.4.1 Primera fase: el umbral mesozoico ... ..	80
3.4.2 Segunda fase: subsidiencia paleógena ... ..	81
3.4.3 Tercera fase: período orogénico y «mise en place» de las escamas ... ..	83
3.4.4 Cuarta fase: período de reajustes postorogénicos (estructuras germánicas y manifestaciones volcánicas). ... ..	84
<b>CAPITULO 4.—CLIMATOLOGIA</b>	
4.1 La climatología en los estudios hidrogeológicos ... ..	89
4.2 Recopilación de datos y situación de las estaciones meteorológicas ... ..	90
4.3 Las precipitaciones ... ..	90
4.3.1 Su interés en los estudios hidrogeológicos ... ..	90
4.3.2 Las precipitaciones anuales ... ..	92
4.3.3 Adaptación a una ley teórica de distribución de frecuencias ... ..	97
4.3.4 Cálculo del volumen anual de precipitaciones ... ..	99
4.3.5 Las precipitaciones mensuales ... ..	102
4.3.6 Número anual de días de lluvia ... ..	104
<b>CAPITULO 5.—CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES DE LOS TERRENOS PRECUATERNARIOS</b>	
5.1 Descripción de las posibilidades en aguas subterráneas de los terrenos graníticos y paleozoicos ... ..	109
5.1.1 El granito ... ..	109
5.1.2 Las pizarras ... ..	110
5.1.3 Las calizas devónicas ... ..	110

	Págs.
5.2 Aspecto hidrogeológico del macizo calcáreo de Montgrí ...	110
5.3 Descripción de las posibilidades en aguas subterráneas de los terrenos del Eoceno ...	114
5.3.1 El tramo rojo inferior ...	114
5.3.2 El tramo calcáreo ...	115
5.3.3 Los tramos medio y superior ...	117
5.3.3.1 Las facies marinas ...	117
5.3.3.2 Las facies continentales ...	119
5.4 Descripción de las posibilidades en aguas subterráneas de los terrenos Neógenos ...	121

#### CAPITULO 6.—CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES DE LOS TERRENOS CUATERNARIOS

6.1 Consideraciones previas ...	125
6.2 Reconocimiento hidrogeológico general ...	126
6.2.1 Los acuíferos superficiales ...	127
6.2.1.1 Acuíferos de arenas finas y medias ...	127
6.2.1.2 Acuíferos de gravas finas con arenas ...	128
6.2.2 Los acuíferos confinados ...	130
6.2.2.1 Cuenca del Aubí ...	130
6.2.2.2 Cuenca de la Riera Grossa de Pals ...	132
6.2.2.3 Cuenca de la Riera de Peratallada ...	133
6.2.2.4 Cuenca del Daró ...	133
6.2.2.5 Cuenca del Bajo Ter ...	137
6.2.2.6 El corredor de Albons ...	144
6.2.2.7 Zona de Cala Montgó ...	146
6.3 Esquema hidrogeológico general del cuaternario ...	146

#### CAPITULO 7.—LAS RESERVAS Y LOS RECURSOS EN EL BAJO AMPURDAN

7.1 Sobre el concepto de recursos y de reservas en los estudios hidrológicos regionales.—Introducción ...	153
7.1.1 Agua subterráneamente embalsada ...	154
7.1.2 Reservas subterráneas ...	154
7.1.3 Recursos subterráneos ...	156
7.1.4 Recursos hidráulicos totales de una región ...	157
7.2 Las reservas y los recursos de aguas superficiales y subterráneas en el Bajo Ampurdán ...	160

	Págs.
7.2.1 Volumen de agua embalsada ...	160
7.2.2 Los recursos subterráneos ...	161
7.2.3 Las reservas subterráneas ...	164
7.2.4 Los recursos hidráulicos brutos ...	167
7.2.5 Los recursos hidráulicos útiles ...	168

