

# Estudio hidrológico del Bajo Ampurdán (Gerona-España) Contribución a la metodología de los estudios hidrológicos regionales\*

por FRANCISCO JAVIER MARTÍNEZ GIL

## RESUMEN

Se expone la moderna metodología de los estudios hidrológico-hidrogeológico regionales a través de un ejemplo concreto, en el que se han considerado las aguas superficiales y subterráneas como partes integrantes de una misma unidad y en el que se han planteado los problemas de optimización de los recursos hidráulicos totales de la región dentro de un amplio contexto hidrológico, natural y de demanda (la cuenca del río Ter de 3.000 km<sup>2</sup> y su zona de influencia), del que forma parte.

## RESUMÉ

On présente la méthodologie moderne des études hydrologiques régionales dans un cadre concret (celui du Bas Ampurdán). On a envisagé les eaux superficielles et souterraines comme un tout et on c'est posé le problème de planifier le régime d'exploitation optionale de l'ensemble des ressources hydrauliques (superficielles et souterraines) de la région étudiée en la considérant dans un vaste cadre hydrologique (naturel et de demandes d'eau) dont elle fait partie.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA HIDROLÓGICO

### I.1. Introducción

La región objeto del presente estudio — el Bajo Ampurdán — tiene una extensión aproximada de algo más de 500 km<sup>2</sup>, que corresponden en su mayor parte a una superficie casi totalmente llana situada por debajo de la cota 20 m. Los 35 municipios en ella ubicados albergan un total de 35.000 personas. Una fuerte afluencia turística dobla, durante un período de algo más de dos meses, la población permanente

de la zona costera, que de este modo llega a alcanzar los 70.000 habitantes.

Esta región posee un extraordinario potencial agrícola, que en su mayor parte está todavía por desarrollar, y tiene posibilidades para más de 13.000 ha de regadío. En el momento actual (1969) están en marcha las obras de un importante proyecto de transformación de una extensión de 7.000 ha en regadío mediante la utilización de las aguas superficiales del Ter.

Aunque las industrias actuales (corcho-taponera y derivados, cerámica y alfarera) no dan empleo diario a más de cuatro mil personas, creemos que el Ampurdán es una región que por sus condiciones topográficas, por su riqueza en aguas y por sus excelentes comunicaciones (ferrocarril y autopista) con la frontera francesa y Barcelona, está capacitada para desarrollar y recibir en pocos años una activa vida industrial que, probablemente, se verá facilitada por la necesidad de descongestión de la industria aglomerada en torno a Barcelona y su comarca. El centro geográfico de esta región se encuentra tan sólo a unos 110 km de Barcelona.

### I.2. Consumos y demandas de agua en el futuro

En lo que respecta a los abastecimientos a poblaciones, los únicos núcleos de la región que en un futuro próximo es de esperar que experimenten con respecto al momento actual un aumento considerable de sus demandas, son los del sector costero, por causa del incremento constante de la afluencia turística.

Las demandas teóricas, a pie de riego, exigidas por las 13.000 ha, que desde el punto de vista edafológico y topográfico constituyen la superficie potencialmente regable de la región, son del orden de 115 Hm<sup>3</sup>/año. Para el cálculo de esta cifra hemos utilizado la media aritmética de los valores obtenidos mediante la aplicación de los métodos de Thornth-

\* El presente artículo es un resumen del trabajo de tesis doctoral del autor que fue leído en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona el 30 de junio de 1970 y realizado en el Departamento de Geomorfología y Geotectónica de dicha Facultad. La elaboración y redacción del referido trabajo fue terminada en abril de 1969.

waite, Blaney y Criddle y el llamado "método mixto", y hemos considerado una efectividad del 60 % para el riego de pie (para los riegos por aspersión se acostumbra a considerar una efectividad del 80 %).

El 85 % de este volumen anual, es decir unos 100 Hm<sup>3</sup>, será requerido durante un período de cuatro meses (de mayo a agosto), lo que viene a representar unos caudales permanentes disponibles durante dicho período comprendidos entre 8 m<sup>3</sup>/s (mes de mayo) y 11 m<sup>3</sup>/s (mes de agosto).

