

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**



TESIS DOCTORAL

**Hidrogeología regional de la cuenca del río Tajuña :  
provincias de Madrid y Guadalajara**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR

**Youssef Kaber**

DIRECTOR:

**Fernando López-Vera**

Madrid, 2015

TF  
1984  
219

Youssef Kaber



\* 5 3 0 9 8 6 7 3 6 6 \*

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE

x-53-031484-2

HIDROGEOLOGIA REGIONAL DE LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA

(Provincia de Madrid y Guadalajara)

Departamento de Geomorfología y Geotectónica  
Facultad de Ciencias Geológicas  
Universidad Complutense de Madrid

1984



BIBLIOTECA

**Colección Tesis Doctorales. Nº 219/84**

© Youssef Kaber  
Edita e imprime la Editorial de la Universidad  
Complutense de Madrid. Servicio de Reprografía  
Noviciado, 3 Madrid-8  
Madrid, 1984  
Xerox 9200 XB 480  
Depósito Legal: M-20421-1984

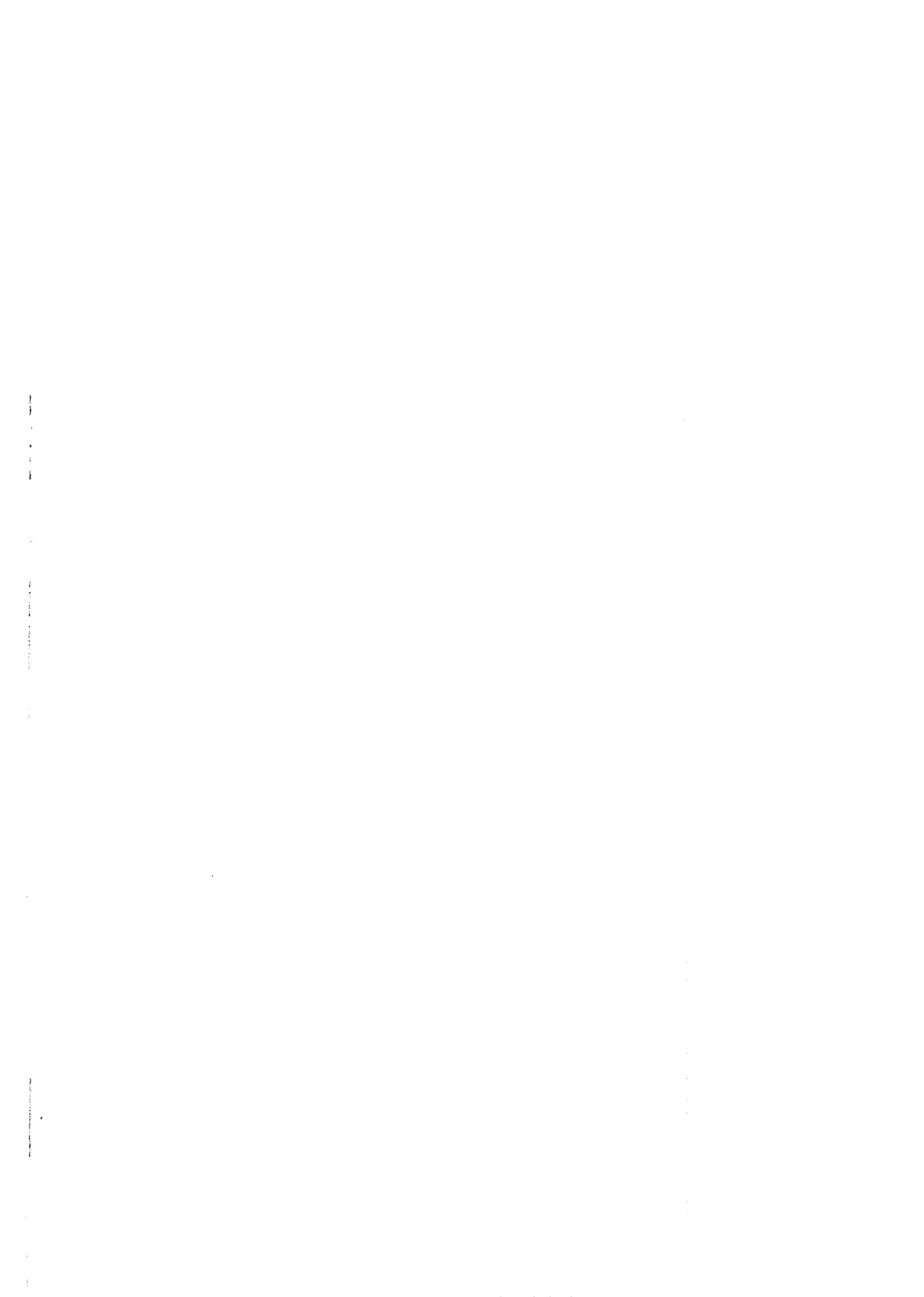
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOMORFOLOGIA Y GEOTECTONICA**

HIDROGEOLOGIA REGIONAL DE  
LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA  
(Provincias de Madrid y Guadalajara)

MEMORIA

Realizado por Youssef Kaber  
Madrid, Enero 1983



El presente trabajo ha sido realizado en el DEPARTAMENTO DE GEOMORFOLOGIA Y GEOTECTONICA de la FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGICAS, bajo la dirección del Prof. Dr. Fernando López Vera.



## P R O L O G O

Siempre he tenido una gran curiosidad, por conocer el origen de la costumbre de preceder el texto de un libro o publicación de cierta entidad por un Prólogo. Quizás provenga de los Preliminares de los libros de nuestro siglo de oro, que eran una serie de documentos legales (censuras, aprobaciones, privilegios, derecho de autor, tasa y precio oficial de venta) que obligatoriamente debían imprimirse en páginas anteriores al texto de la obra. Y que al suprimirse estos requisitos legales, pervivió la costumbre de preceder al cuerpo principal de la obra por una Presentación o Prólogo por una personalidad de la materia o disciplina de que tratase el libro, de manera que cayó en ser una especie de aval o patrocinio de la obra. No es por supuesto este el caso citado y al prologar esta publicación a petición de D. Joussef Kaber, lo único que pretendo es informar de las circunstancias que han rodeado este trabajo, su tesis doctoral y el alcance de la misma.

Cuando en el otoño de 1979 el Sr. Kaber, me pidió un tema de Tesis, fueron varias las reflexiones que me hice, ¿qué tema o enfoque sería el mejor para una más completa formación en su ejercicio profesional futuro? ¿cómo podría hacer alguna aportación a la investigación hidrogeológica? ¿qué tema le iría mejor a su formación previa y a su idiosincrasia?. En aquellas fechas nuestro interés científico personal, ya se centraba en la hidrodinámica de grandes cuencas sedimentarias (sistemas hidrogeológicos complejos) y particularmente la Fosa o cuenca de Madrid, en la cuenca del Tajo cuyo estudio abordará con técnicas de hidroquímica isotópica fundamentalmente, aunque lógicamente me apoyara en técnicas más clásicas.

Así pues tras analizar y desechar diversas ideas, le propuse el "Estudio hidrogeológico regional de la cuenca del río Tajuña en las provincias de Madrid y Guadalajara", a ello me decidió varias razones, entre ellas el ser la única zona aun no estudiada de la Fosa de Madrid, a excepción de algunos trabajos locales. Las restantes cuencas de los ríos Henares, Jarama, Manzanares, Guadarrama y Alberche de la Fosa de Madrid, fueron objeto de otras tantas tesis doctorales leídas en el mismo Departamento de Geomorfología y Geotectónica entre los años 1975 y 1978. La cuenca del río Tajuña, sin embargo, presenta caracteres litológicos diferentes de las anteriores. Por otra parte la geología y la problemática hidrogeológica de esta región, recordaría al Sr. Kaber, aunque en menor escala, a la meseta Sirio-Libanesa de su país de origen.

Pronto reconocí en D. Joussef Kaber, una gran meticulosidad y tenacidad en el trabajo que le llevó a explorar y explotar las diversas posibilidades de la metodología aplicada, que aunque ya clásica, ha sabido obtener los resultados que el lector tiene entre sus manos.

Con este trabajo, se ha completado el estudio hidrogeológico básico, de esta importante región socio-económica que coincide con la Fosa de Madrid, habiendo alcanzado el Sr. Kaber todos los objetivos que se pretenden en un estudio regional: Identificación de los acuíferos existentes, determinación de su geometría y sus parámetros hidráulicos, estudio de las relaciones mutuas entre acuíferos y los elementos externos a ellos (precipitación, temperatura, flujo superficial...), enmarcándolo en un modelo conceptual de la hidrodinámica del sistema. Asimismo cuantifica los volúmenes de agua puestos en juego en esta dinámica y el tiempo de renovación o

permanencia media de estos volúmenes de agua en cada acuífero, esto es, determina no sólo el movimiento sino la velocidad de flujo. Todo esto lo completa con la caracterización química de las aguas y su calidad, según los diversos usos, principalmente domésticos y para riego, así como la identificación de los principales factores que pueden alterar la calidad de estas aguas y las posibilidades de explotación (rendimiento de los pozos, etc...) de estos acuíferos.

Se trata pues, de un trabajo digno elaborado con rigor, como lo muestra el hecho de que en un tomo aparte de la Memoria que aquí se publica, presente el Sr. Kaber como anexos todos los datos debidamente tabulados y ordenados en que se basó para elaborar la Memoria. Entre ellos más de quinientos "puntos de agua" (pozos y manantiales) que "analizó" hidrogeológicamente y otros datos como análisis químicos, etc. Desafortunadamente las normas de publicación de la Editora de la Universidad Complutense, no permiten incluir en esta publicación los anexos y planos, que por su tamaño no pueden reducirse a este formato, pero que el lector interesado puede consultar en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Geológicas.

El Sr. Kaber de regreso a su país nos deja como regalo de despedida un trabajo bien hecho y la aportación de su grano de arena, al conocimiento hidrogeológico de nuestro país, pero se lleva algo más importante, unos conocimientos y experiencias adquiridas que le capacitan para enfrentarse a la resolución de los problemas hidrogeológicos que le puedan surgir en el futuro.

Fernando López Vera  
Madrid, Febrero 1983



### AGRADECIMIENTOS

Muchas son las personas y Organismos, tanto de mi País, SIRIA, como de ESPAÑA, que han intervenido para hacer posible la realización de mi doctorado en Ciencias Geológicas y a las que debo mi gratitud, pero cuya enumeración aquí sería demasiado larga, por lo que sólo citaremos algunas.

En primer lugar, agradezco a mi director, D. Fernando López Vera, sus orientaciones y sugerencias continuas para la realización de este trabajo. Al Embajador de España en Damasco, Excmo. Sr. D. Félix Guillermo Fernández-Shaw y Baldasano, así como al Director General de Relaciones Culturales y, en especial, al personal de la Sección de Intercambio, del Ministerio Español de Asuntos Exteriores.

A la empresa donde presto mis servicios como geólogo, General Establishment of Geology and Mineral Resources, en Tartous (Siria), agradezco las facilidades para llevar a cabo este trabajo.

Agradezco al Director del Departamento de Geomorfología y Geotectónica de la Facultad de Ciencias Geológicas, Prof. Dr. D. Manuel Alía Medina, y al Catedrático Dr. Eduardo Alastrué Castillo, al haberme acogido en su departamento, así como a los profesores y restantes compañeros del mismo sus continuas facilidades.

En la recopilación de datos e información sobre la zona de estudio me ha sido especialmente valiosa la ayuda prestada por la División de Aguas Subterráneas y Geotecnia del Instituto Geológico y Minero de España, y muy especialmente el Director de la División, Dr. D. Jerónimo Abad, D. Carlos Ruiz Celaa, y de la División de Documentación, Sres. Herrera y Oliverri, del citado Instituto.

En la obtención de datos meteorológicos fue inestimable la ayuda del Profesor Giménez de la Cuadra, del Centro Regional del Tajo, del Instituto Nacional de Meteorología.

Asimismo agradezco al Profesor Dr. D. Salvador Ordóñez sus ideas y sugerencias en el campo.

Por último, quiero agradecer a Dña. María José Campos la mecanografía de mis originales y la continua corrección de mi defectuoso español, y al Sr. D. José Manuel Angulo la delineación de los planos y figuras.

INDICE DE CAPITULOS

AGRADECIMIENTOS

INDICE DE CAPITULOS

1.- INTRODUCCION

- 1.1.- Situación y extensión.
- 1.2.- Objetivos y metodología.
- 1.3.- Antecedentes bibliográficos.

2.- GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS DE LA REGION

- 2.1.- Litoestratigrafía.
- 2.2.- Estructuras.
- 2.3.- Morfología de la región.
- 2.4.- Síntesis de la geometría.

3.- CARACTERISTICAS AMBIENTALES

- 3.1.- Temperatura y precipitación.
- 3.2.- Evapotranspiración.
- 3.3.- Sistemas de drenaje.
- 3.4.- Ambiente hidroquímico de los acuíferos.
- 3.5.- modificaciones antrópicas.

4.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL SISTEMA ACUIFERO

- 4.1.- Parámetros hidráulicos del acuífero calcáreo.
- 4.2.- Parámetros hidráulicos de la formación yesífera.
- 4.3.- Parámetros hidráulicos de los depósitos aluviales.
- 4.4.- Parámetros hidráulicos del acuífero del Cretácico.

5.- HIDRODINAMICA Y BALANCE HIDRICO

- 5.1.- Funcionamiento hidrodinámico del acuífero calcáreo.
- 5.2.- Funcionamiento hidrodinámico de la formación yesífera.
- 5.3.- Funcionamiento hidrodinámico de los depósitos aluviales.
- 5.4.- Funcionamiento conjunto del sistema.
- 5.5.- Balance hídrico del sistema.

6.- RECURSOS HIDROGEOLOGICOS Y USOS DEL AGUA

- 6.1.- Reservas y recursos del sistema.
- 6.2.- Calidad del agua de los diversos acuíferos.
- 6.3.- Uso potencial de los recursos.

7.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INDICE DETALLADO

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS EN EL TEXTO

INDICE DE GRANDES PLANOS

INDICE DE APENDICES

No incluido en esta publicación.

C A P I T U L O - 1

INTRODUCCION



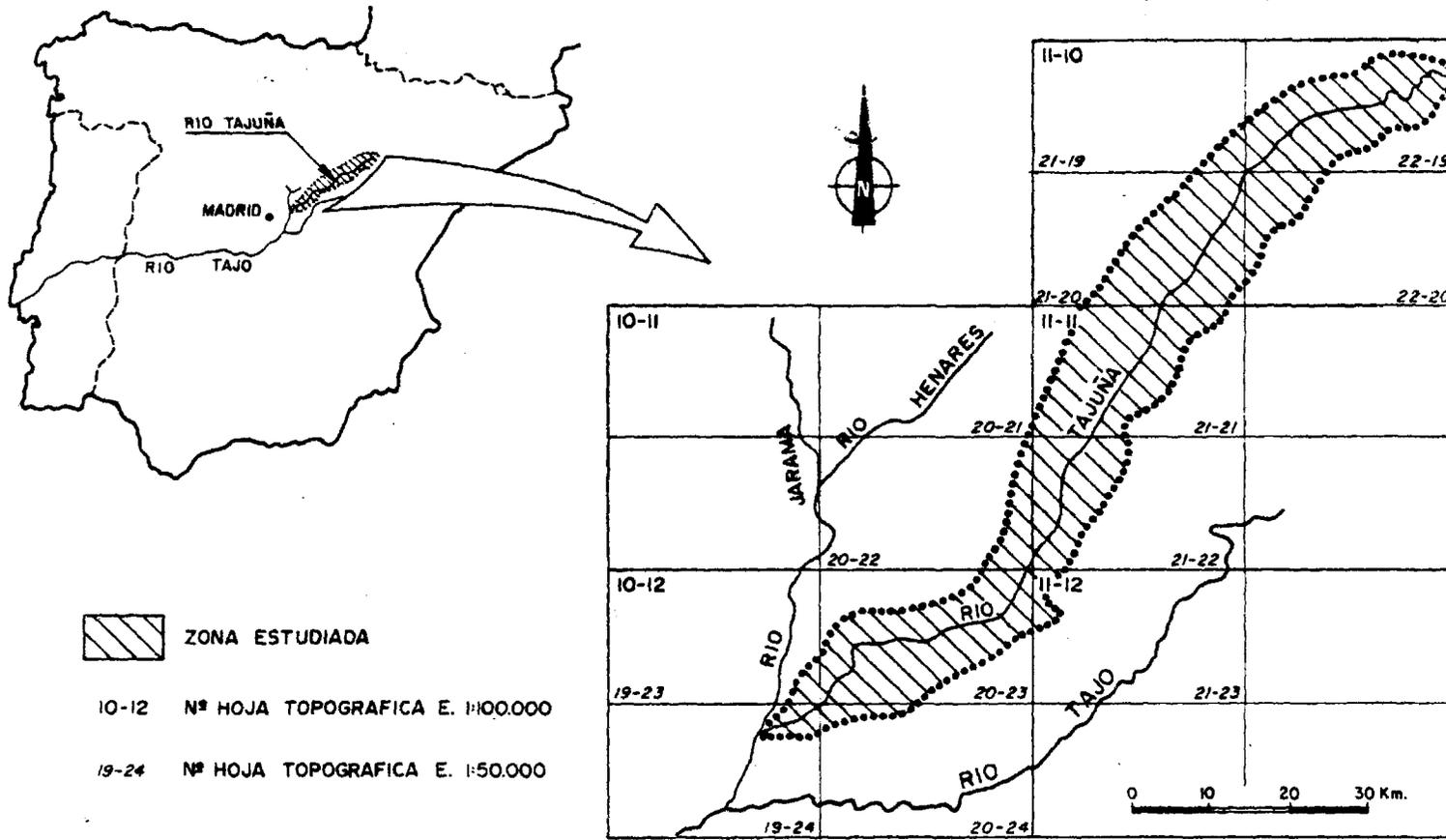


Fig. 1.1

SITUACION GEOGRAFICA



### 1.1. SITUACION Y EXTENSION

En este trabajo se estudia la cuenca del río Tajuña; administrativamente se localiza en las provincias de Madrid y Guadalajara. Comprende parte de las siguientes hojas topográficas del Servicio Geográfico del Ejército, a escala 1:100.000.(Fig. 1-1).

Madrid	nº 10 - 11
Getafe	nº 10 - 12
Tarancón	nº 11 - 12
Guadalajara	nº 11 - 11
Brihuega	nº 11 - 10

La superficie estudiada es de unos 2.300 Km<sup>2</sup> aproximadamente.

Geográficamente, la zona de estudio forma parte de la Meseta Central española (Plano 1); presenta, pues, la típica morfología tabular con cerros alomados; la altitud media es de 840 m.

Las zonas más altas se encuentran en la cabecera del río, con altitudes de 1.130 m. aproximadamente, al noroeste del embalse de la Tajera, y las más bajas corresponden a la confluencia del Tajuña con el Jarama; la altitud es de unos 430 metros.

Geológicamente, la cuenca del Tajuña está ubicada en la fosa del Tajo, limitada por macizos montañosos que constituyen el área fuente de los materiales continentales que la han colmatado actualmente (Plano 1. Mapa Litoestratigráfico).

El río Tajuña es el eje de esta región natural, de características geológicas y geomorfológicas propias, conocida con el nombre de La Alcarria.

Hidrogeológicamente, esta región se caracteriza por formar un acuífero libre, colgado, recargado directamente por la infiltración de la lluvia y que se descarga a través de múltiples manantiales de las formaciones del Cuaternario conectadas hidrogeológicamente con el río.

Con una óptica puramente hidrogeológica, quizás hubiese sido más adecuado estudiar individualmente la formación de calizas del "Páramo" que constituye un sistema acuífero bien caracterizado; esto nos hubiera obligado a ampliar nuestra zona a parte de las cuencas de los ríos Henares, Jarama y Tajo, que enmarcan esta región, con lo que los objetivos de nuestro estudio quedarían difuminados e introduciríamos innecesariamente nuevas variables de muy difícil estudio y cuantificación. Por otra parte, trabajos anteriores, López Vera y García-Cuenca (1.976), López Vera (1.977a) y (1.977b), Villarroya y Rebollo (1.977), mostraron que la cuenca del río Tajuña en su tramo medio y bajo constituye una unidad hidrológica e hidrogeológica bien definida.

En su cuenca alta, que se desarrolla sobre materiales calcáreos mesozoicos, hemos cerrado nuestra zona de estudio por encima del embalse en construcción de la Tajeira, coincidiendo con la subunidad hidrogeológica conocida como Subunidad de Abánades.

Por lo anteriormente expuesto, podemos decir que

la zona estudiada está constituida en un 95% de su superficie por acuíferos calcáreos, depósitos yesíferos y detriticos del Terciario, y aluviales y depósitos del Cuaternario, constituyendo las calizas cretácicas menos del 5% del total de la superficie de la cuenca considerada.

## 1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGIA

Los objetivos que se persiguen en este estudio hidrogeológico regional de la cuenca del río Tajuña son:

- a.- Determinación de la geometría de los acuíferos de esta región.
- b.- Identificación de los parámetros hidráulicos de los acuíferos.
- c.- Establecimiento de un modelo conceptual de la dinámica del flujo de agua subterránea en estos acuíferos.
- d.- Determinación del quimismo y calidad del agua de estos acuíferos.

La metodología utilizada en la prosecución de los objetivos fijados es ya clásica en los estudios hidrogeológicos regionales; esto es:

- a.- Recopilación y síntesis bibliográfica de los trabajos geológicos e hidrogeológicos realizados sobre esta región.
- b.- Realización del inventario de puntos de agua, con identificación y ubicación de los pozos y manantiales y toma de datos hidráulicos, constructivos, de explotación y muestras de agua de los mismos para análisis químico.
- c.- Toma de datos hidrometeorológicos y su elaboración posterior al objeto de establecer un balance hídrico.
- d.- Realización de una síntesis geológica, con control de campo.

ZONA  
DE  
ESTUDIO

5

ANTECEDENTES

OBJETIVOS PROPUESTOS

INVENTARIO  
DE PUNTOS  
DE AGUA

GEOLOGIA

Datos  
ologicos

Analisis  
Fisico y  
Quimico

Niveles  
piezometricos

Datos  
hidráulicos

Lito-  
estratigrafia

Morfo-  
estructura

Ciclo  
Hidrológico

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

Geometria

Parámetros  
Hidráulicos

Funcionamiento  
Hidrodinámico

Calidad  
del agua

DIRECTRICES DE PROSPECCION  
Y  
EXPLOTACION HIDROGEOLOGICA

ORGANIGRAMA DE LA METODOLOGIA UTILIZADA

Fig. 1-2

- e.- Realización de aforos de manantiales y ensayos de bombeo en pozos.
- f.- Elaboración e integración de datos para alcanzar los objetivos propuestos.

La Fig. 1-2 muestra en forma de organigrama la metodología y plan seguido para la elaboración y desarrollo de este trabajo.

Las escalas de trabajo adoptadas han sido el mapa geológico y topográfico nacional a 1:50.000, si bien, dada la densidad de datos, los resultados los presentamos aquí a escala 1:100.000 y 1:200.000, respectivamente, al objeto de facilitar su comprensión y representación.

### 1.3. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

Existen relativamente pocos trabajos de Geología o Hidrogeología publicados sobre nuestra zona; la mayor parte de ellos son notas sobre observaciones locales de tipo estratigráfico, paleontológico, geomorfológico, tectónico. Quizá haya influido el poco desarrollo de la metodología hidrogeológica en el estudio de estos ambientes geológicos. Haremos a continuación un resumen de los datos locales y de la evolución de los conocimientos de la zona estudiada, ampliándolo a las zonas límtrofes.

#### 1.3.1.- Los primeros conocimientos.

La Geología de la cuenca del río Tajuña fue tratada por Hernández-Pacheco, F., en una comunicación presentada el año 1.923 a la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias y publicada posteriormente, con motivo del Congreso de Salamanca. En ella se menciona una amplia bibliografía relacionada con la Fisiografía, Paleontología, Mineralogía, etc. de estos territorios, que ocupan parte de las provincias de Guadalajara y Madrid. Para la cuenca del Tajuña se describen los caracteres litológicos de las formaciones miocenas que constituyen esta zona afectada por acciones orogénicas y de descompresión, por disolución de yesos, así como las formas topográficas con aspecto de alozados y las profundidades y anchuras a fondo plano de los valles.

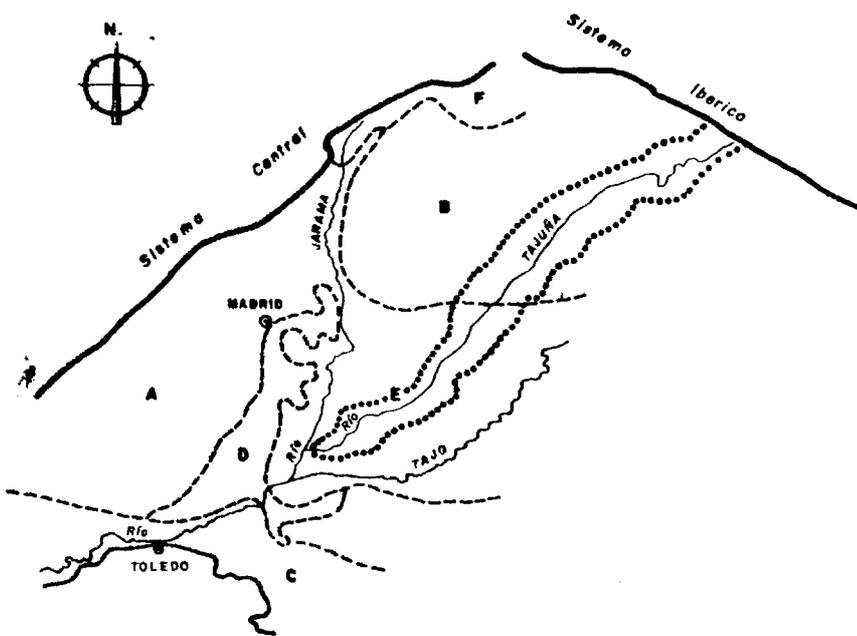
En 1.914, Fernández Navarro estudió las posibles cuencas artesianas de la Península, siguiendo el esquema de artesianismo de alimentación por borde de cuenca de la en-

tonces ya conocida cuenca de París; su esquema se ha mantenido como único en España hasta la actualidad.

En 1.922 y 1.926, Royo Gómez establece un paralelismo entre la cuenca del Tajo y las otras cuencas terciarias españolas, mejor conocidas, basándose en datos paleontológicos que durante aquel período aportaron diversos autores sobre el hallazgo de fauna principalmente asociada a un nivel de margas yesíferas y arcillas existente sobre los yesos de la Formación Vallecas. Este autor, basándose en la litología y estructura, construye varios perfiles geológicos del Terciario de esta zona.

En los años 1.927 y 1.928 se realizó un sondeo en Alcalá de Henares, provincia de Madrid, en que se alcanzaron los 1.001 metros de profundidad; el resultado negativo obtenido desanimó a los investigadores. Tal vez las deficientes técnicas usadas en aquel tiempo junto con la relativa baja permeabilidad de los sedimentos enfriaron el entusiasmo por el aprovechamiento de las aguas subterráneas de esta cuenca terciaria hasta fechas bastante recientes.

Por otra parte, los trabajos de Geología durante los años 1.926 a 1.930 fueron abundantes debido a la realización de las hojas del Mapa Geológico Nacional de Madrid, Alcalá de Henares y Algete, cuyos números son, respectivamente: 559, 560 y 535. En las publicaciones adjuntas queda establecida la estratigrafía, en donde datan a los yesos de la Formación Vallecas como paleógenos y al resto de los materiales terciarios los datan como un Mioceno inferior, constituidos por depósitos detríticos, englobando lentejones de margas blanquecinas y un Mioceno



- A.- FACIES MADRID
- B.- FACIES GUADALAJARA
- C.- FACIES TOLEDO
- D.- FACIES BLANCA
- E.- FACIES EVAPORITICA
- F.- FACIES TORRELAGUNA

LOCALIZACION DE LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA EN EL CONTEXTO GEOLOGICO LITOFACIES DE LA FOSA DE MADRID Según ORIOL RIBA (1957).

superior, que está formado por las calizas lacustres con gasterópodos de edad Pontiense.

El Cuaternario lo han dividido en diluvial de edad Pleistoceno (en este tramo diferencian cuatro niveles de terrazas) y en aluviál de edad Holoceno.

En el año 1.951 el I.G.M.E. publicó la Hoja Geológica número 583 de Arganda, y se citan dentro del Cuaternario para el cauce del Tajuña formaciones diluviales en la orilla derecha, entre Morata de Tajuña y el límite sur de la Hoja; los autores que redactan la mencionada Hoja consideran que el río abre su cauce actual sobre sus propios aluviones cuaternarios. En la misma Hoja Geológica, publicada más recientemente por el mismo organismo, se citan las terrazas medias (+ 10-15 m.) y las bajas (+ 3-5 m.) en los alrededores de Tielmes y Carabaña y al Suroeste de Morata de Tajuña y, finalmente, indican que la composición de ambas terrazas es predominantemente caliza con matriz limo-arcillosa.

En los años 1.950 y 1.967, Riba O. distingue diversas litofacies (Fig. 1-3) introduciendo la nomenclatura de Facies Madrid, Toledo, Guadalajara, Torrelaguna, etc. que se describen a continuación.

Facies Madrid: materiales resultantes de la descomposición del granito y gneis de la Sierra; arenas feldespáticas con cantos o bloques de gneis y granito alterado, cementados por arcillas amarillentas.

Facies Guadalajara: resultantes de la descomposición de los esquistos y cuarcitas paleozoicas, formadas por arcillas rojas con cantos de cuarcitas (dominantes), esquistos y otras rocas filonianas.

Facies Toledo: materiales procedentes de la erosión del Mesozoico de la Cordillera Ibérica, se distinguen por las margas rojizas y arenas cuarcíferas con cantos de cuarcita y cuarzo.

Facies Torrelaguna: formadas por margas rojizas con intercalación de arenas y bloques de granito y gneis y se enriquecen progresivamente hacia el Este en yesos.

En 1.960, Benayas, C. y Pérez Mateos, J. y Riba, O. clasifican el relleno mioceno de la fosa del Tajo; con facies de borde se dan los materiales detríticos gruesos correspondientes a las Facies Madrid, Toledo y Guadalajara, los cuales se enlazan con depósitos detrítico-calcareo-evaporíticos de Facies Intermedia o de Transición (Serie Blanca), que pasan finalmente a ser netamente evaporíticos, constituyendo la Facies Central o Facies Vallecas (Serie Gris); sobre el conjunto de estos materiales aparece con diverso desarrollo la Serie del Páramo.

### 1.3.2.- Los modernos conocimientos.

A partir del año 1.960 el Profesor Alía, M. lleva a cabo diversos trabajos de carácter estructural en los que investiga la tectónica profunda de la fosa del Tajo. Estos trabajos son muy interesantes de cara al conocimiento geológico de esta región.

En 1.974, Llamas Madurga y López Vera exponen la Metodología seguida por la Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos (S.I.R.H.) para la investigación detallada de los recursos hidráulicos subterráneos de las formaciones terciarias y cuaternarias de la fosa del Tajo.

En 1.975, López Vera explica el relleno del conjunto del Neógeno bajo un régimen de abanico aluvial (alluvial fan).

El medio sedimentario propuesto por López Vera justifica completamente la distribución y deposición de las distintas litologías y, dentro de ellas, las estructuras observables a escala de afloramiento.

Estos nuevos conocimientos constituyen la base de partida en las investigaciones hidrogeológicas.

En el quinquenio 1.971-1.975 se publica un número elevado de trabajos prácticamente equivalente a los realizados en los 125 años anteriores (según López Vera, 1975).

En la memoria haremos referencia más amplia sobre los trabajos publicados acerca de nuestra zona de estudio.

En la Sección de Estudios Hidrogeológicos del S.G.O.P. se realizan una serie de estudios locales para abastecimientos de poblaciones ubicadas sobre los páramos, como es el caso de Carabafia, Colmenar de Oreja, Val

depiélagos. Así como los correspondientes a zonas de abagtecimiento del Canal de Isabel II.

En la década 1.970-80, el equipo de la División de Aguas Subterráneas del I.G.M.E. ha llevado a cabo trabajos e informes de preparación de un programa previo de investigación de aguas subterráneas, con objeto de definir la magnitud de los recursos de agua subterránea en España. Entre otras cosas, refiriéndose a nuestra cuenca, se han realizado dos informes: Hidrogeología sobre la cabecera del río Tajuña y Usos actuales y futuros del agua en la cuenca del Tajuña.

Sobre temas relacionados con la hidrogeología superficial del Tajuña, que drena el 70% de la superficie de la Alcarria, hay publicados algunos estudios: Sáiz García-Cuenca, 1.974; López Vera y Sáiz García-Cuenca, 1.974 y 1.976; y López Vera, 1.977.

Finalmente, en la Facultad de C. Geológicas (bajo la dirección del Prof. Llamas) y el C.S.I.C. (Sección de Investigación de Recursos Hidráulicos) se han efectuado algunos estudios relativos a unos sectores de la Alcarria (Pérez Baviera, 1.974; Jiménez Lara, 1.975; García de la Torre, 1.976; López Vera, 1.975; Villarroya Gil y Rebollo Ferreiro, 1.977).

C A P I T U L O - 2

GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS DE LA REGION

## 2. GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS

El elemento básico de todo estudio hidrogeológico lo constituye el conocimiento de la geometría de los acuíferos; esto es, el establecimiento de la superficie, forma y espesor de los acuíferos. Esto se consigue mediante el estudio de la litoestratigrafía, tectónica y morfología de la región. En este apartado quedan de manifiesto las profundas raíces geológicas de la hidrogeología, aunque aquella no sólo aporta conocimientos sobre la geometría sino que también aporta importante información para la regionalización de los parámetros hidráulicos, como se verá más adelante.

### 2.1. LITOESTRATIGRAFIA

Para el estudio de las características litoestratigráficas que presenta la cuenca del río Tajuña, desde el punto de vista hidrogeológico, la hemos dividido en dos unidades distintas, en cuanto a su comportamiento estratigráfico, estructural y morfológico.

Estas son: Unidad Ibérica y Zona de la Meseta o Región de La Alcarria.

#### 2.1.1.- Unidad Ibérica.

Ocupa únicamente la cabecera del río Tajuña y tiene las peculiaridades geológicas del Sistema Ibérico.

El Mesozoico está bien representado por afloramientos del Cretácico y del Jurásico, estos últimos en el borde superior y fuera de la cuenca estudiada, pero cuya descripción incluimos por aparecer infrayacentes a los acuíferos cretácicos.

El Terciario aparece con materiales atribuidos al Mioceno en facies marginal, de conglomerados y areniscas mal caracterizadas; en algunos puntos pueden observarse discordancias progresivas con el Cretácico.

Por último, aparece el Cuaternario, esporádicamente, correspondiendo estos depósitos a un aluvial formado por arenas y arcillas.

#### 2.1.1.1.- Jurásico.

Está constituido por una serie carbonatada. Así distinguimos de base a techo los siguientes tramos: (ver Plano 1)

- J<sub>1</sub> : Dolomítico-calcáreo basal
- J<sub>2</sub> : Tramo margo-calcáreo
- J<sub>3</sub> : Calizas superiores

J<sub>1</sub> : Sobre el Keuper aparece el J<sub>1</sub> con poco espesor, 3 a 4 m., formado por calizas algo arcillosas alternando con otras capas de dolomías de color gris tablegadas, cuyo espesor oscila entre 15 a 20 m.; siguen unas carniolas mal estratificadas con un espesor de 30 a 50 metros.

J<sub>2</sub> : Sobre el conjunto anterior continúa una alternancia de margas y calizas estratificadas en capas de potencia variable; hacia el techo son más abundantes los tramos margosos, de 10 a 50 cm. de potencia.

Los materiales del J<sub>1</sub> y del J<sub>2</sub> van a constituir el acuífero del Jurásico.

J<sub>3</sub> : El Jurásico termina con calizas tableadas con intercalaciones de margas y dolomías; en las margas abundan fósiles del Jurásico, siendo los más frecuentes las Terebrátulas, Rhynchonellas, etc.

El J<sub>3</sub> tiene poco interés hidrogeológico debido a su escasa permeabilidad.

Estratigráficamente, el nivel J<sub>1</sub> es atribuido al Carixiense inferior por diversos autores (Comas Rengifo, M.J., 1.974; Comas Rengifo, M.J. et al., 1.975).

Igualmente, el nivel J<sub>2</sub> se atribuye al Carixiense superior y Toarciense medio y el J<sub>3</sub> al Toarciense superior y Calloviense (Gaybar y Geyer, O., 1.967; Goy, A. et al., 1.974, 1.975, 1.976 y 1.977).

#### 2.1.1.2.- Cretácico.

Se distinguen los siguientes tramos:

C<sub>1</sub> : Los materiales comienzan con un tramo detrítico (Facies Wealdense), se trata de una alternancia de arcillas y calizas localmente hay intercalaciones de

areniscas y conglomerados; el espesor es de 40 a 50 metros.

C<sub>2</sub> : Por encima continúan unos materiales representativos de la Facies Utrillas constituidos por arenas sueltas de grano medio a grueso y conglomerados; la potencia es variable y oscila entre 25 a 50 metros.

La heterometría del grano hace disminuir la porosidad por lo cual carece de interés hidrogeológico.

C<sub>3</sub> : Sobre el conjunto anterior aparece un tramo formado por un banco continuo de calizas localmente dolomíticas y hacia el techo las calizas se hacen detríticas, apareciendo calizas, margas y calizas arenosas. La potencia de este tramo es de 150 a 200 m. Hidrogeológicamente es el tramo de mayor interés del Cretácico tanto por la potencia como por la existencia del área madre de alimentación.

Estos niveles son mejor conocidos estratigráficamente, habiendo sido estudiados por diversos autores (López Olmedo y Gallego Coiduras, 1.978; Menéndez Hevia, F., 1.972, entre otros).

#### 2.1.1.3.- Terciario.

El Mioceno en esta zona aparece subhorizontal y está constituido por conglomerados cementados por una masa calcárea; también existen intercalacio-

nes de areniscas y arcillas rojizas. Estos materiales de tríticos hacia el oeste pasan a margas calizas y yesos, a veces con niveles de arcillas.

#### 2.1.1.4.- Cuaternario.

Tiene escaso desarrollo; se limita a depósitos esporádicos que corresponden al aluvial del río Tajuña en esta unidad y está formado por arcillas y arenas; a veces corresponde a depósitos aluviales también de poco desarrollo.

Hidrogeológicamente, no tienen interés debido a que cubren una superficie pequeña.

#### 2.1.2.- Meseta o Región de La Alcarria.

Ocupa las cuencas media y baja del río Tajuña. Los materiales que afloran corresponden al relleno sedimentario de la fosa terciaria del Tajo.

La variedad litológica de esta región ha sido estudiada por varios autores por lo que existe una diferencia de términos en agrupar los materiales de relleno. Por orden de antigüedad hemos establecido las siguientes divisiones.

##### 2.1.2.1.- Paleógeno.

En la región tratada no aflora el Pa

leógeno. Agueda Villar et al. (1.976), Cutando Perales (1.969). Los materiales paleogénicos se depositan concordantes sobre el Cretácico.

En el sondeo de Tielmes se supone que los materiales atravesados por debajo del Burdigaliense corresponden al Paleógeno y están constituidos por una monótona alternancia de margas grises y yesos de características semejantes a los del Mioceno.

El espesor del conjunto del Paleógeno es variable: en el centro de la cuenca podría aproximarse a los 600 metros, hacia el Norte en el flanco Sur de la cubeta de Guadalix (Fúster y Febrel, 1.959) el espesor es de unos 300 metros; es decir, que la potencia es menor cuanto más próximos estemos de la Unidad Ibérica.

Dada la monotonía litológica y la ausencia de fósiles de estos materiales extraídos en el sondeo de Tielmes, se ha comparado éste con otros análogos de zonas próximas y podrían atribuirse al Oligoceno.

#### 2.1.2.2.- Neógeno.

Aflora en un 80% de la zona de estudio, depositándose discordante sobre el Paleógeno (Riba, O. y Villería, 1.971).

En 1.957, Oriol Riba distinguía unas facies litológicas que están bien individualizadas y las deno-

mina Facies Madrid, Guadalajara, de evaporitas, etc. En general, los trabajos de varios autores demuestran que la repartición de los depósitos neógenos están en función con la proximidad o lejanía al borde de la cuenca, y se pueden reconocer facies de borde o detríticas, facies central o evaporíticas y facies de transición que es una facies mixta de las dos anteriores.

Para el estudio del Neógeno seguiremos la terminología utilizada por López Vera (1.975), distinguiendo de muro a techo:

#### 2.1.2.2.1.- Formación Vallecas.

Es conocida también como Facies Evaporítica por Riba, O. (1.957), como Serie Gris por Alfa M., Portero, y Martín Escorza (1.972) y Unidad Vallecas por Rebollo y Villarroya (1.977).

Limita los valles del Tajuña y de sus afluentes, estando formada en su base por yesos masivos grises en bancos, que hacia el techo presentan progresivamente una ligera estratificación; consta también de yesos sacaroides, fibrosos y especulares con intercalaciones de margas yesíferas (Rebollo y Villarroya, 1.977).

En los alrededores de Perales de Tajuña, Tielmes y Carabaña, aproximadamente al Sur de la región estudiada, se observan intercalaciones de tramos verdosos, azulados o violáceos, constituidos por yesos y sales mag

nésicas del tipo de la Glauberita, Thenardita, Mirabilita y Sal común (San José Lancha, 1.974); este tramo tiene una potencia de 80 a 100 metros.

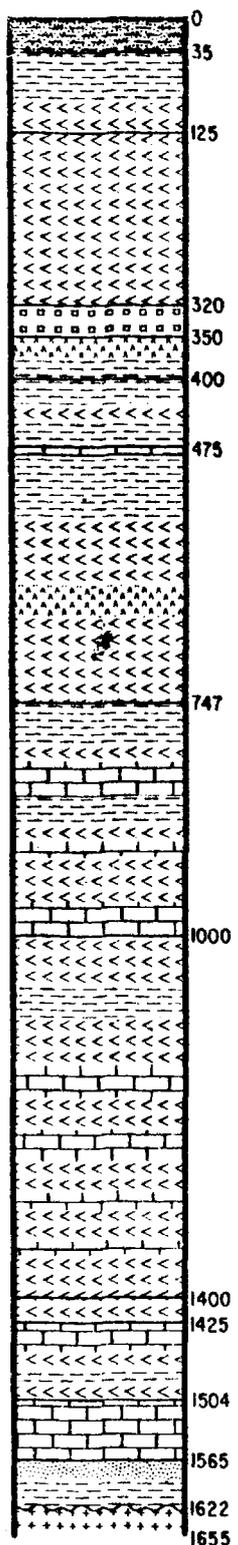
La Formación Vallecas acusa hacia el Norte de la región importantes cambios laterales, de tal forma que si las características descritas son propias de Facies Central y se manifiestan al Sur de la cuenca, yendo aguas arriba del Tajuña, empiezan a aparecer capas de arcillas blanquecinas, margas y arcillas yesíferas, que corresponden a la denominada Facies de Transición.

En el Norte de la Región de la Alcarria aparecen las típicas facies de borde caracterizadas en esta ocasión por areniscas calcáreas, arcillas arenosas, arcillas rojas alternantes con niveles de margas yesíferas; se observan también tramos de conglomerados formados por cantos poco rodados de naturaleza calcárea y matriz arcillosa.

El espesor global de la Formación Vallecas, basándonos en el sondeo de Tielmes, en el centro de la cuenca podría estimarse en unos 100 metros (Fig. 2-1).

La potencia observada para Rebollo y Villarroja (1.977) es de unos 140 m. en el Sur de la Región, y para García de la Torre, también al Sur, es entre 100 y 140 m. Nosotros observamos una disminución desde el Sur al Norte de la Región, variando entre 140 m. a unos 80 m.

En cuanto a la edad de la Formación, García de la Torre (1.976) señala que a partir de la fauna encon-



Arcilla y areniscas

Arcilla  
Yesos

2.3

SONDEO TIELMES

COTA 560 m.  
COORDENADAS UTM:  
X= 620.261 Y=623.474

Anhidrita y yesos

Sal

Anhidrita, yesos, arcillas

Intercalaciones de arcillas y  
anhidritas. Dolomitas

NEOGENO

Intercalaciones de arcillas, anhidrita,  
sal, yeso y margas dolomificas

Arcillas y algo de anhidrita  
Margas y dolomias

1000

Arcillas rojas, dolomias y yesos

PALEOGENO ?

1400

1425

1504

Dolomias

Fig. 2-1

1565

CRETACICO

Areniscas, arenas y arcillas

1622

GRANITO

1655

FUENTE  
PEREZ REGODON 1970  
AUXINI 1976

trada por la Hidroeléctrica de Madrid, podría considerarse como Mioceno medio-inferior, es decir, Burdigaliense-Vindoboniense inferior.