#### CAPITULO 8.—HIDROGEOQUIMICA

Introducción ...	173
8.1 Los acuíferos en terrenos precuaternarios ...	174
8.1.1 Las calizas cretácicas del macizo de Montgrí ...	174
8.1.2 Los acuíferos en los terrenos del Eoceno ...	174
8.2 Los acuíferos en terrenos cuaternarios ...	176
8.2.1 Los acuíferos superficiales de arenas en contacto con el mar ...	176
8.2.1.1 Zona de La Fornaca ...	176
8.2.1.2 Zonas de Cala Riells y Cala Montgó ...	176
8.2.1.3 El acuífero libre del frente de arenas de la Playa de Pals ...	177
8.2.2 Los acuíferos de las dunas del macizo de Bagur ...	178
8.2.3 Los acuíferos de la cuenca del Daró ...	178
8.2.4 Los acuíferos de la cuenca de la Riera Grossa de Pals ...	180
8.2.5 Los acuíferos de la cuenca del Aubí ...	183
8.2.6 Los acuíferos del corredor de Albons ...	187
8.3 Poluciones superficiales debidas a la presencia probable de lagunas saladas recientemente desaparecidas ...	188

#### CAPITULO 9.—CONSUMOS Y DEMANDAS

Introducción ...	193
9.1 Abastecimiento de agua potable a poblaciones ...	193
9.1.1 La zona de núcleos costeros ...	194
9.1.1.1 Distribución de la población ...	194
9.1.1.2 Cálculo de las necesidades ...	198
9.1.2 La zona del Valle del Daró ...	199
9.1.3 Los pequeños núcleos aislados ...	199
9.2 Necesidades de la agricultura ...	200
9.3 Necesidades de la industria ...	201

	Págs.
<b>CAPITULO 10.—BALANCE HIDROLOGICO GENERAL</b>	
10.1 Las demandas futuras en la cuenca del Ter, aguas abajo del embalse de Sau ... ..	205
10.2 La capacidad de aprovechamiento superficial del río Ter frente a las demandas futuras ... ..	206
10.3 Panorama futuro ... ..	210
10.4 Soluciones a adoptar ... ..	211
10.5 Necesidad imperiosa de un estudio hidrogeológico detallado de las formaciones cuaternarias del Ter entre el Pasteral y el mar ... ..	212

## SEGUNDA PARTE

### Estudio hidrogeológico del acuífero cuaternario de la cuenca de la Riera Grossa de Pals.

1.1 Descripción general del acuífero ... ..	217
1.2 Estudio de la superficie piezométrica ... ..	224
1.3 Cálculo de los parámetros hidrogeológicos del «acuífero cuaternario de las captaciones de Torrent» ... ..	226
1.3.1 Pruebas de permeabilidad en sondeos ... ..	226
1.3.2 Ensayos de bombeo ... ..	231
1.3.2.1 Algunas limitaciones teóricas al método de Interpretación utilizado ... ..	233
1.3.2.2 Los resultados obtenidos ... ..	234
1.3.3 Estudio de un bombeo cíclico realizado en las captaciones de Torrent durante un largo período a régimen de explotación normal ... ..	235
1.4 Influencia de la Riera Grossa de Pals durante el ensayo de bombeo ... ..	237
1.5 Aplicación del método de las imágenes ... ..	238
1.6 La descarga y la recarga del acuífero ... ..	243

### CAPITULO 2. HIDRODINAMICA Y EXPLOTACION POSIBLE DEL ACUIFERO CUATERNARIO DE LA RIERA GROSSA DE PALS

Introducción ... ..	251
2.1 Descensos piezométricos y caudales teóricos ... ..	251

	Págs.
2.2 Las pérdidas de carga hidráulica ... ..	252
2.3 La velocidad real del agua al atravesar una rejilla ... ..	256
2.4 Dimensiones y características constructivas que debieran tener los pozos construidos en la formación detrítica ... ..	259
2.4.1 Profundidad de las obras ... ..	260
2.4.2 Longitud y diámetro de la rejilla ... ..	260
2.4.2.1 Caso de un pozo que debiera obtener un caudal de 40 l/s. ... ..	260
2.4.2.2 Caso de un pozo de 500 mm. de diámetro ... ..	262
2.4.3 Abertura de las ranuras de la rejilla ... ..	264
2.4.4 El empaquetado de gravas ... ..	265
2.4.4.1 Características granulométricas ... ..	265
2.4.4.2 Espesor del empaquetado ... ..	267
Resumen y conclusiones más importantes ... ..	271
Bibliografía ... ..	283