Resumiendo, podemos estimar que sin tener en cuenta los consumos de los importantes complejos industriales que en su día puedan venir a establecerse en esta región, sus necesidades totales podrán ser, en un futuro en el que se encuentre desarrollado todo su potencial agrícola, del orden de 125 Hm<sup>3</sup>/año.

abastecimiento de Barcelona supone una sangría importante. En este sentido hemos calculado que en el futuro supuesto en el cuadro I, la aportación real media del Ter en Colomers no sería más que del orden de 425 Hm<sup>3</sup>/año (frente a los 750 Hm<sup>3</sup>/año que suponen sus aportaciones naturales).

Una serie de consideraciones y cálculos hidrológicos nos permiten estimar que en el supuesto de demandas futuras expuesto, el caudal de estiaje del río Ter a su paso por Colomers podrá ser, eventualmente, durante la época de fuertes demandas para los regadíos, inferior a 5 m<sup>3</sup>/seg. El período de retorno correspondiente a este caudal de estiaje no sería superior a 5 años y podría afectar a la mayor parte de la época de los cuatro meses (mayo a agosto), de fuertes necesidades de riego.

CUADRO I  
POSIBLES DEMANDAS FUTURAS EN LA CUENCA  
MEDIA Y BAJA DEL TER (en Hm<sup>3</sup>)

	Anuales	Mayo-agosto incluidos
Nuevo abastecimiento Barcelona . . . . .	250	83
Abastecimiento Gerona y parte de la Costa Brava . . . . .	50	18
Regadíos entre El Pasteral y Colomers . . . . .	25	22
Regadíos en el Bajo Ampurdán . . . . .	115	98
Abastecimiento aguas potables en el Bajo Ampurdán . . . . .	10	4
TOTAL . . . . .	450	225

I.3. Disponibilidades de agua de la región frente a sus posibles demandas futuras

La magnitud del volumen de las posibles demandas futuras hace pensar instintivamente en la utilización de las aguas del río Ter como la fuente principal de la región. El conocer con cierta precisión las aportaciones de este río a su entrada en la región aquí considerada tiene pues una importancia fundamental para el enfoque del presente estudio.

A su entrada en el Bajo Ampurdán (Colomers) el río Ter tiene 2.933 km<sup>2</sup> de cuenca hidrográfica. La estación de aforos más próxima a Colomers se encuentra en la presa de Sau, unos 50 km aguas arriba; en este punto el Ter tiene 1.524 km<sup>2</sup> de cuenca.

Mediante una serie de criterios hidrológicos, hemos estimado que, si no se hiciese ninguna derivación ni consumo importantes en la zona de aguas arriba, las aportaciones naturales del río Ter a su entrada en el Bajo Ampurdán (Colomers) serían de unos 750 Hm<sup>3</sup>/año. Esta aportación natural equivaldría a un caudal constante de 24 m<sup>3</sup>/seg.

Las sustracciones hechas a la cuenta del Ter y los consumos efectuados aguas arriba de la región afectan muy sensiblemente a la aportación real anual del río a su entrada en el Bajo Ampurdán, puesto que ya la sola derivación de 250 Hm<sup>3</sup> anuales para el

I.4. Posibles soluciones al problema planteado

La imposibilidad de hacer frente con los embalses superficiales actuales a las demandas que en su día pueda exigir el desarrollo del potencial agrícola, turístico e industrial de la cuenca baja y media del Ter y de sus zonas de influencia, impone la necesidad sea de considerar el problema dentro de un contexto más amplio que el de la sola región aquí estudiada (y que el del conjunto de la cuenca del Ter, incluso) sea estudiar las posibilidades que ofrece la explotación planificada de los acuíferos de la cuenca en la optimización del aprovechamiento de sus recursos hidráulicos totales.

El estudio de viabilidad de esta segunda posible solución es sin duda el más aconsejable desde el punto de vista económico y de tiempo. Su verificación exigiría un reconocimiento hidrogeológico relativamente detallado de la región. De esta posible solución nos ocupamos en las páginas que siguen.

II. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO GENERAL DE LA REGIÓN

Desde el punto de vista geológico-estructural el Ampurdán constituye una depresión tectónica, for-

mada por terrenos eocenos, que se halla hundida por fallas entre la terminación septentrional de la Cordillera Costera Catalana (al Sur), la masa axial paleozoica del Pirineo (al Norte) y los sedimentos eocenos de la zona montañosa de la Garrotxa (al Oeste), separados éstos de los sedimentos contemporáneos de la depresión por la gran falla de Bañolas, de dirección Norte-Sur. Por el Este el Ampurdán se abre al mar Mediterráneo (fig. 1).

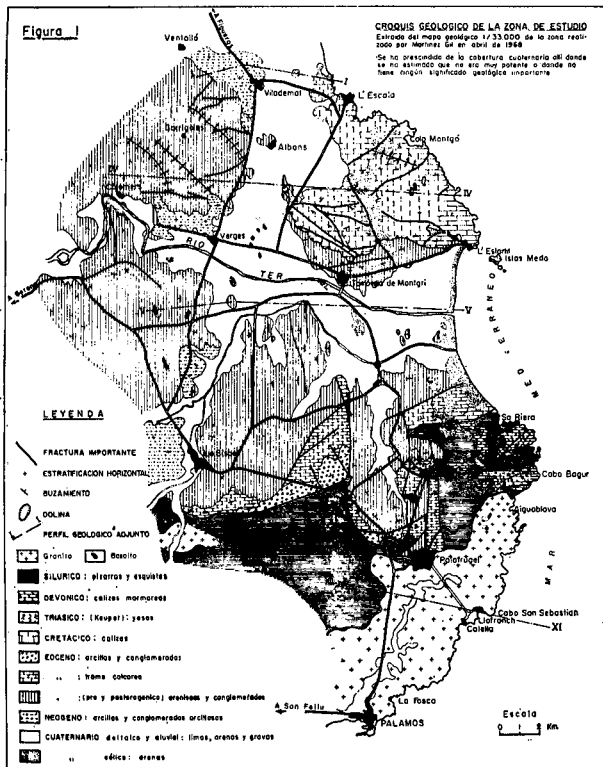


FIG. 1. — Croquis geológico del Bajo Ampurdán.

El zócalo paleozoico de esta depresión se encuentra alrededor de los 2.500 metros de profundidad; sobre él reposan directamente los materiales eocenos, que llegan a alcanzar espesores de 1.500 a 2.000 m.

Cubriendo parcialmente esta cobertera de materiales eocenos — que se encuentra plegada y erosionada — existe una segunda cobertera de materiales neógenos, de origen fundamentalmente marino, cuyo espesor sabemos que llega a sobrepasar los 600 m. Hacia los bordes occidental y meridional las facies marinas pasan a ser continentales.

La cobertera neógena se halla a su vez erosionada y parcialmente cubierta por un potente manto de materiales cuaternarios, de origen aluvial y deltaico, que llega a alcanzar en una buena parte de la región los 40 m de espesor.

Finalmente, atresando las formaciones eocenas hay que destacar la presencia de numerosas manifes-

taciones volcánicas, especialmente las de Parlabá, Foixá, La Pera y Casavells, que son de edad neógena.

La naturaleza litológica y el espesor de este potente manto de materiales cuaternarios son conocidos gracias a los datos suministrados por las perforaciones y pozos existentes en la región. Se trata de los típicos fangos deltaicos (limos arenosos) de todo el Mediterráneo español; son de color gris oscuro, de tamaño limo y poseen una elevada fracción de arenas muy finas. Con bastante aproximación puede decirse que estos sedimentos fosilizan todo antiguo relieve situado por debajo de la cota 18 m. En la desembocadura de los principales valles que vierten en la llanura deltaica del Ampurdán los depósitos fangoarenosos llegan a alcanzar cotas más elevadas y se los encuentra hasta las proximidades de la cota 25.

### III. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES

#### III.1. Breve aspecto hidrogeológico general de la región

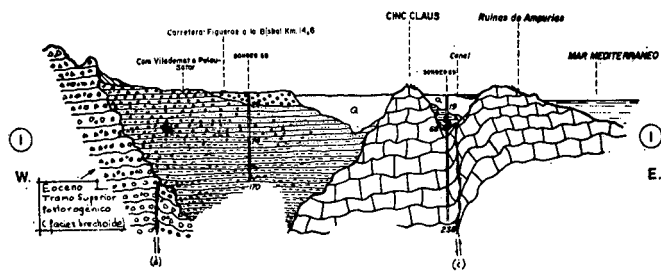
La importancia hidrogeológica que supone la presencia de los referidos depósitos deltaicos en unos 120 km<sup>2</sup> de esta región y en unos 300 km<sup>2</sup> en el conjunto ampurdanés, es grande, puesto que según las experiencias habidas hasta el presente en diversas zonas del litoral catalán, se sabe que estos depósitos finos pueden contener importantes formaciones detríticas de arenas y gravas que llegan a constituir, por lo general, excelentes acuíferos.