#### 2.1.2.2.2.- Formación Villarejo.

Por encima de la Formación Vallecas y separada de ella mediante una discordancia erosiva generalizada por toda la fosa del Tajo, según hacen constar diversos autores (Alía Medina, 1.960; Hernández Enrile, 1.972; Hernández Fernández, 1.974; López Vera, 1.975).

Por lo general, el conjunto de la Formación está constituido por sedimentos detríticos y margocalcáreos en sus tramos superiores y por arcillas, margas yesíferas y yesos blanquecinos en sus tramos inferiores; el techo de este tramo yesífero constituye el límite impermeable del acuífero Vindoboniense (Pérez Baviera, 1.974).

Los tramos evaporíticos están formados por bancos de yesos blancos y compactos, yesos microcristalinos pardos y yesos grises pulverulentos (San José Lancha, 1.974).

Hacia el Sur de la Formación dominan los materiales evaporíticos y hacia el Norte lo hacen los detríticos y margo-calcáreos, aflorando margas yesíferas y arcillas margosas; gradualmente aparecen los términos claramente detríticos y calcáreos formados por calizas margosas blancas tableadas que intercalan capas delgadas

de caliza compacta, margas arenosas claras, arcillas limosas rojas, margas calcáreas amarillentas (Fig. 2-2).

En el techo de la Formación aparece un nivel compuesto por grandes nódulos cavernosos de sílex que, según San José Lancha (1.975), marca el límite con la Formación del Páramo suprayacente. Este nivel posee una marcada continuidad en toda la zona. La potencia de esta Formación es en los límites de nuestro estudio de unos 80 m., aunque hacia el Norte de la Región de la Alcarria puede disminuir hasta los 40 m.

La edad de la Formación Villarejo está bien determinada ya que en ella han aparecido fósiles de yacimientos de vertebrados (Puente de Vallecas, Cerro de la Plata, Fuente del Calero) y podría corresponder entre el Vindoboniense inferior y superior (Mioceno medio).

#### 2.1.2.2.3.- Formación de los Páramos.

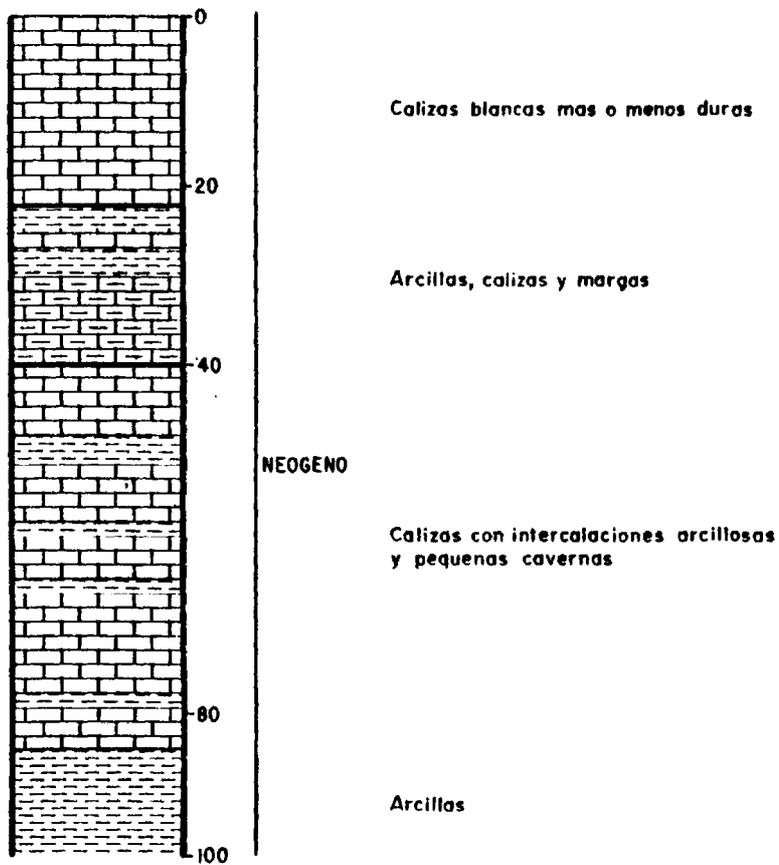
Ocupa prácticamente la totalidad de la superficie de la Región de la Alcarria.

En esta Formación distinguimos dos miembros:

##### 2.1.2.2.3.1.- Miembro basal.

Se deposita en discordancia erosiva con la Formación Villarejo. Está constituido por un conjunto detrítico de gravas y conglomerados.

COTA 985 m  
COORDENADAS UTM :  
X = 664.350 Y = 684.825



SERIE TIPO DE LOS AFLORAMIENTOS

Fig. 2-2

dos arcóscicos con lentejones de cantos de cuarcita. Estos materiales están incluidos en una matriz que oscila desde micro-conglomerática hasta pelítica (García de la Torre, 1.976).

Este miembro presenta cambios importantes de facies y de espesor que oscila entre 20 y 35 m., según García de la Torre, (1.976).

En nuestra zona es de unos 15 m. el espesor, pudiendo llegar a faltar en algunos sitios por no haberse depositado.

El tránsito a las calizas superiores es variable, a veces es gradual a través de unas arcillas micáceas rojizas, que pasan a unas margas con nódulos calcáreos; éstos hacia el techo alternan progresivamente con capas de calizas margosas (García de la Torre, 1.976), sin embargo, otras veces el tránsito entre los dos miembros no sigue un paso gradual.

#### 2.1.2.2.3.2.- Calizas de los Páramos.

Son calizas lacustres y representan el término litológico final de la deposición en el Mio-Plioceno de la Facies Química.

Presentan una amplia extensión en toda la zona estudiada, localmente cubiertas por mantos de poca potencia de gravas y arenas y arcillas.

Este miembro superior presenta variaciones litológicas locales tanto más acusadas cuanto más nos desplazamos hacia el Norte de la Región de la Alcarria, de tal forma que en estas latitudes -según indica Villarroja (1.977)- las calizas del Páramo corresponden también al miembro superior de la Formación Villarejo compuesto por calizas.

En general, se trata de calizas blancas, a veces grisáceas, compactas, depositadas en bancos con alternancia de calizas tobáceas, calizas margosas, margas y arcillas rojizas; estas últimas cubren localmente la superficie, como se ha indicado anteriormente.

San José Lancha (1.974) ha observado que las zonas donde el miembro basal adquiere mayor potencia parecen coincidir con zonas en las que hay más abundancia de intercalaciones detríticas y más términos esparíticos en la caliza de los Páramos, lo que llevaría a definir un ambiente con drenaje bien desarrollado y un régimen de redes fluviales meandriformes, que depositarían material detrítico grueso y en cuyos interfluvios pantanosos se sedimentarían calizas tobáceas lacustres.

El espesor de este conjunto es variable, presentándose los máximos valores hacia el Sur de la Región de la Alcarria, con 40-50 metros, pasando hacia el Norte a 10-20 metros. Referente a la edad de estas calizas, Aguirre (1.974) llevó a cabo un estudio de datación de los depósitos del Neógeno, tratando de correlacionar las series continentales con las marinas, las cuales han sido

atribuidas al Vallesiense (Mioceno superior). García de la Torre (1.976), por comparación con las facies existentes cerca del pueblo de Almonacid y Campo de Calatrava, las asigna una edad Plioceno inferior.

#### 2.1.2.2.4.- Formación Guadalajara.

Es una formación detrítica formada fundamentalmente por arenas con un elevado contenido de arcillas, que son las causantes del color rojo característico del conjunto; además engloba cantos de mineralogía variable de un sitio a otro.

Riba, O. (1.957) denominó al conjunto de estos materiales Facies Guadalajara; López Vera (1.975) les llamó Formación Guadalajara; Villarroja Gil (1.977) les denominó Unidad Guadalajara, distinguiendo tres áreas en las que predomina respectivamente una fracción detrítica sobre las demás. Así, en el área "1" dominan las arcosas feldespáticas con cantos de cuarzo y pizarra; en el área "2" dominan las arcillas rojas, arcillas arenosas y limos arcillosos, que engloban cantos de pizarra y cuarcita; el área "3" es la prolongación hacia el interior de la cuenca de las áreas "1" y "2", estando constituida por materiales más finos, principalmente arenas arcillosas.

En la cuenca media de nuestra zona, merced a un cambio lateral de facies de la Formación Vallecas, aparece siempre la Formación Guadalajara, por debajo de la Formación de los Páramos (Plano 1, Mapa Litoestratigráfico

co). Litológicamente, es intermedia entre las áreas "1" y "2" de Villarroya (1.977); es decir, consta de arenas arcillosas con cantos de cuarzo, pizarra y cuarcita, que procede de la Sierra de Guadarrama.

Paralelamente a la Formación Guadalupe se pueden observar algunas capas de yesos y margas, además de diversas intercalaciones de gravas y arenas que corresponden a paleocanales.

Esta formación se extiende aguas arriba del río Tajuña, hacia el Noreste, hasta la frontera de la Unidad Ibérica; a esta altura se puede observar alguna diferencia debido a la presencia de materiales de naturaleza calcárea procedentes del Mesozoico del Sistema Ibérico.

La potencia de esta formación oscila entre 160 y 180 metros, correspondiendo los máximos espesores a las áreas paralelas a Guadalupe.

Todas estas formaciones detríticas marginales se insertan lateralmente en las formaciones evaporíticas de las facies centrales (véase Mapa Litoestratigráfico, Plano 1).

En los Anexos se adjuntan columnas litoestratigráficas de sondeos efectuados en estas formaciones.

2.1.2.2.5.- Formación Badiel.

Estratigráficamente, está por debajo de la Formación de los Páramos. Esta formación de trítica se distingue por la abundancia de materiales cal cáreos procedentes del Sistema Ibérico, aunque existen otros de naturaleza metamórfica del Sistema Central.

Así, presenta arcillas, arcillas margosas, are nas calcáreas, areniscas, haciéndose más abundantes los conglomerados calizos hacia la base; localmente pueden aparecer algunos yesos detríticos.

Además de la abundancia de materiales calcáreos, se distingue esta formación de la Formación Guadalajara por la presencia de cemento calcáreo en las areniscas y conglomerados.

El espesor del conjunto puede oscilar entre 80 y 120 m. En cambio hacia el Norte el espesor es mayor, llegando a alcanzar los 270 m. (Villarroya Gil, 1.977).

Esta formación ocupa una porción considerable de la cuenca alta del río Tajuña; en los pueblos de Alaminos y de Gajanejos se han realizado sendas series es- tratigráficas locales, que presentamos en los Anexos.

Asimismo, esta formación se encuentra estrecha mente relacionada con el Terciario descrito en el epígra fe 2.1.1.3. de la Unidad Ibérica.

### 2.1.2.3.- Cuaternario.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los depósitos de origen reciente suelen tener interés, pues no están consolidados, por lo cual su porosidad y permeabilidad pueden ser altas.

En la Región de la Alcarria estos depósitos cuaternarios están bien representados; atendiendo a su génesis distinguimos a continuación entre depósitos aluviales, coluviales y eluviales.

#### 2.1.2.3.1.- Depósitos aluviales.

Las características litoestratigráficas del aluvial del río Tajuña acusan una variación de Norte a Sur.

En la región estudiada se observa un buen desarrollo de estos depósitos en la parte meridional, cuyo espesor oscila entre 10 y 20 m., progresivamente, hasta llegar en ocasiones a unos pocos metros. La litología también varía en este sentido; de tal forma que el carácter salino de los depósitos al Sur de la región va transformándose en detrítico hacia el Norte. Así tendremos un aluvial constituido por arenas finas y limos, con carbonatos y sulfatos procedentes de la disgregación de las capas adyacentes del valle del río, apareciendo en los niveles inferiores unos lentejones compuestos por arenas silíceas con gravas sueltas y arenas con cantos sueltos.

Asensio Amor y González Martín (1.971) hacen referencia a la abundancia del material calizo de estos de pósitos aluviales del Tajuña que es debido solamente a la litología de la cuenca, afloramientos cretácicos y jurásicos en el tramo de la cabecera y pontienses en el resto del curso fluvial.

García de la Torre (1.976) distingue dos niveles de terrazas, terraza baja o nivel I, con poca continuidad y que aparece en los alrededores de Tielmes y Carabaña a 10-15 m. sobre el nivel del río, que en algunos puntos se presenta colgada y sin conexión con la terraza alta o nivel II, a su vez formada por cantos predominantemente de caliza bien elaborados, con una matriz limo-arcillosa pardo clara.

López Vera (1.973) observa que este sistema de terrazas se encuentra conectado hidráulicamente entre sí y es común la forma de presentarse en los ríos de la cuenca del Tajo, en cuyos bordes son frecuentes los manantiales y zonas de rezume.

La terraza alta o nivel II, ampliamente desarrollada, aparece con una extensión notable inmediatamente aguas abajo de Morata de Tajuña y cerca de Titulia, y está formada predominantemente por cantos de caliza subredondeados incluidos en una matriz arcillosa.

Sobre los niveles de terrazas aparecen esporádicamente calizas travertínicas tobáceas con abundantes moldes de tallos de plantas. Su potencia oscila entre 4

y 7 m. San José Lancha (1.974) habla de espesores hasta 10-15 m.

En cuanto a la génesis de estas tobas, López Vera et al. (1.976) observan que las precipitaciones acusadas en los Páramos de la Alcarria, cuyo acuífero drena el río Tajuña, son del orden de 560 mm/año. La zona de recarga del acuífero se extiende sobre una superficie de 1.370 Km<sup>2</sup>. Dicha superficie se desarrolla sobre las calizas de la Formación Páramo. Las surgencias en las laderas del valle del Tajuña dan lugar en la actualidad a numerosos depósitos de tobas, posiblemente a todo lo largo del encajamiento de dicho río, y en función de la evolución de los puntos de surgencia han ido formándose y destruyéndose química y mecánicamente diversos edificios tobáceos, algunos de los cuales aún son funcionales.

Asensio Amor y González Martín (1.979) explican la génesis de las tobas desde un punto de vista estrictamente sedimentológico, en varios subprocesos sucesivos, en un clima algo más lluvioso que el actual que justificaría un mayor caudal en las surgencias.

#### 2.1.2.3.2.- Depósitos Coluviales.

En la Formación Vallecas y Villarejo, la presencia de términos evaporíticos junto con arcillas provoca deslizamientos de ladera en el valle del Tajuña. Estos son tanto más acusados cuanto más nos desplazamos hacia el Sur, puesto que el carácter

químico se acusa mucho más aquí que hacia el Norte de la cuenca. Los términos calcáreos de la Formación de los Páramos también producen caídas de bloques por el mismo mecanismo anterior.

Todo ello da lugar a la formación de depósitos coluviales, caracterizados por cantos y bloques de caliza en una matriz limo-arcillosa que posee una elevada proporción de sales (carbonatos y sulfatos).

Los depósitos coluviales se desarrollan en las partes bajas de las laderas, ya que los taludes, de fuerte pendiente, no permiten su formación a media ladera.

En los alrededores de Brihuega aparecen ocasionalmente coluviales constituidos por múltiples tubillos anastomosados, que dan lugar a un material terroso no consolidado, y muy poroso, que superficialmente tiene el aspecto de una escoria y en profundidad presentan indicios de estratificación.

Aparecen asociados a variaciones bruscas de pendientes en el perfil longitudinal de los arroyos.

Su espesor puede llegar a ser superior a los 10 m., aunque por lo general es de 3 a 5 m.

#### 2.1.2.3.3.- Depósitos Eluviales.

Están representados fundamentalmente por las formaciones edáficas y aparecen recu-

briendo la superficie de los Páramos.

Estos depósitos están formados por arcillas rojas y pequeños cantos de caliza.

Edafológicamente, pueden tener interés debido al coeficiente de retención que presentan.

2.1.2.4.- a) Génesis de los depósitos terciarios

b) El medio de abanico aluvial.

a) El estudio del Terciario de la cuenca del Tajo se inició a mediados del siglo pasado por Ezquerro del Bayo y le siguieron Pardo, Luján, Calderón, Palacios, Cortázar, Hernández-Pacheco, etc. Este último contribuyó en gran manera al conocimiento de la zona media y alta de la fosa del Tajo.

Trabajos posteriores demuestran que la repartición de ciertas facies están relacionadas con la proximidad o lejanía del borde de la cuenca y se basan en la composición mineralógica.

En 1.957-1.960, trabajos combinados de varios autores (Riba, Benayas, Pérez Mateos) dan como resultado el establecimiento de una distribución de facies de estos materiales continentales terciarios; así distinguiéron Facies Madrid, Guadalajara, Evaporitas, etc.

Otros autores explican el mecanismo de relleno de la fosa del Tajo como un medio continental endorréico

o semiendorrérico con aportes detríticos procedentes de las áreas madres bajo un régimen torrencial de gran capacidad de erosión y transporte con cambios rítmicos frecuentes tanto de la fuerza de transporte así como de las condiciones climatológicas.

Púster y Febrel (1.959) denominan las litofacies como las características del interior de una cuenca del régimen fluvio-lacustre. Hernández-Pacheco y Aguirre (1.969) dicen que durante un clima seco se depositaron los materiales detríticos en régimen lagunar; los aportes llegaban en forma de amplios mantos de materiales detríticos finos, estableciéndose de vez en cuando redes fluviales incipientes.

Capote y Carro (1.971) hablan de que el régimen de depósito fue fluvio-torrencial. Martín y Leyva (1.973) dicen que son materiales dejados por arroyadas y mantos difusos. Los yesos se forman en lagunas salinas extensas y poco profundas como las "sebkas africanas".

Vegas y Pérez González (1.974) piensan que en el Mioceno el esquema sedimentario responde al de una cuenca endorréica de clima árido. Los materiales corresponden a los que hoy en día se depositan en la sebkka o saladar de cualquier paisaje endorreico.

San José Lancha (1.976) sugiere un ambiente con drenaje externo bien desarrollado y un régimen de arterias fluviales meandriformes depositando materiales gruesos detríticos en cuyos interfluvios pantanosos se depositan calizas tobáceas y lacustres.

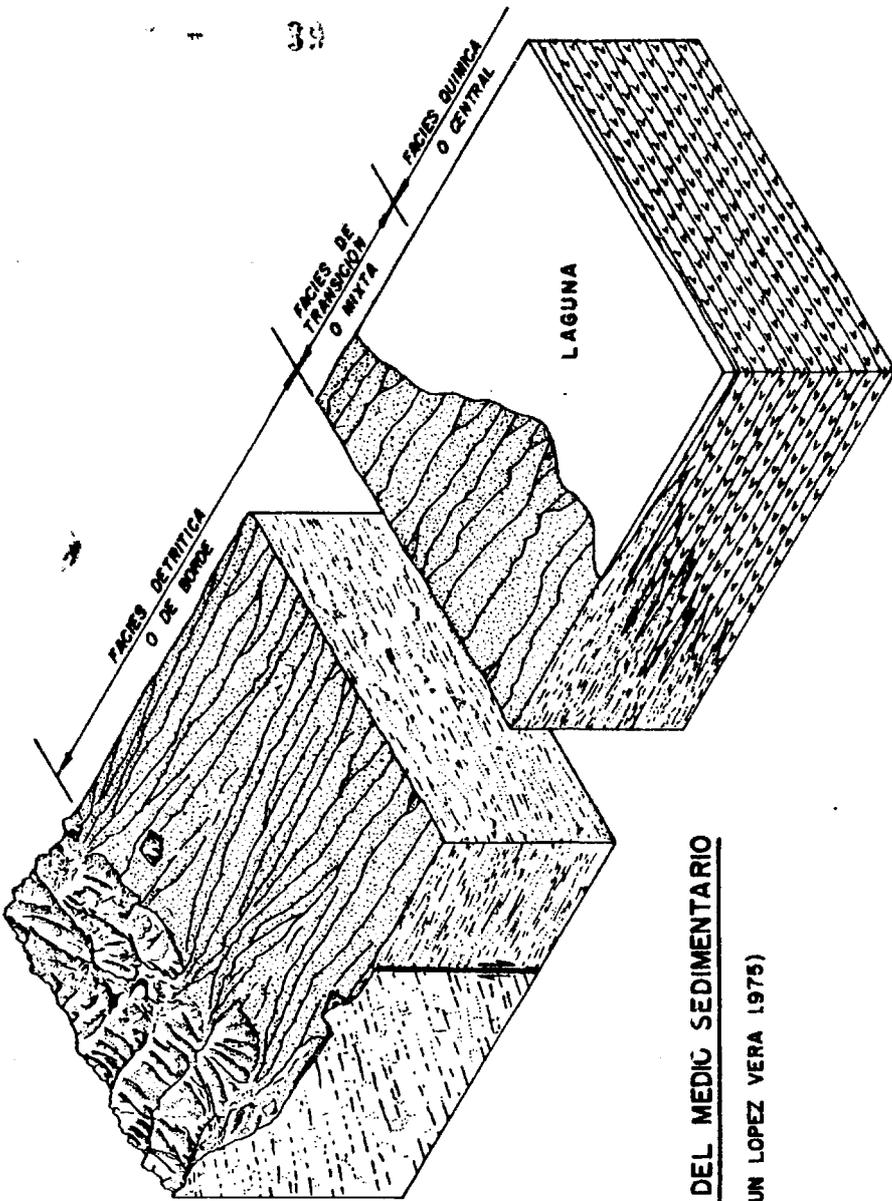
Del análisis global de estos autores, se obtiene el resultado de que en esta región se habían depositado los materiales en un medio continental bajo un régimen torrencial y que la superposición de una facies de borde con una facies interior es un hecho local.

b) El medio de abanico aluvial (alluvial fan) es estudiado por López Vera (1.975), quien explica la deposición del conjunto neógeno bajo un medio del tipo abanico aluvial, basándose en la comparación con modelos existentes de abanicos aluviales de unos ambientes parecidos; también se apoya este autor en diversos hechos observables como presencia de estructuras sedimentarias típicas, discordancia erosiva, canales rellenos de gravas, laminación cruzada, etc. (ver Fig. 2-3).

Los aportes detríticos surgen mediante mecanismos del tipo arroyada en manto (sheet flood), arroyada en canal (stream flood) y arroyos o corrientes (stream), que son los tres de origen fluvial.

El medio sedimentario propuesto por López Vera (1.975) justifica plenamente la deposición de las distintas litologías, así como las estructuras sedimentarias observadas en ellas.

Por otro lado, López Vera distingue varias subfacies que corresponden a distintas zonas del abanico aluvial.



**MODELO DEL MEDIO SEDIMENTARIO**  
(SEGUN LOPEZ VERA 1975)

FIG. 2.3

- Subfacies proximal. Corresponde a la cabecera del abanico. Esta constituida por bloques y conglomerados sin relación. En el extremo de esta subfacies aparecen canales anastomosados y laminación cruzada, estructuras típicas de corrientes de alta energía.

Esta subfacies no llega a aparecer en nuestra zona de estudio.

- Subfacies media. Presenta estructuras sedimentarias debidas a corrientes de inundación y flujo de barro; en esta subfacies son abundantes los canales rellenos de arcosas y gravas con estratificación laminar.
- Subfacies distal. Los depósitos están bien representados con buena estratificación. Estamos ya alejados de la cabecera del abanico; los materiales que llegan son muy finos, principalmente arcillas. En el borde de esta subfacies se pueden encontrar pequeños niveles de yesos que se observan con frecuencia en la cuenca media del río Tajuña.

## 2.2. ESTRUCTURAS

Otro de los factores determinantes para la determinación de la geometría de los acuíferos, la estructura, también lo es de la dinámica que analizamos más detalladamente en el capítulo 5.

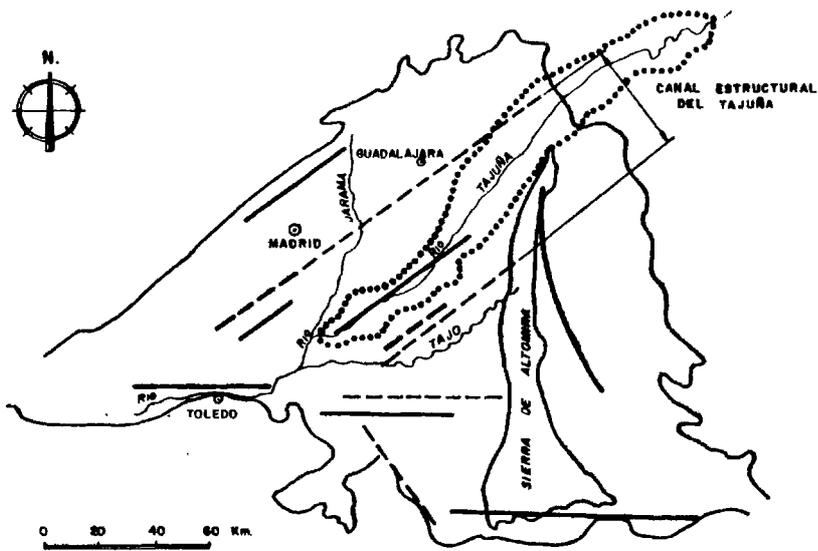
Para la descripción de la estructura de la zona, estudiada al igual que hicimos para la descripción de la litología y litofaciología, consideramos las dos unidades, Ibérica y de los Páramos o Región de la Alcarria, por separado.

### 2.2.1.- Estructura de la Unidad Ibérica.

Las recientes investigaciones estructurales bajo la dirección del Profesor Alía, M. Martín Escorza (1.976), han permitido delimitar grandes estructuras a escala regional, entre ellas el canal estructural del Tajuña (Fig. 2-4), que refleja la tectónica profunda del basamento.

El Mesozoico de la cabecera del Tajuña, en general, está plegado suavemente y modificado por sistemas de fallas posteriores.

En esta unidad se presentan dos direcciones tectónicas principales claramente diferenciadas, ortogonales entre sí, una de dirección N-NW y otra N-NE: la primera afecta principalmente al Cretácico dando estructuras anticlinales; a veces por la erosión de la charnela se pone al descubierto la facies Utrillas e incluso el Jurásico.



- PRINCIPALES FRACTURAS DEL BASAMENTO DETECTADAS POR LA DISTRIBUCION DE ESPESORES.
- FRACTURAS DEL BASAMENTO ACTIVAS DETECTADAS POR LA DISTRIBUCION "CALIZA DEL PARAMO".
- FRACTURAS DEL BASAMENTO ACTIVAS DETECTADAS POR LA DISTRIBUCION DE FACIES

Según C. MARTIN ESCORZA (1976)b

Fig. 2-4

Por otro lado, la distribución de las distintas facies del Mesozoico están condicionadas por transgresiones y regresiones.

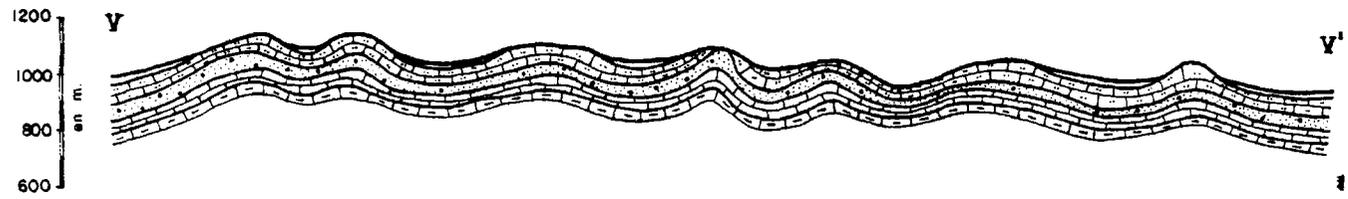
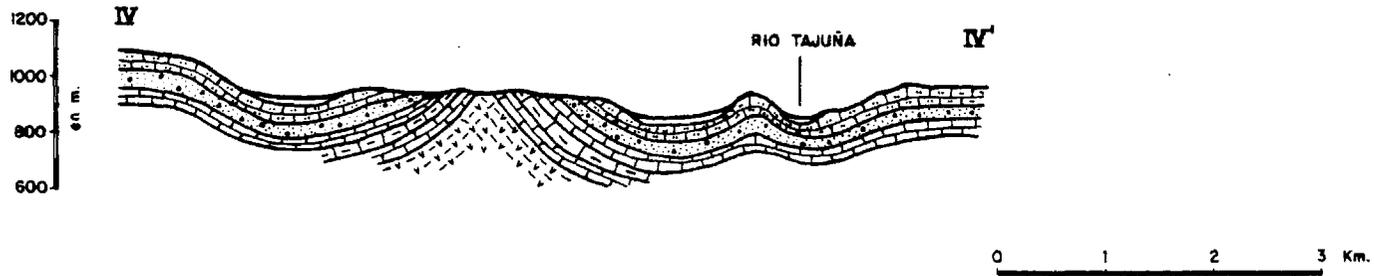
En el Jurásico parece que hay dos ciclos, el primero es transgresivo y el segundo es regresivo.

En el Cretácico hay tres ciclos: el primero corresponde a una sedimentación regresiva, típica caliza del Wealdiense y facies Utrillas; luego una transgresión en el Turonense y, finalmente, otra regresión que termina en el Grumniense (Cretácico superior) dando depósitos de carácter continental; según el Informe Técnico número 4 del I.G.M.E., Hidrogeología de la Cabecera Mesozoica del Tajuña, la retirada del mar a finales del Jurásico pone al descubierto el acuífero Jurásico pudiendo iniciarse procesos de erosión y karstificación y la evidencia de esta erosión se basa en que bajo las facies wealdiense cretácicas se sitúan las calizas y dolomías basales del Jurásico inferior (Lias).

Analizando la estructura con detalle, el Mesozoico aparece como una formación con buzamiento regional hacia el centro de la cuenca, de modo que pronto queda oculto bajo las formaciones terciarias.

Al realizar la cartografía a mayor detalle, aparecen en el área estudiada dos directrices tectónicas claramente diferenciadas, ortogonales entre sí, una aproximadamente N-330 (N-30-W) y otra N-60 (N-60-E).

**CORTES GEOLOGICOS EN LA UNIDAD IBERICA**  
**UNIDAD HIDROGEOLOGICA DE ABANADES**



- |  |  |
|--|--|
|  CALIZAS y DOLOMIAS         |  MIOCENO DETRITICO        |
|  CALIZAS y MARGAS         |  CALIZAS MARGO-ARENOSAS |
|  CALIZAS y DOLOMIAS       |  ARENAS y CONGLOMERADOS |
|  MARGAS, ARCILLAS y YESOS |  |

Y-Y' TRAZA DEL PERFIL, VER MAPA LITOESTRATIGRAFICO Nº 1

44

La primera, marcada en el Cretácico, origina una serie de pequeñas estructuras anticlinales, con ejes mayores de pocos Km. de longitud que se hunden en ambos extremos. Al erosionarse las charnelas, se pone al descubierto la formación Utrillás e incluso el Jurásico. Posiblemente son consecuencia del deslizamiento gravitacional del Mesozoico facilitado por la existencia del Trías y Utrillas y debido a la estructura mayor que origina el hundimiento del Mesozoico hacia el centro de la cuenca hidrográfica. Esta disposición hace suponer que el Mesozoico infrayacente al Terciario no está desconectado del aflorante, por lo que en principio sería posible explotarlo cuando la profundidad a que se encuentre lo permita.

La segunda dirección estructural, menos marcada que la primera, origina una serie de alineaciones N-60, entre las que resalta el anticlinal de Renales, en cuyo núcleo aflorante por erosión de la charnela aparece el Trías. Otras estructuras paralelas se sitúan al suroeste de Saelices de la Sal y al sur de Huertahernando.

Como después se verá, las segundas pueden tener mayor importancia que las primeras en cuanto a la limitación de las áreas de alimentación de los acuíferos mesozoicos.

Por último, hay que resaltar el cabalgamiento de Ablanque, situado ya en el Plano nº 1, que pone en contacto el Trías con el tramo superior del Jurásico (J) e incluso con el Cretácico, formación Utrillas (C<sub>2</sub>). La importancia hidrogeológica de este accidente estriba en que crea una barrera impermeable y, por tanto, sirve de límite lateral al acuífero jurásico.

### 2.2.2.- Estructuras de la Meseta.

Los estudios de la cobertura sedimentaria en las regiones centrales de la Meseta española, nos permiten establecer la influencia grande de las estructuras del zócalo subyacente sobre las deformaciones de dicha cobertura. Las antiguas direcciones en el zócalo se manifiestan en las redes fluviales cuaternarias. Alía M. (1.972).

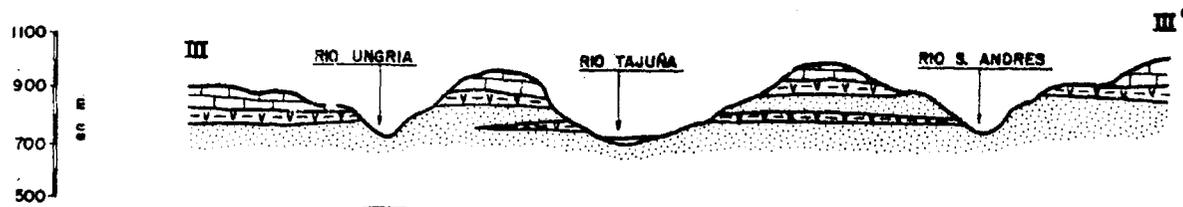
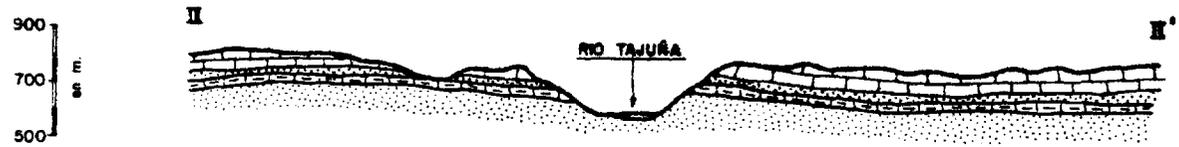
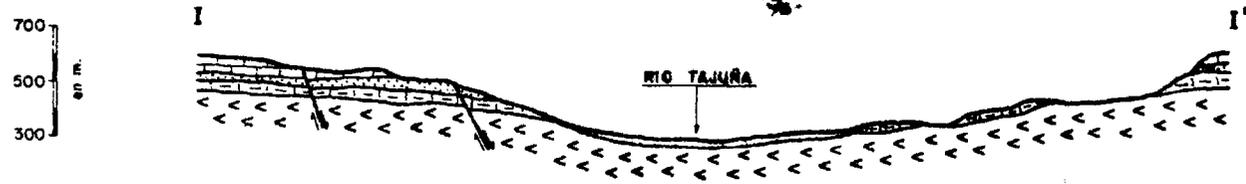
El relleno terciario continental de la fosa del Tajo está limitado por líneas morfoestructurales: al Oeste y Norte, las grandes fracturas de borde del macizo granítico-metamórfico del Sistema Central; al Sur por las montañas de Toledo y al Este por la Sierra de Altomira, cabalgamiento frontal del Sistema Ibérico.

Las directrices estructurales de nuestra zona de estudio vienen definidas por la situación que ocupa en la fosa del Tajo. Hay una tectónica de transición, desde el centro de la cuenca al margen, apareciendo elementos tectónicos de dirección tanto hercínica como alpina; en las depresiones marginales predominan las estructuras alpinas, mientras que en las zonas centrales aparecen estructuras con influencia del zócalo.

El cambio de dirección que sufre el río Tajuña, a veces en ángulo recto, es probablemente un reflejo de una dirección de fracturas en el basamento.

En el sondeo de Tielmes (Fig. 2-1), al sur de la Unidad Alcarria, el basamento se encuentra a una profundidad de unos 1.622 m.; mientras que hacia el norte se encuentra a

# CORTES GEOLOGICOS EN LA MESETA DE LA ALCARRIA



- |  |                          |  |                          |
|--|--------------------------|--|--------------------------|
|  | FORMACION DE LOS PIRAMOS |  | ALUVIONES                |
|  | FORMACION VILLAREJO      |  | ALTER. DETRITICO-QUIMICA |
|  | FORMACION VALLECAS       |  | FORMACION GUADALAJARA    |

I-I' TRAZA DEL PERFIL, VER PLANO LITOSTRATIGRAFICO Nº 1



REALIZADO: YOUSSEF KABER

menos profundidad y podría oscilar entre 200 a 250 m., por lo que la cobertera disminuye progresivamente de espesor desde el sur al norte de dicha Unidad.

Un rasgo estructural importante es el basculamiento hacia el oeste que se observa en toda la zona estudiada. El resultado de la reactivación por las sucesivas fases orogénicas alpinas da lugar a la tectonización del zócalo o basamento, Alía M. (1.960), de tal forma que la cobertera, que constituye la Unidad Alcarria, refleja estos accidentes estructurales, incidiendo decisivamente en el reticulado de la red fluvial, en la fracturación general que se aprecia en las de formaciones, en la distribución de facies, etc.

#### 2.2.2.1.- Fases y ciclos orogénicos.

El ciclo orogénico que afecta a la Meseta es igualmente el Alpino, manifestándose a través de algunas de sus fases; éstas produjeron diversos períodos erosivos que posteriormente dieron lugar a discordancias.

El Paleógeno y el Neógeno están separados por una discordancia angular posiblemente por la fase Estáfrica (González Más y López Vera, 1.978).

Ya en el Neógeno, la Unidad Villarejo está separada de la Unidad Vallecas por una discordancia erosiva de edad in-tramiocena, correspondiente probablemente a la fase Atica.

La base del Páramo constituye un episodio de erosión

y sedimentación fluvial que da lugar a otra discordancia erosiva, producida posiblemente por la fase Rodánica.

Con posterioridad a la deposición de las calizas del Páramo, y antes de su basculamiento general hacia el SW, tuvo lugar otra etapa erosiva que dió lugar a la superficie de erosión  $M_2$  que definió Schwenzner (1.936) y que podría atribuirse a la fase Waláquica.

Finalmente, la red fluvial cuaternaria ha disecado la superficie del "Páramo" labrando profundos valles y modelando la actual morfología que presenta el paisaje alcarreño.

#### 2.2.2.2.- Deformaciones.

Se pueden distinguir claramente dos tipos distintos en cuanto a origen de deformaciones: atectónicas y tectónicas.

##### 2.2.2.2.1.- Deformaciones atectónicas.

Son producidas por disolución (accidentes de asentamiento) y hundimiento de los yesos de la Formación Vallecas o bien por los cambios volumétricos originados en este mismo mineral. Es este proceso, secundado en parte por las fracturas existentes, la causa del enorme espesor encontrado en los aluviones cuaternarios del Tajuña, donde aparecen potencias inesperadas de 50 a 70 m. de gravas, arenas y limos fluviales (García de la Torre, 1.976).

Los cambios volumétricos experimentados por el yeso al pasar a anhidrita dan lugar a pliegues apretados de tipo reomórfico en las capas competentes de la Formación Vallecas y ocasionalmente en la Formación Villarejo.

Localmente, y preferentemente al sur de la Unidad, pueden observarse fenómenos de microdiapirismo en los yesos y arcillas de la Formación Vallecas.

#### 2.2.2.2.2.- Deformaciones tectónicas regionales

Se presentan bajo la forma de amplios pliegues regionales.

A pesar del carácter aparentemente horizontal del Mioceno hay pruebas de la existencia de movimientos tectónicos posteriores. Se aprecia un suave buzamiento regional hacia el SW, que hace ir descendiendo los contactos desde el Norte de la Unidad Alcarria hasta el Sur de la misma. Así, San José Lancha (1.974) hace constar un descenso de unos 100 m. desde Orusco hasta el SW de la Hoja de Arganda. Por otra parte, el contacto entre la Formación de los Páramos y la Formación Villarejo desciende desde los 940 m. de altitud en la región de Budia (en el límite oriental de la zona) hasta los 780 m. al NW de Estremera (cerca del límite oriental de la zona).

Capote, R. y Carro, S. (1.967) aprecian una suave ondulación de gran radio que hace que el contacto entre la Formación Vallecas y la Formación Villarejo ascienda 60-70 m. desde Arganda a Valdaracete.

Entre Pozuelo del Rey y Morata de Tajuña aparece un amplio sinclinal con dirección NNE-SSW que, según García de la Torre (1.976), provoca un descenso topográfico en el contacto de las calizas con la serie detrítica basal en la Formación Páramo, al W de Morata de Tajuña.

En los alrededores de Escopete (al Este de la Unidad estudiada) la Formación Páramo aparece plegada.

Es importante también señalar la diferencia de cetas que presentan los contactos entre las distintas formaciones.

Todos estos accidentes morfoestructurales se atribuyen a la tectónica del zócalo, reflejándose en la cobertura sedimentaria que forma la Unidad Alcarria.

#### 2.2.2.2.3.- Deformaciones tectónicas locales.

Son abundantes en toda la región y se caracterizan por pliegues de 4-5 m. de radio a 15-20 m.

#### 2.2.2.3.- Fracturación.

La fracturación que presenta la Unidad Alcarria, al igual que sus deformaciones está en parte claramente influenciada por la tectonización del zócalo.

A escala regional se observa que las direcciones

rígidas que presentan ciertos tramos del río Tajuña y algunos de sus afluentes corresponden al encajamiento de sus cauces en fracturas que siguen las mismas direcciones estructurales que las existentes en el basamento. Este hecho, denunciado por el Profesor Alfa (1.960), fue corroborado por Cadavid y Hernández (1.969) mediante el estudio magnetotérmico del zócalo de la fosa del Tajo en la hoja topográfica de Arganda, comprobando que las orientaciones E-W, NE-SW, NW-SE, que se observan en superficie sobre la cobertera tanto en la red fluvial como en la distribución de facies, coinciden con las principales direcciones de fracturación del basamento. Así, por ejemplo, la justificación de que el arroyo de la Veguilla desemboque a contracorriente en el río Tajuña (fenómeno observado por Cadavid y Hernández) estriba en la existencia en profundidad de una fractura en el basamento de dirección NE-SW, coincidente con la orientación de dicho arroyo.

A escala local es de destacar la intensa fracturación que presenta la superficie de los Páramos y las fracturas que se aprecian en algunos puntos de la zona que dan lugar al levantamiento parcial de la Formación Páramo (en ocasiones arrasada) y otras a su hundimiento (alrededores de Mondéjar) (Plano 1). Unas de otras pueden estar separadas por fallas que, según San José Lancha (1.975 b), pueden llegar a tener más de 20 m. de salto.

### 2.3. MORFOLOGIA DE LA REGION

En la actualidad existen abundantes estudios geomorfológicos en esta región de la fosa del Tajo; entre ellos citamos los de Vaudour (1.969) y López Vera y Pedraza (1.976).

Para nosotros la morfología debe ser considerada porque existe una fuerte relación entre las formas del relieve y la hidrogeología; no obstante, las zonas karstificadas presentan irregularidades en sus parámetros hidráulicos y direcciones de flujo, puesto que normalmente el agua sigue los puntos débiles en la masa rocosa, como planos de estratificación o diaclasas. Estas circunstancias se verifican claramente en la Meseta de la Alcarria cuyas características litoestratigráficas y estructurales ya estudiamos en los apartados 2.1 y 2.2.

En este apartado vamos a estudiar los elementos morfológicos principales utilizando el método propuesto por López Vera (1.977). De acuerdo con este autor, en el caso de la Meseta de los Páramos de la Alcarria, la utilización de una cartografía geomorfológica, conociendo la tipología del karst, puede proporcionar criterios para tomar decisiones razonables y dar verosimilitud a las hipótesis que se establezcan.

Los elementos geomorfológicos que se utilizan son susceptibles de tratamiento mediante una técnica adecuada, como es la utilizada en el análisis y procesamiento de las imágenes tomadas desde satélites artificiales.

PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO TAJUÑA

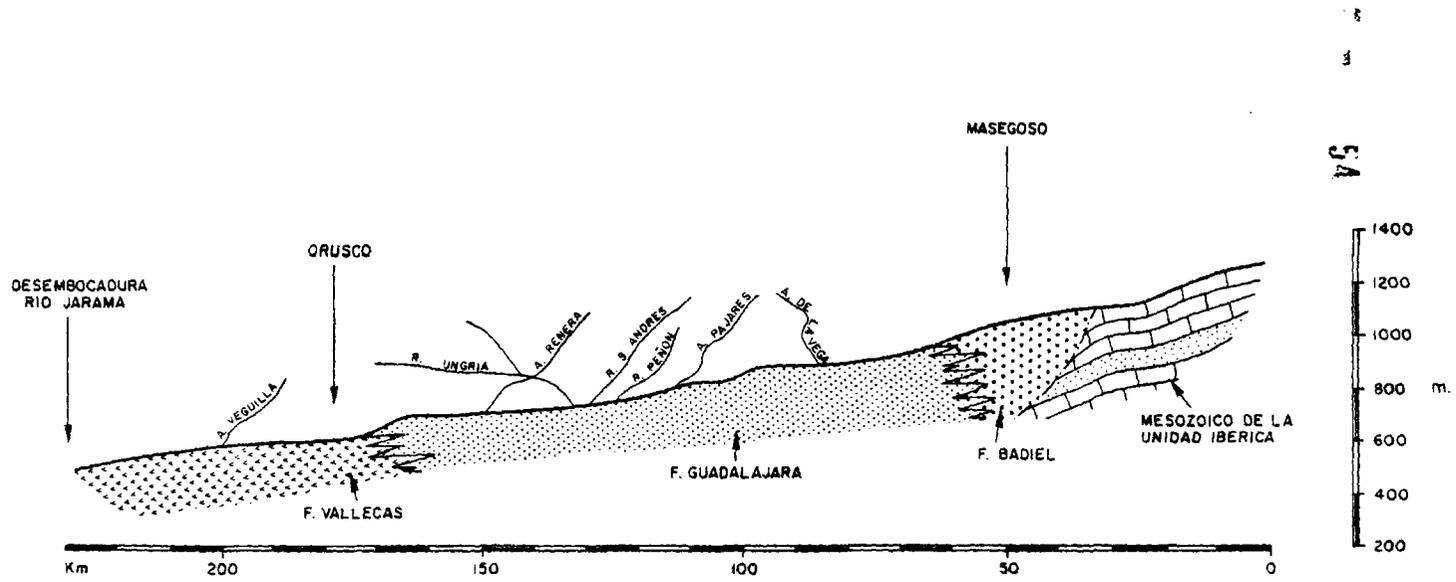


Fig. 2-5

NOTA: los afluentes de la margen izquierda se abaten en la direccion de afluencia y los de la margen derecha en sentido contrario

López Vera expone el método en que son cartografiables las superficies de recarga con las estructuras de absorción disponibles; también las rutas de circulación que siguen las aguas subterráneas que, en el caso nuestro, son fundamentalmente planos de estratificación subhorizontales. La descarga se produce lógicamente mediante manantiales de contacto de ladera y en el talweg de los valles, elementos que también son cartografiables (Fig. 2-6).

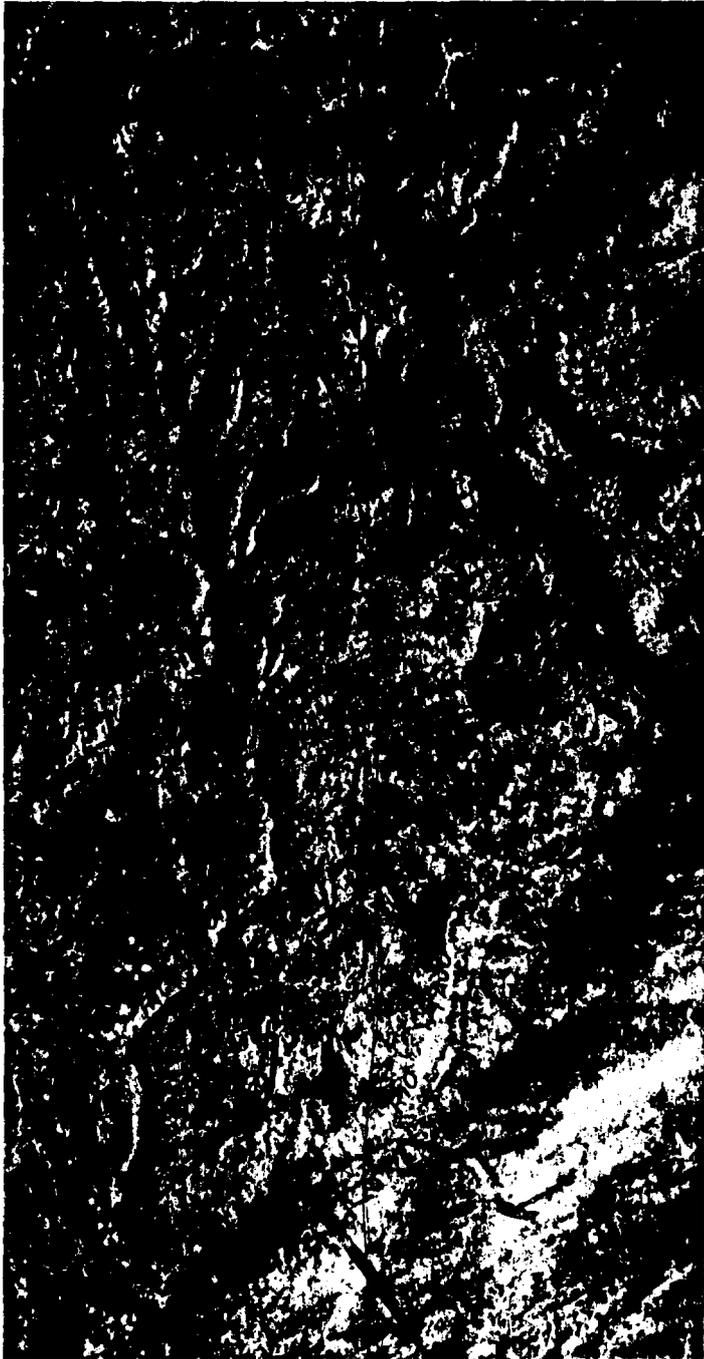
En los acuíferos kársticos prácticamente no hay una superficie freática continua, por lo cual puede resultar muy interesante situar una sección del sistema acuífero y determinar su funcionamiento hidrodinámico. Esto aumentó el interés de la utilización de métodos geomorfológicos por la rapidez y economía de su aplicación.

#### 2.3.1.- Caracteres morfológicos generales de la cuenca del río Tajuña.

La mayor parte de la zona estudiada corresponde a una gran planicie, hendida longitudinalmente por el río Tajuña, cuyo talweg encaja profundamente sobre formaciones dispuestas horizontalmente con ligero basculamiento general hacia el suroeste.

Las altitudes máximas de esta gran llanura superan los 1.000 m., y descienden gradualmente hacia el suroeste hasta los 700 m. en los alrededores de Villarejo de Salvanes.

IMAGEN ESPACIAL DEL PARAMO DE LA ALCARRIA



1 56

Fig. 2.6

La pendiente media del río es del orden del 3‰ (ver Fig. 2-5 . Perfil longitudinal del río Tajuña).

En la provincia de Madrid el río sufre varios cambios bruscos en su dirección, que reflejarían contro los estructurales en el basamento. Por otra parte, se observa que la red fluvial en la cuenca presenta vertientes muy inclinadas y escarpadas por la alternancia de la litología de distinta resistencia a la erosión, lo cual ha dado lugar a deslizamientos de los derrubios coluviales.

La vertiente se muestra más acusada, casi ver tical, en su sección superior, compuesta por las calizas de la Formación de los Páramos, que se extienden por toda la Región de la Alcarria formando el típico relieve tabular de los Páramos. Suelen estar éstos recubiertos discontinuamente por arcillas rojas de descalcificación, cuyo espesor varía de unos centímetros a 1 metro.

Las calizas de la Formación de los Páramos pre senta un karst superficial o exokarst poco desarrollado, ocasionado por los efectos de las aguas procedentes de las precipitaciones; se observan unas pequeñas dolinas, cubetas de disolución y numerosas crestas y oquedades irregulares formando un lapiaz.

En cuanto a los procesos kársticos que afectan al interior de la masa de las calizas, López Vera y Sáiz García-Cuenca (1.976) han determinado dos fases de karsificación más o menos generalizadas. La primera, de ma-

yor intensidad, se manifiesta en el desarrollo de estructuras de disolución verticales; posteriormente ocurre un proceso de relleno por cantos de calizas transportadas desde las proximidades. Estos cantos se encuentran cementados por carbonatos, lo que indica una segunda fase de karstificación, que se habría originado por reactivación de los antiguos conductos como consecuencia de la elevación de la superficie freática en esta zona.

### 2.3.2.- Principales elementos morfológicos.

#### a) Superficie de los Páramos.

Esta denominación viene siendo utilizada por distintos autores, como Riba (1.957), Vaudour (1.969), López Vera y Pedraza (1.976), etc.

Es una gran llanura desarrollada ampliamente por toda la región, sobre la que está instalada una superficie de erosión, denominada M-2 por Schwenzner (1.939).

Las calizas sobre las que se desarrolla esta morfología se encuentran karstificadas; el desarrollo de estas características kársticas superficiales no es homogéneo, mostrando a escala de imagen espacial (Fig. 2-6) un mayor desarrollo en las zonas noreste y sureste; es frecuente en éstas la presencia de dolinas y numerosos arroyos, estando marcadamente divididas por el río Tajuña y sus afluentes principales, que se han encajado en profundos valles.

b) Zonas de glaciares en la cuenca del río Tajuña.

Se observa el desarrollo de los glaciares que enlazan el talweg del río y el reborde de los páramos, si bien en algunos sectores tienen escasa evolución; corresponden al tipo de glaciares coluviales.

Todos los glaciares en el valle del río Tajuña han dejado de funcionar, y se encuentran en la actualidad erosionándose por los arroyos y barrancos afluentes al río. Las fuertes pendientes que ofrecen las laderas del Tajuña, junto con la rápida evolución de los materiales, han contribuido a la degradación de las superficies de estas zonas de glaciares.

c) Las terrazas.

Han sido tratadas en el apartado 2.1 y se hallan representadas en el plano litoestratigráfico nº 1, Tomo II. Añadiremos que las oscilaciones climáticas en el Cuaternario y los procesos erosivos subsiguientes fueron muy activos en la cuenca media del Tajuña, por lo que se pudieron haber erosionado los aluviones correspondientes a este sector del valle.

2.3.3.- Otros rasgos geomorfológicos.

Aparte de los ya mencionados, cabe distin-

tinguir los elementos geomorfológicos siguientes:

- Derrubios de ladera y conos de deyección, que se producen al pie de los escarpes; los principales figuran en el Plano n° 1.
- Barrancos. Son hendiduras que se observan muy especialmente sobre la cobertera edáfica; se habrían originado por la arroyada donde los hilos de agua discurren según surcos o direcciones preferentes en función de la litología.
- Relieves residuales. Se pueden observar algunos cerros testigos distribuidos irregularmente por la cuenca, y que reflejan el desarrollo de la gran planicie en la región.
- Manifestaciones periglaciares, observadas por Asensio y González (1.976) en la cuenca baja y media del río Tajuña. Se trata de procesos de gelivación y diferencias en el modelado del valle y las vertientes durante los períodos fríos del Cuaternario, que se manifiestan en desagregación de rocas acompañada de fenómenos de solifluxión.
- Formaciones tobáceas, encontradas en la cuenca media del Tajuña por Ordóñez et al. (1.979) entre Brihuega y Masegoso (provincia de Guadalajara). Afloran siempre en la margen derecha, con un espesor medio de 5 a 6 m. Estas formas pueden tener relación más inmediata con la superficie freática de los acuíferos y los pun

tos de surgencia de los mismos que con la evolución morfológica del valle.

#### 2.3.4.- Análisis morfométrico del drenaje.

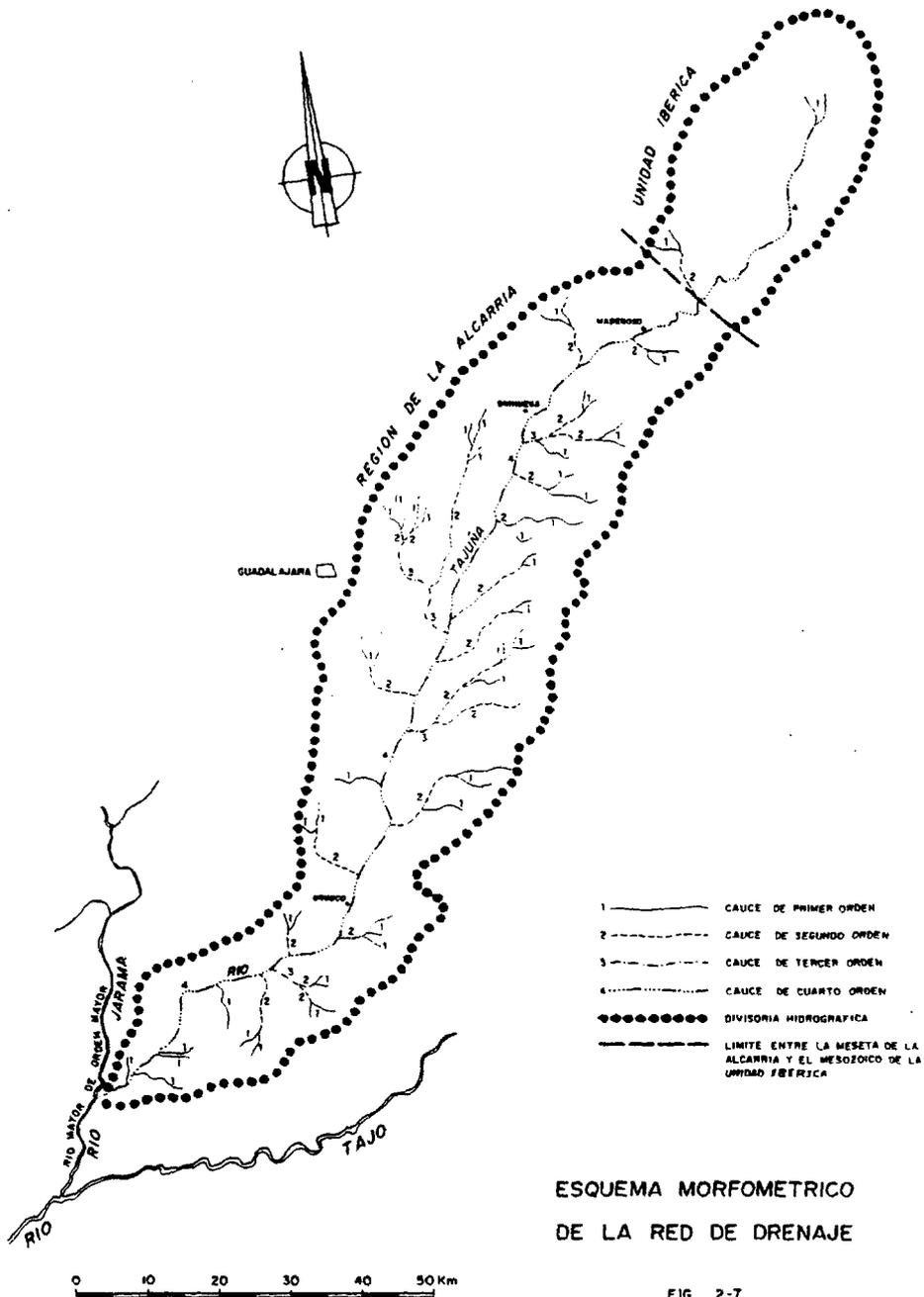
De acuerdo con el método de Strahler, A.N. (1.975), un sistema fluvial se puede jerarquizar asignando una serie de números a cada cauce, empezando por los de menor orden.

En la cuenca de estudio, el río Tajuña es el cauce principal, por tanto el de mayor orden de todo el sistema. En el esquema morfométrico adjunto (Fig. 2-7) se puede observar la red de drenaje de la cuenca del río Tajuña.

En la tabla siguiente constan los parámetros de esta red de drenaje, en la que cada cauce es designado por su orden  $n$ , y el  $n^{\circ}$  de cauces por el símbolo  $Nu$ . A la proporción existente entre el  $n^{\circ}$  de cauces de un orden dado y los del orden inmediato superior se le denomina relación de bifurcación o  $Rb$  ( $Rb = Nu/Nu+1$ ).

Como nos muestra el análisis efectuado, hay más cauces de primer orden que de segundo, y éstos son más numerosos que los de tercer orden, etc.

En general, en una región de clima, litología y estado de desarrollo uniformes, la relación de bifur-



62

cación de los cauces fluviales tiende a permanecer constante de un orden al siguiente. Los valores de esta relación, según Strahler, oscilan entre 3 y 5, que son características de los sistemas fluviales.

Orden del cauce (u)	Número de cauce (Nu)	Relación de bifurcación (Rb)
1	65	----- 3,05
2	21	----- 5,22
3	4	----- 4,00
4	1	

Por otra parte, como se observa en el esquema morfométrico (Fig. 2-7), la litología controla la red de drenaje ya que las calizas de los Páramos, que se extienden por toda la región, tienden a originar bajas densidades de drenaje. Además, como ya sabemos, las aguas de las precipitaciones tienen la facilidad de infiltrarse bajo la superficie del terreno, lo cual contribuye a proporcionar una menor densidad de drenaje superficial.

#### 2.4.- SINTESIS DE LA GEOMETRIA

Ateniéndonos a las características litológicas y estructurales, en la cuenca del río Tajuña distinguimos dos zonas diferentes hidrogeológicamente.

La primera de estas zonas se localiza en la cabecera del río, donde afloran las series mesozoicas que, por su situación, guardan las directrices generales del Sistema Ibérico, razón por la cual la hemos denominado Unidad Ibérica.

Entre los acuíferos que presentan mayor interés hidrogeológico en esta unidad destacamos el acuífero del Jurásico medio o  $J_2$ , formado por una alternancia de margas y calizas, y el acuífero del Cretácico superior o  $C_3$ , formado por un banco continuo de calizas localmente dolomíticas (véase la Tabla 2-8 adjunta, de síntesis de los acuíferos identificados).

La segunda zona distinguida es la Meseta de La Alcarria, de litología muy variada, que en su conjunto puede atribuirse al Neógeno.

López Vera (1.975) explica la deposición de las distintas litofacies que presenta en un medio del tipo abanico aluvial. El citado autor ha distinguido las siguientes formaciones hidrogeológicas:

A. Formación Vallecas. Aflora en el valle del río,

TABLA 2-8

SINTESIS DE LOS ACUIFEROS IDENTIFICADOS Y SUS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS EN LA CUENCA DEL RIO TAJUNA

	ACUIFERO	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> )	ESPEJOR MEDIO (m.)	SITUACION HIDROGEOLOGICA
UNIDAD IBERICA	Acuífero del Jurásico	130	80	Nivel regional
	Acuífero del Cretácico	180	175	Nivel regional
MESA DE LA ALCARRIA	Formación Vallecas	260	>150	Acuífero hasta el talweg del río
	Formación Villarejo	140	80	Acuífero colgado
	Formación Guadalajara	120	180	Nivel regional
	Formación Badiel	90	250	Nivel regional
	Formación de los Páramos	700	20	Acuífero colgado
	Acuífero aluvial	60	8	Nivel regional

con yesos y margas yesíferas predominantemente grises. Está recubierto por aluviones de naturaleza calcárea.

- B. Formación Villarejo. Aparece por encima de la Formación Vallecas. Está formada por margas calcáreas, y margas yesíferas en el muro.
- C. Formación Guadalajara. Aparece en la cuenca media del río Tajuña, paralelamente a la ciudad de la que toma el nombre. Está constituida por arenas con elevado contenido de arcillas. Se distingue por su característico color rojo y por la existencia de cantos de cuarcita y pizarra.
- D. Formación Badiel. Está formada por arenas calcáreas, arcillas margosas y conglomerados cementados por carbonatos. Se distingue de la Formación Guadalajara por la presencia de cantos calcáreos procedentes de las rocas calizas del Sistema Ibérico.
- E. Formación de los Páramos. Cubre todas las formaciones anteriores, formando el típico relieve tabular de los páramos. Presenta tan sólo pequeños pliegues y deformaciones locales. Sobre los niveles calcáreos se han desarrollado dos ciclos de karstificación que suelen afectar a toda la masa de calizas.
- Cuaternario. Los depósitos aluviales que presentan interés hidrogeológico se encuentran en la cuenca baja y media del río Tajuña.

El conjunto de los acuíferos identificados en la cuenca estudiada presenta unas características geométricas que se resumen en la adjunta Tabla 2-8.

Por último, presentamos un esquema explicativo del comportamiento hidrogeológico de los acuíferos en la Meseta de La Alcarria, según López Vera y Sáiz García-Cuenca (1.976) (Fig. 2-9 ).

Sin embargo, desde el punto de vista de la explotación de la Formación de los Páramos, no se puede considerar ésta como un único acuífero sino que debe subdividirse en diferentes unidades, como hacemos en el esquema de la Fig. 6-10, teniendo en cuenta que cada una de estas unidades presenta un régimen hidrodinámico propio, con una zona de alimentación y otra de descarga bien definidas (Fig. 5-2). Y así lo consideraremos adelante al tratar la Hidrodinámica, la Hidroquímica y la Explotación de este acuífero.

SISTEMA		SERIE	LITOLOGIA	ESPESOR	COLUMNA	DESCRIPCION	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO
T E R C I A R I O							
M I O C E N O		PLIOCENO	F. DE LOS PARAMOS	20-25 m		Calizas lacustres edafizadas muy karstificadas	ACUIFERO
		FORMACION VILLAREJO		70-80 m		Gravas, arenas y arcillas rojas	ACUITARDO O ACUICLUDO
	Margas calcareas				ACUIFERO		
	Margocalizas						
F. VALLECAS	+ 150 m				Margas blancas, yesos detriticos y margas yesiferas	ACUITARDO O ACUICLUDO	
						Yesos grises y margas karstificadas hasta el talweg de los rios	ACUIFERO Hasta el talweg de los rios

SERIE SINOPTICA DE LA REGION DE LOS PARAMOS

Fig. 2-9

SEGUN: LOPEZ VERA Y SAIZ GARCIA CUENCA (1.9

C A P I T U L O - 3

CARACTERISTICAS AMBIENTALES

### 3.1. TEMPERATURA Y PRECIPITACION

En el Instituto Nacional de Meteorología (Oficina Regional de la Cuenca Hidrográfica del Tajo) hemos tomado los datos disponibles de temperatura y de precipitación.

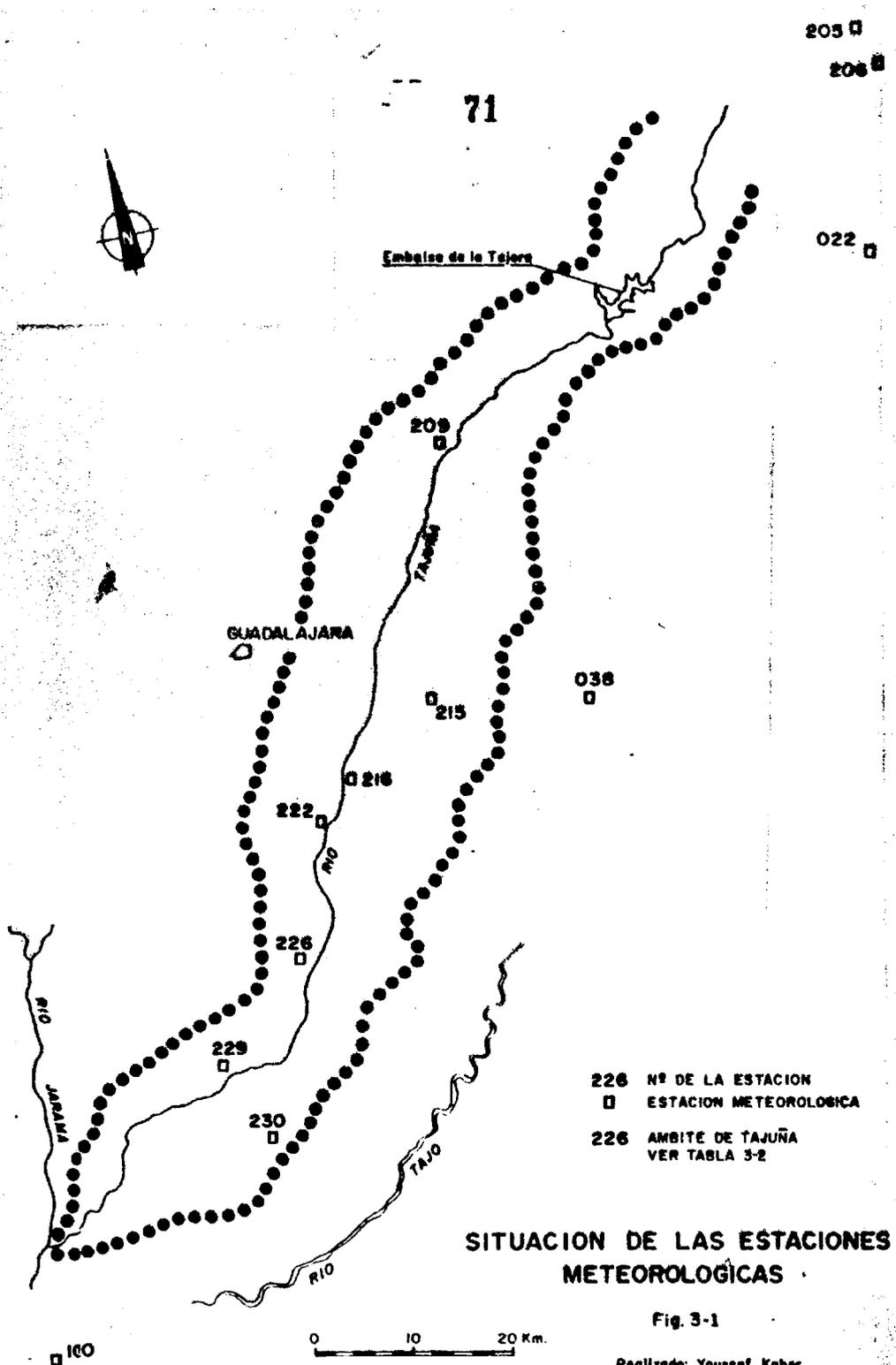
En la Figura 3-1 se reflejan las estaciones meteorológicas que consideramos representativas de toda la cuenca hidrográfica del río Tajuña. En la Tabla 3-2 constan las características generales de dichas estaciones.

Los datos pluviométricos y termométricos se tomaron de los períodos 1.962-1.980 y de 1.971-1.980, respectivamente.

#### 3.1.1.- Significación hidrológica.

La continuidad del ciclo hidrológico se basa fundamentalmente en dos causas: la primera es la energía térmica procedente del Sol, que produce la evaporación de las aguas en la superficie terrestre; la segunda causa es la parte de las precipitaciones que una vez sobre el terreno vayan infiltrándose y pasen a formar parte principal en la recarga de los embalses subterráneos.

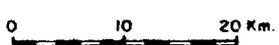
Así pues, en todos los trabajos hidrogeológicos es necesario disponer de datos de temperatura y precipitación de períodos suficientemente largos, con el fin



**SITUACION DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS**

Fig. 3-1

Realizado: Youssef Kober



□ 100

TABLA 3-2

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLOGICAS

ESTACIONES		TIPO	COORDENADAS		ALTITUD (m.)	PROVINCIA	DATOS DISPONIBLES	
Nº	NOMBRE		LONG.	LATIT.			P	T
100	Aranjuez	PT	0°05'E	40°02'N	490	Madrid	1.961-80	1.961-81
216	Aranzueque	PT	0°37'E	40°29'N	694	Guadalajara	1.961-80	
226	Ambite de Tajuña	PT	0°30'E	40°20'N	682	Madrid	1.963-77	1.964-77
209	Brihuega	P	0°49'E	40°45'N	888	Guadalajara	1.962-79	-
206	Ciruelos	PT	1°28'E	41°00'N	1.269	Guadalajara	1.961-63	1.968-76
222	Loranca de Tajuña	P	0°34'E	40°27'N	708	Guadalajara	1.961-80	-
205	Maranchón	PT	1°29'E	41°03'N	1.254	Guadalajara	1.962-80	1.966-79
022	Mazarete	PT	1°30'E	40°57'N	1.000	Guadalajara	1.961-79	
038	Pantano de Entrepeñas	P	0°56'E	40°29'N	650	Guadalajara	1.964-74	-
138	Sauca	PT	1°10'E	41°02'N	1.099	Guadalajara	1.962-80	1.968-79
215	Tendilla	P	0°44'E	40°33'N	768	Guadalajara	1.961-80	-
229	Tielmes	PT	0°22'E	40°15'N	552	Madrid	1.962-80	1.970-79
230	Villarejo de Salvanes	PT	0°25'E	40°10'N	754	Madrid	1.961-78	1.969-74
026	Villanueva	PT	1°26'E	40°41'N	1.271	Guadalajara	1.961-79	

T = Estación termométrica      P = Estación pluviométrica

Fuente : Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 1.981.

72

de conocer los factores meteorológicos que intervienen en el ciclo hidrológico y calcular la cantidad de agua que cae sobre la zona de estudio.

Una vez realizado el análisis de los datos, éstos se comparan cuantitativamente con los resultados obtenidos en otras cuencas limítrofes.

### 3.1.2.- Temperatura.

Las pérdidas de agua bajo el fenómeno de evapotranspiración se deben fundamentalmente a la acción de la energía térmica solar.

La variación de la temperatura con las estaciones del año condiciona el volumen total de agua que pasa al estado gaseoso, por lo cual existe una cierta correlación entre la temperatura y la evapotranspiración potencial.

No obstante, sólo interesa a este fin la temperatura del aire en las inmediaciones de la superficie del suelo; las medidas, a tal efecto, se suelen realizar en las estaciones termopluviométricas.

En la Oficina Regional de la Cuenca Hidrográfica del Tajo, dependiente del Instituto Nacional de Meteorología, hemos elegido las siguientes estaciones, que consideramos representativas de toda la cuenca del río Taja-ña respecto a la temperatura:

TABLA 3-3  
TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES (°C)

ESTACION AÑO	SAUCA (138)	TIELMES (229)	MARANCHON (205)	CIRUELOS (206)	ARANJUEZ (100)	ARANZUEQUE (216)
1.971	10,2	12,7	8,5	12,8	13,7	11,9
1.972	10,4	13,0	8,9	11,9	13,4	11,8
1.973	11,2	13,5	8,7	12,4	13,3	11,9
1.974	10,8	13,5	8,2	11,2	12,4	12,2
1.975	10,6	13,6	8,0	10,5	14,5	12,0
1.976	10,8	13,8	7,6	11,0	14,0	12,1
1.977	10,7	13,5	9,1	10,5	14,1	12,3
1.978	11,0	13,8	8,0	10,7	14,6	12,4
1.979	11,3	14,0	8,8	-	14,8	12,6
1.980	-	13,6	8,5	-	13,6	11,9

Realizado por Youssef Kaber.

Fuente : Instituto Nacional de Meteorología.

- Aranjuez (E. 100)
- Sauca (E. 138)
- Tielmes (E. 229)
- Aranzueque (E. 216)
- Maranchón (E. 205)
- Ciruelos (E. 206)

En las Tablas adjuntas constan las temperaturas medias anuales (véase la Tabla 3-3) de cada estación, que corresponde a la media aritmética de los doce meses del año.

Para el período considerado de 1.971 a 1.980 hemos obtenido la temperatura media en la cuenca del río Tajuña, que resulta ser del orden de 13°C.

Por lo general se observa una ligera disminución de la temperatura siguiendo aguas arriba del río en la zona de estudio.

### 3.1.3.- Precipitación.

La precipitación constituye el componente básico del ciclo hidrológico. En nuestras latitudes corresponde a la fuente principal de recarga de los acuíferos -sobre todo las lluvias, que influyen según intensidad, duración, variación estacional, etc.-.

Con el fin de proceder al análisis y cálculo

de la precipitación registrada en la cuenca del río Tajuña, hemos hecho una recopilación de datos pluviométricos en los archivos del Instituto Nacional de Meteorología, en la Ciudad Universitaria de Madrid.

Las estaciones meteorológicas que consideramos representativas para evaluar la precipitación media, y cuya situación se muestra en la Figura 3-1, son las siguientes:

- Villarejo de Salvanes (E. 230)
- Tiernes (E. 229)
- Ambite de Tajuña (E. 226)
- Loranca de Tajuña (E. 222)
- Tendilla (E. 215)
- Brihuega (E. 209)
- Maranchón (E. 205)

Los valores registrados en el período 1.962-63 a 1.979-80 constan en la Tabla adjunta y corresponden a las precipitaciones medias anuales (Tabla 3-4).

Para hallar la precipitación media en la cuenca se ha utilizado el método de la media aritmética y el de las isoyetas.

La media aritmética entre las estaciones proporciona una precipitación media en la cuenca del río Tajuña del orden de 540 mm.

El método de los polígonos de Thiessen no pa-

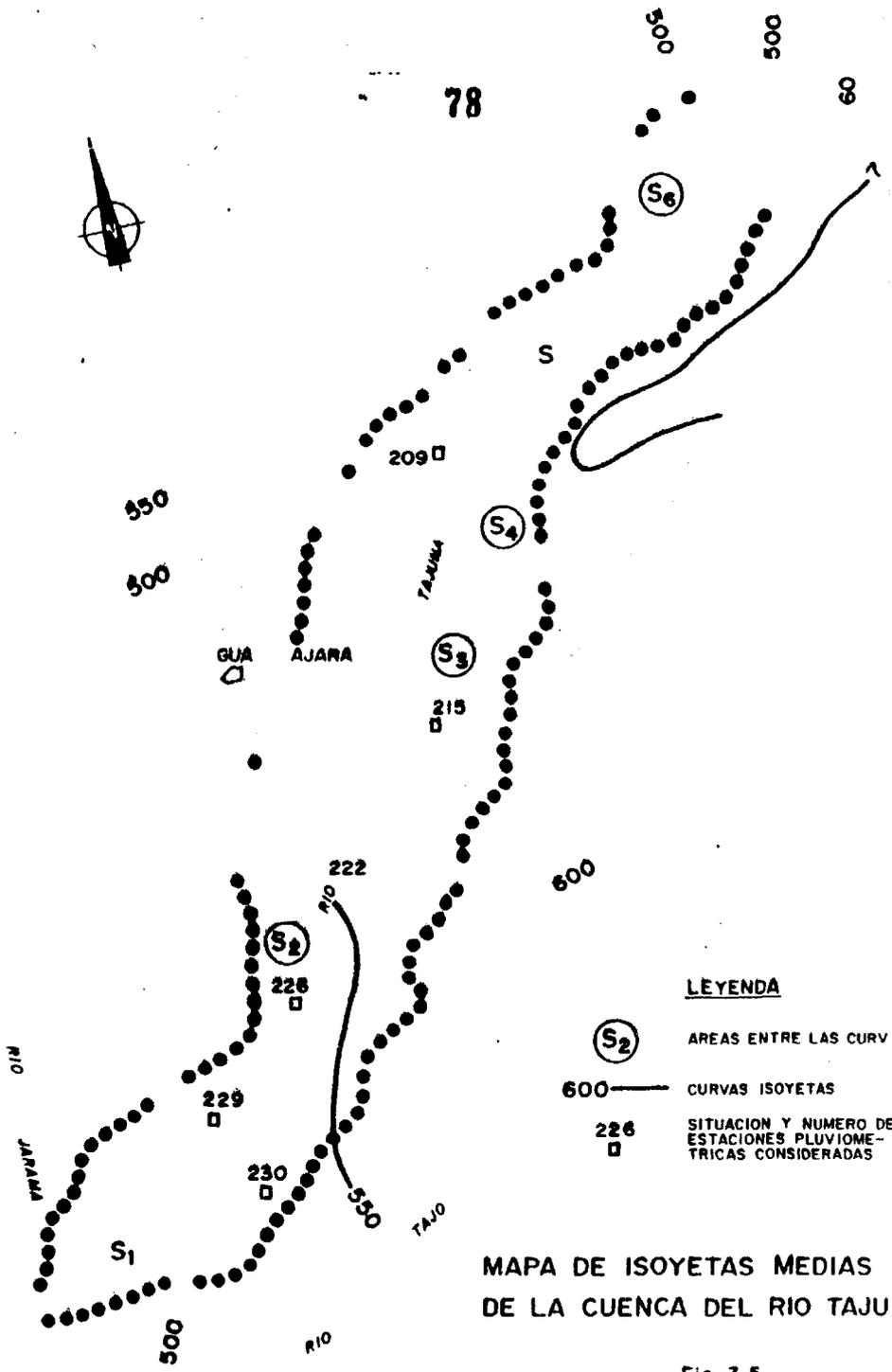
PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES EN mm. - PERIODO 1.962-63 A 1.979-80

ESTACIONES	VILLAREJO DE SALVANES (230)	TIELMES (229)	AMBITO DE TAJUMA (226)	LORANCA DE TAJUNA (222)	TENDILLA (215)	DELHUEGA (209)	MARANONON (205)
1.962-63	591	489	532	491	634	531	590
1.963-64	632	660	635	881	852	916	899
1.964-65	378	362	378	344	504	457	370
1.965-66	601	504	501	621	638	445	729
1.966-67	495	511	478	599	529	500	849
1.967-68	301	300	344	378	501	455	506
1.968-69	428	396	447	428	520	470	625
1.969-70	651	632	427	739	745	656	970
1.970-71	175	338	340	341	385	407	388
1.971-72	559	510	575	605	602	650	646
1.972-73	512	600	675	855	830	674	584
1.973-74	364	325	287	352	400	403	420
1.974-75	420	375	316	395	394	392	678
1.975-76	-	421	362	483	564	589	628
1.976-77	-	635	517	653	613	667	585
1.977-78	-	672	575	677	597	846	885
1.978-79	-	479	-	622	482	611	567
1.979-80	-	600	-	698	534	783	818
Media	470	489	462	563	574	580	652

77

Fuente : Instituto Nacional de Meteorología.

Realizado por Youssef Kaber.



**LEYENDA**

- $S_2$  AREAS ENTRE LAS CURV
- 600— CURVAS ISOYETAS
- 226 □ SITUACION Y NUMERO DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS CONSIDERADAS

**MAPA DE ISOYETAS MEDIAS DE LA CUENCA DEL RIO TAJU**

Fig. 3-5

Realizado: Youssef Kaber

rece ser conveniente para su aplicación en nuestra cuenca debido a su forma alargada y algo retorcida.

El método de las isoyetas es generalmente el más usado y es bien aplicable en nuestra cuenca. Se puede obtener de una forma suficientemente aproximada el volumen total de precipitaciones caídas sobre la zona de estudio.

A partir de las isoyetas representadas en la Figura 3-5, y por interpolación, calculamos las áreas comprendidas entre curvas consecutivas con las precipitaciones correspondientes:

$$S_1 = 185 \text{ Km}^2, P_1 = 500 \text{ mm.}$$

$$S_2 = 715 \text{ Km}^2, P_2 = 525 \text{ mm.}$$

$$S_3 = 695 \text{ Km}^2, P_3 = 575 \text{ mm.}$$

$$S_4 = 350 \text{ Km}^2, P_4 = 650 \text{ mm.}$$

$$S_5 = 250 \text{ Km}^2, P_5 = 550 \text{ mm.}$$

$$S_6 = 275 \text{ Km}^2, P_6 = 500 \text{ mm.}$$

La precipitación media de la cuenca será:

$$P_m = \frac{\sum P.S}{\sum S} = \frac{1.354.000}{2.470} = 548 \text{ mm.}$$

El resultado es parecido al obtenido por el método de la media aritmética, que resultó ser de 540 mm.

Ahora podemos adoptar un valor de la precipita

ción media en la cuenca del río Tajuña de 544 mm./año para el período 1.962-63 a 1.979-80.

Comparando con otras cuencas, Rebollo (1.977) calcula una pluviometría media de 455 mm. en la cuenca del río Guadarrama, para el período 1.955-56 a 1.974-75. Para ese mismo período, Villarroja Gil (1.977) obtiene una pluviometría media anual de 505 mm. en la cuenca del río Henares.

En el estudio hidrológico de los Páramos de la Alcarria, López Vera et al. (1.976) calculan una precipitación media de 560 mm./año para el período 1.963-64 a 1.973-74.

En definitiva, el agua caída sobre nuestra zona de estudio a lo largo de un año es, por término medio, de 1.346 Hm<sup>3</sup>, de los cuales aproximadamente 858 Hm<sup>3</sup> caen sobre las facies químicas, 365 Hm<sup>3</sup> sobre las facies detríticas y los 112 Hm<sup>3</sup> restantes caen sobre los depósitos cuaternarios.

### 3.2. EVAPOTRANSPIRACION

La importancia de la evapotranspiración en el cálculo del balance hídrico a nivel de cuenca hidrográfica y en todos los proyectos de recursos hidráulicos se debe a que, mediante este proceso físico-biológico, una gran parte de la precipitación -aproximadamente el 70% se vuelve a la atmósfera en forma de vapor de agua.

En España peninsular las pérdidas totales por evapotranspiración son tres veces superiores a las pérdidas al mar por los ríos, según Llamas (1.977).

Este agua cedida a la atmósfera produce lo que se denomina déficit de escorrentía, y se calcula en función de datos climáticos y también de las características del suelo, precisamente las reservas de agua en él almacenadas.

El proceso de evapotranspiración en sí corresponde a la evaporación directa desde las aguas superficiales más la descarga de las aguas subterráneas transpirando desde las hojas de las plantas en forma de vapor.

Tanto la evaporación como la transpiración están influidas por los mismos factores meteorológicos, por lo que en condiciones naturales es prácticamente imposible separar estos dos términos.

Thornthwaite (1.948) introdujo el término de

evapotranspiración potencial (ETP), que se refiere a las evaluaciones máximas de la actividad de las plantas, existiendo en el suelo la suficiente humedad para que el proceso de evapotranspiración sea el máximo.

En cambio varios autores definen la evapotranspiración real (ETR) como la cantidad de agua evapotranspirada que depende de la disponibilidad de agua en el subsuelo y de la cubierta vegetal presente.

### 3.2.1.- Evapotranspiración potencial (ETP).

La cantidad de agua que por este concepto vuelve a la atmósfera en el combinado proceso de evaporación y transpiración es máxima en el doble supuesto, es decir, de un suelo suficientemente húmedo y de desarrollo vegetal óptimo. Como queda dicho, la ETP fue definida por primera vez por Thornthwaite (1.948).

Calculando las pérdidas de agua por este concepto resulta difícil estimar el valor real, debido a los múltiples factores que intervienen (Elías y Giménez, 1.965; Custodio y Llamas, 1.976).

Las medidas directas de ETP presentan el inconveniente de que solamente se realizan en observatorios limitados. No obstante, existen métodos empíricos basados en datos meteorológicos y geológicos de la zona; entre estos métodos figuran los de Penman (1.948), Thornthwaite (1.948), Blaney-Criddle (1.962), Turc (1.961), etc.

En regiones áridas y semiáridas la fórmula de Penman suele dar mejores resultados (Elías y Giménez, 1.965). Tiene el inconveniente de que es difícil encontrar todos los datos necesarios para su aplicación en una estación climatológica.

Por el contrario, la fórmula de Thornthwaite presenta relativa facilidad en lo concerniente a los datos necesarios para su aplicación. Constituye el método más usual en España para el cálculo de la evapotranspiración potencial y los balances de agua (Elías y Giménez, 1.965; Elías Castillo y Ruiz Beltrán, 1.973: Clasificación agroclimática de España).

Para la obtención de datos de ETP en la cuenca del río Tajuña hemos consultado al Sr. Giménez de la Cuadra, en la Oficina Regional del Tajo, dependiente del Instituto Nacional de Meteorología.

En la Tabla 3-6 constan los valores de ETP mensuales calculados según el método de Thornthwaite; basándonos en estos datos hemos realizado un mapa (Fig. 3-7 ) en que se puede observar que la ETP es de 750 mm./año en la cuenca alta del Tajuña, y presenta valores de 750 mm./año en las cuencas media y baja; la media aritmética resulta ser de 725 mm./año de ETP para la cuenca del río Tajuña.

En Elías y Giménez (1.965) la ETP calculada también según Thornthwaite en las distintas estaciones

TABLA 3-6

EVAPOTRANSPIRACIONES MENSUALES EN mm. (THORNTHWAITE) - PERIODO 1.941-70

Nº	ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
022	Mazarete	5,8	10,3	27,1	45,0	79,1	114,2	147,8	134,3	91,5	51,8	19,9	7,2	734,0
026	Villanueva	1,5	5,7	23,4	41,9	74,8	110,4	143,3	129,0	87,9	47,2	16,5	2,7	684,7
034	Viana de Mondej.	7,3	11,7	29,4	48,3	80,5	113,9	154,5	140,3	95,2	53,3	21,0	9,0	770,1
038	P. Entrepeñas	8,4	12,9	31,7	51,9	86,2	124,5	169,3	163,3	102,9	57,6	23,0	9,6	836,3
082	Almonacid de Z.	9,1	13,6	33,2	53,8	90,8	134,9	176,4	154,5	103,8	58,3	20,3	10,6	862,3
100	Aranjuez	10,6	15,3	34,1	55,0	91,5	134,7	175,2	154,4	102,8	56,8	23,2	9,9	863,5
086	Zorita de los C.	9,5	14,2	34,0	55,6	93,8	138,8	186,1	164,0	108,4	59,4	23,9	10,3	899,1
087	Salto de Almog.	8,5	12,8	32,4	53,5	91,6	138,3	182,0	159,4	107,3	58,1	22,7	9,3	875,9
094	Tarancón	9,1	13,2	32,0	53,0	90,9	137,9	183,0	163,5	108,6	58,9	22,8	9,4	882,3
095	Fuentidueña	8,5	13,8	32,4	53,5	90,7	137,7	182,9	164,5	109,3	58,7	23,1	9,3	884,4
129	Barajas	9,5	13,9	33,5	55,0	92,9	139,9	182,9	164,0	110,2	60,2	23,9	10,3	898,2
156	Cogolludo	9,6	13,5	31,5	50,7	90,6	137,8	182,9	162,6	110,2	60,7	23,2	11,4	884,5
169	Meco	7,9	12,8	32,4	54,2	92,2	140,4	181,9	162,4	107,3	58,1	22,0	8,3	880,3
171	Alcalá de Hen.	9,8	14,0	33,9	53,9	89,1	134,0	174,2	154,5	103,9	57,8	23,8	10,7	859,6

108

Fuente : Instituto Nacional de Meteorología.



meteorológicas utilizadas es: Aranjuez, 747 mm.; Fuentidueña, 780 mm.; Guadalajara, 744 mm.; Entrepeñas, 740 mm.; Tarancón, 744 mm.