El interés hidrogeológico que ofrecen las restantes formaciones creemos que es en general muy secundario y está prácticamente limitado a ciertos depósitos neógenos y, sobre todo, a una serie de niveles calcáreos del eoceno.

#### III.2. El gran acuífero de la región

Los depósitos fangoarenosos de esta región geomorfológicamente corresponden a un gran delta cuaternario de dos ramas, separadas entre sí por el macizo calcáreo de Montgrí, que tiene 40 km<sup>2</sup> de extensión. Los finos depósitos cuaternarios que constituyen estas dos ramas no son en sí lo suficientemente permeables como para poder obtener directamente de ellos caudales elevados que puedan presentar un gran interés para su explotación; sin embargo, están saturados de agua, poseen una elevada porosidad y constituyen un gran depósito subterráneo de más de 300 Hm<sup>3</sup> de embalse útil, que puede ser explotado indirectamente gracias a la presencia en su interior de importantes formaciones detríticas que poseen una elevada permeabilidad.

Entre las numerosas formaciones detríticas incluidas en la masa de depósitos deltaicos existe una, prácticamente ininterrumpida, que se encuentra en



**LEYENDA**

- CUATERN.**
  - ARENAS EÓLICAS (dunas)
  - FANGOS ARENOSOS CON IMPORTANTES FORMACIONES DETRÍTICAS INCLUIDAS (gravas y arenas)
  - GRavas Y ARENAS CEMENTADAS (terrazas)
  - LIMOS, ARCILLAS Y DERRUBIOS DE LADERA
- NEOGEN.**
  - MARGAS, MARGAS ARENOSAS Y FORMACIONES DETRÍTICAS NO MUY CEMENTADAS
- EOCEN.**
  - TRAMO SUPERIOR POST-OROGÉNICO (brecha calcarea) (arenisco, conglom. y marg.)
  - INDIFERENCIADO PRE Y POST OROGÉNICO (arenisco, conglom. y marg.)
  - PRE-OROGÉNICO (arenisco, conglom. y marges)
  - TRAMO MEDIO: areniscos arcillosos y margas arenosas
  - " CALCAREO: calizas y margas
  - " ROJO INFERIOR: congl. marges y arcillas
- CRETAC.**
  - CALIZAS Y DOLOMIAS
- TRIASIC.**
  - YESOS, ARCILLAS Y MARGAS (keuper)
- DEVONIC.**
  - CALIZAS, ESQUISTOS, CALCAREOS Y MARMÓLES
- SILURIC.**
  - PIZARRAS Y MICACITAS
  - GRANITO
  - ROCAS VOLCANICAS

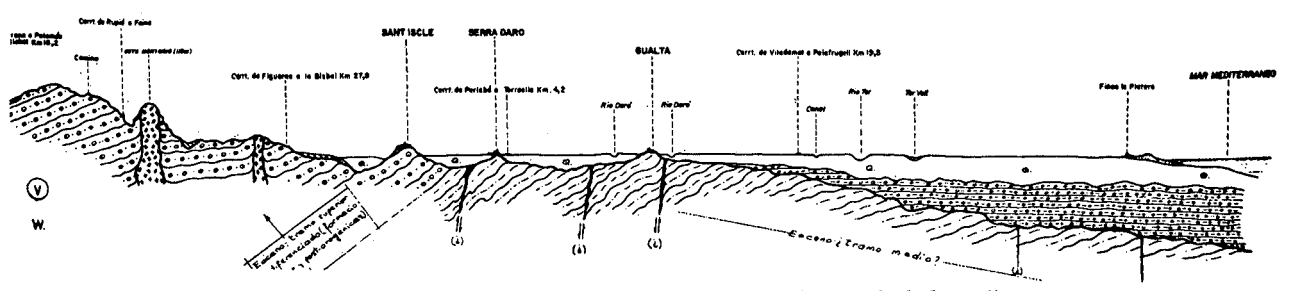
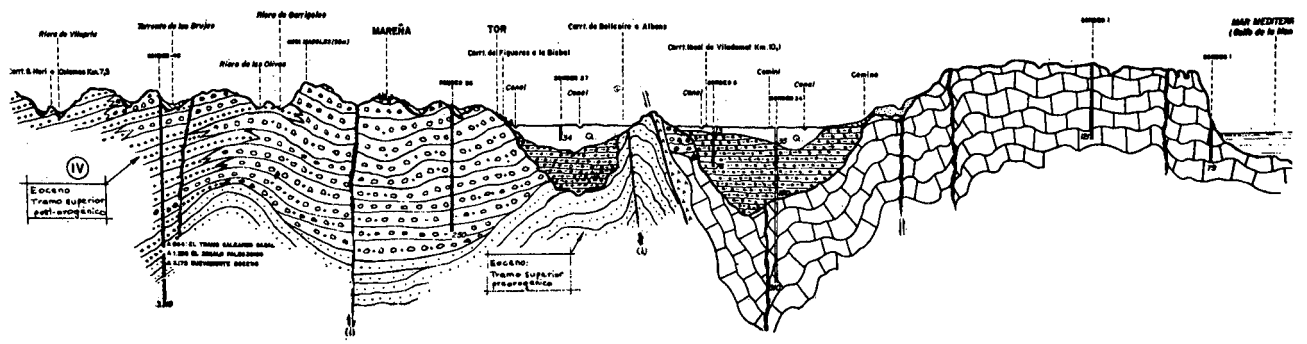
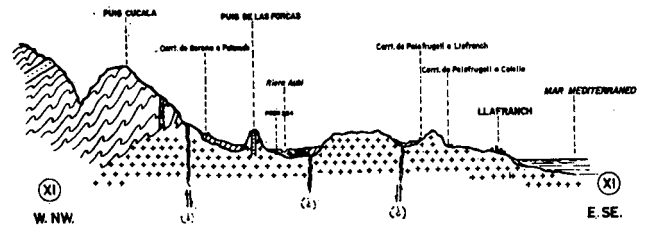
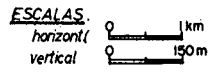


Fig. 2. — Cortes geológicos (se hallan localizados en el mapa de la figura 1).

la mayor parte de la región a profundidades del orden de los 30 a 35 metros. Se trata de una formación muy permeable y que estimamos que en general tiene un espesor medio comprendido entre 5 y 7 metros.

La presencia de extensas formaciones detríticas superficiales, constituidas fundamentalmente por gravillas y arenas, permitirá aprovechar, en su día, un elevado porcentaje de los recursos hidráulicos totales útiles de la región bajo la forma de aguas subterráneas.

El acuífero cuaternario del Bajo Ampurdán representa una extensión menor que la mitad del gran acuífero que constituye el conjunto de los depósitos deltaicos de todo el Ampurdán; la extensión superficial de todo el conjunto deltaico ampurdanés es aproximadamente tres veces superior a la del delta del río Llobregat y unas 30 veces superior a la del río Besós, ambos en la provincia de Barcelona. Digamos aquí que el conjunto acuífero del delta del río Llobregat proporcionó durante el período 1958-1965 volúmenes anuales de agua comprendidos entre 75 y 125 Hm<sup>3</sup>. Estas cifras sirven para dar una idea del probable gran valor que pueden llegar a suponer los recursos subterráneos de todo el Ampurdán.

### III.3. Acuíferos de importancia menor

Dentro del conjunto de acuíferos precuaternarios del Bajo Ampurdán no parece probable que pueda existir alguno que ofrezca un interés semejante al del conjunto cuaternario deltaico.

Las formaciones calcáreas del eoceno y ciertos niveles detríticos poco cementados del neógeno constituyen las únicas formaciones que, en principio, presentan cierto interés de cara a la obtención de abundantes caudales para futuros planes de programación de la explotación regional.