En nuestra zona podemos asignar un valor de ETP de 750 mm./año para la cuenca baja del río Tajuña, de 725 mm./año para la cuenca media, y, finalmente, asignamos un valor de 650 mm./año para la cuenca alta de este río.

Así pues, podemos obtener un valor medio de evapotranspiración potencial anual para toda la cuenca del río Tajuña de 710 mm. Como se ve, estos valores de ETP calculados por el método de Thornthwaite son algo bajos, pudiendo llegar a ser un 15% inferiores a los obtenidos por otros métodos.

### 3.2.2.- Evapotranspiración real (ETR).

La evapotranspiración real, también denominada evapotranspiración actual, es la cantidad de agua evapotranspirada que depende de la disponibilidad de agua en el suelo y de la cubierta vegetal presente en el mismo. En cambio, la cantidad de agua que se pierde según el concepto de ETP nos señalaba valores máximos, suponiendo una superficie cubierta de vegetación y existiendo en todo momento en el suelo humedad suficiente para su actividad de crecimiento.

Los valores de ETP y ETR pueden ser próximos, dependiendo de las condiciones internas propias de las plantas; esto corresponde a un desarrollo rápido de las plantas con renovación de agua en el suelo. Por el contrario pueden existir diferencias notables entre ambos conceptos de evapotranspiración; esto suele ocurrir durante el reposo vegetativo, por ejemplo cuando se maduran los cereales.

Pero también influyen las condiciones exteriores, que son los factores climáticos y estacionales. En estas circunstancias habrá igualdad entre los valores de ETP y ETR en los períodos de exceso de precipitaciones, por poderse mantener la reserva de agua en el suelo; en cambio, habrá diferencia entre ambas evapotranspiraciones durante los períodos de mínima precipitación, en que la reserva de agua en el suelo se va agotando.

El agua acumulada en el suelo depende de la capacidad de retención del mismo, que a su vez dependerá de la textura y profundidad de la zona radicular.

Con el fin de facilitar el cálculo de la capacidad de retención hemos elaborado la Tabla adjunta (Tabla 3-8), que proporciona, según cultivo y terreno, la capacidad de retención de agua, y que es afectada por la evapotranspiración.

TABLA 3-8

## CAPACIDADES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA SEGUN SUELO Y CULTIVO

TEXTURA DEL SUELO	AGUA UTILIZABLE (mm/m)	PROFUNDIDAD RADICULAR (m.)	RETENCION DE HUMEDAD DEL SUELO (mm.)
<u>Cultivos de raíces someras</u>			
- Arenoso fino	100	0,50	50
- Limoso	200	0,62	125
- Arcilloso	300	0,25	75
<u>Cultivos de raíces de prof. media</u>			
- Arenoso fino	100	0,75	75
- Limoso	200	1,00	200
- Arcilloso	300	0,50	150
<u>Cultivos de raíces profundas</u>			
- Arenoso fino	100	1,00	100
- Limoso	200	1,25	250
- Arcilloso	300	0,67	200
<u>Arboles frutales</u>			
- Arenoso fino	100	1,67	150
- Limoso	200	1,50	300
- Arcilloso	300	0,67	200
<u>Bosques cerrados</u>			
- Arenoso fino	100	2,50	250
- Limoso	200	2,00	400
- Arcilloso	300	1,17	350

(Estas cifras se refieren a cultivos desarrollados)

Fuente: Centro de Estudios Hidrográficos (M.O.P.U.).

3.2.2.1.- Determinación de la evapotranspiración real (ETR) a partir de la ETP.

Uno de los mejores métodos para la estimación de la ETP fue desarrollado por Thornthwaite en función de la capacidad de retención de agua por el terreno; sin embargo, tiene también en cuenta el tipo de suelo y las condiciones climáticas.

López Vera y Sáiz García-Cuenca (1.976), en estudios realizados en la región alcarreña, aplican una capacidad de retención al suelo variable entre 50 y 75 mm. Villarroya y Rebollo (1.977), en la Mesa de Chinchón, ubicada entre los ríos Tajuña y Tajo, aplican una capacidad de retención algo inferior, entre 30 y 50 mm., considerando que el recubrimiento no tiene suficiente espesor.

Nosotros asignamos en la cuenca del río Tajuña una capacidad de retención entre 40 y 70 mm., teniendo en cuenta siempre la distribución heterogénea en el espacio de los depósitos formados por arcillas rojas con pequeños cantos de caliza que se originan por descalcificación de las calizas y que recubren la superficie de los páramos.

Conociendo los valores de ETP ya calculados en algunas estaciones de la cuenca del río Tajuña y su entorno, y la pluviometría, al aplicar una reserva de 40 mm. se obtienen los valores de ETR recogidos en la Tabla 3-9.

TABLA 3-9

ETR EN mm. A PARTIR DE LA ETP (THORNTWHAITE), SUPONIENDO UNA RESERVA  
DE AGUA EN EL SUELO DE 40 mm.

MES ESTACION	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ETR ANUAL
Aranjuez	57	22	10	10	15	28	50	56	31	7	18	30	334
Fuentidueña del Tajo	48	22	10	8	15	31	50	71	31	8	16	32	342
Entrepeñas	55	22	13	10	13	31	47	60	58	22	19	39	350
Tarancón	56	20	7	8	10	28	50	69	42	9	26	55	370
Guadalajara	40	22	13	10	15	31	43	68	29	13	9	32	325

Elaboración nuestra a partir de valores de P y ETP según Elías y Giménez (1.965).

Como se puede apreciar, la ETR resulta ser de 345 mm./año, lo cual representa el 76% de la pluviometría registrada en la zona, que corresponde al déficit de escorrentía, según Thornthwaite.

3.2.2.2.- Cálculo de la evapotranspiración real (ETR) por métodos empíricos.

Ante la inexistencia de datos de ETR para la cuenca del Tajuña, ni siquiera de medidas directas por lisímetros, hemos propuesto seguir unos métodos empíricos.

Estos métodos que vamos a aplicar a continuación para el cálculo de la ETR son fórmulas que están diseñadas en función de variables meteorológicas tales como precipitación, temperatura, etc.

Algunos autores, como Chorley, J.R. (1.971), consideran que aun no han sido suficientemente experimentados estos métodos como para evaluar con garantía el volumen de agua perdida por evapotranspiración.

Nosotros elegiremos las fórmulas que se han comprobado en suficientes cuencas de varias regiones del mundo.

1º) La fórmula de Turc, en Custodio y Llamas (1.976), es:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}, \quad \text{en donde}$$

P = pluviometría anual media del periodo considerado =  
= 544 mm./año,

L =  $300 + 25.t + 0,05.t^3$ , siendo t = 13°C.

La ETR resulta ser del orden de 454 mm./año, valor que corresponde al 83% de las precipitaciones.

2º) La fórmula de Coutagne, también en Custodio y Llamas (1.976), es:

$$ETR = P - x.P^2, \quad \text{siendo}$$

$$x = \frac{1}{0,8 + 0,14.t}$$

Según este método obtenemos una ETR de 421 mm. anuales, lo que corresponde al 78% de la pluviometría.

3º) La fórmula de Becerril, en Heras (1.972), es:

$$ETR = P - \chi.P^{3/2}, \quad \text{siendo}$$

$\chi = 0,115$ , un índice característico de clima seco-medio.

Aplicando este método se obtiene una ETR de 450 mm./año, valor que representa el 82% de la pluviometría.

En resumen, según los métodos propuestos, te-

nemos los siguientes valores de evapotranspiración real:

Método	Porcentaje ETR/P	Valor de ETR
Thorntwaite	76%	344 mm./año
Turc	83%	454 mm./año
Coutagne	78%	421 mm./año
Becerril	82%	450 mm./año

Estos resultados obtenidos nos permiten estimar el valor de la ETR en la cuenca del río Tajuña, que resulta ser en valor medio de 419 mm./año, lo cual representa aproximadamente el 78% de las precipitaciones que se registran sobre dicha cuenca.

Por otra parte, la ETR corresponde aproximadamente al déficit de escorrentía, que resulta ser asimismo del orden del 78% de la pluviometría.

### 3.3. SISTEMAS DE DRENAJE

Durante los períodos de precipitación en esta región se alimentan ambas escorrentías: una parte como escorrentía superficial o directa y la otra parte se in filtra y sigue rutas en el interior del terreno y se de nomina escorrentía subterránea o básica.

El río Tajuña es el eje principal del drenaje superficial en la cuenca de estudio. El talweg del río recibe, al atravesar la Meseta de la Alcarria, numerosas surgencias que son la alimentación única en los períodos de estiaje.

Los aportes superficiales son más escasos que los subterráneos si se añaden también los caudales que suministran las calizas mesozoicas en la Unidad Ibérica.

Nosotros en este apartado vamos a analizar los sistemas de drenaje a nivel de cuenca, en función de los datos de aforo correspondientes a las estaciones de Mase goso nº 80 y Orusco nº 82 (ver su situación en la Figura 3-10). Estos datos han sido facilitados por la Comisar ía de Aguas del Tajo (C.A.T.), dependiente del Minister io de Obras Públicas y Urbanismo (M.O.P.U.) en Madrid.

#### 3.3.1.- Características de las estaciones de aforo.

El río Tajuña tiene un recorrido de más de 200 Km. con una pendiente media del 0,3%.

Las dos estaciones de aforo están ubicadas sobre el río Tajuña (Figura 3-10).

La estación nº 80 en Masegoso encierra una cuenca de 650 Km<sup>2</sup>.

La estación nº 82 en Orusco encierra una cuenca de 2.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente.

En la zona de cuenca comprendida entre ambas estaciones la superficie es de 1.350 Km<sup>2</sup>.

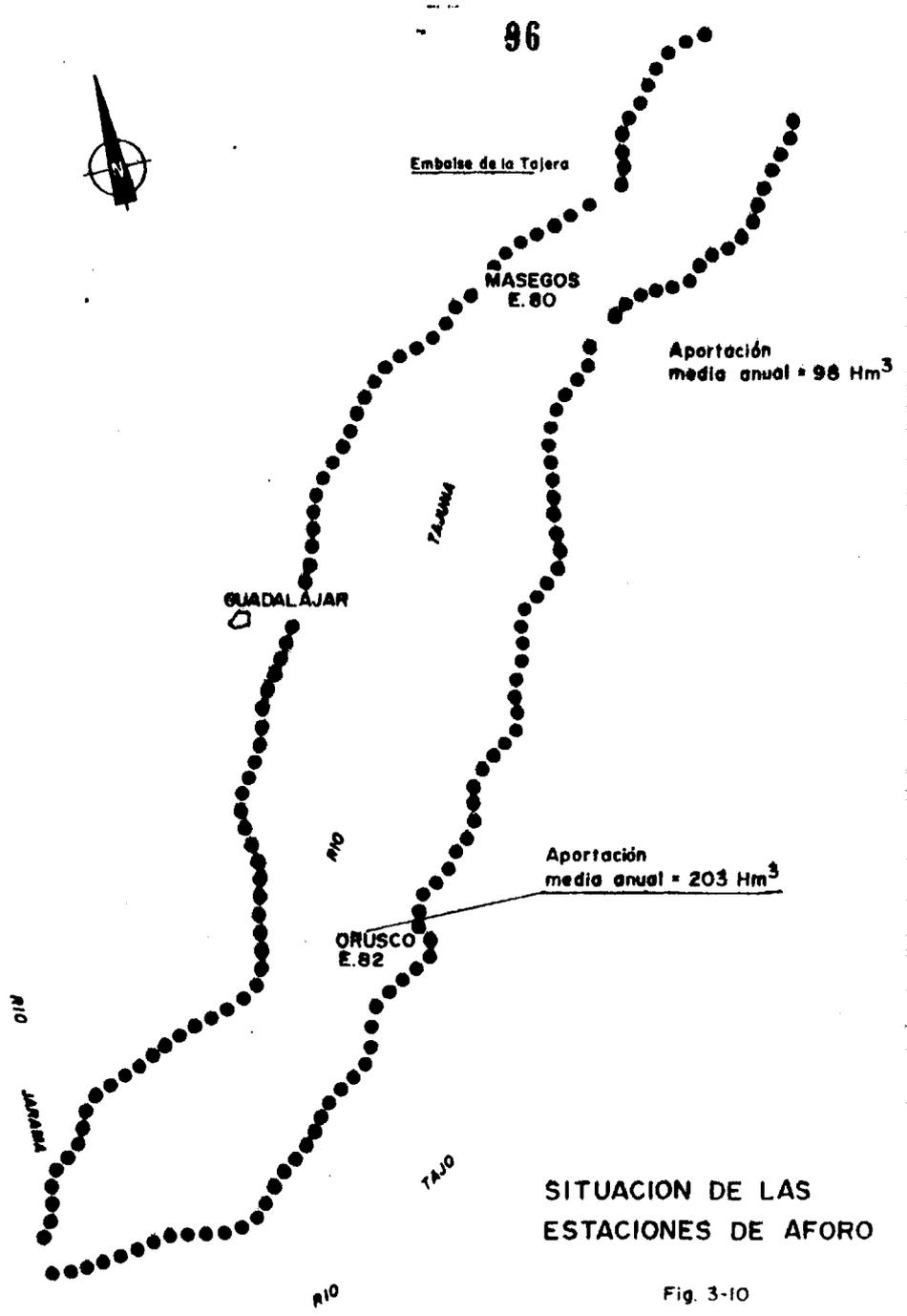
En el mapa adjunto (Figura 3-10) se indica la situación de ambas estaciones de aforo en la cuenca hidrográfica del río Tajuña.

Las características de las estaciones de aforo referidas son:

Estación nº	Coordenadas	Superficie	Medida
Masegoso 80	Long. 0°59'23"E Lat. 40°49'11"N	650 Km <sup>2</sup>	Escala y Limnógrafo
Orusco 82	Long. 0°20'32"E Lat. 40°17'40"N	2.000 Km <sup>2</sup>	Escala y Limnógrafo

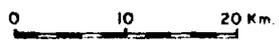
Los afluentes más importantes que recibe el río Tajuña por su margen izquierda son los ríos de San Andrés y Peñón, y por su margen derecha el río Ungría.

Para el análisis cuantitativo contamos con die



SITUACION DE LAS ESTACIONES DE AFORO

Fig. 3-10



Realizado: Youssef Kaber

dieciocho años hidráulicos, que han sido proporcionados por la serie de medidas en las estaciones de aforos ya descritas.

### 3.3.2.- Aportaciones naturales medidas en las estaciones de aforos.

La cuenca del río Tajuña corresponde a un régimen natural libre de intervenciones antrópicas. Las aportaciones registradas en las estaciones de aforos son naturales. El embalse de la Tajera está en la fase inicial de su construcción, por lo que no ejerce influencia en la estación de Masegoso n° 80. En cuanto a la clasificación climática, López Vera y Sáiz García-Cuenca (1.976), basándose en el índice de Martonne, la catalogan como zona semiárida, sin influencia de nieves.

En la Comisaría de Aguas del Tajo del M.O.P.U. hemos tomado los datos de aforo y también hemos consultado a D. Jesús Sáiz García-Cuenca.

Hemos partido de dieciocho años hidráulicos para ambas estaciones de aforo, que corresponden al período entre 1.961-62 y 1.978-79, ambos inclusive.

En las Tablas 3-11 y 3-12 constan las aportaciones mensuales medias ( $m^3/seg.$ ) para las estaciones de Masegoso n° 80 y Orusco n° 82.

TABLA 3-11

CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN m<sup>3</sup>/seg. - PERIODO 1.961-62 A 1.978-79.

ESTACION DE AFOROS NUMERO 80. RIO TAJUÑA EN MASEGOSO. ESCORRENTIA DIRECTA.

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL	VOLUMEN ANUAL Hm <sup>3</sup>
1.961-62	0,86	1,96	2,86	6,36	3,32	5,24	4,10	4,05	2,26	1,07	0,83	0,78	33,7	87,3
1.962-63	1,50	1,46	1,50	4,76	6,95	4,83	7,80	4,29	2,62	1,87	1,93	1,45	40,7	105,2
1.963-64	1,35	5,13	5,83	3,61	5,72	6,59	6,80	4,13	3,61	2,89	1,94	1,64	49,8	129,0
1.964-65	1,55	1,38	1,42	1,38	1,45	4,39	2,13	1,65	1,24	0,83	0,64	0,67	20,1	52,1
1.965-66	1,17	5,60	5,27	12,4	12,3	6,89	8,87	4,45	3,19	1,82	1,34	1,37	60,5	156,9
1.966-67	1,95	6,26	2,48	2,63	3,70	4,20	3,03	2,34	1,75	1,08	1,01	1,08	31,2	80,8
1.967-68	0,98	1,85	1,37	1,08	2,16	2,72	3,67	2,61	1,75	1,05	0,86	0,99	27,1	70,3
1.968-69	0,91	1,01	1,66	1,73	3,85	11,0	5,91	6,70	4,94	2,17	1,49	1,71	42,8	110,9
1.969-70	1,81	2,27	1,99	12,4	5,52	3,38	2,35	1,82	1,39	1,00	0,95	0,79	34,9	90,7
1.970-71	0,98	1,04	1,03	1,08	1,05	1,26	2,84	8,77	7,60	2,22	1,47	1,60	33,9	88,0
1.971-72	1,85	1,55	1,58	1,98	9,34	6,52	3,64	2,64	1,78	1,20	1,03	1,98	35,3	91,5
1.972-73	2,25	4,12	7,08	6,67	4,27	2,93	2,52	2,10	2,53	1,09	0,96	0,97	37,1	96,2
1.973-74	1,05	1,20	1,27	5,54	2,76	3,38	4,45	3,75	2,32	1,46	0,93	1,04	24,6	63,8
1.974-75	1,10	1,32	1,12	1,07	1,45	1,60	2,76	3,23	2,67	1,28	0,94	1,07	20,4	52,9
1.975-76	1,03	1,12	1,09	0,97	0,97	0,94	0,92	0,87	0,72	0,64	0,84	0,77	10,8	27,8
1.976-77	0,93	1,19	1,48	11,4	11,9	9,04	5,29	3,28	2,68	1,83	1,31	1,26	55,0	142,6
1.977-78	1,44	1,42	1,77	2,94	6,72	8,92	3,63	4,09	2,82	1,89	1,08	1,05	37,4	112,0
1.978-79	0,94	1,14	1,24	4,40	11,8	6,98	7,42	4,42	3,97	1,86	1,24	1,19	46,3	120,1

Fuente : Comisaría de Aguas del Tajo. M.O.P.U.

TABLA 3-12

CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN m<sup>3</sup>/seg. - PERIODO 1.961-62 A 1.978-79.

ESTACION DE AFOROS NUMERO 82. RIO TAJUÑA EN ORUSCO. ESCORRENTIA DIRECTA.

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL	VOLUMEN ANUAL Hm <sup>3</sup>
1.961-62	5,55	7,41	10,4	16,9	11,9	18,0	13,4	13,4	9,13	2,78	1,07	1,86	111,7	289,5
1.962-63	5,65	5,92	5,66	9,78	16,0	10,8	19,2	9,55	8,36	7,08	5,66	5,81	109,0	282,5
1.963-64	4,89	15,2	13,6	10,4	12,6	18,3	15,5	10,4	9,04	6,37	4,57	4,53	124,6	322,9
1.964-65	5,92	6,17	5,93	5,84	5,82	8,65	6,31	4,76	3,54	2,59	2,51	2,81	60,7	157,3
1.965-66	4,70	12,4	10,4	19,1	28,3	21,3	21,7	14,2	10,8	5,80	4,40	4,80	157,6	408,5
1.966-67	6,53	12,0	6,30	5,85	8,86	8,85	7,24	5,82	4,02	2,38	2,62	2,91	73,1	189,4
1.967-68	2,85	4,85	3,91	3,54	4,73	6,03	8,59	6,85	4,07	2,72	2,30	2,88	52,9	137,1
1.968-69	2,84	3,69	4,38	4,53	5,91	17,5	12,1	13,2	9,90	5,40	3,51	4,81	86,7	224,7
1.969-70	5,85	6,41	5,83	20,6	13,4	10,4	8,40	7,00	5,34	3,67	3,44	2,96	92,9	240,8
1.970-71	3,32	3,91	3,95	4,07	3,99	3,91	5,58	13,2	12,8	6,28	3,46	3,52	67,6	175,2
1.971-72	4,01	4,17	4,35	5,22	13,9	10,7	7,56	5,78	4,21	2,87	2,53	4,29	60,9	178,6
1.972-73	5,59	9,64	12,4	12,6	10,2	7,94	7,38	6,69	6,08	3,06	2,60	2,47	86,0	222,9
1.973-74	3,16	4,32	5,53	6,26	6,51	5,71	6,49	5,38	3,73	3,08	2,35	2,26	54,9	142,3
1.974-75	2,68	3,42	3,23	3,09	3,38	3,54	4,64	5,41	4,61	2,44	2,18	2,31	41,4	107,3
1.975-76	2,34	2,58	2,74	2,61	2,68	2,62	2,67	2,57	2,15	2,08	1,62	2,27	28,9	74,9
1.976-77	2,26	2,73	2,99	13,9	15,7	12,9	8,92	6,04	5,84	3,21	2,75	2,41	79,3	205,5
1.977-78	2,09	2,04	3,34	3,74	7,00	13,9	7,60	7,49	5,24	2,28	1,41	1,46	57,2	148,3
1.978-79	2,70	3,04	3,52	6,19	15,8	11,4	13,4	8,97	7,41	4,49	2,80	3,84	83,3	215,9

66

Fuente : Comisaría de Aguas del Tajo. M.O.P.U.

Basándonos en estos datos, hemos dibujado los hidrogramas en ambas estaciones para cada uno de los años hidráulicos que corresponden al período estudiado (ver Apéndice número 7 ). Estos hidrogramas se han obtenido con los caudales mensuales medios ( $m^3/seg.$ ) tomados de los anuarios de C.A.T. Por consiguiente, vamos a considerar un conjunto de 36 hidrogramas para ambas estaciones.

### 3.3.3.- Evaluación de la escorrentía subterránea o básica.

Una vez dibujados los hidrogramas en ambas estaciones ( Véase Apéndice nº 7 ), la separación de las escorrentías superficiales o directas y las subterráneas o básicas se efectúa en función del trazado y descomposición de los 36 hidrogramas realizados. Para esta operación se ha seguido el método de López Vera y Sáiz García-Cuenca (1.976), que, según el segundo autor, da resultados comparables a los obtenidos con los métodos clásicos de Linsley et al. (1.958), Barnes en Custodio y Llamas (1.976), etc.

Siguiendo de una forma subjetiva aproximadamente la curvatura general de agotamiento de los hidrogramas, dibujados en coordenadas aritméticas, se ha determinado la curva límite que nos separa la escorrentía superficial de la subterránea.

TABLA 3-13

ESCORRENTIA BASICA. ESTACION DE AFOROS NUMERO 80. RIO TAJUÑA EN MASEGOSO.  
CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN m<sup>3</sup>/seg. - PERIODO 1.961-62 A 1.978-79.

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL	VOLUMEN ANUAL Hm <sup>3</sup>	% VOL. TOTAL
1.961-62	0,7	1,8	2,2	4,0	3,0	3,8	3,5	3,2	2,1	1,0	0,7	0,6	26,6	68,9	78,9
1.962-63	1,3	1,2	1,3	3,7	5,5	3,8	4,8	3,3	2,3	1,5	1,7	1,1	31,5	81,6	76,8
1.963-64	1,2	2,5	4,6	3,2	3,3	5,4	5,5	3,9	2,7	2,2	1,5	1,4	37,4	96,9	75,1
1.964-65	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	2,1	1,5	1,2	0,7	0,7	0,5	0,5	12,7	32,9	63,2
1.965-66	1,0	3,8	4,9	7,3	12,5	8,5	8,2	5,4	3,0	1,6	1,1	1,2	58,5	151,6	59,4
1.966-67	2,3	3,2	2,4	2,4	2,6	3,2	2,8	2,6	2,2	1,7	1,6	1,7	28,7	74,4	82,4
1.967-68	1,7	1,9	1,9	1,7	2,2	2,5	2,9	2,5	1,8	1,6	1,4	1,5	23,6	61,2	87,0
1.968-69	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	5,2	4,6	4,8	3,8	2,2	1,4	1,6	29,5	76,4	68,9
1.969-70	1,7	2,1	1,6	6,0	5,0	3,0	1,8	1,7	1,2	0,9	0,9	0,7	29,6	68,9	76,9
1.970-71	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	1,3	2,5	4,3	5,6	2,0	1,7	1,7	23,6	61,2	69,5
1.971-72	1,7	1,2	1,3	1,7	5,0	5,1	3,1	2,0	1,3	1,1	1,0	1,1	25,6	66,4	72,6
1.972-73	2,0	3,7	5,4	5,0	3,0	1,9	1,2	1,9	2,3	1,0	0,9	0,8	28,5	73,8	76,7
1.973-74	1,0	1,0	1,2	4,0	2,1	2,8	3,5	2,5	2,2	1,2	0,8	0,7	23,2	59,3	82,0
1.974-75	0,9	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	2,6	2,3	2,5	1,1	0,7	0,8	18,5	47,9	80,2
1.975-76	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6	0,4	0,7	0,7	0,6	0,4	0,7	0,8	4,9	12,7	45,7
1.976-77	1,2	1,0	1,2	7,7	8,5	6,4	4,9	2,8	2,4	1,3	1,1	1,2	39,7	102,0	71,5
1.977-78	1,0	1,2	1,3	2,6	4,9	7,2	2,3	3,9	2,2	1,5	1,0	1,0	29,9	77,5	69,2
1.978-79	0,8	1,0	1,0	3,1	8,4	5,8	6,2	3,2	3,4	1,6	1,0	1,2	36,7	95,1	79,2
Valor medio del volumen subterráneo respecto al volumen total anual.....															73%

TABLA 3-14

ESCORRENTIA BASICA. ESTACION DE AFOROS NUMERO 82. RIO TAJUÑA EN ORUSCO.  
CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN m<sup>3</sup>/seg. - PERIODO 1.961-62 A 1.978-79.

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL	VOLUMEN ANUAL Hm <sup>3</sup>	% VOL. TOTAL
1.961-62	4,0	6,5	8,7	18,0	13,0	19,0	11,2	11,0	8,3	2,4	1,0	1,3	104,2	270,0	93,0
1.962-63	4,0	5,2	5,0	8,6	12,0	8,7	15,1	8,4	7,3	6,1	5,7	5,3	91,4	236,9	83,5
1.963-64	5,0	8,2	12,2	10,0	9,5	14,5	14,2	10,2	8,2	6,2	5,2	5,2	108,6	281,5	79,7
1.964-65	6,0	6,2	6,0	5,8	6,0	7,2	5,2	3,5	2,6	2,1	1,7	2,0	54,3	140,7	85,8
1.965-66	4,0	7,6	8,7	12,6	20,0	20,0	18,7	18,0	10,2	6,0	4,4	4,6	134,8	149,4	82,0
1.966-67	6,0	7,2	6,0	5,4	7,0	7,5	6,4	5,0	3,6	2,2	2,0	2,2	60,5	136,8	80,0
1.967-68	3,2	4,5	4,5	4,2	5,4	6,4	5,8	5,2	3,4	2,5	2,3	2,5	49,9	139,3	81,1
1.968-69	2,8	3,2	3,7	4,0	4,0	10,6	10,5	11,0	9,0	5,0	3,0	3,7	70,5	132,7	79,1
1.969-70	5,0	4,3	5,0	12,8	13,0	9,0	6,5	5,0	4,0	3,0	2,8	2,6	73,0	189,2	88,5
1.970-71	3,1	3,3	3,3	3,6	3,5	3,5	4,3	6,8	8,7	5,2	3,0	3,0	51,3	133,0	75,3
1.971-72	3,4	3,5	4,0	4,5	8,2	9,2	7,3	5,5	3,9	2,6	2,2	3,1	57,4	148,8	81,7
1.972-73	3,5	8,4	7,3	8,9	9,1	7,4	6,8	5,9	5,3	5,8	2,9	2,4	76,3	197,7	88,6
1.973-74	2,8	3,2	4,2	5,6	5,1	4,0	3,7	4,9	5,3	3,2	3,0	2,1	50,3	130,4	93,7
1.974-75	2,1	2,8	2,4	2,1	2,1	2,7	4,4	4,7	3,8	2,1	2,0	2,0	33,5	86,9	80,9
1.975-76	1,9	2,2	2,3	2,8	2,5	1,6	2,3	2,1	2,0	1,9	1,3	2,1	22,5	58,4	77,9
1.976-77	2,0	2,0	3,4	2,7	10,0	9,8	7,2	5,8	5,0	3,0	2,5	2,3	56,5	146,4	80,0
1.977-78	1,8	2,3	2,9	3,4	6,0	11,0	6,3	6,4	4,9	2,1	1,1	1,2	49,4	128,0	86,0
1.978-79	2,2	2,8	3,2	5,9	9,0	7,5	9,8	7,5	6,1	3,9	2,2	3,4	63,6	164,9	76,3
Valor medio del volumen subterráneo respecto al volumen total anual.....															82%

Los resultados que hemos obtenido aparecen en las Tablas adjuntas n° 3-13 y 3-14 para ambas estaciones consideradas n° 80 y 82. Por otra parte, la evaluación de las aportaciones subterráneas en la cuenca abarcada entre las dos estaciones de aforo se determina por diferencia de volumen de agua calculado en la estación de Orusco y la estación de Masegoso y corresponde al volumen de agua drenado al río Tajuña, procedente fundamentalmente del acuífero de las calizas de los Páramos.

Los volúmenes que hemos calculado son:

- Aportación media anual en Masegoso =  $98 \text{ Hm}^3$
- Aportación media anual en Orusco =  $203 \text{ Hm}^3$

La diferencia es de  $105 \text{ Hm}^3$ , que corresponde a la aportación subterránea de esta zona.

#### 3.3.4.- Coeficientes de agotamiento.

Dado que no existe influencia de nieves ni embalses en la cuenca de estudio, se ha dibujado en papel semilogarítmico los caudales correspondientes al período 1.961-62 a 1.974-75, tomando intervalos de 30 días.

En todos los casos estos valores se ajustan a una recta cuya ecuación es del tipo  $Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$  para los meses de estiaje.

Tomando logaritmos neperianos en esta ecuación, nos queda:

$$IQ = IQ_0 + Le^{-\alpha t} = IQ_0 - \alpha t.$$

Por tanto, si derivamos dicha función, nos queda:

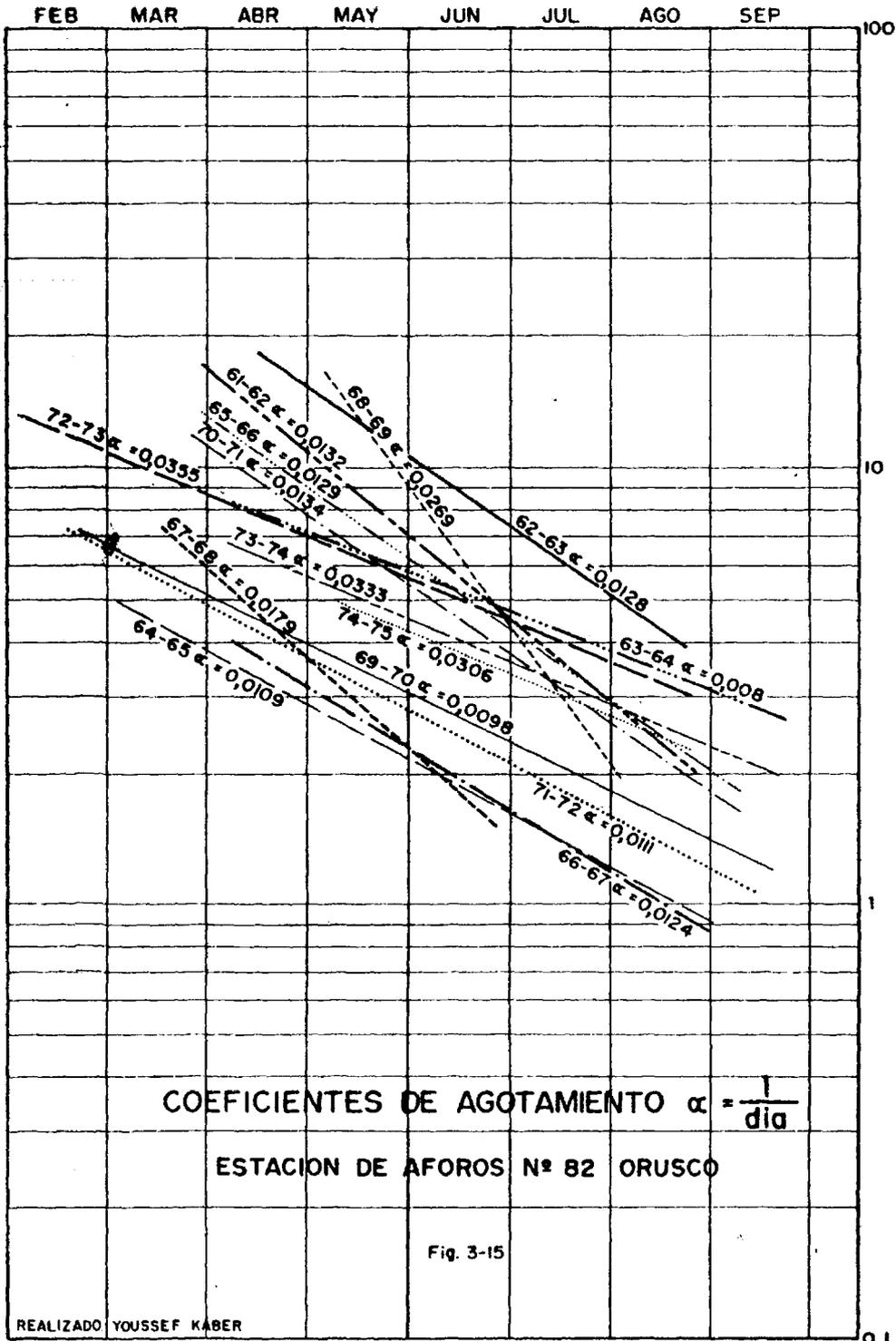
$$\frac{d(IQ)}{dt} = -\alpha,$$

de donde se deduce que  $\alpha$  es la pendiente de las rectas obtenidas en la Figura adjunta 3-15.

Estos coeficientes de agotamiento resultan tener los valores siguientes:

<u>Año</u>	<u>Orusco</u>	<u><math>\alpha</math></u>
1.961-62 .....		0,0132
1.962-63 .....		0,0128
1.963-64 .....		0,0080
1.964-65 .....		0,0109
1.965-66 .....		0,0129
1.966-67 .....		0,0124
1.967-68 .....		0,0179
1.968-69 .....		0,0269
1.969-70 .....		0,0098
1.970-71 .....		0,0134
1.971-72 .....		0,0111
1.972-73 .....		0,0355
1.973-74 .....		0,0333
1.974-75 .....		0,0306

3.3.5.- Déficit de escorrentía y distribución de las escorrentías directa y básica entre las dos estaciones de aforos.



COEFICIENTES DE AGOTAMIENTO  $\alpha = \frac{1}{\text{dia}}$

ESTACION DE AFOROS N° 82 ORUSCO

Fig. 3-15

## 106

La precipitación anual media ya ha sido elaborada en el apartado 3.1.3 y resulta ser del orden de 544 mm., valor que corresponde a un volumen de agua de 734 Hm<sup>3</sup>.

Por otra parte, la aportación media anual registrada en la estación de aforos ubicada en Orusco (nº 82) es de 203 Hm<sup>3</sup>.

De la diferencia entre los volúmenes de agua citados se obtiene un déficit de escorrentía de 531 Hm<sup>3</sup>, cifra que concuerda con el valor ya calculado de la evapotranspiración real (véase apartado 3.2.2), y que correspondía al 78% de la pluviometría.

En líneas generales, el déficit de escorrentía obtenido en nuestra cuenca es parecido a los de otras cuencas limítrofes.

En definitiva, basándonos en los valores elaborados en los apartados anteriores, la distribución del agua caída sobre nuestra cuenca ubicada entre las dos estaciones de aforos quedaría de la siguiente forma:

Precipitación = Esc.Directa + Esc.Básica + Déficit Esc.(ETR)

100%	=	8%	+	14%	+	78%
544 mm.	=	43 mm.	+	81 mm.	+	420 mm.
734 Hm <sup>3</sup>	=	71 Hm <sup>3</sup>	+	103 Hm <sup>3</sup>	+	560 Hm <sup>3</sup>

La superficie abarcada entre ambas estaciones

de aforos es de 1.350 Km<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente el 65% corresponde a la Formación de los Páramos, y el resto a las demás formaciones, incluido el Cuaternario.

#### 3.4. AMBIENTE HIDROQUIMICO DE LOS ACUIFEROS

Debido a las interacciones químicas entre el agua y las formaciones geológicas por las que circula, el resultado es la disolución de sales, incorporando al agua subterránea cantidades variables de cationes y aniones.

En la zona de estudio los iones presentes son  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ . Estos constituyentes, según la cuantía de su concentración en la solución del agua, contribuyen a determinar el carácter químico. Asimismo, indicarán las posibilidades del uso del agua para su utilización en regadíos o abastecimientos. La calidad del agua será tratada en el apartado 6.2.

Además de la determinación de cationes y aniones, es necesario determinar ciertas propiedades del agua; las más importantes son la dureza, pH, conductividad y total de sólidos disueltos, que serán tratados a continuación.

Hemos recopilado 16 análisis químicos (\*), distribuidos en la Formación de los Páramos (ver Tabla 3-16).

Las muestras consultadas proceden de sondeos y manantiales, cuyos resúmenes se pueden ver en el Anexo 3 (Tomo II).

---

\* Los datos de análisis químicos se han tomado del Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.).

TABLA 3-16

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA

MUESTRAS IONES	Nº1		Nº2		Nº3		Nº4		Nº5		Nº6		Nº7		Nº8	
	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%								
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	5,800	73,69	3,600	85,23	3,600	67,38	4,200	91,25	3,000	48,69	3,800	24,17	4,200	87,41	4,200	44,53
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl <sup>-</sup>	0,400	5,08	0,200	4,73	0,400	7,49	0,200	4,34	0,600	9,74	1,000	6,36	0,400	8,32	0,600	6,36
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,247	3,14	0,424	10,03	0,479	8,97	0,081	1,76	1,009	16,37	1,223	7,78	0,082	1,73	0,711	7,54
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1,423	18,08	0,00	0,00	0,864	16,16	0,122	2,65	1,553	25,21	9,699	61,69	0,120	2,54	3,922	41,57
ΣAniones	7,870	100,0	4,224	99,99	5,343	100,0	4,603	100,0	6,162	100,0	15,722	100,0	4,802	100,0	9,433	100,0
Ca <sup>++</sup>	3,800	50,47	2,600	60,56	2,400	45,89	3,200	67,73	2,000	34,19	5,800	37,19	2,000	36,36	3,400	37,42
Mg <sup>++</sup>	3,400	45,16	1,600	37,27	2,600	49,71	1,400	29,63	3,200	54,71	8,800	56,42	2,800	50,91	5,200	57,24
Na <sup>+</sup>	0,291	3,86	0,093	2,17	0,203	3,89	0,125	2,64	0,407	6,96	0,755	4,84	0,640	11,62	0,465	5,12
K <sup>+</sup>	0,039	0,51	0,00	0,00	0,026	0,51	0,00	0,00	0,242	4,14	0,242	1,55	0,060	1,11	0,020	0,22
ΣCationes	7,530	100,0	4,293	100,0	5,229	100,0	4,725	100,0	5,849	100,0	15,597	100,0	5,500	100,0	9,085	100,0
ΣCO <sub>3</sub> <sup>=</sup> + CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>		73,69		85,23		67,38		91,25		48,69		24,17		87,41		44,53
ΣCl <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		23,16		4,73		23,65		6,99		34,95		68,05		10,86		47,93
ΣCa <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup>		95,63		97,83		95,60		97,36		88,90		93,61		87,27		94,66
ΣNa <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>		4,37		2,17		4,40		2,64		11,10		6,39		12,73		5,34

TABLA 3-16 (continuación)

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA

110

MUESTRAS IONES	Nº9		Nº10		Nº11		Nº12		Nº13		Nº14		Nº15		Nº16	
	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%	meq/l	%
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	6,400	61,81	4,200	76,78	5,200	66,99	3,600	35,70	5,000	56,72	5,200	20,51	4,000	20,24	5,995	33,50
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl <sup>-</sup>	1,000	9,66	0,200	3,66	0,600	7,73	2,000	19,83	0,600	6,80	2,000	7,89	1,800	9,11	1,200	6,73
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,775	7,50	0,190	3,47	0,540	6,95	0,681	6,75	0,504	5,72	0,710	2,80	1,790	9,06	0,930	5,21
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2,170	21,03	0,880	16,09	1,420	18,33	3,804	37,72	2,711	30,76	17,44	68,80	12,17	61,59	9,700	54,42
ΣAniones	10,345	100,0	5,470	100,0	7,760	100,0	10,085	100,0	8,815	100,0	25,350	100,0	29,762	100,0	21,530	100,0
Ca <sup>++</sup>	6,400	65,82	4,900	83,76	4,000	54,00	3,800	39,74	3,600	42,92	10,60	44,56	9,400	51,39	11,00	63,18
Mg <sup>++</sup>	2,800	28,80	0,750	12,82	3,000	40,50	4,400	46,02	3,800	45,30	8,400	35,31	6,600	36,08	5,000	28,71
Na <sup>+</sup>	0,520	5,38	0,170	2,91	0,410	5,49	1,162	12,15	0,988	11,78	4,650	19,55	2,266	12,39	1,130	6,49
K <sup>+</sup>	0,00	0,00	0,030	0,51	0,00	0,00	0,200	2,09	0,00	0,00	0,140	0,59	0,026	0,14	0,280	1,60
ΣCationes	9,720	100,0	5,850	100,0	7,410	99,99	9,562	100,0	8,388	100,0	23,790	100,0	18,292	100,0	17,410	100,0
ΣCO <sub>3</sub> <sup>=</sup> + CO <sub>3</sub> H		61,81		76,78		66,99		35,70		56,72		20,51		20,24		33,50
ΣCl <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		30,69		19,75		26,06		57,55		37,56		76,69		70,70		52,15
ΣCa <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup>		94,62		96,58		94,50		85,76		88,22		79,87		87,47		91,89
ΣNa <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>		5,38		3,42		5,49		14,24		11,78		20,14		12,53		7,62

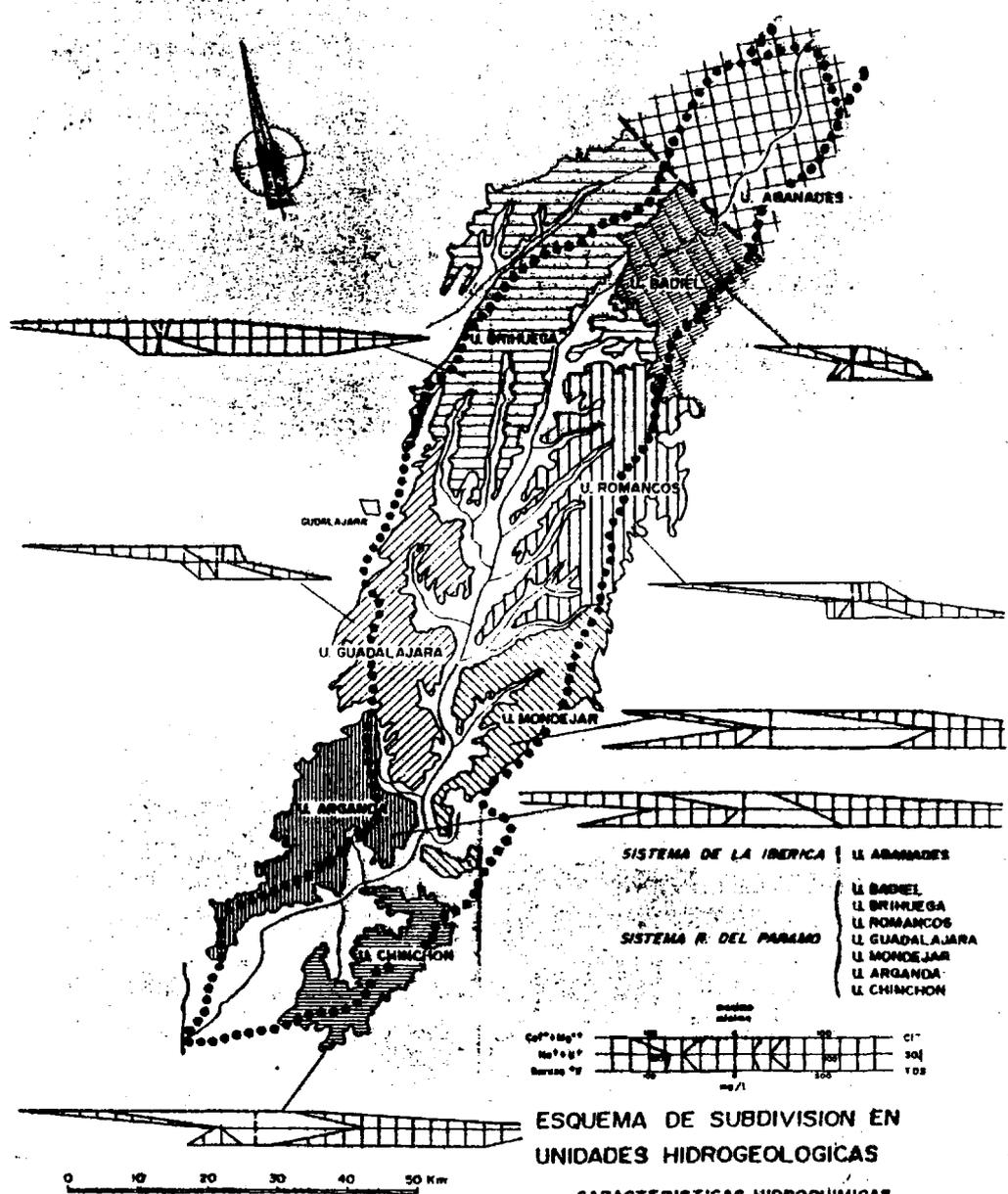
Para el estudio del conjunto de las características químicas en la cuenca del Tajuña, en su aspecto general, hemos elaborado tres planos que contienen la representación de los análisis químicos (ver Planos nº 5, 6 y 7. Tomo II ). Análogamente se tratarán las principales características hidroquímicas de los acuíferos más importantes, pudiendo incluso establecer una relación entre la facies litológica y la composición química de las aguas subterráneas, o facies hidrogeoquímica.

#### 3.4.1.- Valoración de los datos de los análisis químicos.

Generalmente, las aguas que se infiltran en el suelo y dentro de las masas de las rocas, durante su movimiento hacia las áreas de descarga vayan disolviendo las sales, por lo que su composición química refleja los materiales que componen las formaciones geológicas atravesadas. Varios autores, entre ellos Back (1.966), basándose en relacionar las facies geológicas con las concentraciones de cationes y aniones descriptibles en categorías, establecen el concepto de facies hidroquímica.

De este modo, en la cuenca del Tajuña se relacionan la composición química de las muestras analizadas con las características del medio geológico, principalmente con el contenido de sales solubles y con otros factores que influyen en dicha composición. Ver fig. 3-17.





ESQUEMA DE SUBDIVISION EN UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS

FIG. 3-17

Los análisis químicos procedentes de la cuenca baja presentan un exceso de ciertos iones tales como  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , debido a la solubilización de los yesos, muy abundantes en estas zonas.

En la cuenca media y alta, las calizas presentan una amplia extensión, por lo cual los análisis presentan abundancia de concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ .

En algunas muestras, sobre todo en la cuenca baja, los análisis han descubierto altas concentraciones de  $\text{NO}_3^-$ ; su aparición en aguas subterráneas es el resultado de contaminación, siendo las calizas las rocas fisuradas que facilitan el transporte de la materia contaminante hasta las surgencias o las captaciones.

En cuanto a los otros factores que influyen en las propiedades del agua, los más importantes son el pH, la dureza, la conductividad eléctrica y el residuo seco.

$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ , siendo  $[\text{H}^+]$  la concentración del Hidrógeno en solución.

En la cuenca del Tajuña los pH en los análisis varía entre 7,6 y 8,2; estos valores tienden a ser los normales, ya que, según Freeze & Cherry, las aguas subterráneas provenientes de rocas calcáreas poseen pH de 7 a 8.

La dureza del agua es debida al contenido de iones metálicos que reaccionan con el sodio del jabón,

produciendo jabón sólido o espuma residual (Freeze & Cherry, 1.969).

De los 28 análisis químicos, solamente existen cinco cuyas durezas superan los 50°F; estas aguas se clasifican como muy duras (Catalán Lafuente, 1.969) y proceden de cinco sondeos en la cuenca baja del Tajuña.

En cuanto a la conductividad eléctrica, existe una tendencia creciente hacia la cuenca baja del Tajuña, debido al aumento de los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , que favorecen esta propiedad.

Análogamente, el residuo seco presenta valores que superan los 1.000 mg/l. en la cuenca baja del río Tajuña; en el resto de la cuenca los análisis muestran concentraciones normales.

Al observar la variación de estas propiedades del agua en nuestra cuenca, se advierte un crecimiento en las concentraciones de los iones inorgánicos hacia la cuenca baja, debido al extenso afloramiento de las formaciones yesíferas en esta zona que, como se sabe, son muy solubles en agua.

Para la descripción del conjunto de los resultados obtenidos en los análisis químicos, hemos elaborado los siguientes planos (ver Tomo II ):

## 115

Plano n° 5 : Total de sólidos disueltos y la dureza en °F.

Plano n° 6 : Contenido de sulfatos y cloruros.

Plano n° 7 : Contenido de los cationes  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ .

En los sondeos no se dispone de análisis a distintas profundidades, pero el carácter químico de estas aguas, como ya se indicó, está en estrecha relación con la formación hidrogeológica en que se encuentra.

En general, las aguas tienden a contener mayores concentraciones en iones y las demás propiedades mostraron valores superiores a medida que aumenta la profundidad del sondeo, por atravesarse sucesivas formaciones cada vez más salinas.

En determinadas áreas este aumento en el contenido de iones salinos es mucho mayor, sobre todo en la cuenca del Tajuña, siendo los yesos muy predominantes en las formaciones infrayacentes, como son las formaciones de Villarejo y Vallecas.

En el resto de la cuenca el aumento de iones salinos es más ligero, debido a que la formación de los Páramos está en contacto con terrenos con menos contenido en sales solubles, como son las formaciones Guadalupe y Badiel.

Según el diagrama de Piper-Hill-Langelier (Figura 3-18), se aprecian dos dominios, respecto al carácter químico; por un lado, las aguas subterráneas que circulan

Diagrama

ESTUDIO: HIDROGEOLOGIA REGIONAL DEL TAJUÑA  
ACUIFERO: FORMACION DE LOS PARAMOS

FEC

PIPER - HILL - LANGELIER:

MUESTRA	esiduo °C ppm	C µm/cm	TH	pH
1	2219.2.002			
2	2220.1.006			
3	2220.3.002			
4	2120.1.001			
5	2121.1.002			
6	2121.4.010			
7	2121.1.021			
8	2121.5.003			
9	2122.1.004			
10	2122.4.009			
11	2023.4.001			
12	2023.8.014			
13	2023.6.002			
14	2023.5.001			
15	2023.4.003			
16	2024.2.010			

116

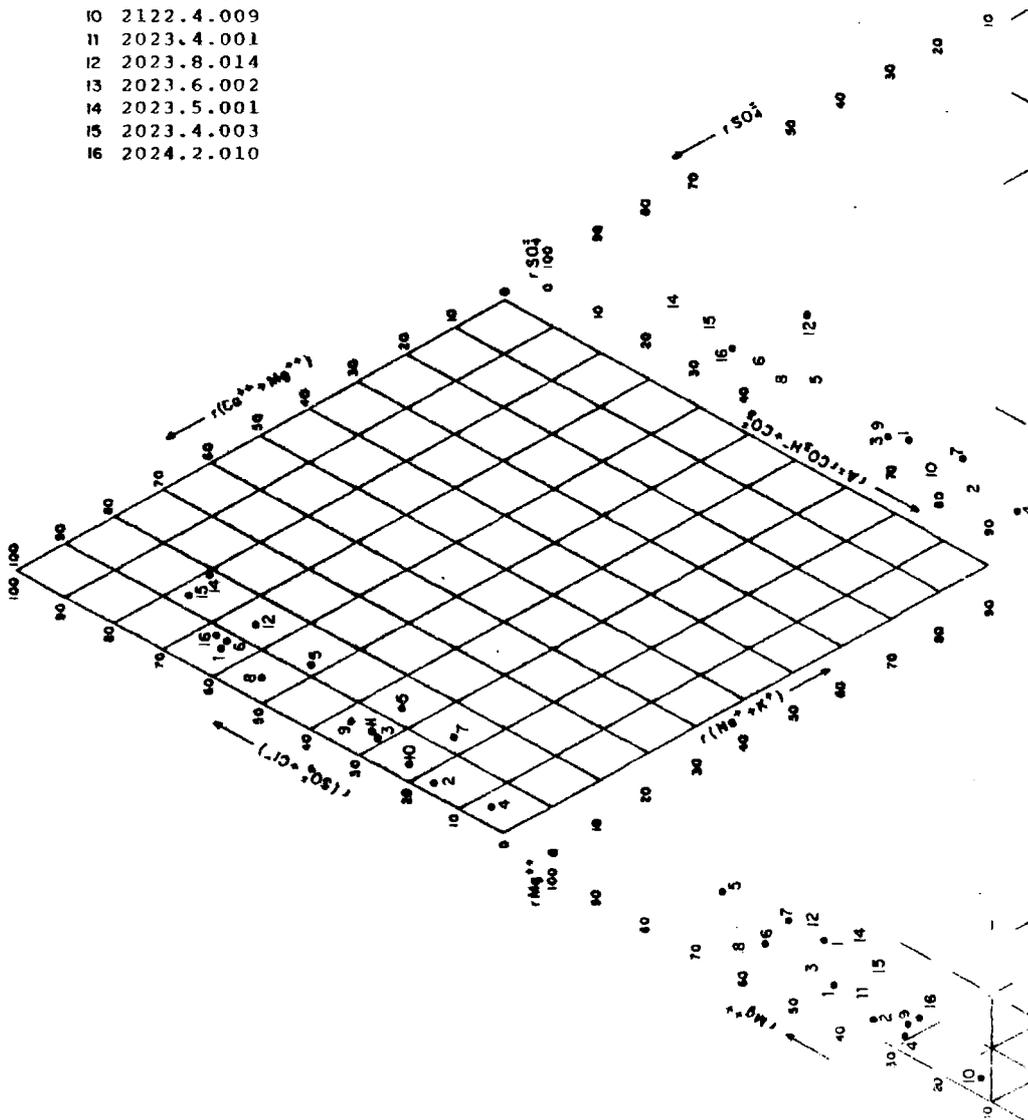


Fig. 3-18

culan por debajo de la Formación de los Páramos, que por lo general se trata de aguas sulfatadas-cálcico-magnésicas.

Por otra parte, las aguas que circulan en la Formación de los Páramos, cuya principal característica es que son aguas bicarbonatadas-cálcicas.

En la Figura 3-19 se puede apreciar el contenido del anión sulfato a distintas profundidades. Este anión, en la mayoría de los casos, tiene una tendencia a aumentar con la profundidad, lo cual indica un predominio de las sales procedentes de las formaciones infra yacentes a las rocas calcáreas.

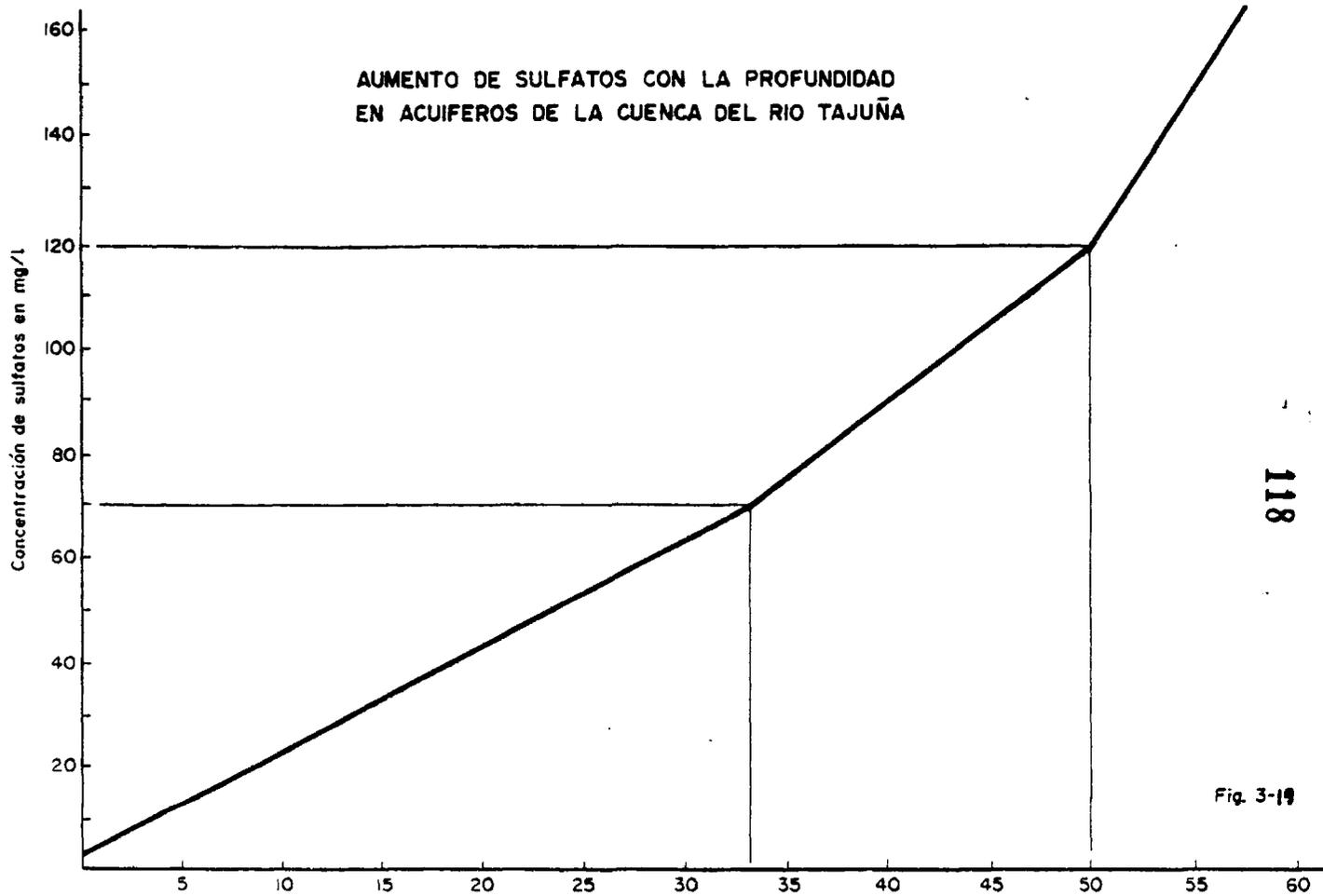
#### 3.4.1.1.- Características hidroquímicas del acuífero calcáreo.

Las características hidroquímicas de las aguas subterráneas constituyen un factor muy importante en las calizas de la Formación de los Páramos, ya que, además de su amplia extensión, nos apoyan a definir el funcionamiento hidráulico del acuífero, el grado de evolución de la composición química de sus aguas, así como agrupar en familias los diversos tipos de aguas.

Para ello se estudian 16 análisis físico-químicos de otras tantas muestras de agua, procedentes 6 de ellas de sondeos y las 10 restantes de manantiales.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto

AUMENTO DE SULFATOS CON LA PROFUNDIDAD  
EN ACUIFEROS DE LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA



118

Fig. 3-19

que los iones más abundantes son  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ . El origen de estos iones se debe a la litofacies, aunque pueden influir el dióxido de carbono, el pH y la temperatura. En general el  $\text{CO}_2$  está en solución como  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , y éste se convierte en  $\text{HCO}_3^-$ .

Según Freeze y Cherry (1.969), la disolución de las calizas es mayor con más  $\text{CO}_2$  y temperaturas bajas, lo cual tiene lugar por encima del nivel piezométrico.

El pH del agua está muy relacionado con el tipo de rocas que forman el acuífero. Para los anteriores autores el pH en rocas calcáreas oscila entre 7 y 8; el valor del pH en las aguas contenidas en la Formación de los Páramos varía de 7,6 a 8,2, variación que refleja la correspondencia entre el pH y el contenido en bicarbonatos.

En cuanto al  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , se originan de la disolución directa de las calizas; el  $\text{Mg}^{++}$  tiene mayor tendencia a quedarse en solución, aunque en el acuífero calcáreo el  $\text{Ca}^{++}$  es un constituyente esencial.

La dureza muestra valores normales. En los análisis consultados se puede comparar con los contenidos de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

La conductividad muestra valores altos en los análisis procedentes de sondeos en la cuenca baja, debido al aumento en el contenido de los iones  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ .

El residuo seco también aumenta en esta zona, en especial cuando los análisis son de sondeos que atraviesan unas formaciones cada vez con más contenido en sales. De este modo, las aguas subterráneas en el acuífero calcáreo variarán con la profundidad, es decir, tendrán mayor concentración en iones inorgánicos en solución, o dicho de otra manera, se irán salinizando (véase Fig. 3-18 , aumento del contenido de sulfatos con la profundidad).

Por otra parte, para una mejor distinción de los diferentes tipos de aguas, nos hemos valido de diagramas de Piper-Hill-Langelier (Fig. 3-17 ). A grandes rasgos, las aguas que circulan por el miembro superior, formado por las calizas de la Formación de los Páramos, son bicarbonatadas-cálcicas. Las aguas que circulan por las formaciones infrayacentes, con alto contenido en sales, son sulfatadas-cálcico-magnésicas.

En el capítulo 6.2 tratamos la calidad del agua en los acuíferos y su posible utilización en abastecimiento o en regadíos.

#### 3.4.1.2.- Características hidroquímicas de la Formación Vallecas.

No disponemos de análisis de aguas en la Formación Vallecas, pero sus caracteres hidroquímicos pueden deducirse de las muestras analizadas procedentes de sondeos profundos en la cuenca baja del río

Tajuña, que tocaron los tramos inferiores yesíferos de la Formación Villarejo. La composición química de estas aguas muestra una elevada concentración de los iones  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.

De acuerdo con otros autores que han trabajado en esta región, las aguas que circulan en profundidad tienen carácter de sulfatadas-cálcicas.

En cuanto a la dureza, conductividad eléctrica y residuo seco, deben tener valores más altos que los de la Formación de los Páramos; por lo tanto, las aguas que circulan en estos terrenos yesíferos tendrán mala calidad. Estas aguas, en general, presentan una conductividad mayor de 4.000  $\mu\text{mhos/cm.}$ , y más de 200°F de dureza total.

Las aguas de Carabafia presentan una elevada concentración en algunos de los iones mencionados anteriormente, lo que precisamente las hace medicinales, aunque no resultan aptas para el consumo humano.

#### 3.4.1.3.- Características hidroquímicas del acuífero aluvial.

Para las aguas provenientes del acuífero aluvial, solamente disponemos de dos análisis químicos.

Sus características hidroquímicas son parecidas a las de los acuíferos del Neógeno infrayacentes,

aunque se observa un mayor contenido iónico que en el caso de la Formación de los Páramos. Esto es explicable, habida cuenta de que estos materiales cuaternarios se encuentran depositados sobre los materiales de la Formación Vallecas. De este modo, las aguas en el acuífero aluvial en la cuenca del Tajuña pasan a ser predominantemente sulfatadas con la profundidad.

Los análisis ponen de manifiesto un elevado contenido en  $\text{NO}_3^-$ , probablemente debido a efectos locales de contaminación orgánica, ya que estos terrenos porosos forman un filtro natural, por lo que se descarta su origen lejano de contaminación.

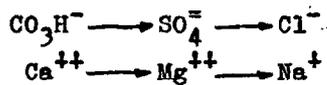
Por otra parte, la falta de protección en que se encuentran la mayoría de las captaciones no la vamos a tratar aquí, pero señalamos que serían necesarias unas medidas para evitar la contaminación directa de las captaciones, impidiendo de esa manera que ésta pase al resto del acuífero.

#### 3.4.2.- Conclusiones generales.

Los resultados de los análisis químicos ponen de manifiesto la relación fundamental entre la litofacies y la concentración de los diversos iones, aunque existen otros factores que influyen en la composición química de estas aguas.

No obstante, se observa un elevado contenido

en ciertos iones ( $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ). Según Schoeller (1.962), las aguas subterráneas tienden a ir aumentando en los siguientes iones:



De acuerdo con estas consideraciones, es lógico pensar en una circulación regional que preferiblemente se dirigiría según la inclinación general de NE a SW; la realidad, no obstante, es que la abundancia de dichos iones en la cuenca baja del Tajuña es debida a la solubilización de los yesos que afloran ampliamente en esta zona, por lo que se descarta la circulación regional.

Las muestras tomadas en la cuenca media del río Tajuña presentan abundantes concentraciones en los iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Ca}^{++}$ . Esto es explicable en estas rocas calcáreas de la Formación de los Páramos.

En términos generales, las aguas subterráneas en nuestra cuenca están ligadas a las litofacies, y presentan variación en su contenido de sales a medida que se profundiza.

Por lo que se refiere a las calizas de la Formación de los Páramos, la característica principal de sus aguas, revelada a través del diagrama Piper-Hill-Langelier, es -como ya se ha indicado- la de ser bicarbonatadas-cálcicas.

En cuanto a las aguas que circulan por debajo de esta formación, su carácter hidroquímico varía. Por la abundancia de sales solubles en las formaciones infrayacentes, las aguas se caracterizan, según el citado diagrama, como sulfatadas-cálcico-magnésicas.

Podemos decir que, en general, el carácter de las aguas subterráneas se hace gradualmente más salino en función de la profundidad, aunque en la cuenca baja del Tajuña las aguas son salinas a cualquier profundidad. Asimismo presentan valores altos en el residuo seco, la conductividad eléctrica y la dureza total.

El contenido en  $\text{NO}_3^-$  se debe probablemente a contaminaciones locales, ocasionadas por el descuido de los núcleos urbanos y por la falta de protección en algunas captaciones.

La contaminación orgánica muestra valores más altos en la cuenca baja del Tajuña; en el resto de la cuenca se retrocede relativamente.

Finalmente, la variación de los resultados de los análisis químicos entre Junio y Octubre se explica porque, además de la influencia de la proximidad a la zona de recarga, en Junio hay menos aguas, por lo que éstas se van cargando con mayores concentraciones de diversos iones, mientras que en Octubre aumentan por lo general los contenidos en  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , ya que en los meses más fríos habrá mayor disolución de la calcita.

### 3.5. MODIFICACIONES ANTROPICAS

#### 3.5.1.- Consideraciones generales.

La construcción de presas o embalses constituye una base fundamental para el aprovechamiento y desarrollo de los recursos de aguas superficiales, que resulta sumamente importante en las regiones áridas o semiáridas. Sin embargo, producen cambios muy considerables no sólo en el régimen de los ríos sino incluso en su geografía.

Un ejemplo típico lo constituye la presa del Eufrates en la zona Noreste de Siria, llamada Algecira; los datos más significativos son los siguientes: el río Eufrates atraviesa las llanuras de Algecira con una longitud de 680 Km. y abarca una cuenca de 51.600 Km<sup>2</sup>, formada por sedimentos de arenas, limos y arcillas del Terciario y Cuaternario.

El clima de la región es semiárido con lluvias que oscilan entre 300 y 350 mm.

El lago que se ha creado tiene una longitud de 80 Km. con una superficie de 680 Km<sup>2</sup>; el volumen del agua retenida alcanza los 12 billones de m<sup>3</sup>, y en la primera etapa se regarán 640.000 Ha.

España dispone de numerosas presas y embalses. En la cuenca del río Tajúña se encuentra en fase de eje-

cución el embalse de la Tajera, para regular las aguas superficiales (ver Figura 3-10 ). Este embalse es del tipo de bóveda delgada de doble curvatura con una altura máxima de 54 m. sobre el cauce del río y cuya capacidad de embalse es del orden de 70 millones de Hm<sup>3</sup>.

### 3.5.2.- Obras en ejecución en la cuenca del río Tajuña.

En el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, hemos consultado a D. Diego Ramos, Secretario Técnico de la Confederación Hidrográfica del Tajo.

En la actualidad, las obras civiles hidráulicas que se están realizando en la cuenca del río Tajuña se limitan a la ejecución del embalse de la Tajera. Este embalse está destinado a la regulación de la cabecera del río Tajuña, para garantizar los regadíos existentes, que superan las 4.000 Ha., y hacer posible la ampliación de otras 5.700 Ha.

Las obras dieron comienzo en Diciembre de 1.975. En la actualidad se prepara el estudio del estado tensional y estabilidad de los flancos. La empresa constructora es AGROMAN.

Como obras que existen y no están controladas por la Confederación Hidrográfica del Tajo citaremos los regadíos de las vegas en la cuenca baja del río Tajuña,

cuya superficie total es de 2.000 Km<sup>2</sup>, que se distribuyen de la siguiente manera: 200 Ha. en la provincia de Guadaluajara y el resto, es decir, 1.800 Ha., en la provincia de Madrid.

En el mapa adjunto (Figura 3-20), facilitado por el M.O.P.U., se observan las zonas regadas y las futuras zonas que se van a ampliar.

Los regadíos en la actualidad se hacen por captación directa del río Tajuña, derivando el agua por pequeñas acequias, paralelamente al curso del río en sus dos márgenes. Localmente existen huertas regadas por elevación del agua mediante bombas situadas en el río.

### 3.5.3.- Obras en proyecto.

En otra fase posterior a la construcción del embalse de la Tajera irán los canales y las redes de acequias, con el fin de ampliar los regadíos en unas 5.700 Ha.

Por otra parte, debido a la estrechez de la cuenca del río Tajuña, habrá excedente de agua por lo que se piensa en efectuar un trasvase de aguas del Tajuña al Tajo, ya que de este último río se está realizando el trasvase al río Segura.

Hay que destacar un factor positivo en el tras

MODERNIZACION DE LOS REGADIOS DE LA ZONA ALTA (BOMBEO Y ASPERSION) 175 Hec.



AMPLIACION DE LOS REGADIOS DE LA ZONA ALTA (CANALES, BOMBEO Y ASPERSION) 2 HIPOTESIS:  
1ª HIPOTESIS 1710 Hec.  
2ª HIPOTESIS 520 Hec.

MODERNIZACION DE LOS REGADIOS DE LA ZONA MEDIA (BOMBEO Y ASPERSION) 923 Hec.

GUADALAJARA

ZONA MEDIA

ARANZUEQUE

AMPLIACION DE LOS REGADIOS DE LA ZONA MEDIA (BOMBEO Y ASPERSION) 3002 Hec.

ORUSCO

MODERNIZACION DE LOS REGADIOS DE LA ZONA BAJA (REVESTIMIENTO DE ACEQUIAS) 2082 Hec.

MORATA DE TAJURA

ZONA BAJA

### ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNICO-ECONOMICA DEL PLAN DE RIEGOS DEL RIO TAJUÑA.

Fig. 3-20

AMPLIACION DE LOS REGADIOS DE LA ZONA BAJA (CONDICIONAMIENTO DE ACEQUIAS BOMBEO Y ASPERSION) 2178 Hec.

vase del Tajuña al Tajo, que es la elevación del primero que favorece el trasvase por gravedad.

#### 3.5.4.- Posibles influencias de las zonas regadas en el régimen de las aguas subterráneas.

En general, las zonas regadas corresponden a las vegas, que se extienden a lo largo de la cuenca baja y parte de la cuenca media; estos depósitos constituyen parte del acuífero aluvial y poseen una porosidad intergranular, por lo que su permeabilidad es alta.

Cuando se riega, una parte de las aguas se infiltra y se recarga el acuífero, elevando de esta manera la zona saturada o la superficie freática.

En cuanto a los otros acuíferos del resto de la cuenca, no hay influencias de ningún tipo, salvo las precipitaciones. La única obra hidráulica de superficie es el embalse de la Tajera, que, como dijimos anteriormente, se encuentra en su fase inicial de construcción.

#### 3.5.5.- Interferencias antrópicas en las vegas fértiles.

En la cuenca baja del río Tajuña las vegas permiten diversos cultivos, gracias a la facilidad con que pueden regarse, aprovechando las mismas aguas del río; en los últimos años se han construido chalés y viviendas sobre estas áreas cultivables, por lo que sería mejor proteger las vegas fértiles de estas interferencias urbanísticas.

C A P I T U L O - 4

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL SISTEMA ACUIFERO

#### 4. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL SISTEMA ACUIFERO

La naturaleza y distribución de los acuíferos y acuitardos en un sistema geológico, están controlados por la litología, estratigrafía y estructura de los sedimentos de una formación. La litología es la característica física que incluye la composición mineralógica, tamaño de grano y el empaquetamiento de los sedimentos que componen el sistema geológico. La estratigrafía describe la geometría y la relación de edades entre las capas de la formación; las características estructurales como cleavage, fracturas, pliegues y fallas, son propiedades geométricas del sistema geológico producidas por deformaciones posteriores a la sedimentación de los depósitos.

En los depósitos no consolidados la litología, la estratigrafía y la estructura conducen directamente al conocimiento de la distribución de acuíferos y acuitardos.

Para la cuenca del río Tajuña -como ya se indicó en el capítulo 2- se han definido diversas formaciones geológicas que, prácticamente, se corresponden con los principales acuíferos existentes. Un caso especial lo constituye la Formación Vallecas que, de acuerdo con López Vera (1.975), se comporta como acuífero hasta el talweg de los ríos haciéndolo el resto como acuífugo.

Un acuífero debe poseer unos parámetros hidráulicos determinados que influyan favorablemente en su

comportamiento hidrogeológico. Estos son, concretamente, la porosidad eficaz, la permeabilidad o conductividad hidráulica y la transmisividad.

Para la obtención de estos parámetros hidráulicos, del espesor saturado de los acuíferos y de los caudales específicos de los pozos en ellos emplazados, es fundamental la labor de confección del inventario de puntos de agua.

Las características del inventario realizado para este trabajo se resumen a continuación:

- la mayor parte del mismo ha sido proporcionado por el Instituto Geológico y Minero de España,
- consta de cerca de 500 puntos de agua, que corresponden a pozos, sondeos y manantiales,
- la mayoría de estos puntos están ubicados sobre las calizas de la Formación de los Páramos, que se extienden por toda la Región de la Alcarria.

El reparto de los puntos de agua se ha hecho por hojas topográficas a escala 1:50.000, las cuales se han dividido en ocho octantes. En el Plano nº 2, Inventario de puntos de agua, constan la situación geográfica y la naturaleza de todos los puntos de agua inventariados. Finalmente, el resumen del inventario, en el que figuran las características técnicas de la construcción de los pozos y sondeos, junto con otros datos relativos a éstos y a los manantiales, se puede ver en el Anexo II, Tomo II.

#### 4.1. PARAMETROS HIDRAULICOS DEL ACUIFERO CALCAREO

Constituye el acuífero libre más importante en la cuenca estudiada y puede asimilarse a un conjunto de acuíferos y acuitardos (ver Perfiles Hidrogeológicos, Plano número 4), que nos permite considerar que funciona como un sistema acuífero independiente y característico. Por otra parte, muchos autores están de acuerdo en que los acuíferos constituidos por rocas karstificadas suelen ser extremadamente heterogéneos.

En efecto, y de acuerdo con López Vera (1.977), en este tipo de acuíferos la evaluación de sus recursos, parámetros hidráulicos medios, direcciones de flujo y ubicación de captaciones o piezómetros, suelen plantear problemas sin fácil solución.

En cuanto al acuífero calcáreo, Formación de los Páramos de la Alcarria, López Vera (1.977) y según el modelo conceptual propuesto por Kiraly (1.975), los parámetros hidráulicos del karst han demostrado que éste se caracteriza por su gran heterogeneidad a gran escala: los cerros residuales constituyen los núcleos de los bloques poco permeables, mientras que las alineaciones de las depresiones, cubetas de disolución y surgencias constituirían la red permeable por la cual circula el agua.

Una primera consecuencia de lo expuesto por López Vera (1.977) sería la fijación de un criterio para la determinación de la ubicación de captaciones de agua; de hecho, en la práctica, los pozos situados al

pie de un cerro residual. se encuentran secos actualmente.

#### 4.1.1.- La porosidad eficaz ( $m_e$ ).

La porosidad es una medida de la capacidad acuífera, pudiéndose definir como la relación del volumen de los huecos en la formación con su volumen total. Se suele representar como una fracción decimal o porcentaje.

Si todos los huecos de la zona saturada están llenos de agua, estos huecos han de estar comunicados entre sí para permitir la transmisión del agua; por lo tanto, la porosidad eficaz constituye el factor más importante que controla la permeabilidad o conductividad hidráulica (K).

El volumen de agua librado por acción de la gravedad en relación al volumen total contenido en una roca se llama porosidad eficaz (Custodio y Llamas, 1.976).

En el caso de las calizas de la Formación de los Páramos de la Alcarria son rocas poco fracturadas, en las cuales la circulación se desarrolla fundamentalmente a través de los planos de estratificación subhorizontales (López Vera, 1.977).

No obstante, la ausencia de fracturas nos hace pensar que la porosidad en esta clase de rocas puede ser debida a fenómenos secundarios de disolución por parte

de las aguas subterráneas, y que sea más favorable el movimiento lateral a través de los planos de estratificación.

En cuanto a la estimación de la porosidad eficaz para las calizas de la Formación de los Páramos de la Alcarria, Llamas y López Vera (1.975) estiman que este parámetro oscila entre 0,05 y 0,10.

En la Mesa de Chinchón (cuenca baja del Tajuña) Rebollo y Villarroja (1.977) estiman el valor de la porosidad eficaz en torno al 10%.

Otros autores, como Freeze & Cherry (1.979), asignan valores de porosidad a las rocas calizas variables entre 0 y 20%. Todd (1.959) estima valores de 1 a 10%.

En definitiva, la mayoría de los autores están de acuerdo en que la fisuración en rocas calizas es irregular y susceptible de variar mucho de un punto a otro. De acuerdo con esto, admitimos los valores de porosidad eficaz asignados por Llamas y López Vera (1.975), de 0,05 a 0,10 para las calizas de los Páramos en la cuenca del río Tajuña.

#### 4.1.2.- Transmisividad (T).

En acuíferos cautivos este parámetro es

$$T = K \cdot b$$
, siendo  $b$  el espesor

del acuífero y  $K$  la permeabilidad o conductividad hidráulica.

En acuíferos libres, como es el caso de la Formación de los Páramos,  $b$  corresponde al espesor saturado.

Este parámetro hidráulico da idea del flujo existente en el acuífero, o entre un acuífero y un acuífero tardado.

Para estimar la transmisividad a partir de pruebas de bombeo existen fórmulas que relacionan el descenso ( $s$ ) con el tiempo de bombeo ( $t$ ), tales como las de Thiem (1.906), Meinzer (1.930), Theis (1.935) o Cooper y Jacob (1.946). Los métodos propuestos por estos autores se pueden consultar en Davis & Wiess (1.971), Custodio y Llamas (1.976), Freeze & Cherry (1.979), etc.

La fórmula propuesta por Theis (1.935) para acuíferos confinados, en régimen variable, es:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) = 0,08 \frac{Q}{T} W(u).$$

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx, \quad u = \frac{r^2 S}{4tT}, \quad \text{en las que}$$

$s$  = descenso,

$Q$  = caudal bombeado,

$T$  = transmisividad,

$r$  = distancia entre el punto de observación y el pozo de bombeo,

$S$  = coeficiente de almacenamiento,

$t$  = tiempo de bombeo,

$W(u)$  = función de pozo (tabulada).

Cooper y Jacob (1.946) sugieren que para valores de  $u < 0,01$  es válida la fórmula

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

y se conoce como la fórmula simplificada de Jacob.

Hantush (1.961) y (1.964) para acuíferos semi confinados y régimen variable propone la siguiente fórmula

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \frac{r}{B}) \quad , \text{ siendo}$$

$W(u, \frac{r}{B})$  = función de pozo (tabulada),

$B$  = factor de goteo o factor de drenaje vertical. Se conoce como "Leakage factor de Hantush" y es:

$$B = \sqrt{\frac{T}{K' b'}} \quad , \text{ siendo } K' \text{ y } b' \text{ permeabilidad y espesor de la capa semiconfinante o a través de la cual tiene lugar el drenaje.}$$

Para calcular la transmisividad en la cuenca del río Tajuña contaremos con varias pruebas de bombeo, que han sido valoradas por el método de Jacob (1.946) (ver Figs. 4-1 a 4-8 ). Las transmisividades así obtenidas varían entre 93 m<sup>2</sup>/día y 540 m<sup>2</sup>/día.

Otro método para el cálculo de la transmisividad, a escala regional, es el que tiene en cuenta el agotamiento del conjunto acuífero en un período no influido por precipitaciones. Los caudales medios en una estación de aforos se ajustan a la siguiente expresión:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad , \text{ en donde}$$

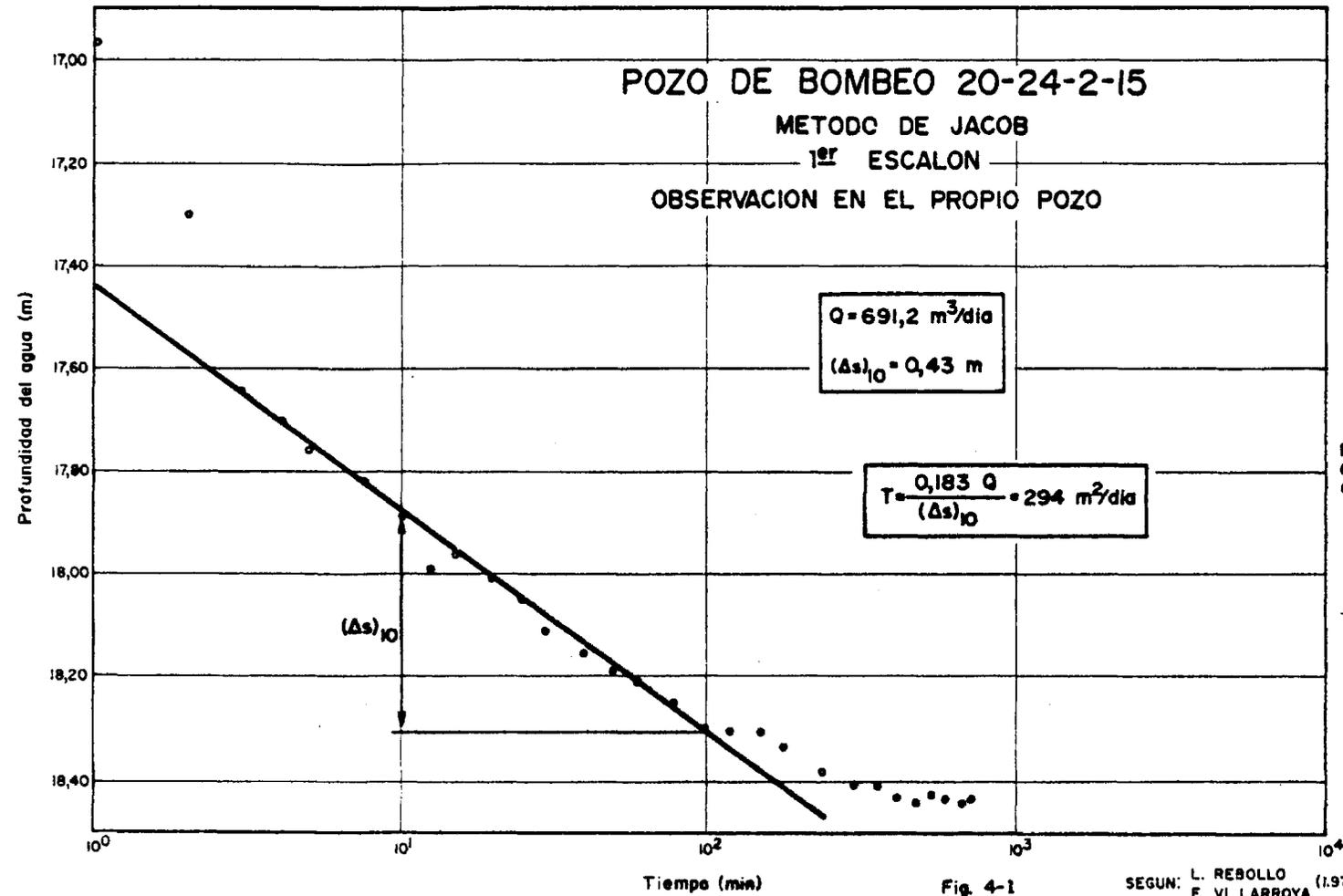


Fig. 4-1

SEGUN: L. REBOLLO (1977)  
 F. VI LARROYA

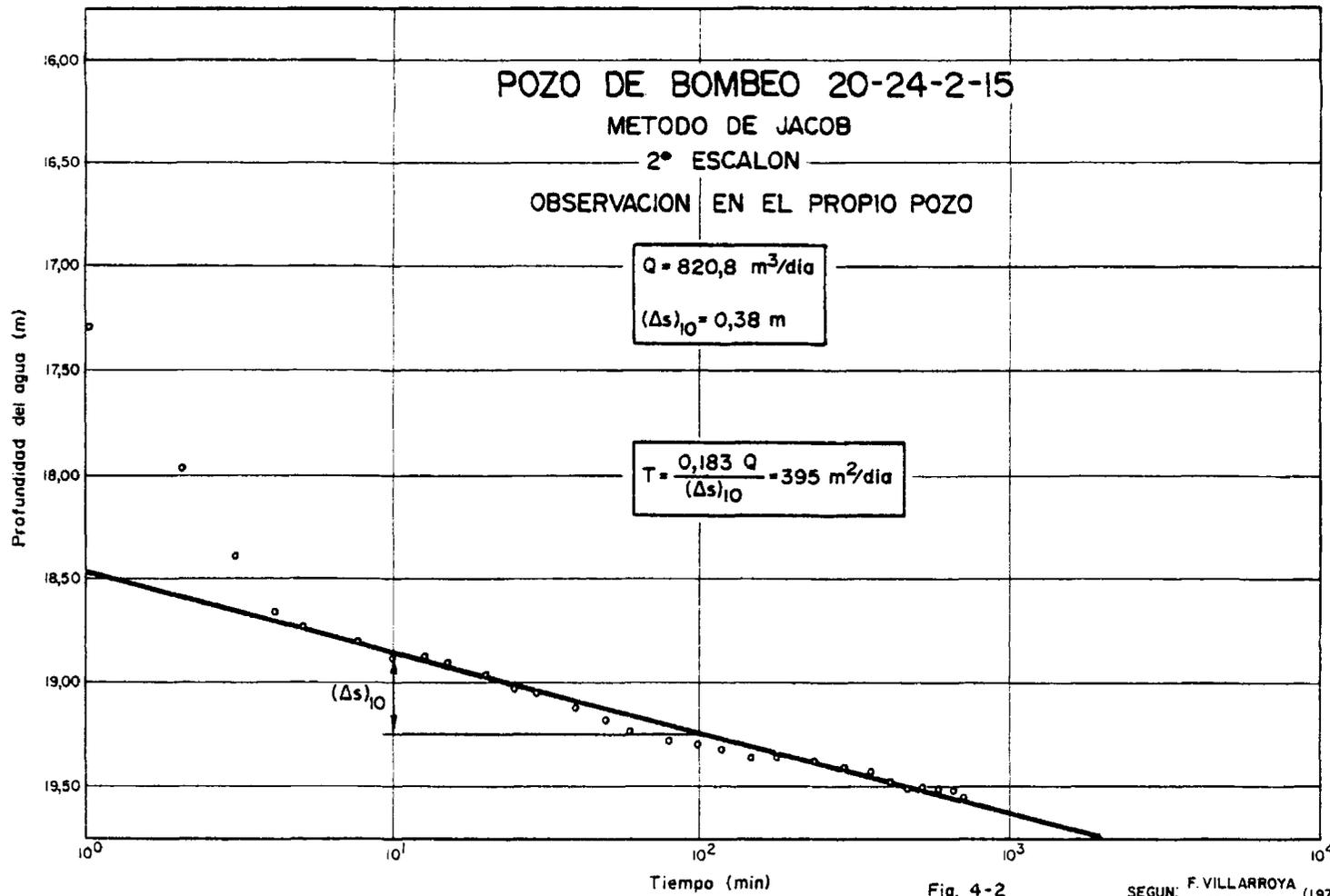


Fig. 4-2

SEGUN: F. VILLARROYA  
L. REBOLLO (1977)