En cuanto a las formaciones calcáreas del macizo cretácico de Montgrí, creemos que prácticamente no juegan ningún papel de embalse subterráneo regulador, dado que hidrogeológicamente se encuentran permanentemente avenadas por el gran dren natural, de cien metros de profundidad y quince kilómetros de longitud, que constituye el borde acantilado del macizo, formando de este modo en su conjunto un extenso acuífugo. Por esta razón opinamos que prácticamente la totalidad de las aguas de lluvia infiltradas en esta zona calcárea (que pueden estimarse en unos 10 Hm<sup>3</sup>/año) son aguas irremediamente perdidas para su aprovechamiento subterráneo.

### III.4. Volumen de las precipitaciones anuales

El volumen de las precipitaciones anuales recogidas sobre los 490 km<sup>2</sup> de cuencas hidrográficas de la región confluyentes en la llanura deltaica fue, en promedio, para el período de 22 años (de 1945-46 a 1966-67) el siguiente:

Año	Método de la media	Método de Thiessen
Seco . .	207 Hm <sup>3</sup>	220 Hm <sup>3</sup>
Medio . .	313 "	323 "
Lluvioso .	528 "	645 "

## IV. LOS RECURSOS Y RESERVAS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

### IV.1. Los recursos hidráulicos totales brutos

En el supuesto futuro (hasta aquí considerado (cuadro I) y de acuerdo con una serie de definiciones dadas en la memoria de nuestro trabajo de tesis doctoral,(1) hemos estimado que los recursos hidráulicos totales brutos de la región son del orden de 480 Hm<sup>3</sup>/año. Este volumen total de recursos es, en nuestra opinión, independiente del programa de regulación que del río Ter pueda seguirse en los embalses de Sau y Susqueda.

### IV.2. Los recursos hidráulicos totales explotables

Diversos factores técnicos y económicos marcan en la práctica un límite en el aprovechamiento de los recursos hidráulicos totales brutos de cada región. En este sentido hemos estimado que, teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas, hidrológicas y de demanda de la región, el aprovechamiento bajo control, con garantía de servicio del orden de un 90 %, podría ascender a unos 170 Hm<sup>3</sup>/año, sin necesidad de recurrir a procedimientos de explotación exhaustiva ni a reutilizaciones de las aguas usadas.

### IV.3. Los recursos hidráulicos subterráneos

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 nosotros entendemos como *recursos hidráulicos subterráneos*. Se trata, pues, de un concepto que no puede ser considerado aisladamente sin definir previamente el plan de explotación hidráulica de la región (MARTÍNEZ GIL, 1970).

Dentro de las limitaciones que impone la falta de datos concretos referentes a la explotación planificada de los recursos de esta región, estimamos que de los 170 Hm<sup>3</sup>/año que podrían llegar a suponer los recursos hidráulicos totales explotables en el Bajo Ampurdán, podría aprovecharse anualmente por vía subterránea un volumen del orden de los 100 Hm<sup>3</sup>/año sin riesgo de producir ningún desequilibrio hi-

(1) En el número de julio-agosto de 1970 de la revista "Agua" se nos publicó un artículo a este respecto, titulado "Sobre el concepto de recursos y reservas en los estudios hidrogeológicos regionales" que es el resumen de la comunicación que en mayo de 1969 presentamos al III Coloquio del Agua, celebrado en Sevilla.

dráulico grave y bajo condiciones económicas de explotación convenientes.

El aprovechamiento subterráneo de estos volúmenes requerirá, naturalmente, la programación de unos sistemas de captación adecuados que exigirán un buen conocimiento previo de los principales acuíferos de la región y de sus relaciones hidráulicas con los cauces superficiales de los ríos y canales de la misma.

#### IV.4. *Las reservas subterráneas*

Si despreciamos los volúmenes almacenados en los acuíferos confinados por efecto de la compresión hidráulica y si consideramos que la porosidad eficaz del conjunto de los acuíferos deltaicos del Bajo Ampurdán está comprendida entre un 10 % y un 40 %, el volumen de agua libre en ellos almacenada podría ser estimado entre 300 y 1.200 Hm<sup>3</sup>.

Estimamos que las reservas subterráneas explotables pueden estar comprendidas entre 200 y 800 Hm<sup>3</sup>.