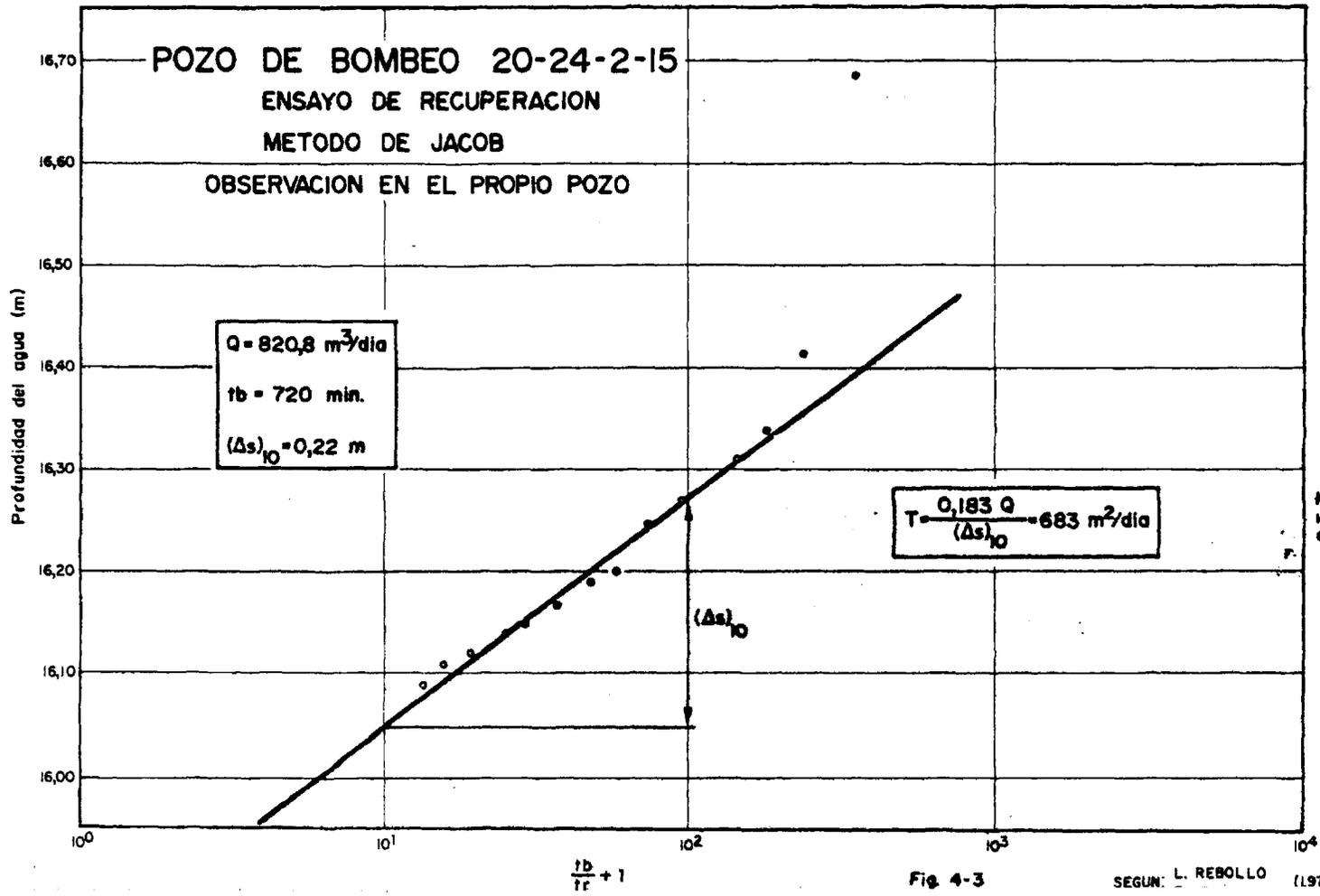


Fig. 4-3

SEGUN: L. REBOLLO (1977)

140

# POZO DE BOMBEO 20-24-2-15

ENSAYO DE RECUPERACION

METODO DE JACOB

OBSERVACION EN EL PROPIO POZO

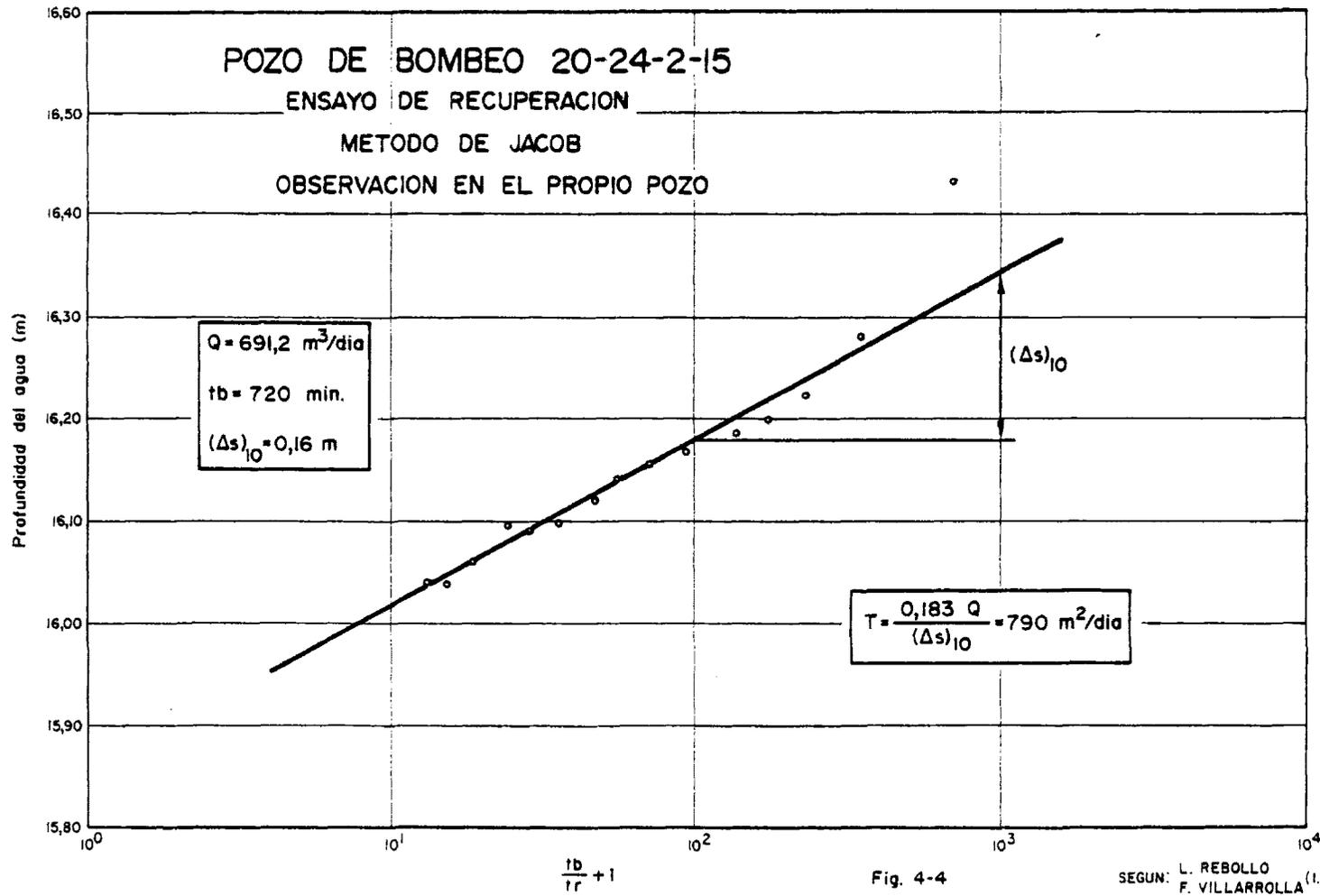
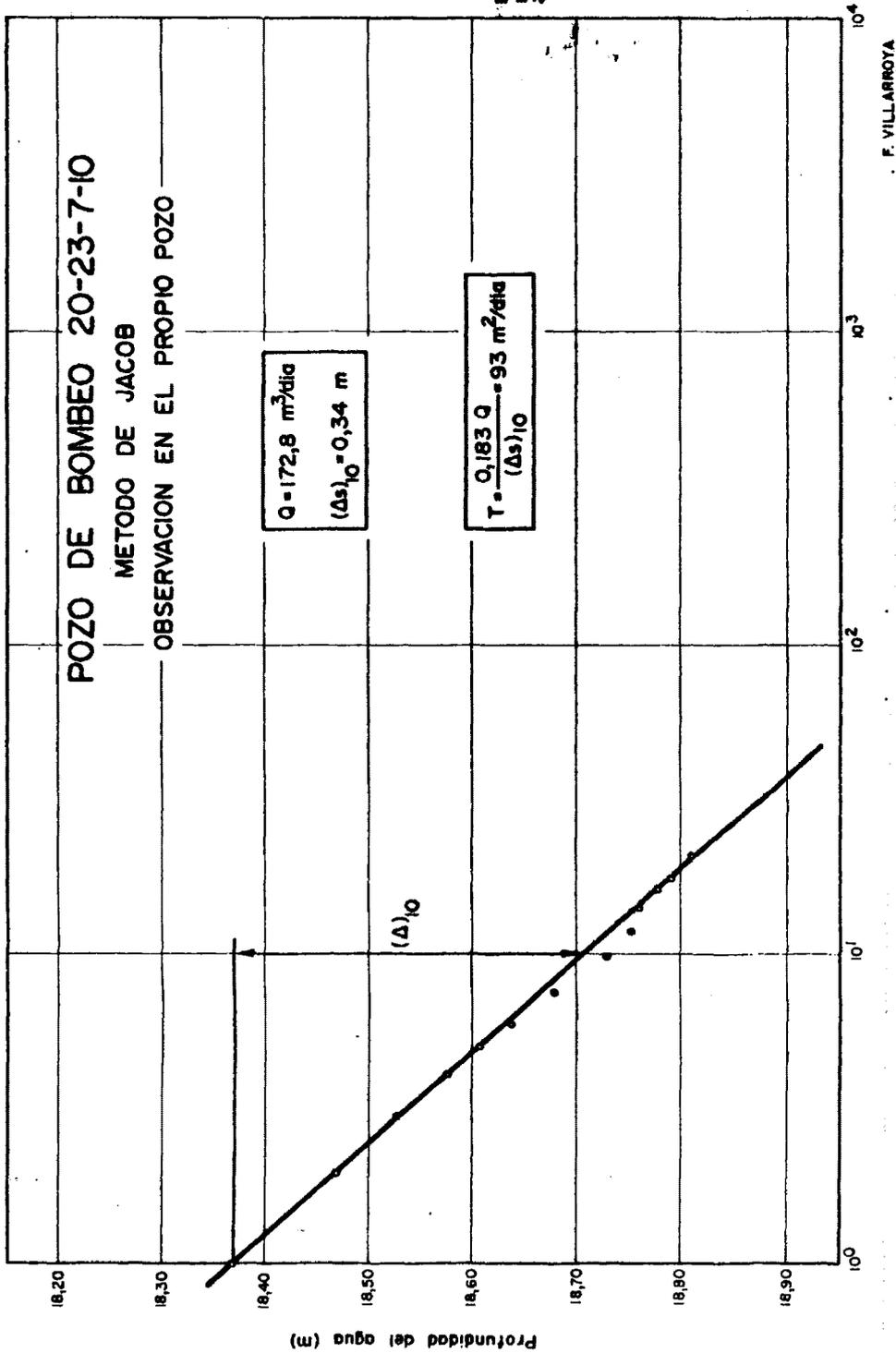


Fig. 4-4

SEGUN: L. REBOLLO  
F. VILLARROLLA (1977)



POZO DE BOMBEO 2022-3-6

METODO DE JACOB

DESCENSO

Transmisividad

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta d}$$

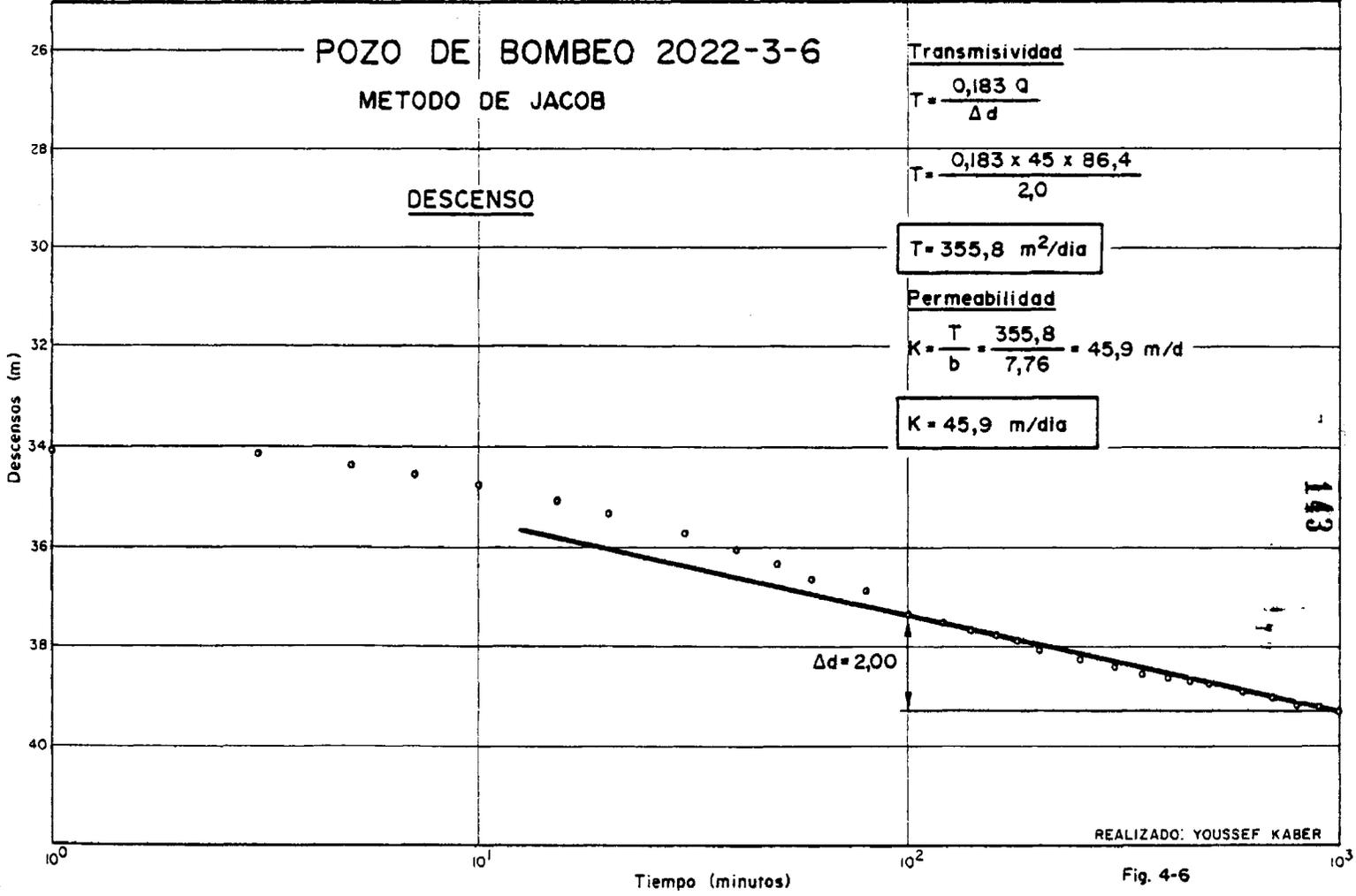
$$T = \frac{0,183 \times 45 \times 86,4}{2,0}$$

$$T = 355,8 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Permeabilidad

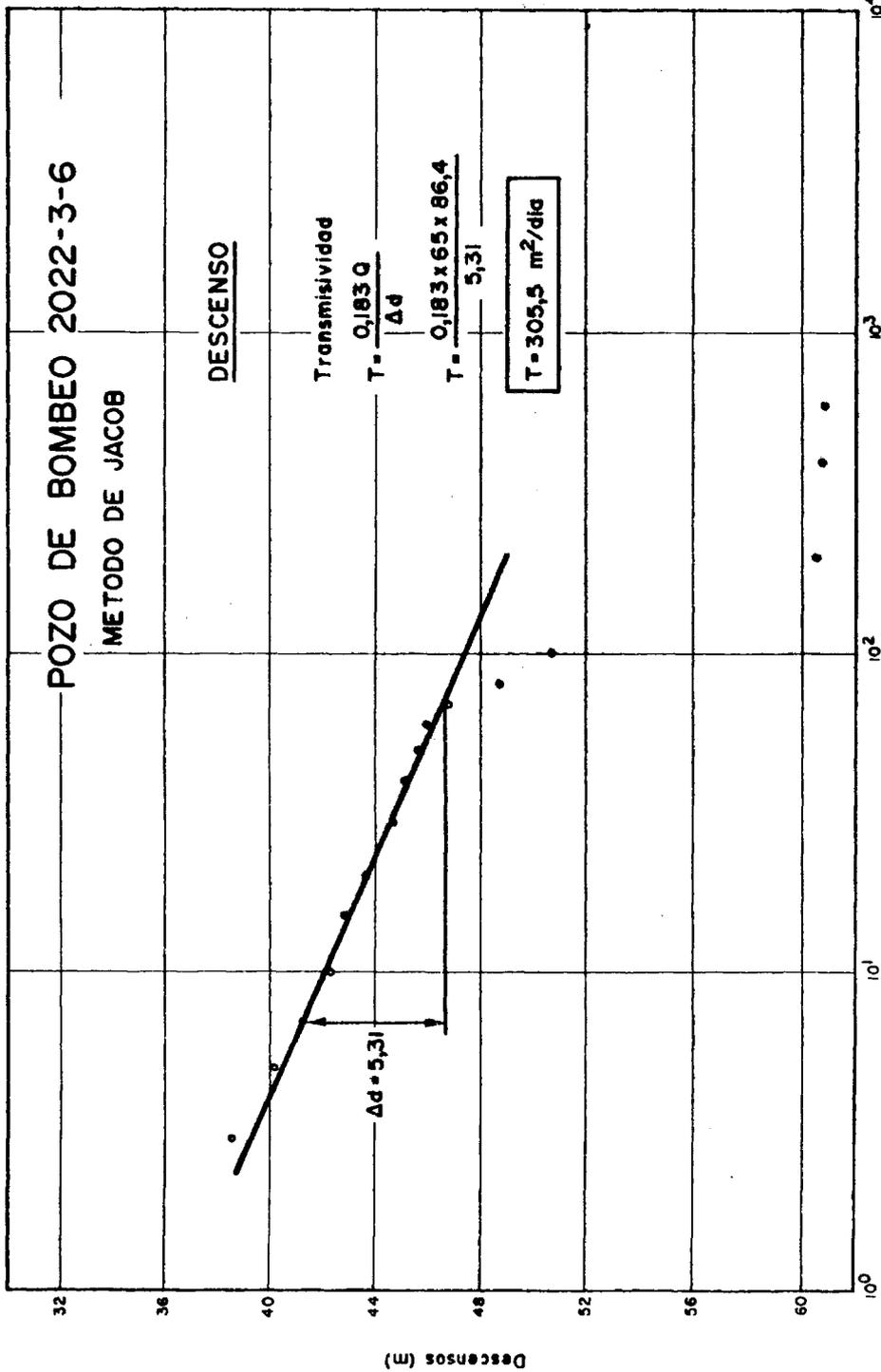
$$K = \frac{T}{b} = \frac{355,8}{7,76} = 45,9 \text{ m/d}$$

$$K = 45,9 \text{ m/dia}$$

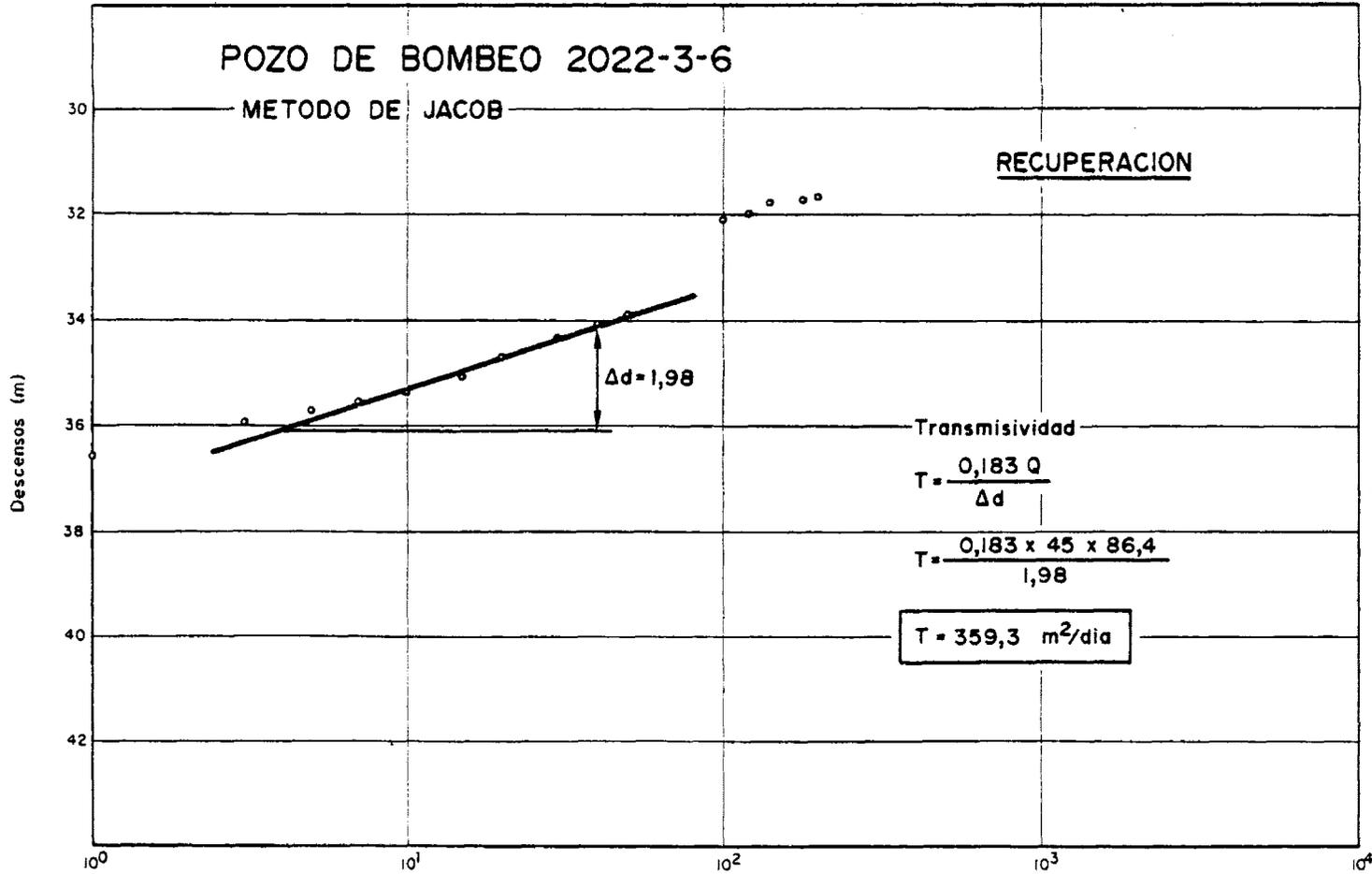


REALIZADO: YOUSSEF KABER

Fig. 4-6



# POZO DE BOMBEO 2022-3-6



145

Tiempo (minutos)

Fig. 4-8

Realizado: Youssef Kaber

- $Q_t$  = caudal base en el tiempo  $t$ ,  
 $Q_0$  = caudal base en el origen del tiempo,  
 $t$  = tiempo transcurrido desde el momento en  
 que el caudal vale  $Q_0$ ,  
 $\alpha$  = coeficiente de agotamiento, cuyo valor sería  

$$\alpha = \frac{\pi^2 T}{4 S L^2}$$
, siendo  $T$  = transmisividad,  
 $S$  = coeficiente de almacenamiento y  $L$  = an  
chura horizontal del acuífero que tiene una  
 longitud suficiente para admitir un régimen  
 bidimensional.

López Vera y Sáiz García-Cuenca (1.976), analizando los datos de aforo del río Tajuña, obtienen una transmisividad para las calizas de los páramos de la Alcarria que oscila entre 50 y 500 m<sup>2</sup>/día.

En general, la transmisividad es mayor de 100 m<sup>2</sup>/día, por lo que la formación promete ser un buen acuífero.

Por otra parte, el sistema acuífero de la Formación de los Páramos (ver Plano n° 3 -Mapa de Isopiezas- y Perfiles Hidrogeológicos, Plano número 4) nos permite considerar la subdivisión de la formación en diversas unidades. De acuerdo con López Vera (1.977), la Meseta se encuentra casi estrangulada por barrancos opuestos que casi juntan sus cabeceras haciendo muy improbable la transferencia del flujo de una a otra parte, aunque haya continuidad litológica y geométrica.

#### 4.1.3.- La permeabilidad o conductividad hidráulica (K).

La permeabilidad de una roca es la propiedad que posee ésta de ser atravesada por el agua. El caudal de una captación de agua depende así de la permeabilidad de la zona de saturación que permite la renovación del agua extraída.

La experiencia de Dupuit (1.856) acerca del movimiento del agua subterránea está basada en la Ley de Darcy

$$v = K.i \quad ,$$

siendo  $v$  la velocidad de Darcy y  $K$  un coeficiente de permeabilidad que depende de la litología, promedio de los huecos del terreno, viscosidad del fluido, etc.

Durante la ejecución de las obras, un conocimiento aproximado de la permeabilidad nos indicaría el caudal que se espera obtener; pero es difícil llegar a calcular la permeabilidad sobre el terreno.

En general, en las rocas calcáreas el sistema evoluciona hacia una mayor heterogeneidad. Es muy frecuente que el flujo tienda hacia direcciones preferentes, de modo que el tratamiento matemático nos lleva a resultados no siempre fiables. Por el contrario, las medidas de permeabilidad mediante pruebas de bombeo son las más precisas: una vez obtenidos los datos de transmisividad, se dividen por la longitud de filtro en cada sondeo o pozo, dado que ésta viene a coincidir con el espesor saturado de la formación acuífera.

Para la estimación de la permeabilidad en el acuífero calcáreo de la Formación de los Páramos Rebo-  
llo y Villarroya (1.977) utilizan los datos de transmi-  
sividad obtenidos mediante ensayos de bombeo en pozos  
que explotan dicha formación. Los valores obtenidos son  
de 7 a 29 m/día en la cuenca baja del Tajuña.

Generalmente, los valores de la permeabilidad  
en rocas carbonatadas son muy heterogéneos, donde las fi  
suras en este tipo de rocas varían entre límites poco am  
plios.

Según Hearn y Stringfield (1.972), la permeabi-  
lidad de las rocas carbonatadas se debe a fenómenos se-  
cundarios de disolución, pero existen otras opiniones so  
bre el desarrollo y distribución en el espacio de la per  
meabilidad en esta clase de rocas.

López Vera (1.977) explica la heterogénea per  
meabilidad de las calizas de la Formación de los Pára-  
mos: los cerros residuales constituirían los núcleos de  
los bloques poco permeables, mientras que las alineacio  
nes de depresiones, cubetas de disolución y surgencias  
constituirían la red permeable por la que circula el  
agua. Además, este autor propone como criterio la carto  
grafía geomorfológica para la ubicación de captaciones  
de agua subterránea en regiones karstificadas, como es  
el caso de la Región de la Alcarria, ubicada en la Me-  
seta Central Española. Los fundamentos del método de Ló  
pez Vera (1.977) se exponen en el apartado 3.1 -Morfolo  
gía de la región estudiada-.

#### 4.1.4.- Coeficiente de almacenamiento (S).

El almacenamiento o coeficiente de almacenamiento es definido por Freeze & Cherry (1.979) como el volumen de agua que almacena en la unidad de superficie del acuífero al disminuir en una unidad el nivel piezométrico o carga hidráulica.

En acuíferos libres este parámetro es igual a la porosidad eficaz de la zona saturada, es decir, al volumen de agua gravífica extraída de una unidad del acuífero.

En acuíferos cautivos no existe tal identidad, ya que los efectos mecánicos de compresión del terreno que tienen por encima hacen disminuir su porosidad y, por tanto, su almacenamiento de agua.

Esta propiedad favorable de almacenamiento de agua en los acuíferos libres tiene gran importancia para la explotación mediante pozos.

El concepto de coeficiente de almacenamiento en los acuíferos libres y cautivos se puede consultar en Freeze & Cherry (1.979), págs. 59-62, y en Custodio y Llamas (1.976), Tomo I, págs. 263 y 620.

Generalmente, este parámetro S se determina mediante pruebas de bombeo, pero al no disponer de los radios de influencia en los pozos vamos a establecer su valor a partir de Custodio y Llamas (1.976).

En acuíferos libres, como la zona que nos ocupa en la cuenca del río Tajúña, los valores del coeficiente de almacenamiento suelen oscilar entre 0,01 y 0,4, siendo el intervalo más frecuente de 0,1 a 0,3.

Como ya hemos dicho en el epígrafe 4.1.1., Llamas y López Vera (1.975) estiman para las calizas de la Formación de los Páramos de la Alcarria una porosidad eficaz de 0,05 a 0,10, valores que coinciden con el coeficiente de almacenamiento, ya que la Formación de los Páramos la constituyen acuíferos libres.

#### 4.1.5.- Caudal específico (q).

La productividad de un pozo o sondeo es frecuentemente expresada en términos de caudal específico o capacidad específica. Se define como

$q = Q/s$ , siendo Q el caudal bombeado y s el descenso producido en el pozo (nivel dinámico estabilizado).

No obstante, a menudo se estima el valor de la transmisividad basándonos en el caudal específico, ya que existen fórmulas que relacionan ambos parámetros (Davis y De Wiest, 1.971; Custodio y Llamas, 1.976; etc.).

Nosotros disponemos de 26 datos de caudales específicos de sondeos y pozos que explotan el acuífero calcáreo de la Formación de los Páramos. En las Tablas 4-9 y 4-10 consta la relación de ellos junto con algunas de sus características.

TABLA 4-9

CAUDALES ESPECIFICOS Y OTROS DATOS DE SONDEOS Y POZOS  
QUE EXPLOTAN EL ACUIFERO CALCAREO DE LA FORMACION DE LOS PARAMOS

Nº PUNTO	TIPO	PROF. (m)	TECNICA DE PERFORACION	TIEMPO DE BOMBEO (h)	NIVEL ES- TÁTICO (m)	DESCENSO (m)	Q (l/s)	q (l/s/m)	TIPO DE FILTRO	ACUIFERO
2024-2-001	S	49	Percusión	-	17,50	1,10	33	30	Puentec.	F.P.
2024-2-002	S	40	Percusión	-	14,70	9	1,56	0,17	Puentec.	F.P.
2024-2-003	S	40	Percusión	-	17,15	8,15	16,3	1,83	Ranurad.	F.P.
2024-2-005	S	55	Percusión	-	17,04	14,06	2,54	0,18	Ranurad.	F.P.
2024-2-007	S	50	Percusión	-	15,80	22,7	0,75	0,03	Ranurad.	F.P.
2024-2-011	S	68	Percusión	3	22,0	11	3,22	0,29	Ranurad.	F.P.
2024-3-001	S	57	Percusión	-	15,22	10,18	1,17	0,95	Puentec.	F.P.
2023-5-001	S	40	Percusión	12	26,60	0,10	2,5	25	-	F.P.
2023-5-003	S	50	Percusión	-	19,70	0,80	30	37,5	Ranurad.	F.P.
2023-8-002	G	30	Excavación	5	19,60	0,30	0,84	2,8	-	F.P.
2023-8-007	P	9,5	Excavación	-	8,75	0,70	5	7,14	-	F.P.
2023-8-013	S	70	Percusión	-	15,60	15,95	1,14	0,07	Puentec.	F.P.
2023-8-014	S	72	Percusión	-	10,90	0,10	0,51	5,1	-	F.P.

S = sondeo; G = pozo con galería; P = pozo.

Q = caudal aforado; q = caudal específico.

TABLA 4-10

CAUDALES ESPECIFICOS Y OTROS DATOS DE SONDEOS Y POZOS  
QUE EXPLOTAN EL ACUIFERO CALCAREO DE LA FORMACION DE LOS PARAMOS

Nº PUNTO	TIPO	PROF. (m)	TECNICA DE PERFORACION	TIEMPO DE BOMBEO (h)	NIVEL ES- TÁTICO (m)	DESCENSO (m)	Q (l/s)	q (l/s/m)	TIPO DE FILTRO	ACUIFERO
2023-7-003	S	30	Percusión	5	11,04	3,06	2,4	0,80	-	F.P.
2122-6-012	S	30	Percusión	-	8,0	4,40	1,39	0,32	Ranurado	F.P.
2122-7-010	S	30	Percusión	-	18,09	0,18	4,44	24,6	-	F.P.
2022-4-003	S	60	Percusión	-	27,97	0,20	0,05	0,25	Puentec.	F.P.
2121-6-014	S	80	Percusión	0,45	44,25	10,31	1,5	0,15	Ranurado	F.P.
2121-8-016	S	87	Percusión	3	29,38	15,0	8,0	0,53	Ranurado	F.P.
2122-1-023	S	15	Percusión	12	9,0	2,0	6,0	3,0	Puentec.	F.P.
2122-6-007	G	9	Excavación	-	1,0	7,50	5,0	0,66	-	F.P.
2122-6-009	S	50	Percusión	4	17,82	37,18	2,0	0,01	-	F.P.
2023-8-007	P	9,5	Excavación	-	9,75	0,70	5,0	0,7	Ladrillo	F.P.
2024-3-002	S	72	Percusión	1	17,0	18,0	0,72	0,04	Puentec.	F.P.
2022-3-006	S	68	Percusión	12	31,50	7,58	45,0	6,0	-	Cr.
2120-3-012	S	90	Percusión	3	32,0	46,0	1,0	0,02	-	F.P.

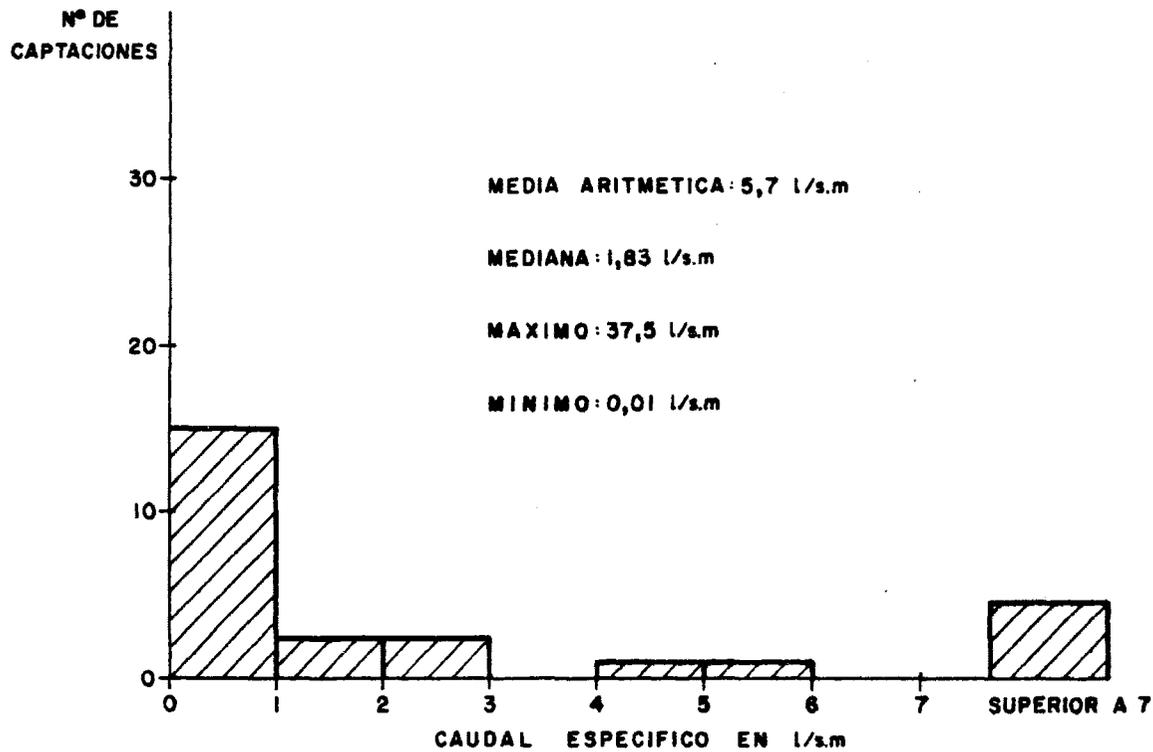
S = sondeo; G = pozo con galería; P = pozo.

En el Plano nº 8, Tomo II, se presenta la distribución superficial de los caudales específicos. Se pueden localizar unas zonas determinadas en las cuales están ubicados sondeos improductivos, cuyos caudales específicos no llegan a 1 l/seg/m. Por el contrario, existen zonas con sondeos productivos que presentan altos valores de capacidad específica.

Independientemente de las técnicas usadas en la construcción, profundidad, diámetro, entubación, etc. del pozo, el factor geomorfológico influye decisivamente sobre el caudal específico de dicha captación.

López Vera (1.977) explica la heterogeneidad de los parámetros hidráulicos en acuíferos constituidos por rocas karstificadas. Para la Formación de los Páramos, y de acuerdo con este autor, la gran diferencia entre los valores de los caudales específicos es la esperada. La zona es asimilable a un conjunto de bloques de rocas poco permeables rodeados de una red de alta permeabilidad; por lo tanto, los sondeos cuya capacidad específica es elevada corresponden a la red de alta permeabilidad constituida por las alineaciones de depresiones existentes en la meseta, favoreciendo la explotación del agua que circula. Por el contrario, las zonas de baja permeabilidad se localizan sobre los cerros residuales; los pozos o sondeos situados al pie de éstos se encuentran secos o con capacidad específica muy baja.

En definitiva, las captaciones en esta región tienden a dar mejores resultados en función de su ubicación topográfica.



**DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LOS CAUDALES ESPECIFICOS DE 26 SONDEOS Y POZOS UBICADOS EN LAS ROCAS CALCAREAS DE LA FORMACION DE LOS PARAMOS DE LA ALCARRIA**

En la Figura 4-11 se presenta la distribución de las frecuencias de los caudales específicos en el acuífero calcáreo, cuya media aritmética es de 5,7 l/seg/m., y la mediana de 1,83 l/seg/m.

#### 4.2. PARAMETROS HIDRAULICOS DE LA FORMACION YESIFERA

López Vera (1.975) considera esta formación como acuífero hasta el talweg de los ríos, y como acuitarado el resto.

Desde el punto de vista hidroquímico, las aguas derivadas de los yesos contienen en solución ciertos iones en cantidades elevadas, tales como el sulfato, el magnesio, el calcio, el sodio; las concentraciones de estos iones superan los límites admitidos en las clasificaciones usuales de agua, por lo que estas aguas se consideran de mala calidad. Debido a estas consideraciones desfavorables, el número de pozos perforados en la Formación Vallecas es muy reducido, y como son tan escasos los datos hidrogeológicos no disponemos de parámetros hidráulicos en estos terrenos.

Generalmente se observa en la superficie de los afloramientos de esta formación rasgos de disolución, tales como conductos, cavernas, dolinas, etc. Estas formas externas se originan por la reacción entre las aguas meteóricas y los minerales, principalmente el yeso. Como resultado, las aguas que circulan llegan a conectar mediante sifones algunas de estas formas kársticas. De esta manera, la parte de la formación situada

por encima de los talweg de los ríos tiene la posibilidad de desarrollar con el tiempo su permeabilidad.

En la Formación Vallecas, como ya hemos dicho, no existen pozos entubados, por lo tanto es difícil calcular la transmisividad para poder luego estimar la permeabilidad.

La idea que tenemos es que los parámetros hidráulicos tienden a ser bajos.

#### 4.3. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES

Constituyen un acuífero libre que se extiende a lo largo de la cuenca baja del río Tajuña y parte de la cuenca media. Estos depósitos, tanto en la llanura de inundación como en las terrazas, tienen interés hidrogeológico.

En general, estos materiales no consolidados del Cuaternario poseen una porosidad intergranular, por lo que su permeabilidad es alta y su capacidad específica elevada. Además, las aguas al ser filtradas por el terreno serán de buena calidad química, aún cuando el agua superficial pudiera estar contaminada.

##### 4.3.1.- Estimación del valor de los parámetros y su distribución.

Para la estimación de los parámetros hi-

dráulicos en este acuífero nos basamos en los valores asignados por otros autores y en datos calculados de captaciones ubicadas en estos depósitos aluviales en la cuenca baja del Tajuña.

Según Llamas y López Vera (1.975), los depósitos cuaternarios poseen, por lo general, una porosidad eficaz que oscila entre 0,10 y 0,20. Davis y De Wiest (1.971) estiman que casi siempre estos depósitos poseen una porosidad superior a 0,20.

Otro parámetro relativo a estos depósitos es la transmisividad, cuyo valor ha sido calculado por García de la Torre (1.976). De un total de 26 captaciones, 16 cuentan con transmisividades superiores a  $2.000 \text{ m}^2/\text{día}$ . La transmisividad media resulta ser de unos  $2.300 \text{ m}^2/\text{día}$ .

La permeabilidad se puede obtener dividiendo la transmisividad media calculada por el espesor saturado, que según varios autores tiene un valor medio de 10 m. De esta manera, obtenemos un valor medio para la permeabilidad de 230 m/día.

Queremos hacer notar que este valor puede ser mayor o menor. Los lugares formados por gravas bastante gruesas e isométricas tienen alta permeabilidad. A menudo en la cuenca del Tajuña los depósitos aluviales están recubiertos por arcillas, por lo que su permeabilidad es baja en los primeros metros.

Por otra parte, según Freeze y Cherry (1.979), el cambio de posición del cauce del río y de velocidad de deposición hacen variar las características texturales de los sedimentos, lo cual a su vez da lugar a una heterogeneidad en la distribución de las propiedades hidráulicas. De acuerdo con estos autores, habrá zonas en los depósitos aluviales que nos ocupan con buena permeabilidad. Estas zonas corresponderían a las antiguas posiciones del cauce del río, con material grueso muy permeable, aunque en la actualidad están recubiertos por aluviones arcillo-arenosos. Estos son más o menos los lugares donde forman excelentes acuíferos para su explotación.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento, en esta clase de acuíferos es igual a la porosidad eficaz, y por tanto los valores asignados por Llamas y López Vera (1.975) proporcionan un S de 0,15 a 0,20.

Para el caudal específico García de la Torre (1.976) obtiene un valor medio de 43,6 l/seg/m.

Finalmente, la existencia del sustrato poco permeable favorece el espesor saturado.

En definitiva, el acuífero es excelente, y es conveniente construir pozos entubados para explotarlo mediante bombeo.

#### 4.4. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ACUIFERO CRETACICO

El Cretácico termina en esta zona con un banco continuo de calizas localmente dolomíticas que hacia el techo se hacen detríticas, apareciendo calizas margosas y calizas arenosas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, es el acuífero de mayor interés en la Unidad Ibérica, tanto por la potencia de los materiales que lo constituyen como por la extensión del área de alimentación.

Por otra parte, las dolomías que se presentan en las calizas parecen ser de origen metasomático. Este fenómeno del metasomatismo tiene importancia hidrológica, ya que la transformación de los minerales de calcita en dolomita conduce a una reducción del volumen ocupado por la calcita en un 12 ó 13% (Davis, 1.969), por lo que las partes que dominan las dolomías tienen, en general, una porosidad mayor que las calizas de las que proceden.

No obstante, la distribución de los sedimentos del Cretácico en el tiempo está condicionada por transgresiones y regresiones, pudiendo iniciarse procesos de erosión y karstificación. La evidencia de esta erosión se basa en que se ponen a veces al descubierto los materiales correspondientes al Jurásico infrayacente (véase el epígrafe 2.1.1.2 en el Capítulo 2 "Geometría de los acuíferos de la región").

Otro rasgo que puede influir en las características hidráulicas de estas rocas es el sistema de fallas. Algunos autores han insistido en la importancia de las zonas fracturadas como sitios indicados para la ubicación de las captaciones, entre otras razones, por su permeabilidad más elevada.

Según Stringfield y Legrand (1.969), las fallas se comportan unas veces como conductos preferentes del flujo y otras como barreras impermeables.

#### 4.4.1.- Parámetros hidráulicos del acuífero del Cretácico.

Para la elaboración de los parámetros hidráulicos nos hemos basado en un ensayo de bombeo (Figs. 4-6 a 4-8). La transmisividad obtenida, valorada por el método de Jacob, resulta ser del orden de  $340 \text{ m}^2/\text{día}$ .

La permeabilidad se puede obtener dividiendo la transmisividad por el espesor saturado; de esta manera obtenemos un valor de  $45 \text{ m/día}$ .

Otro parámetro, el caudal específico, se ha calculado dividiendo el caudal aforado medio por el descenso estabilizado, resultando ser de unos  $6 \text{ l/seg/m}$ . (ver Tabla 4-10. Caudales específicos. 2022-3-006).

En cuanto al coeficiente de almacenamiento, S, ya hemos indicado que su valor numérico coincide con la porosidad eficaz. En las calizas del Cretácico, de acuerdo con la bibliografía consultada, estimamos que este parámetro varía del 5 al 20%; por consiguiente S

tendría el mismo valor.

Finalmente, diremos que el acuífero del Cretácico, igual que en el caso del acuífero de las calizas de la Formación de los Páramos, tiene en general transmisividades superiores a los  $100 \text{ m}^2/\text{día}$ , por lo que ambos constituyen unos acuíferos productivos en la cuenca del río Tajuña.

C A P I T U L O - 5

HIDRODINAMICA Y BALANCE HIDRICO

## 5. HIDRODINAMICA Y BALANCE HIDRICO

En una cuenca, el funcionamiento hidrodinámico estaría condicionado por la litología, la tectónica y la morfología.

Según López Vera (1.975), la morfotectónica controla las áreas probables de recarga y descarga, y nos puede orientar sobre la dirección probable de flujo.

En las investigaciones hidrogeológicas llevadas a cabo en cuencas hidrográficas próximas a la nuestra, se proponía como sistema de flujo el sugerido por Toth (1.962), de aplicación en grandes cuencas intermontañas colmatadas de sedimentos detríticos.

El primer esquema de estas características se debe a Hubbert (1.940), en el que se supone un acuífero homogéneo e isótropo recargado por precipitaciones directas en los interfluvios, realizándose la descarga por los valles.

En 1.974, Llamas y López Vera proponen para los materiales detríticos que rellenan la fosa del Tajo un esquema de flujo en el cual se contempla la anisotropía y heterogeneidad del medio.

No obstante, en la región que nos ocupa los materiales neógenos, representados principalmente por facies química, se encuentran karstificados; su estudio

estratigráfico y estructural se refleja en el Capítulo 2 y en el Plano n° 1, Tomo II .

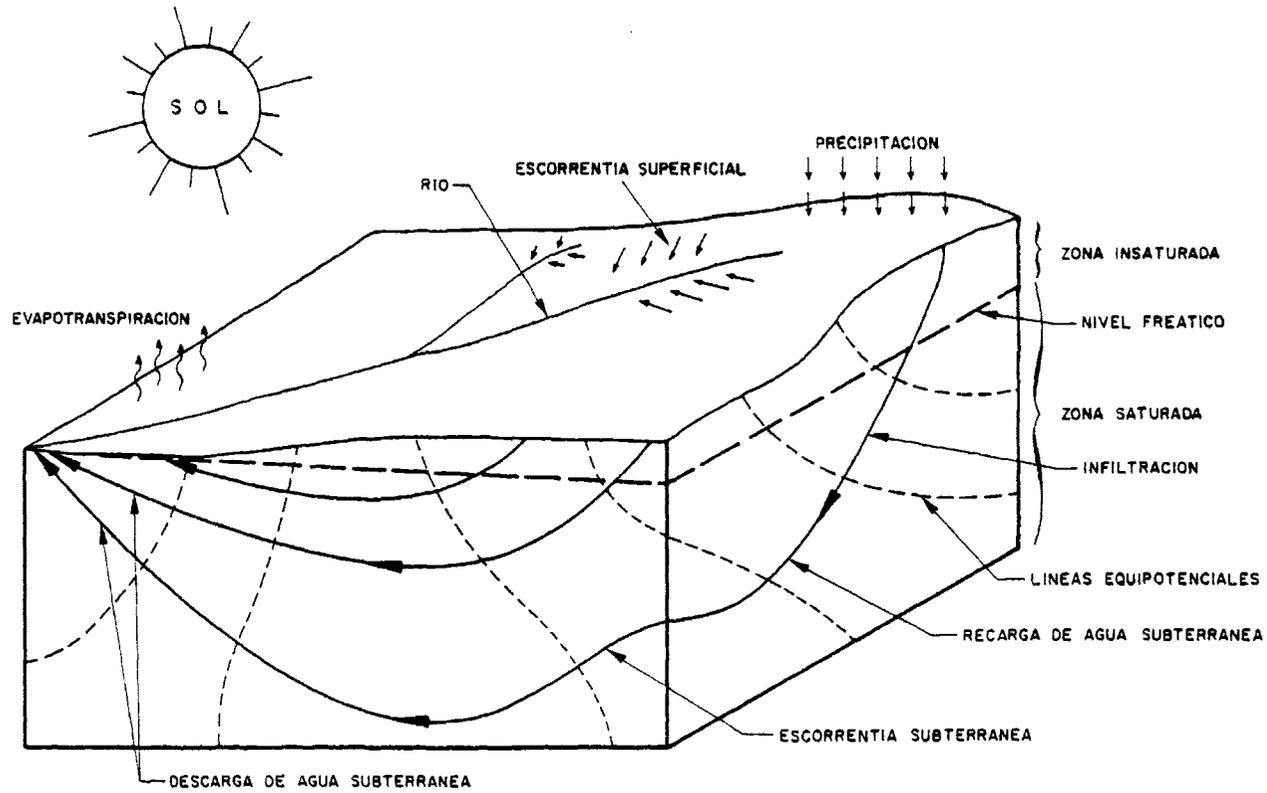
La dinámica del agua en nuestra cuenca se diferencia por su régimen de circulación y por su tipo de permeabilidad (ver epígrafe 4.1.3).

De esta forma, los esquemas de flujo anteriores no son extrapolables a la cuenca del río Tajuña. En la Figura 5-2 se presenta un modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero.

En cuanto al balance hídrico, nos describe el régimen hidrológico, a escala del sistema de las formaciones acuíferas; trata de buscar el equilibrio entre el total de aguas que entran y el total de salidas a través del sistema.

Al mismo tiempo, se ha efectuado la elaboración de los componentes del balance hídrico, cuyos valores tienen una importante interrelación con el régimen de recarga-descarga. De esta manera podemos conseguir un mejor conocimiento de los cambios naturales ocurridos en el volumen total de agua almacenado durante el año hidrológico.

En definitiva, el balance hídrico nos expresa las relaciones entre el agua almacenada, la escorrentía, la recarga y la descarga, como se muestra en la Fig. 5-1.



165

HIDRODINAMICA Y ELEMENTOS DEL  
BALANCE HIDRICO EN UNA CUENCA

Fig. 5-1

Realizado: Youssef Kaber  
modificado de Freeze y Cherry, 1979

### 5.1. FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DEL ACUIFERO CALCAREO

Dentro de las formaciones de origen químico, representa el mayor porcentaje en la cuenca del río Tajua, estando constituido por las calizas o miembro su perior, como ya se indicó anteriormente en el apartado 2.1.

Estas calizas tienen una distribución vertical y horizontal que permite ser un medio capaz de contener y transmitir aguas subterráneas.

No obstante, ateniéndose a la morfoestructura de la Formación de los Páramos, hay que tener en cuenta ciertas consideraciones acerca del comportamiento hidro dinámico del acuífero calcáreo.

En el apartado 3.1 vimos que el karst en estos terrenos tiene más de una fase, debido al encajamiento progresivo de la red fluvial, que acaba por alcanzar las formaciones subyacentes. De esta manera la karstificación abarca la totalidad de las calizas.

Por otra parte, es lógico pensar en unos procesos kársticos diferenciales; es decir, las zonas de fractura del basamento con reflejo en la cobertera a veces corresponden a arroyos y barrancos; éstos son los más afectados por ser direcciones de debilidad a la acción disolvente de las aguas meteóricas.

De acuerdo con lo expuesto y con el mapa de

isopiezas realizado (Plano n° 3, Tomo II ), se observa el marcado control que ejercen los grandes rasgos morfológicos.

Los valles profundos han subdividido la Formación de los Páramos en diversas unidades o bloques que corresponden a las zonas de alimentación de las aguas subterráneas.

Estas unidades tienen muy poca vegetación, debido al déficit de humedad típico de las zonas de recarga.

El flujo del agua se produce por la red permeable en direcciones preferenciales y en sentido radial dentro de cada una de las unidades señaladas. También existe en algunas de estas unidades un flujo vertical.

La descarga se efectúa mediante manantiales y zonas de rezume en los bordes.

El conjunto de las surgencias en las laderas del valle del río Tajuña, que drenan este acuífero, aporta aproximadamente el 70% del caudal que lleva el río; además, como vimos anteriormente, estas surgencias dan lugar en la actualidad a numerosos depósitos de tobas.

En el mapa de isopiezas se observa un descenso de los niveles piezométricos hacia los bordes y, por tanto, un apretamiento de las curvas isopiezométricas.

En los perfiles hidrogeológicos (Plano nº 9) el nivel piezométrico pasa muy cerca de un punto de descarga.

En la Figura 5-2 se presenta un modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos karstificados que componen el sistema del Neógeno.

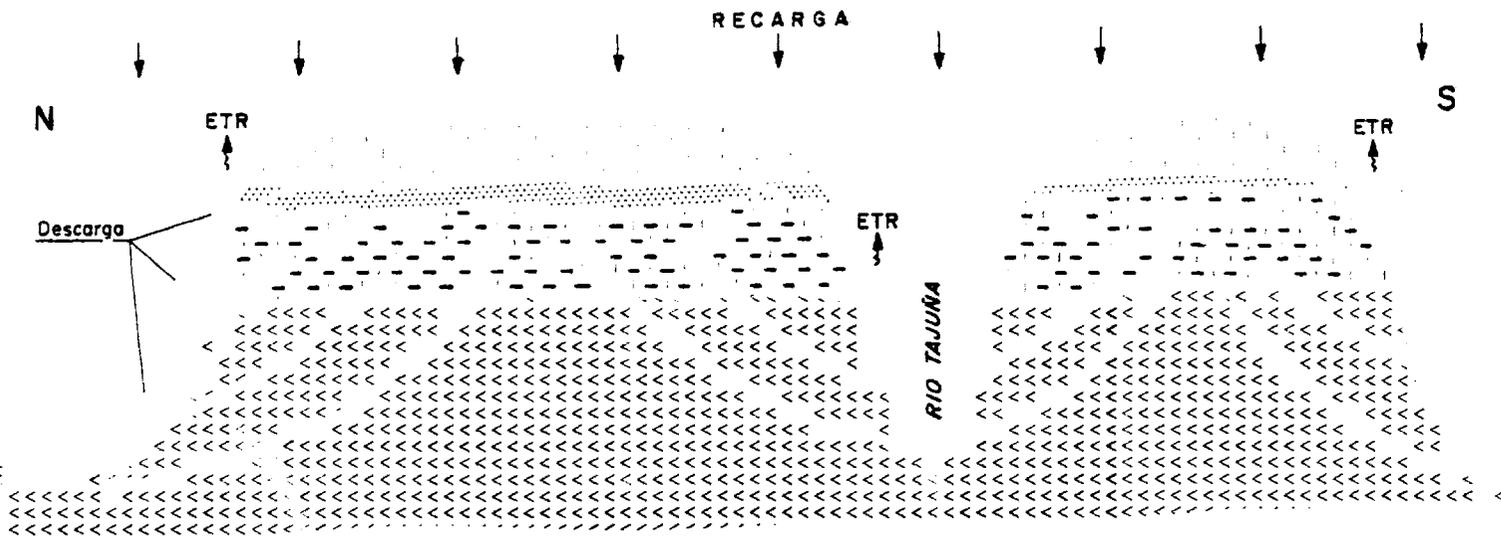
Este modelo propuesto ilustra suficientemente el funcionamiento del sistema, por lo que consideramos que no es necesaria la utilización de los índices hidrogeoquímicos.

No obstante, en el apartado 3.5 (Ambiente hidroquímico de los acuíferos) ya hemos tratado algunas propiedades acerca de una evolución en las aguas subterráneas que circulan en la cuenca del Tajuña; se vio que la composición química de las mismas está en relación con las litofacies atravesadas y que la disolución de suelos y rocas es el factor fundamental que influye en dicha composición.

Creemos que los factores hidrodinámicos no juegan un papel importante en este tipo de terrenos donde predomina la circulación local.

#### 5.1.1.- Características del funcionamiento hidrodinámico.

La hidrodinámica de este acuífero calcáreo



**LEYENDA**

-  FORMACION DE LOS PARAMOS  
1. MIEMBRO CALCAREO - 2. MIEMBRO DETRITICO
-  FORMACION VILLAREJO
-  FORMACION VALLECAS
-  FILTRACION VERTICAL, LEAKAGE
-  NIVEL FREATICO

-  LINEA DE FLUJO
-  PRECIPITACION
-  MANANTIAL
-  EVAPOTRANSPIRACION

MODELO CONCEPTUAL DE  
FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO  
FACIES QUIMICA

169

Realizado: Youssef Kaber  
modificada de López Vera (1975)

Figura 5-2

está caracterizada por los siguientes factores.

La recarga proviene únicamente de la precipitación directa durante las estaciones húmedas.

El flujo en las diversas unidades que componen la formación acuífera es radial centrífugo, dirigiéndose hacia los bordes. Este flujo se debe desarrollar fundamentalmente sobre planos de estratificación casi horizontales sin descartarse también un flujo vertical.

La descarga se efectúa mediante manantiales y zonas de rezume situados topográficamente por encima del talweg de los valles. Los manantiales, en general, están alineados en un nivel situado sobre la cota 840-860 m.; estos puntos de descarga drenan las calizas de la Formación de los Páramos.

Otro conjunto de manantiales situados en cotas más bajas, correspondientes a las formaciones subyacentes, aparecen sobre la cota 800 m. y probablemente están alimentados por la recarga descendente (leakage) (ver Fig. 5-2; en la cual queda reflejado esquemáticamente el modelo de flujo hidrodinámico en el karst de las calizas de la Formación de los Páramos de la Región de la Alcarria).

A pesar de la continuidad geométrica de las formaciones infrayacentes, es muy improbable que ejerzan una notable influencia en la transferencia o descarga del acuífero calcáreo, ya que los materiales detríticos de las For

maciones Guadalajara y Badiel al Norte, y también los materiales margocalcáreos de la Formación Villarejo al Sur, tienen poca permeabilidad y la distribución de la misma es muy irregular y controla las zonas de rezume que aparecen sobre estas formaciones.

#### 5.1.2.- Relaciones entre Geomorfología y Aguas Subterráneas.

Estas razones son evidentes, como veremos a continuación; además, en las zonas semiáridas, como la que nos ocupa, la relación es aún más estrecha pues el relieve condiciona la precipitación, la recarga y la descarga.

Dentro de la disposición general de la Formación de los Páramos, las fracturas son escasas y ligeras (ver Apartado 2.2). De esta manera la morfología ejerce el control fundamental sobre las aguas subterráneas.

No obstante, en el mapa de isopiezas realizado (Plano nº 3, Tomo II ) se pone de manifiesto esta marcada influencia sobre el funcionamiento de las diversas unidades que componen el acuífero calcáreo.

Por otra parte, la presencia de valles profundos (como se puede apreciar en los perfiles hidrogeológicos del Plano número 4, Tomo II ) provoca la descarga mediante manantiales y zonas de rezume.

### 5.1.3. Profundidad de las aguas subterráneas.

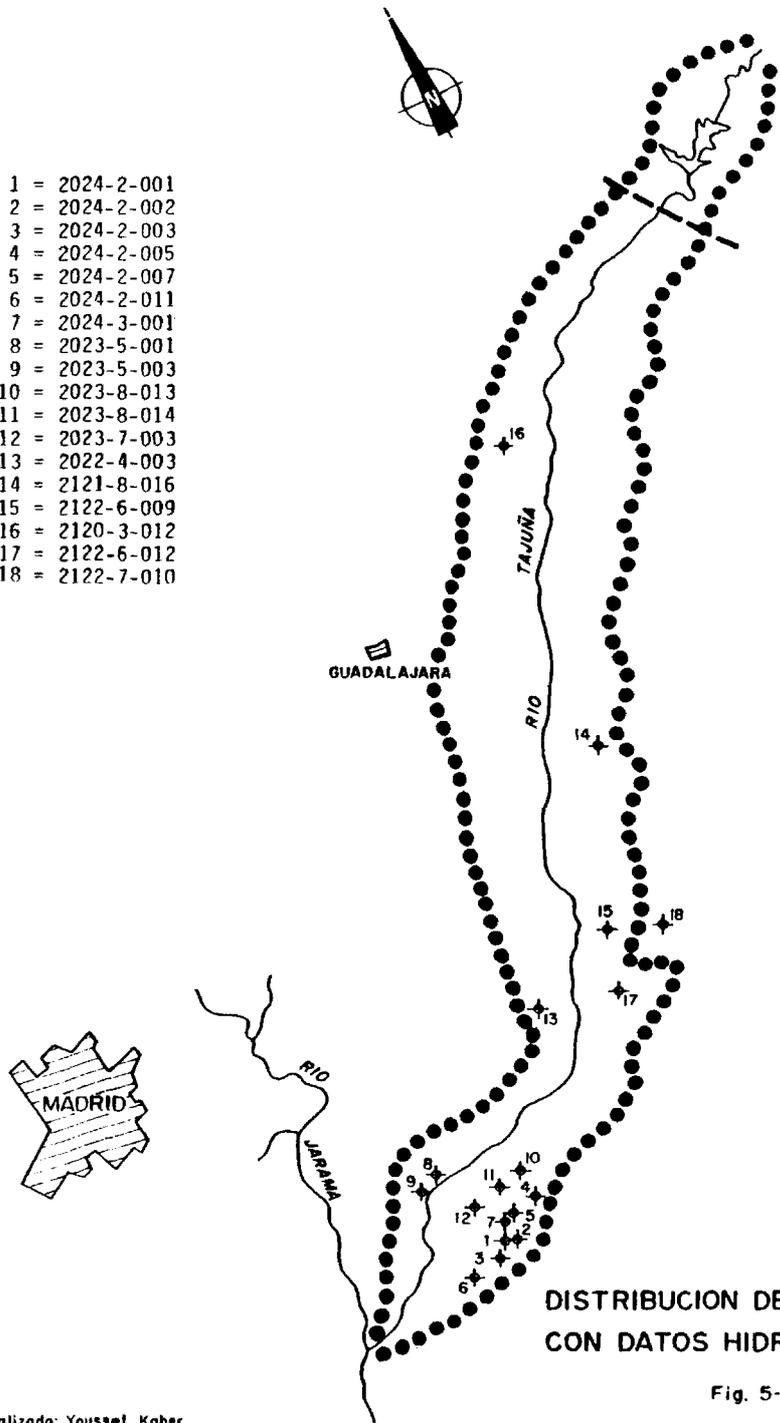
La elevación alcanzada por el agua en los pozos y sondeos define el límite superior de la zona saturada.

En líneas generales, una buena repartición de captaciones en el acuífero pueden representar la posición y forma de la superficie freática.

Por otra parte, el conocimiento de las fluctuaciones de la superficie freática proporciona datos sobre el funcionamiento de un acuífero, el grado de conexión con otros acuíferos, la influencia de la explotación, la variación por efectos barométricos relacionada con períodos de climas secos o húmedos; las variaciones del volumen del agua almacenada en la zona saturada suelen ser las responsables fundamentales de la mayoría de las grandes fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas, tales como las causadas por la recarga mínima. En la cuenca del Tajuña, como vimos en el epígrafe 5.1.1, la recarga proviene exclusivamente de la precipitación directa sobre el acuífero, y dada la sequía de estos dos últimos años, el volumen total de agua almacenado debe corresponder a un mínimo.

En las Tablas 4-9 y 4-10 (Capítulo 4) se muestran, entre otros, los datos de niveles estáticos de los pozos. En la Figura 5-3 se refleja su repartición espacial en la cuenca de estudio. Dada la privación de piezómetros en esta cuenca, nos basamos en los 18 sondeos,

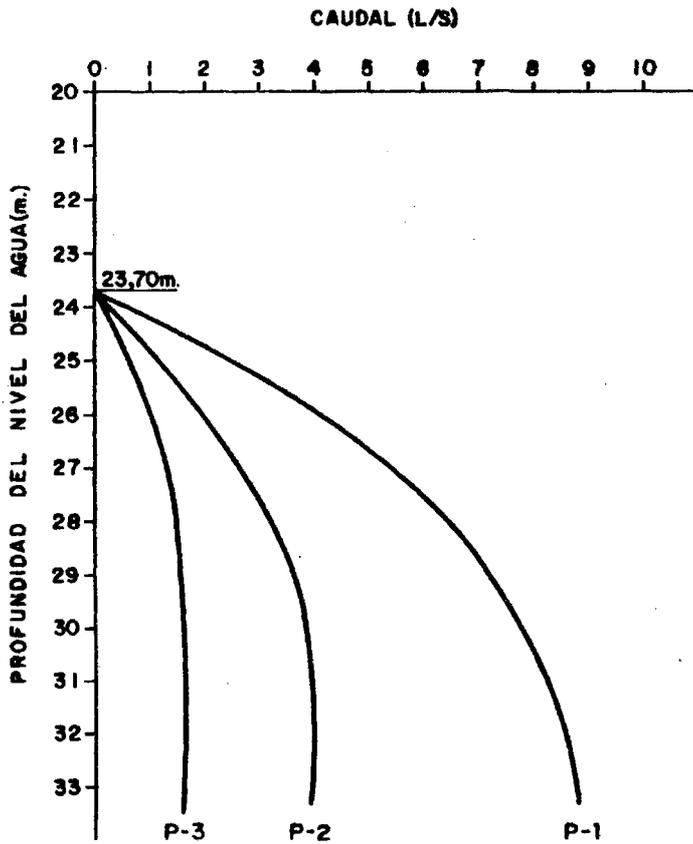
- 1 = 2024-2-001
- 2 = 2024-2-002
- 3 = 2024-2-003
- 4 = 2024-2-005
- 5 = 2024-2-007
- 6 = 2024-2-011
- 7 = 2024-3-001
- 8 = 2023-5-001
- 9 = 2023-5-003
- 10 = 2023-8-013
- 11 = 2023-8-014
- 12 = 2023-7-003
- 13 = 2022-4-003
- 14 = 2121-8-016
- 15 = 2122-6-009
- 16 = 2120-3-012
- 17 = 2122-6-012
- 18 = 2122-7-010



DISTRIBUCION DE LOS POZOS  
CON DATOS HIDRAULICOS

Fig. 5-3

CURVAS CARACTERISTICAS DE TRES  
POZOS DISTANTES ENTRE SI 50mts.  
(POZOS URBANIZACION VALDELAGUILA)



REALIZADO: LOPEZ VERA (1977)

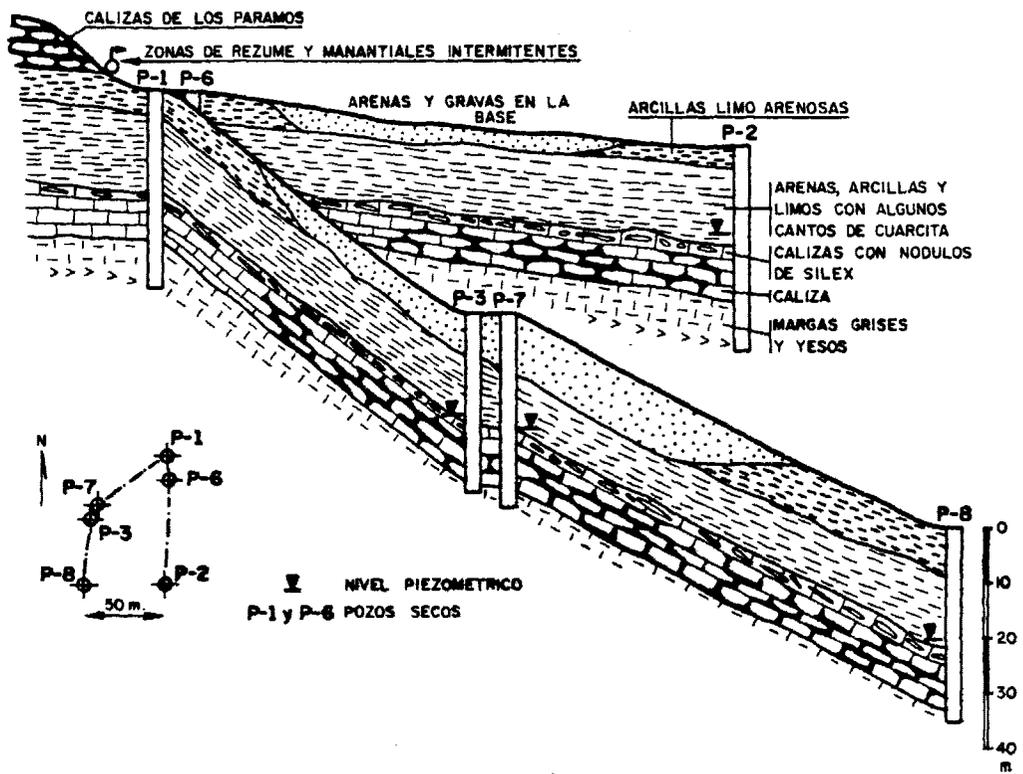
Figure 5-4

ya que tienen secuencia de niveles durante períodos de tiempo más o menos largos.

Como se observa, los niveles estáticos del agua son muy variables, incluso en sondeos próximos. Los datos de campo indican además que los niveles estáticos disminuyen con la profundidad en las alineaciones de depresiones y aumentan en las zonas elevadas correspondientes a cerros residuales. De esta manera, la morfología del acuífero calcáreo condiciona el nivel estático; como vimos en el Capítulo 4, no hay una superficie freática continua en el acuífero que nos ocupa.

Otra conclusión es que a medida que se profundiza no siempre se aumentan los caudales (ver Tablas 4-9 y 4-10, en el Capítulo 4).

López Vera (1.977), en el estudio sobre "La utilización de Cartografía Geomorfológica en el Aprovechamiento de los Recursos de Aguas Subterráneas en Regiones Karstificadas (Los Páramos de la Alcarria. Madrid y Guadalajara)", señala la existencia de una enorme variedad de caudales de pozos próximos entre sí (Fig. 5-4). La brusca pendiente de las curvas características de los tres pozos estudiados no se debe a la ineficiencia de los mismos por defectos en la técnica empleada para su construcción y equipamiento, sino a estar localizado el acuífero en un nivel único, no pudiendo obtenerse caudales superiores por producirse mayores descensos. No obstante, hay que señalar la inexistencia de zona saturada en los sondeos situados al pie de un cerro residual. En la Fig. 5-5 se muestran los criterios de prospección de la superficie de las calizas de la Formación de los Páramos, según López Vera (1.977).



176

CRITERIOS DE PROSPECCION DE LA SUPERFICIE DE LAS CALIZAS DE LA FORMACION DE LOS PARAMOS.

Fig. 5-5

Una consecuencia importante que se observa sobre el mapa de isopiezas, es la falta de un gradiente hidráulico general hacia aguas abajo, como cabría esperar. La realidad es que este gradiente presenta varios cambios, casi siempre según la morfología existente, por lo que se descarta un flujo según la inclinación general de la región de NE a SW.

Prácticamente, existen flujos en diversos sentidos; a veces ocurre todo lo contrario, es decir, de SW a NE. De esta manera, estamos de acuerdo con López Vera (1.977) en que es muy improbable la transferencia de flujo de una célula a otra en esta Región de la Alcarria.

## 5.2. FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LA FORMACION YESIFERA

Como veremos en el apartado 6.2, las aguas subterráneas de las rocas evaporitas contienen un exceso de sales disueltas, por lo que se comprende un interés escaso como acuífero.

López Vera (1.975) considera como un acuífero hasta el talweg de los ríos; el resto es un acuífugo.

De esta manera la dinámica del agua está limitada aproximadamente al nivel de base de los ríos.

Como en el caso anterior, la recarga se efectúa directamente por el agua de precipitación, pero ade

más existe una alimentación indirecta debido a las infiltraciones de los acuíferos superiores. La circulación sería algo más complicada, debido a la mayor solubilidad de estas rocas, aunque sigue las directrices generales de las formaciones superiores, es decir, con un flujo radial y centrífugo.

La descarga tiene lugar mediante un flujo subterráneo al río Tajuña y por medio de manantiales y zonas de rezume. Hemos observado que la distribución de estos puntos de descarga se debe, muy probablemente, a que están controlados por unas zonas cuya permeabilidad es más alta. De esta manera, solamente se produce la descarga en determinados lugares. Finalmente, señalamos que las aguas subterráneas de este acuífero tienen propiedades minero-medicinales.

### 5.3. FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES

En el epígrafe 2.1.2.3 ya se indicó la conexión hidráulica existente entre los materiales cuaternarios. Por otra parte, este acuífero tiene interrelaciones importantes con la Formación Vallecas (ver Plano nº 1, Tomo II).

No obstante, el Cuaternario en la Unidad Ibérica se limita a depósitos esporádicos que cubren una superficie pequeña, por lo que no tienen interés hidrogeológico. En la cuenca baja del Tajuña cabe destacar el buen desarrollo de estos depósitos.

La principal característica de este acuífero aluvial es que su funcionamiento hidrodinámico está controlado por el sistema de acuíferos del Neógeno. Dado el número de datos de que disponemos sobre el nivel piezométrico en estos materiales, no nos ha sido posible trazar un mapa de isopiezas.

De acuerdo con lo expuesto, los procedimientos de recarga corresponden a tres fuentes: recarga directamente por la precipitación, flujo subterráneo proveniente de la facies química, y finalmente, el agua de riego, que constituye un rápido acceso para llegar al agua subterránea en la zona saturada.

La dinámica de las aguas está delimitada -tanto en los bordes como en la base- por formaciones margo yesífera y yesífera. De esta forma, cabe pensar que la transferencia tiende a dirigirse de las zonas de mayor potencial hidráulico a las de menor potencial hidráulico, siguiendo aguas abajo del río Tajuña.

En cuanto a la descarga, se realiza fundamentalmente por evapotranspiración, ya que el nivel freático está cerca de la superficie del terreno. No obstante, la descarga más importante del acuífero se efectúa hacia el río Tajuña, mostrándose, por tanto, el carácter ganador de este río.

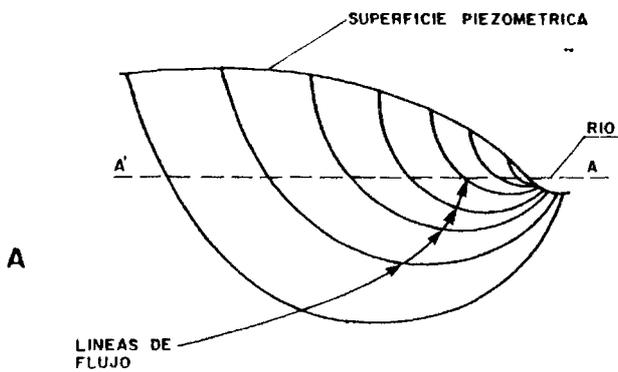
#### 5.4. FUNCIONAMIENTO CONJUNTO DEL SISTEMA

Podemos resumir el funcionamiento del conjunto del sistema de la facies química del Neógeno como condicionado por la morfoestructura subhorizontal de las formaciones acuíferas, en general, y por las diversas unidades en que se encuentra subdividido el acuífero superior, en particular.

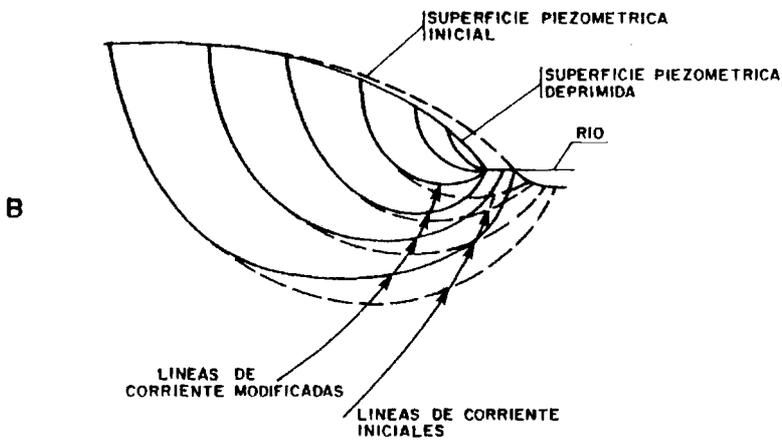
No obstante, los procesos kársticos intervienen en la orientación y organización de la red de flujos del agua subterránea.

El modelo propuesto (Fig. 5-2) ilustra suficientemente la dinámica del agua, que se inicia por la alimentación única de las precipitaciones, seguida de una circulación radial centrífuga, dirigiendo el agua hacia el exterior descargando mediante manantiales y zonas de rezume en los bordes de la meseta. También existe un flujo descendente (leakage) que alimenta los manantiales que aparecen en cotas más bajas correspondientes a las formaciones subyacentes de Villarejo y Vallecas.

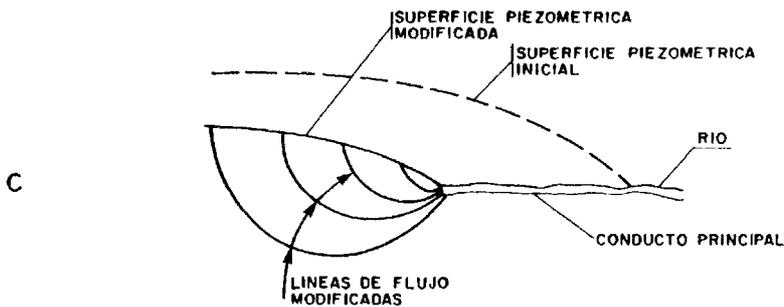
En el mapa de isopiezas se observa que en los bordes, donde se originan los puntos de descarga, se aumenta el gradiente para compensar la disminución de superficie piezométrica que se produce en el tubo de corriente que va al punto de descarga correspondiente. En la Figura 5-6 se muestra la evolución de la superficie piezométrica y las líneas de flujo con el desarrollo de un canal por karstificación, según Rhoades & Sinacori (1.941).



A) MATERIALES PERMEABLES HOMOGENEOS



B) LINEAS DE FLUJO MODIFICADAS EN CALIZAS COMO LAS QUE SE DESARROLLAN EN CANALES CERCA DE LA SUPERFICIE



C) DESARROLLO TOTAL DE GRANDES CANALES COMO CONDUCTOS PRINCIPALES (Segun RHOADES AND SINACORI, 1941)

Fig. 5-6

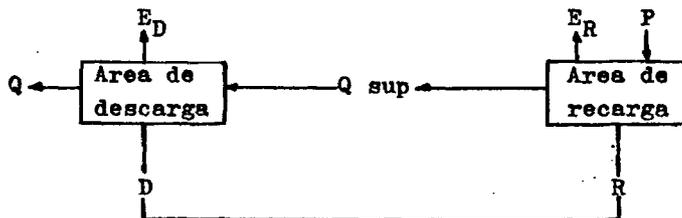
### 5.5. BALANCE HIDRICO DEL SISTEMA

En los apartados 2.3 y 3.3 se han obtenido los valores de precipitación media anual, escorrentías y evapotranspiración.

En el presente apartado trataremos de ajustar la ecuación del balance hídrico del sistema acuífero. Para ello aplicamos el método de Freeze y Cherry (1.979), en el que se consideran dos ecuaciones para el balance de agua: una para el área de recarga y otra para la de descarga.

En el área de recarga,  $P = Q_{sup} + R - E_R$ .

En el área de descarga,  $Q = Q_{sup} + D + E_D$ .



En este esquema se puede observar el régimen de recarga-descarga y las importantes interrelaciones con los diversos componentes del balance hídrico, siendo:

- P = precipitación,
- R = recarga,
- D = descarga,

$E_R$  y  $E_D$  = evapotranspiraciones en las áreas de recarga y descarga, respectivamente,

$Q_{sup}$  = escorrentía superficial o directa,

$Q_{sub}$  = escorrentía subterránea o básica.

En cualquier caso, si las entradas superan a las salidas, existe un aumento del almacenamiento y ocurre lo contrario si las salidas superan a las entradas.

Cabe destacar que en la cuenca del Tajuña, como ya se ha indicado en el epígrafe 5.1.2, la recarga es exclusivamente por la precipitación y se produce en las estaciones húmedas; la máxima descarga se produce en la estación seca del verano.

No obstante, en estas regiones semiáridas se puede observar directamente en el campo la descarga natural mediante manantiales y zonas de rezume.

Cuantitativamente, las ecuaciones en el área de recarga y descarga serían en nuestra cuenca las siguientes:

a) en el área de recarga:

$$\text{Precipitación} = Q_{sup} + R + E_R$$

$$100 \% = 8\% + 72\% + 20\%$$

$$544 \text{ mm.} = 40 \text{ mm.} + 395 \text{ mm.} + 109 \text{ mm.}$$

$$762 \text{ Hm}^3 = 60 \text{ Hm}^3 + 550 \text{ Hm}^3 + 152 \text{ Hm}^3$$

Hemos tenido en cuenta que la evapotranspira-

184

ción es del 20% en el área de recarga, ya que las aguas que caen tienden a infiltrarse en una proporción elevada en esta clase de terrenos calcáreos, que estimamos en el 72%.

$$b) \text{ Descarga} = D + Q \text{ sup} + E_D$$

$$100\% = 14\% + 8\% + 78\%$$

$$544 \text{ mm.} = 82 \text{ mm.} + 40 \text{ mm.} + 422 \text{ mm.}$$

$$762 \text{ Hm}^3 = 103 \text{ Hm}^3 + 60 \text{ Hm}^3 + 599 \text{ Hm}^3$$

De esta manera podemos decir que las aguas que entran en el sistema parecen ser iguales en volumen a las que salen del mismo, por lo que el almacenamiento se mantiene constante en el período de 20 años anteriormente considerados. No obstante, en este período puede haber secuencias húmedas y secas que repercutan en el descenso o ascenso del almacenamiento.

C A P I T U L O - 6

RECURSOS HIDROGEOLOGICOS Y USOS DEL AGUA

#### 6.1. RESERVAS Y RECURSOS DEL SISTEMA

Existen todavía ciertas dificultades sobre la definición de ambos conceptos de reserva y recursos de agua subterránea en una cuenca.

Lógicamente, estos conceptos se basan en las condiciones geológicas e hidrológicas de la región. Las reservas están definidas en Custodio y Llamas (1.976) como la totalidad de agua movilizable existente en un acuífero o sistema de acuíferos; es decir, a la cantidad de agua acumulada en el subsuelo. No obstante, se puede evaluar las reservas de las aguas subterráneas, de acuerdo con los métodos clásicos, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: el área del acuífero, el espesor saturado medio de la formación acuífera y el coeficiente de almacenamiento. Este último parámetro coincide numéricamente con la porosidad eficaz, cuya elaboración ya se ha realizado de los diversos acuíferos en el capítulo 4.

En cuanto a los recursos de agua subterránea, su definición está ligada a otros factores, tales como las características hidrológicas de las formaciones acuíferas en la cuenca y el caudal seguro o safe yield.

Freeze & Cherry (1.979) exponen que los recursos del agua subterránea pueden considerarse como un resultado de una sucesión de procesos de tres fases principales: primero, la etapa de exploración en la que se localizan los buenos acuíferos; la segunda etapa es la evaluación de los parámetros hidráulicos, y la terce

ra es la de explotación, considerando siempre el sistema hidrológico regional.

Para Custodio y Llamas (1.976) el recurso es un caudal cuya variación está ligada a la capacidad reguladora de la formación acuífera, a la ubicación de las captaciones, etc.

Otros autores consideran que los recursos corresponden a la recarga anual que llega a la zona saturada del acuífero y tarde o temprano tiene que salir por algún punto. Suelen medirse en  $\text{Hm}^3/\text{año}$ .

Nosotros en la cuenca del Tajuña vamos a hablar las reservas y recursos del sistema acuífero, cuya geometría ya se ha estudiado en el capítulo 2. Las características hidráulicas se vieron en el capítulo 4 y el funcionamiento hidrodinámico en el capítulo 5.

Volvemos a destacar que la Formación de los Páramos, como hemos señalado en el apartado 5.1, se encuentra subdividida en diversas unidades hidrogeológicas independientes, por lo que al evaluar las reservas y recursos vamos a tener en cuenta las heterogeneidades de los parámetros del acuífero calcáreo de esta formación, y más adelante consideraremos dichas unidades como áreas de alimentación de aguas subterráneas.

#### 6.1.1.- Reservas y recursos del acuífero calcáreo.

A partir de los siguientes parámetros vamos

a evaluar las reservas del acuífero calcáreo de la Formación de los Páramos. De los perfiles hidrogeológicos (Plano nº 4, Tomo II) hemos sacado un espesor saturado medio (b) de 10 m. para el conjunto del acuífero; el valor de la porosidad eficaz ( $m_e$ ) es el estimado en el apartado 4.1.1, que varía entre 0,05 y 0,10. La superficie de acuífero en la zona de estudio (S) es de 700 Km<sup>2</sup>.

Basándonos en estos datos, las reservas se obtienen multiplicando entre sí dichos parámetros y teniendo en cuenta el intervalo de la porosidad.

a)  $m_e = 0,05$

$$\text{Reservas} = S \cdot b \cdot m_e = 700 \text{ Km}^2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 0,05 = 350 \text{ Hm}^3$$

b)  $m_e = 0,10$

$$\text{Reservas} = S \cdot b \cdot m_e = 700 \text{ Km}^2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 0,10 = 700 \text{ Hm}^3$$

De esta forma, las reservas de agua subterránea resultan estar comprendidas entre 350 y 700 Hm<sup>3</sup>.

Los recursos los calcularemos a partir de la infiltración eficaz (I), que la estimamos en 76 mm/año, cifra equivalente al 14% de la pluviometría media anual.

Teniendo en cuenta la superficie del acuífero, de 700 Km<sup>2</sup>, los recursos anuales serán:

$$\text{Recursos} = S \cdot I = 700 \text{ Km}^2 \cdot 76 \text{ mm} = 53,2 \text{ Hm}^3$$

De esta manera, las reservas resultan ser aproximadamente ocho veces superiores a los recursos en este acuífero.

### 6.1.2.- Reservas y recursos del acuífero aluvial.

Los parámetros que se han elaborado para evaluar las reservas de este acuífero son los siguientes:

- espesor saturado medio (b) = 6 m.
- porosidad eficaz ( $m_e$ ) = 0,10 y 0,20.
- superficie del acuífero (S) = 56 Km<sup>2</sup>.

Las reservas resultan estar comprendidas entre 34 Hm<sup>3</sup> y 67 Hm<sup>3</sup>.

Los recursos se han calculado tomando como base la superficie del acuífero (56 Km<sup>2</sup>) y una infiltración eficaz de 150 mm. (cifra equivalente al 28% de la pluviometría anual). Para el conjunto del acuífero los recursos suponen una cantidad que alcanza los 26 Hm<sup>3</sup> al año.

### 6.1.3.- Reservas y recursos del acuífero del Cretácico.

A partir de un sondeo realizado por el I.G. M.E. (1.980), hemos supuesto un espesor saturado medio para este acuífero de 8 m; la porosidad eficaz de estos materiales se ha asignado en el epígrafe 4.4.1., variando entre el 10 y el 20%. El área del acuífero en la zona de estudio es de 210 Km<sup>2</sup>.

Basándonos en estos datos, y teniendo en cuenta los valores mínimo y máximo de la porosidad, las re

servas varían entre  $168 \text{ Hm}^3$  y  $336 \text{ Hm}^3$ .

Los recursos anuales, tomando como base la superficie del acuífero ( $S = 210 \text{ Km}^2$ ) y la infiltración eficaz de  $114 \text{ mm.}$ , que representa el 21% de la pluviometría, para la parte del acuífero en la cuenca del Tajuña, suponen cerca de  $24 \text{ Hm}^3$ .

#### 6.1.4.- Tiempo de residencia medio del agua en los acuíferos.

La estimación del tiempo de residencia medio del agua en los acuíferos presenta un gran interés, por ser un índice del tiempo de renovación del agua en el acuífero.

Considerando que

$$\text{Tiempo de residencia} = \frac{\text{Reservas}}{\text{Recursos}},$$

estimamos los tiempos de residencia del agua en los acuíferos considerados en:

- Acuífero calcáreo del Páramo ..... 8 años
- Acuífero aluvial ..... 3 años
- Acuífero del Cretácico ..... 12 años.

TABLA 6-1

RESUMEN DE LOS VALORES OBTENIDOS DE RESERVAS Y RECURSOS  
DE LOS ACUIFEROS PRINCIPALES EN LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA

ACUIFEROS	RESERVAS (Hm <sup>3</sup> )	RECURSOS (Hm <sup>3</sup> )	OBSERVACIONES
Acuífero calcáreo de la Formación de los Páramos	350-700	53	Estos valores corresponden al acuífero en la zona de estudio
Acuífero aluvial	34-67	9	Estos valores corresponden al acuífero en la zona de estudio
Acuífero del Cretácico	168-336	24	Estos valores corresponden al acuífero en la zona de estudio
Total de reservas y recursos	523-1.103	86	Estos valores corresponden a los acuíferos en la zona de estudio

## 6.2.- CALIDAD DEL AGUA DE LOS DIVERSOS ACUIFEROS

El estudio de la calidad del agua de los diversos acuíferos es un factor importante para decidir el uso adecuado de las aguas con destino al abastecimiento de poblaciones, o al riego, etc.