#### V. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que la raíz del problema planteado a la cuenca del río Ter reside principalmente en que el desarrollo del potencial agrícola de la región aquí considerada podrá exigir unos elevados volúmenes de agua durante una época muy reducida del año y a los que no podrá hacer frente la capacidad reguladora de los embalses de Sau y Susqueda, por la necesidad que tienen de atender a otras demandas socialmente más importantes, creemos que sería muy conveniente considerar cuanto antes en los proyectos de transformación en regadío que afectan tanto a esta región como a la zona comprendida entre El Pasteral y Colomers (lo que supone un total superior a 16.000 ha) la posibilidad de sustituir parcialmente los regadíos proyectados a base de aguas superficiales por regadíos basados en el alumbramiento de aguas subterráneas. Esta sustitución contribuiría a elevar considerablemente la capacidad de regulación artificial superficial (mediante embalses) de las aportaciones que anualmente recibe la cuenca.

Esta sustitución tendría que ser juiciosamente hecha en zonas en las que no solamente fuera posible alumbrar los caudales necesarios, sino que, además, las fuertes extracciones producidas durante la época de grandes consumos (mayo-agosto) pudieran ser restituidas a los acuíferos a partir de los volúmenes no regulables que llevaría el río durante el resto del año, no utilizando para ello más que procesos "naturales" de recarga (tales como, por ejemplo, la derivación durante la época excedentaria de la mayor parte posible de los caudales del Ter hacia los acuíferos mediante la infiltración producida en los canales y acequias no revestidos actualmente existentes,

o bien mediante la provocación de una recarga más intensa en las zonas aluviales próximas al cauce del Ter gracias a la construcción de pequeños azudes de elevación).

La recarga artificial de los acuíferos cársticos de las calizas del eoceno constituye también una posibilidad digna de ser tenida en cuenta.

Probablemente, mediante una serie de captaciones del tipo llamado pozo radial que explotasen los acuíferos aluviales cuaternarios de la zona comprendida entre El Pasteral y Colomers, podría llegar a extraerse un porcentaje muy elevado de las necesidades futuras de esta zona (75 Hm<sup>3</sup>/año).

En lo que respecta exclusivamente al Bajo Ampurdán, la explotación planificada de los acuíferos probablemente podría ofrecer posibilidades del orden de los 100 Hm<sup>3</sup>/año de aguas subterráneas.

Creemos, pues, que la explotación planificada de los principales acuíferos de la cuenca media y baja del río Ter puede llegar a suponer un alivio muy considerable (probablemente definitivo) para la insuficiencia del complejo Sau-Susqueda frente al conjunto de posibles demandas que el desarrollo agrícola e industrial de la cuenca pueda exigir en un futuro próximo.

Por ello consideramos de enorme interés la realización de un reconocimiento hidrogeológico, relativamente minucioso, del conjunto de formaciones aluviales y deltaicas de la cuenca así como el de las calizas eocenas que limitan con el borde septentrional de los macizos de Bagur y Las Gabarras y el de ciertas formaciones neógenas.

Este reconocimiento hidrogeológico no tendría que limitarse, por supuesto, a una simple labor de cartografía o inventario hidrogeológico de los datos actualmente existentes sino que tendría que estar basado en una amplia campaña de trabajos de prospección geofísica y mecánica y en una serie de fases sucesivas de explotación experimental sabiamente dirigidas y controladas.

#### BIBLIOGRAFÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS (1970): "Primer informe de los recursos hidráulicos totales del Pirineo Oriental - Zona Norte" - Realizado por PANTECNIA-HERRING.

MARTÍNEZ GIL (1970): "Estudio del Bajo Ampurdán, provincia de Gerona. Contribución a la metodología de los estudios hidrogeológicos regionales" (Tesis realizada en el Departamento de Geomorfología y Geotectónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona, leída el 30 de junio de 1970: una memoria de 251 págs. y 65 figuras y siete anejos, a aparecer en Memorias del Inst. Geológico y Minero de España. Premio Antonio José de Cavanilles 1970, del C.S.I.C.). En este trabajo figura una amplia bibliografía referente, en su mayor parte, a la región estudiada.

MARTÍNEZ GIL (1970): "Sobre el concepto de recursos y reservas en los estudios hidrogeológicos regionales". *Revista AGUA* n.º 61 (Julio-Agosto 1970), págs. 36-40. Barcelona.