A este respecto existen en la actualidad muchas clasificaciones basadas en la composición química de las aguas, que se pueden consultar en casi todos los textos de Hidrogeología.

En general, las representaciones se hacen utilizando los resultados de los análisis expresados en mg/l ó en miliequivalentes por litro (meq/l).

Las aguas subterráneas de las distintas formaciones consideradas en la cuenca del río Tajúña, atendiendo a su posible aplicación, se han representado en diagramas de Schoeller-Berkaloff (1.962) y en diagramas de calidad del agua para uso doméstico, según la Norma Española (1.968). Asimismo, se han elaborado unos diagramas según las normas de Riverside, que clasifican el agua para riego.

### 6.2.1.- Utilización para consumo doméstico.

En muchas regiones semiáridas el uso principal del agua subterránea se destina al consumo humano. En estas situaciones es necesario estudiar la calidad del agua, ya que se pueden producir ciertas contaminaciones, especialmente en los acuíferos calcáreos, como el de la

TABLA 6-4

RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS DE AGUA (mg/l) DE LA CUENCA DEL RIO TAJUÑA

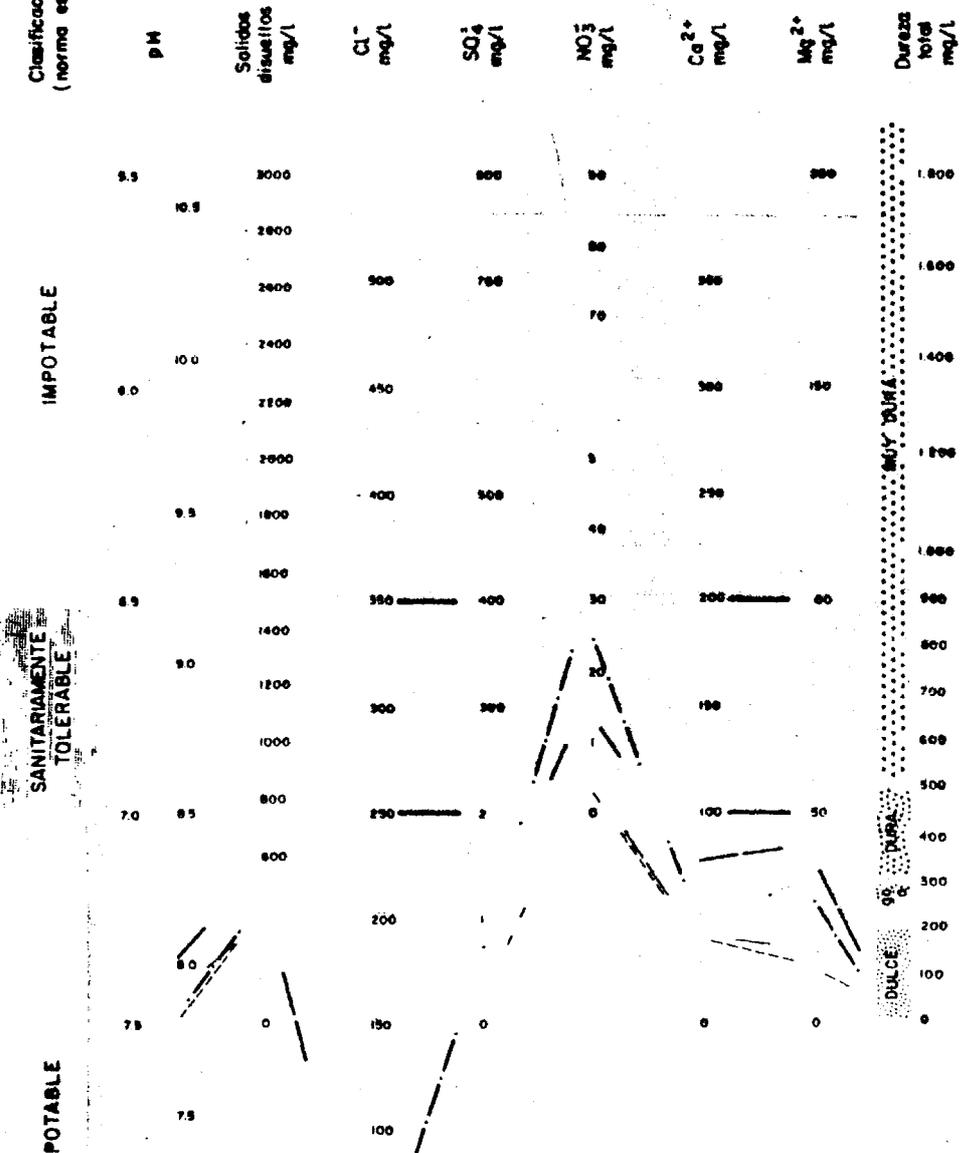
MUESTRAS		RESIDUO FIJO (mg/l)	CONDUCT. A 25°C (µmhos/cm)	ANIONES (mg/l)					CATIONES (mg/l)				pH	DUREZA (°F)	S.A.R.	FECHA DE ANALISIS
Nº	CLAVE			CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>				
1	2219-2-002	577,48	546,3	353,9	0,00	14,2	15,3	68,4	76,2	41,3	6,7	1,5	8,00	36,0	0,15	9-10-81
2	2220-1-006	326,74	383,71	219,7	0,00	7,1	26,3	0,0	52,1	19,5	2,1	-	8,20	21,0	0,06	9-10-81
3	2220-3-002	390,47	511,62	219,7	0,00	14,2	29,7	41,5	48,1	31,6	4,7	1,0	7,70	25,0	0,13	9-10-81
4	2120-7-001	358,28	424,10	256,3	0,00	7,1	5,0	5,9	20,9	17,0	2,9	0,0	7,90	23,0	0,08	9-10-81
5	2221-1-002	439,68	528,39	183,1	0,00	21,3	62,5	74,6	40,1	38,9	9,4	9,5	8,10	26,0	0,25	9-10-81
6	2121-4-010	1059,85	1259,06	231,9	0,00	35,5	75,7	465,9	116,2	107,0	17,4	9,5	7,90	73,0	0,28	9-10-81
7	2121-1-021	372,00	278,00	256,3	0,00	14,2	5,0	5,9	40,1	34,0	14,7	2,4	7,80	24,0	0,41	15-6-81
8	2121-5-003	633,06	632,00	256,3	0,00	21,3	44,1	188,4	68,1	63,2	10,7	0,8	8,10	43,0	0,22	9-10-81
9	2122-1-004	753,00	703,00	390,5	0,00	35,5	47,8	104,6	128,3	34,0	12,0	0,0	7,30	46,0	0,24	15-6-81
10	2122-4-009	288,00	400,00	256,0	0,00	6,0	12,0	42,0	98,0	9,0	4,0	1,0	7,30	28,0	0,10	7-7-81
11	2023-4-001	566,00	671,00	317,3	0,00	21,3	33,5	68,4	80,2	36,5	9,4	0,0	7,70	35,0	0,22	8-7-81
12	2023-8-014	672,90	767,43	219,7	0,00	70,9	42,2	182,7	76,2	53,5	26,7	0,8	7,80	41,0	0,57	9-10-81
13	2023-6-002	628,95	644,64	305,1	0,00	21,3	31,3	130,2	72,1	46,2	22,7	0,0	7,90	37,0	0,51	9-10-81
14	2023-5-001	1697,00	1624,00	317,3	0,00	70,9	44,1	837,8	212,4	102,1	106,9	5,5	7,60	95,0	1,51	23-6-81
15	2024-2-010	1325,48	1289,28	244,1	0,00	63,8	111,0	584,6	188,4	80,3	52,1	1,0	7,85	80,0	0,80	9-10-81
16	2023-4-003	1250,61	1240,00	366,0	0,00	42,5	57,8	456,8	220,4	60,8	26,0	11,1	7,55	80,0	0,30	11-2-80

Clasificación del agua  
(norma española 1989)

# CALIDAD DEL AGUA PARA USO DOMESTICO

ACUIFERO:

194



Nº de muestras representadas:

Observaciones: Muestras del acuífero calcáreo Formación de los Páramos, correspondiente a la parte alta del noreste de Guadalajara. Cuenca media del Tajuña.

Fig. 6-2

Clasificación del agua  
(norma española (968))

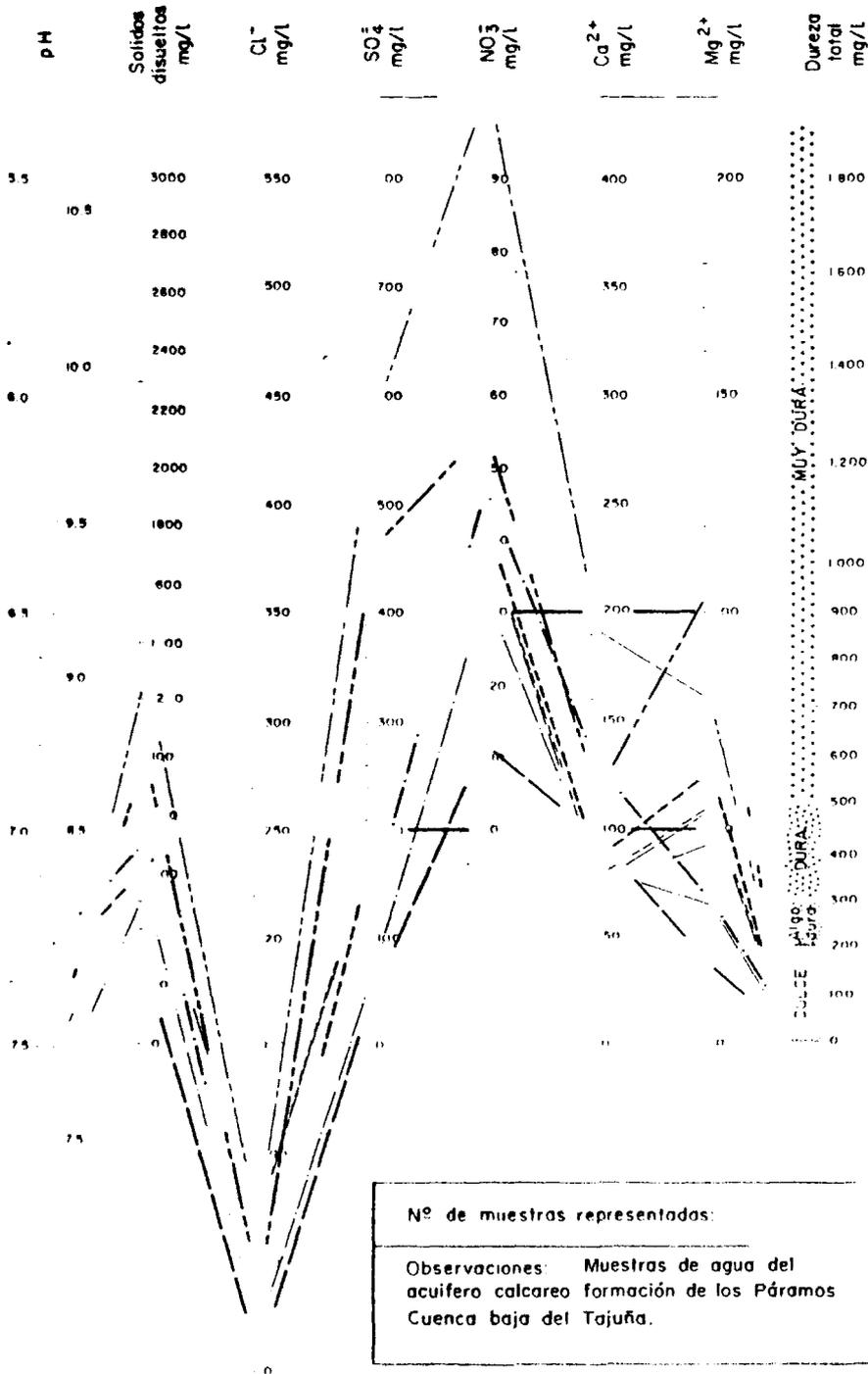
IMPOTABLE

SANITARIAMENTE  
TOLERABLE

POTABLE

# CALIDAD DEL AGUA PARA USO DOMESTICO

ACUIFERO: **195**



Nº de muestras representadas:

Observaciones: Muestras de agua del acuífero calcareo formación de los Páramos Cuenca baja del Tajuña.

Fig 6-3

Formación de los Páramos, dado el carácter de su permeabilidad. La calidad del agua de esta formación es variable. En la Figura 6-2 se observa que las aguas recogidas de la cuenca baja y parte de la cuenca media son de calidad media, es decir, según la Norma Española (1.968) tolerables.

En el caso de muestras tomadas de sondeos que hayan cortado algún nivel yesífero de la Formación Villa rejo, las aguas son impotables debido al elevado contenido de iones salinos.

Por el contrario, las aguas tomadas en las zonas altas de la cuenca media, aproximadamente a la altura de Brihuega (Figura 6-3), son totalmente potables.

Aunque el contenido de  $\text{NO}_3^-$  es menor, su aparición en este tipo de terrenos refleja una contaminación orgánica. En general, el contenido de  $\text{NO}_3^-$  es irregular en las distintas zonas de la cuenca, pudiendo calificarse como aguas impotables a partir de Orusco, ya que las concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  superan los 30 mg/l. fijados por la Norma Española (1.968).

La clasificación de Schoeller-Berkaloff (1.962) (Figura 6-5) con respecto al uso humano, nos muestra que las aguas tienden a ser tolerables; algunas muestras rebasan este límite por el excesivo contenido de sulfatos.

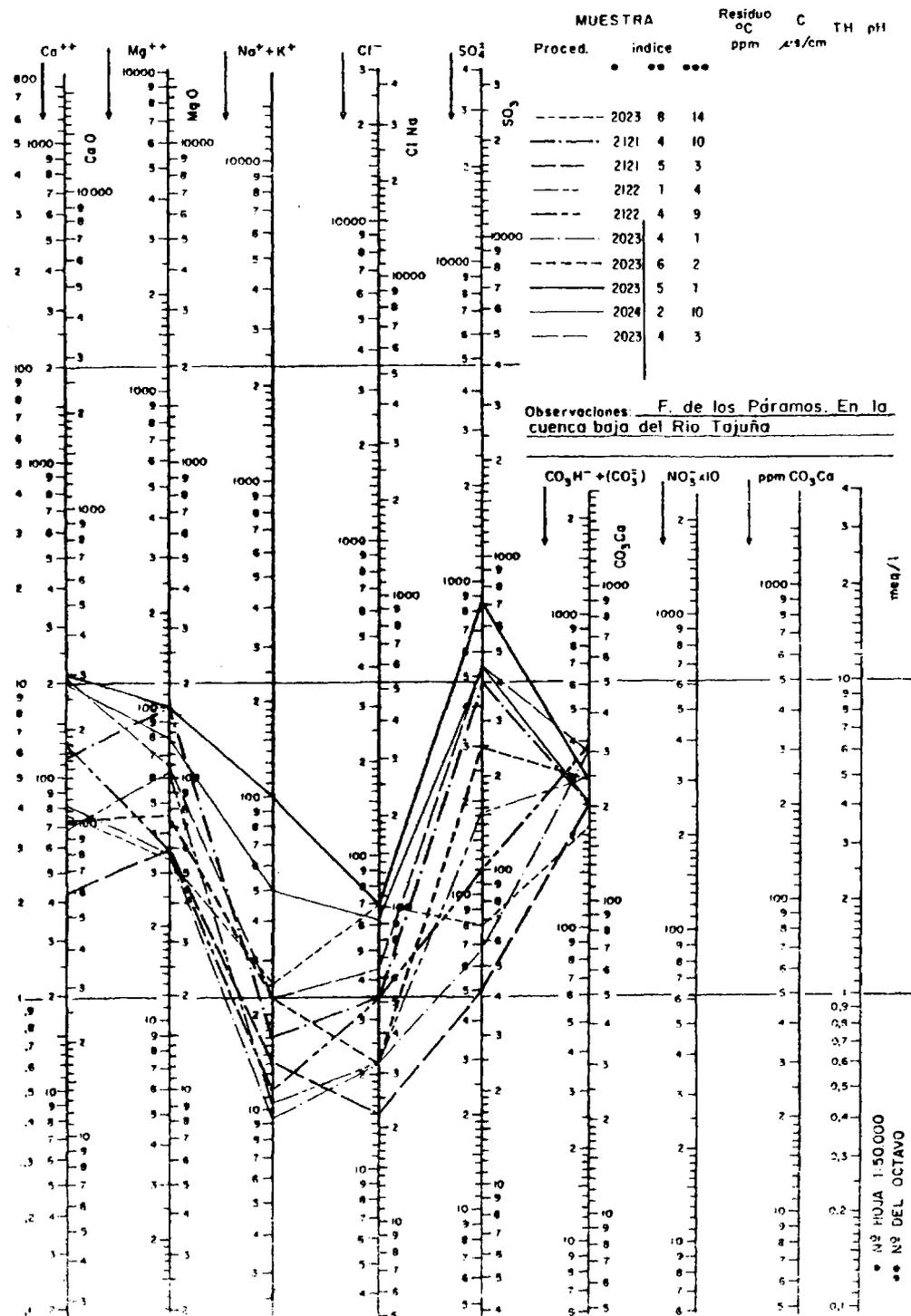


Fig. 6-5

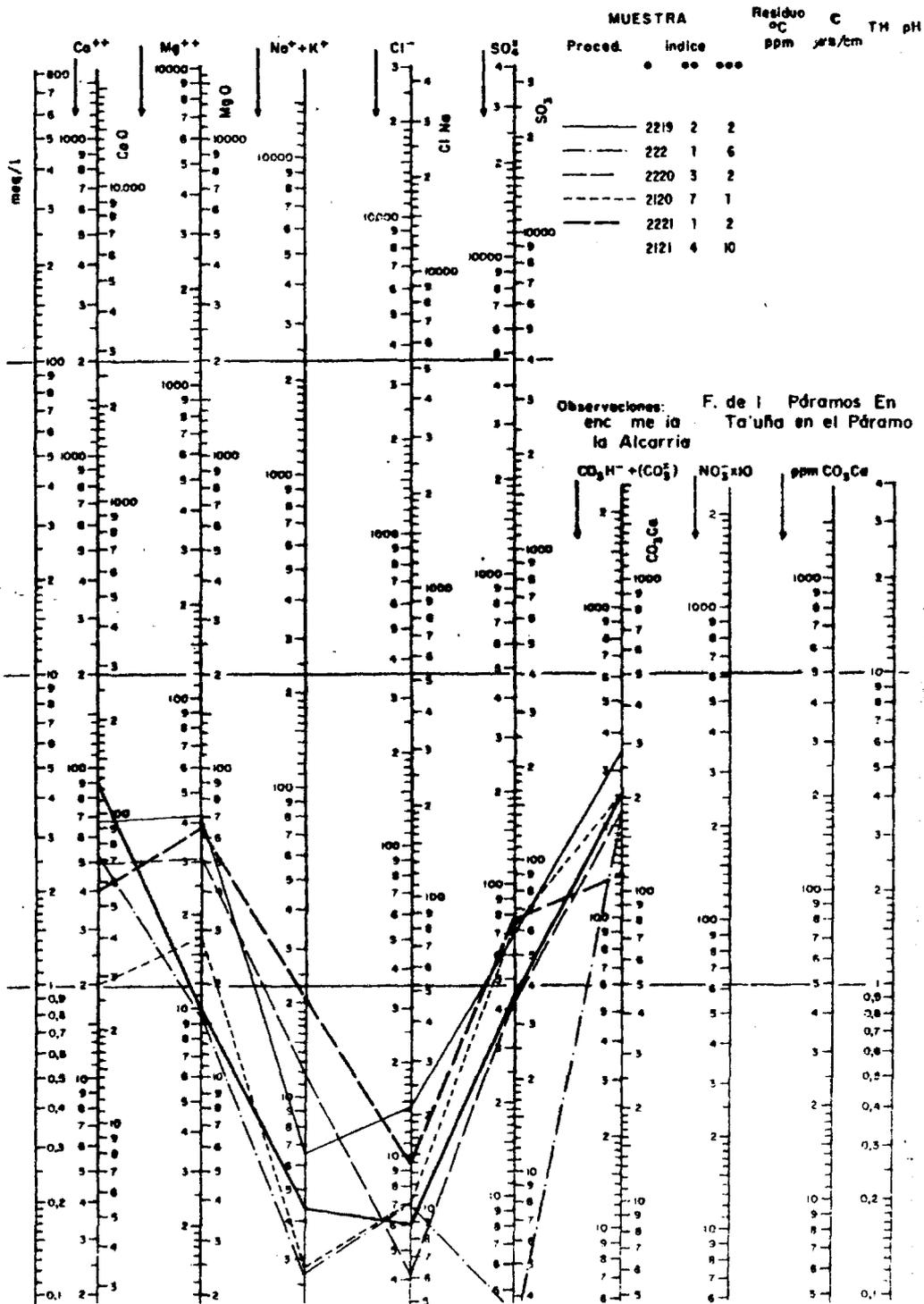


Fig. 6-6

Por el contrario, las muestras tomadas en las zonas altas (véase Fig. 6-6 ) son totalmente potables, como era de esperar, ya que su contenido de sales es adecuado.

En definitiva, la calidad del agua del acuífero calcáreo mejora sensiblemente cuando la formación infrayacente es la de Guadalajara o de Badiel; por el contrario, en la cuenca baja las aguas son sanitariamente tolerables debido a que rebasan los límites establecidos en sulfatos, magnesio, calcio y residuo seco (ver Fig. 6-3 ).

Por otra parte, casi todas las aguas rebasan el límite tolerable de nitratos en mayor o menor proporción, variando de un sitio a otro según el grado de contaminación. No obstante, la contaminación crece hacia la cuenca baja del Tajuña; concretamente, el máximo en el contenido de nitratos está localizado en las aguas procedentes de algunos sondeos ubicados en esta zona.

Los resultados de los análisis recopilados se encuentran en la Tabla 6-4.

#### 6.2.2.- Calidad de las aguas para usos agrícolas.

Para obtener criterios respecto al uso del agua para riego no es suficiente conocer la calidad del agua; además hay que tener en cuenta la tolerancia de las plantas que han de cultivarse y los problemas específicos que presentan las diversas formaciones geológicas

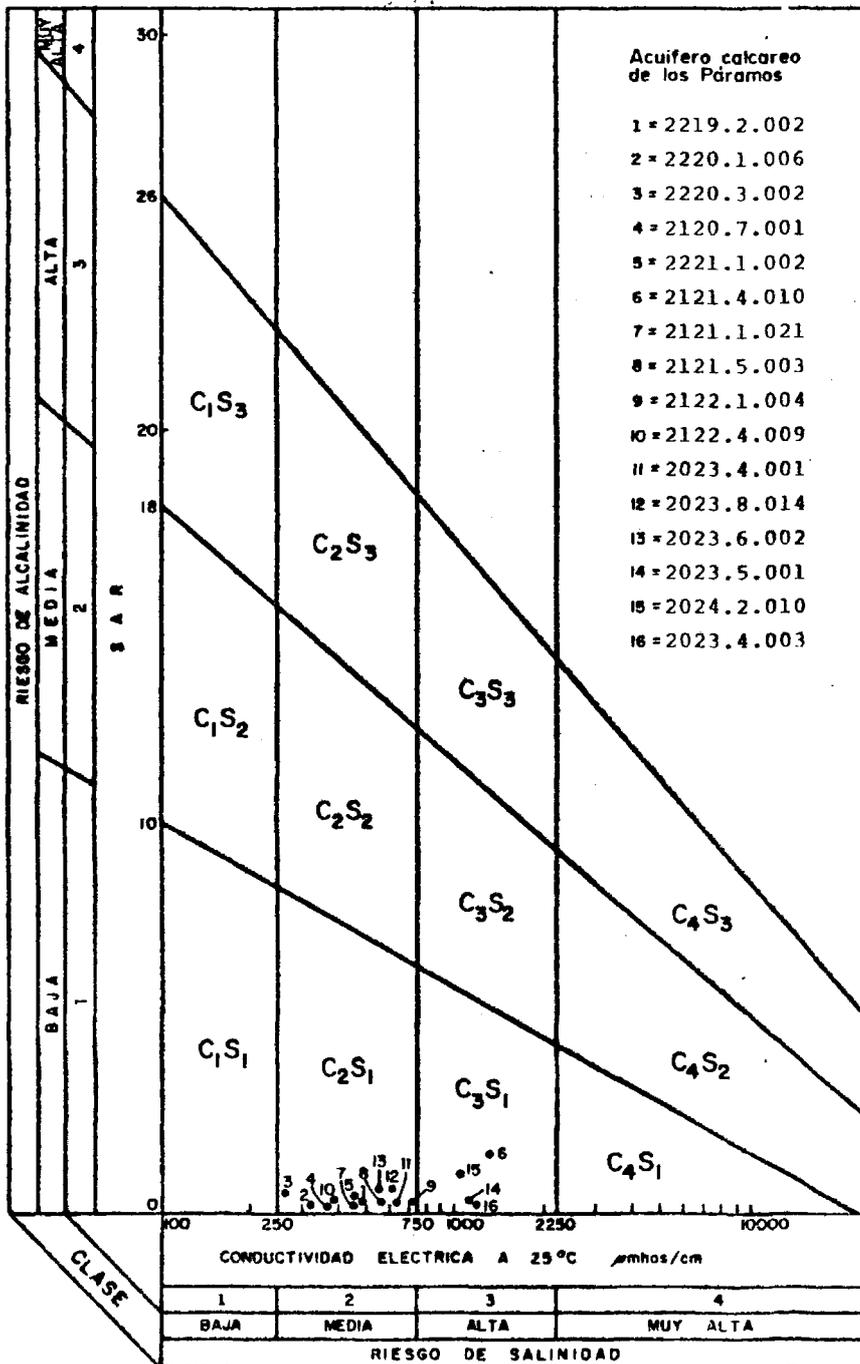


DIAGRAMA RIVERSIDE

Fig. 6-7

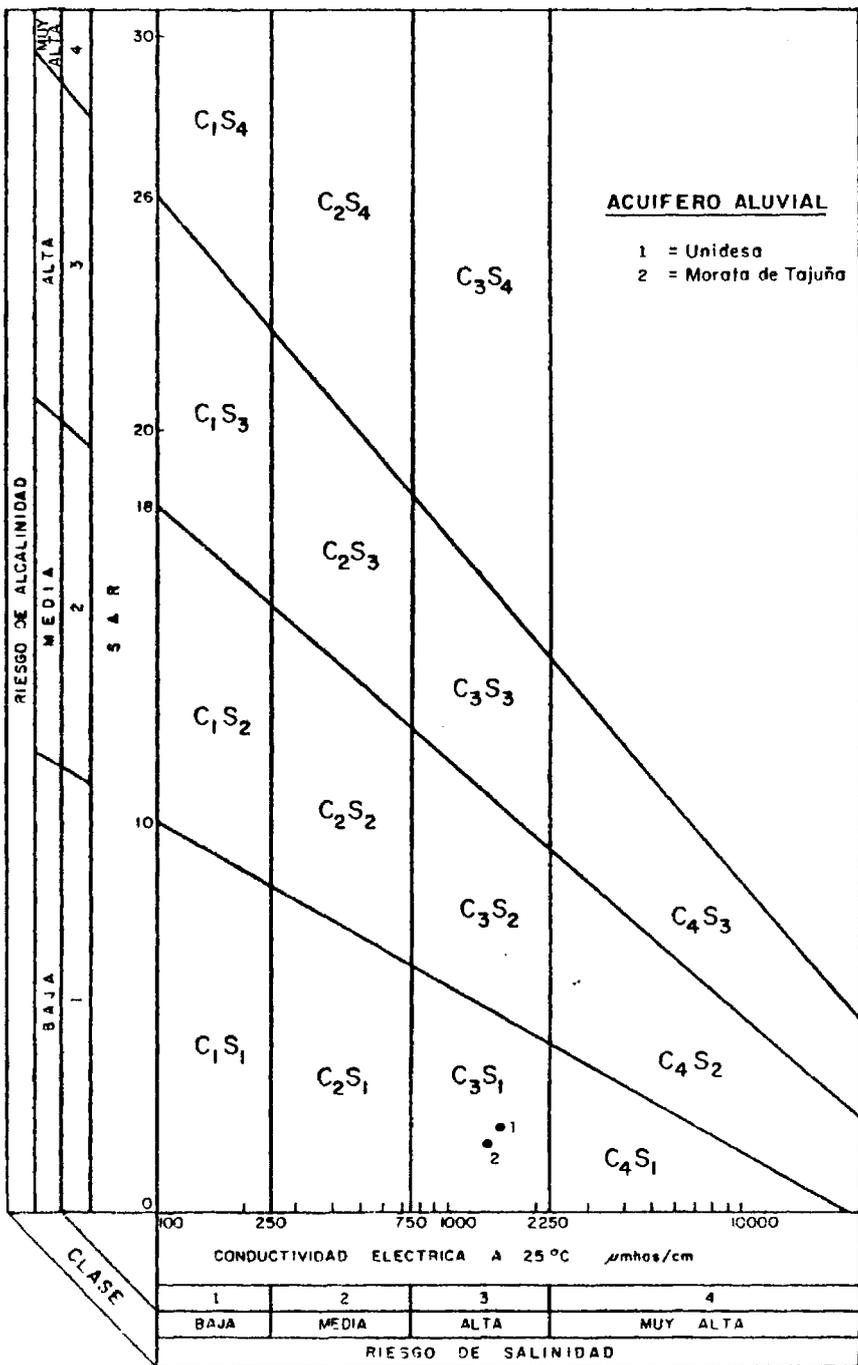


DIAGRAMA RIVERSIDE

Fig. 6-8

cas de la cuenca frente a la calidad de las aguas.

Con respecto a la clasificación de las aguas recogidas de la cuenca del Tajuña, hemos elaborado diagramas según la norma Riverside, que se basan en la conductividad eléctrica y en la relación de adsorción del sodio (S.A.R.) (ver Tabla 6-9).

$$\text{El índice S.A.R. es} = \frac{r \text{ Na}^+}{\sqrt{r(\text{Ca}^{++} + \frac{\text{Mg}^{++}}{2})}}$$

Las aguas provenientes del acuífero calcáreo (ver Figura 6-7) caen dentro de la clasificación C2-S1, salvo algunas muestras que están clasificadas como C3-S1.

Esto implica que las aguas son de salinidad media; se pueden utilizar para casi todo tipo de cultivos, siempre que haya un grado moderado de lavado. En el caso de las aguas C3-S1, al ser más salinas, existe el peligro de salinización del terreno. Esto requiere la elección de plantas tolerantes a las sales y, si es posible, controlar la salinidad del suelo con un drenaje adecuado.

En cuanto a las aguas del acuífero aluvial, se trata de aguas de tipo C3-S1 (Figura 6-8). Estas aguas son casi iguales a las de la Figura 6-7, es decir, para su utilización es preciso que el drenaje de los suelos no sea deficiente, debiéndose cultivar plantas tolerantes a la salinidad.

TABLA 6-9

CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS DE AGUA PARA LA AGRICULTURA  
SEGUN DIAGRAMA DE RIVERSIDE

	MUESTRA	Na <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	S.A.R.	CONDUCTIV. (μmhos/cm)	CLASIFI- CACION
1	2219-2-002	0,291	3,800	3,400	0,15	546,3	C2-S1
2	2220-1-006	0,093	2,600	1,600	0,06	583,7	C2-S1
3	2220-3-002	0,203	2,400	2,600	0,13	511,6	C2-S1
4	2120-7-001	0,125	3,200	1,400	0,08	424,1	C2-S1
5	2221-1-002	0,407	2,000	3,200	0,25	528,4	C2-S1
6	2121-4-010	0,755	5,800	8,800	0,28	1259,1	C3-S1
7	2121-1-021	0,640	2,000	2,800	0,41	278,0	C2-S1
8	2121-5-003	0,465	3,400	5,200	0,22	632,0	C2-S1
9	2122-1-004	0,520	6,400	2,800	0,24	703,0	C2-S1
10	2122-4-009	0,170	4,900	0,750	0,10	400,0	C2-S1
11	2023-4-001	0,410	4,000	3,000	0,22	671,0	C2-S1
12	2023-8-014	1,162	3,800	4,400	0,57	767,4	C3-S1
13	2023-6-002	0,988	3,600	3,800	0,51	644,6	C2-S1
14	2023-5-001	4,650	10,600	8,400	1,51	1624,0	C3-S1
15	2024-2-010	2,266	9,400	6,600	0,80	1289,3	C3-S1

### 6.2.3.- Contaminación.

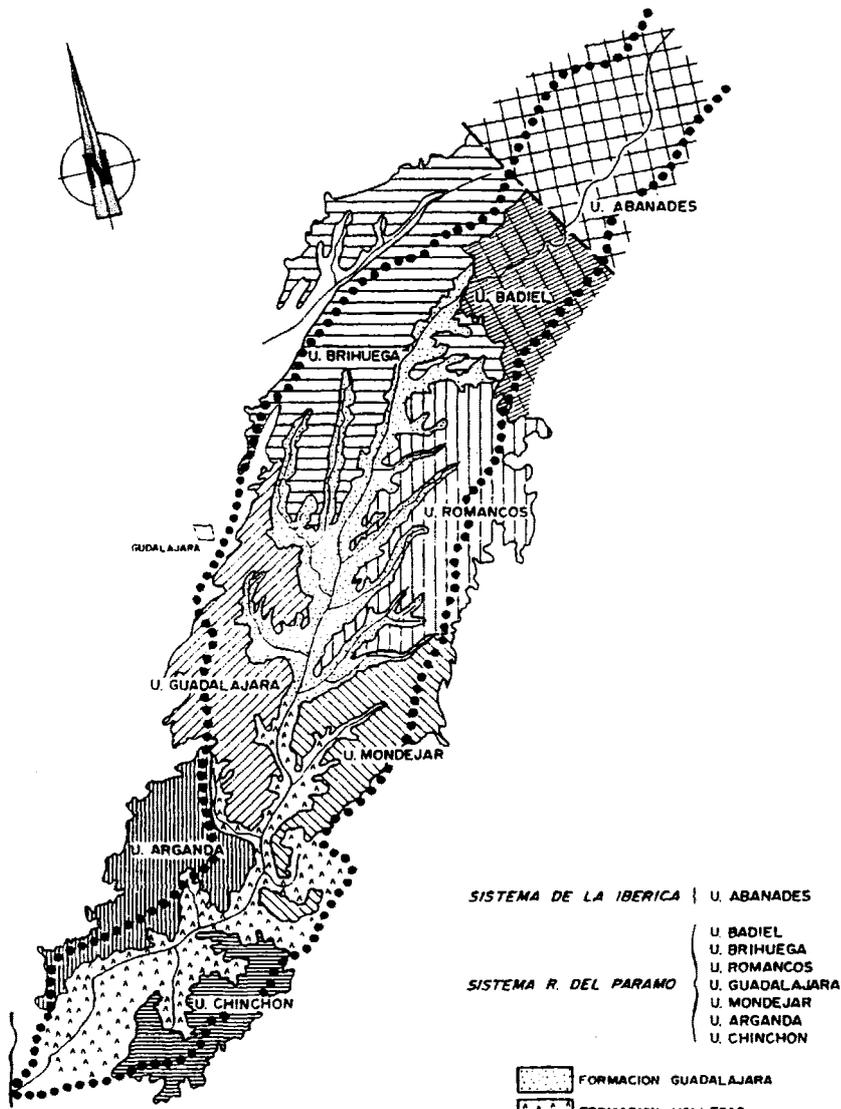
Los análisis químicos consultados en la cuenca del río Tajúña ponen de manifiesto que las aguas subterráneas están contaminadas.

Podemos establecer dos tipos de contaminación, cuyos orígenes y causas son diferentes.

El primer tipo es natural, y se debe a la alta salinidad de las formaciones acuíferas, en especial la Formación Vallecas, y en menor grado la Formación Villarejo y la Guadalajara. Este problema ya ha sido tratado en el apartado 3.5 (Ambiente hidroquímico de los acuíferos).

El otro tipo de contaminación es antrópica, es decir, debida a la actividad humana, como lo muestra el elevado contenido de nitratos presentes en todos los análisis.

Los acuíferos instalados en medios fisurados y/o karstificados se caracterizan por una relativamente rápida circulación del agua subterránea, pudiendo desplazarse con gran facilidad las aguas residuales, que son la fuente principal de contaminación en la cuenca de estudio. Por otra parte, los fertilizantes que se aplican en las zonas interiores de la Meseta de los Páramos de la Alcarria pueden constituir otro foco de contaminación producida por el hombre.



ESQUEMA DE SUBDIVISION EN UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

FIG. 6-10

TABLA 6-11

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup> (mg/l)		Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> (mg/l)		Cl <sup>-</sup> (mg/l)		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)		DUREZA (°F)		T.D.S. (mg/l)	
	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Mínimo
UNIDAD BADIEL	117,5	63,1	7,6	2,8	14,2	14,2	68,4	10,0	29	23	443	374
UNIDAD ROMANCOS	223,2	79,0	26,9	2,4	35,5	7,1	74,6	44,6	73	26	1.059	439
UNIDAD MONDEJAR	674,9	129,7	27,5	17,4	70,9	21,3	1681,6	182,7	190	41	2.658	673
UNIDAD CHINCHON	268,7	177,7	53,1	46,3	63,8	42,5	584,6	124,2	80	19	1.325	53
UNIDAD ARGANDA	639,6	116,7	112,4	9,4	70,9	21,3	1728,5	68,4	193	35	2.667	566
UNIDAD GUADALAJARA	223,2	45,8	47,1	17,1	21,3	14,2	38,4	5,9	24	13	633	372
UNIDAD BRIHUEGA	238	19,9	49,0	2,1	72,0	7,1	343	5,9	76	21	940	327

Esta contaminación orgánica es la más peligrosa. No obstante, observando el plano nº3, de Isopiezas (Tomo II ), parece probable que el exceso de explotación en períodos de sequía puede llegar a una conexión con los niveles altos de agua en la zona saturada, por lo que manteniendo los niveles regionales altos se podría evitar que la contaminación antrópica se extienda por niveles más bajos.

Por otra parte, la ubicación de las captaciones es un factor decisivo para evitar la posible contaminación. En algunos casos se encuentran pozos por debajo de los puntos de salida de la red de vertidos de aguas residuales. Este problema origina una deficiente calidad química y bacteriológica de las aguas, como se refleja en los análisis.

A continuación presentamos un esquema de subdivisión en unidades hidrogeológicas (Fig. 6-10). En la Tabla 6-11 constan los valores máximos y mínimos de contenido de los diversos iones de los análisis químicos de las muestras de agua en la cuenca del río Tajuña.

### 6.3. USO POTENCIAL DE LOS RECURSOS

En la actualidad se está reactivando el interés por el aprovechamiento de los recursos hidráulicos en la cuenca del río Tajuña. Sobre este proyecto el I. G.M.E. realizó un informe (Informe Técnico nº 3. Usos actuales y futuros del agua en la cuenca del río Tajuña).

Este informe trata el problema de tres ejes fundamentales: los aprovechamientos del agua superficial, la regulación de las mismas mediante el embalse de la Tajera y el aprovechamiento de las aguas subterráneas disponibles.

Los regadíos serán la demanda principal a nivel provincial de Madrid y Guadalajara, con el fin de la mejora y ampliación de las superficies actualmente existentes hasta 9.000 ó 10.000 Ha. El embalse de la Tajera, que se está construyendo aguas arriba de la estación de aforos nº 80, Masegoso, pretende regular, además de la cabecera del Tajuña, el régimen de los caudales del río en los tramos medio y bajo. Los usos domésticos y la generación de energía hidroeléctrica no están planteados.

No obstante, ha de considerarse que la obra permite un trasvase al sistema Tajo-Segura, pudiéndose aportar, según el citado Informe Técnico, un caudal constante de  $1 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , equivalente a  $31,10 \text{ Hm}^3$  anuales.

Por otra parte, hay que contar con el aprove-

chamiento del agua subterránea disponible, que permitirá regar más de 4.000 Ha., con lo cual se añadirán estas superficies regadas por aguas subterráneas a las del embalse, que podrían llegar teóricamente a un máximo de más de 12.000 Ha. en la cuenca del río Tajuña.

#### 6.3.1.- Disponibilidad del agua en la cuenca del Tajuña.

Actualmente el agua disponible coincide con la aportación natural.

Las aportaciones naturales anuales medias registradas en las estaciones de aforos nº 80 (Masegoso) y nº 82 (Orusco) fueron de 98 Hm<sup>3</sup> y de 203 Hm<sup>3</sup>, respectivamente.

Los valores correspondientes a la escorrentía subterránea en la zona comprendida entre ambas estaciones, deducidos de la descomposición de los hidrogramas, superan un total anual de 103 Hm<sup>3</sup>, lo que representa un 60% de la aportación, aproximadamente.

El río Tajuña presenta déficits en las aportaciones en los meses más secos del verano, es decir, en Julio y Agosto, precisamente cuando se origina el aumento de la demanda de agua para el riego.

El embalse de la Tajera, que se está construyendo, tiene una capacidad de 60 Hm<sup>3</sup>, lo que soluciona el déficit en las aportaciones de los meses más secos del verano. Por otra parte, habrá mejora de los regadíos ac-

tuales con la puesta en marcha de nuevos planes existentes en fase de estudio, pasando las superficies regadas de 6.000 Ha. a 10.000 Ha., lo cual supone un incremento de 4.000 Ha. de superficie regada.

No obstante, se ha de considerar el volumen de agua que se va a trasvasar al río Tajo, que supone unos 31 Hm<sup>3</sup> anuales, a restar de los 60 Hm<sup>3</sup> de la capacidad del embalse de la Tajera, en fase de ejecución.

#### 6.3.2.- Aprovechamiento actual de las aguas superficiales.

Los recursos de agua superficiales se emplean de forma casi exclusiva en usos agrícolas. Se recogen en este epígrafe algunas consideraciones del Informe Técnico nº 3 del I.G.M.E. relacionadas con la ubicación, extensión, etc. de las zonas regadas actualmente a nivel provincial.

Estas zonas se distribuyen en cinco términos municipales de Guadalajara y nueve de Madrid, situados a lo largo del curso del río Tajuña, con una longitud de unos 150 Km.

En cuanto a las superficies regadas, se riegan actualmente 3.937 Ha., de las cuales la provincia de Madrid abarca 3.564 Ha., y la provincia de Guadalajara el resto, 373 Ha.

La distribución de estas 3.937 Ha. por zonas en la cuenca del Tajuña es:

- aguas arriba de la estación nº 80 ..... 66 Ha.
- aguas abajo de la estación nº 82 .... 3.334 Ha.
- entre ambas estaciones de aforos ..... 537 Ha.

Esta distribución refleja que la superficie mayor está situada aguas abajo de la estación de aforos nº 82, Orusco, en la cuenca baja del río Tajuña.

En general, los riegos comienzan en el mes de Mayo y finalizan en Septiembre. Teniendo en cuenta la climatología de la región y la textura del suelo, se puede estimar la dosis media de riego en  $600 \text{ m}^3$  de agua por Ha. Esto supone que el volumen de agua superficial empleado actualmente en superficies regadas es de unos  $24,80 \text{ Hm}^3$  en la cuenca del río Tajuña.

### 6.3.3.- Planes de regulación en fase de ejecución.

La regulación del río Tajuña se presenta, como se ha podido apreciar, necesaria, ya que incluso actualmente existe déficit.

Por otro lado, si la ampliación de los regadíos actuales se quiere llevar a efecto, la regulación se hace imprescindible. De esta manera, las aportaciones anuales del río serían superiores a las demandas que se originarían. Para este fin habría que evaluar el

grado de regulación del río Tajuña en función de los valores mensuales de las aportaciones registradas en las estaciones de Masegoso y de Orusco; también habría que determinar el número de Ha. que podrían regarse sin que existiera déficit ningún año.

Según el Informe Técnico n° 3 del I.G.M.E. (1.979), en la zona de cuenca comprendida entre las estaciones de aforos n° 80 (Masegoso) y n° 82 (Orusco) no existe déficit de agua en ningún mes del período considerado (1.970-1.980). No ocurre lo mismo en la zona de cuenca situada aguas abajo de la estación n° 82 (Orusco), donde al menos uno de cada 11 años sólo podrían regarse 3.038 Ha. de las 3.334 Ha. existentes, o cmo de otra manera, sólo se podrán satisfacer las necesidades de agua aproximadamente en un 90% del total.

En la Tabla 6-12 se relaciona la capacidad de embalse con el volumen regado, teniendo en cuenta varias hipótesis de regulación. Se ha obtenido la distribución interanual de estas capacidades de embalse para garantías del 90% y del 96% (ver Fig. 6-13).

#### 6.3.4.- Aprovechamiento de las aguas subterráneas.

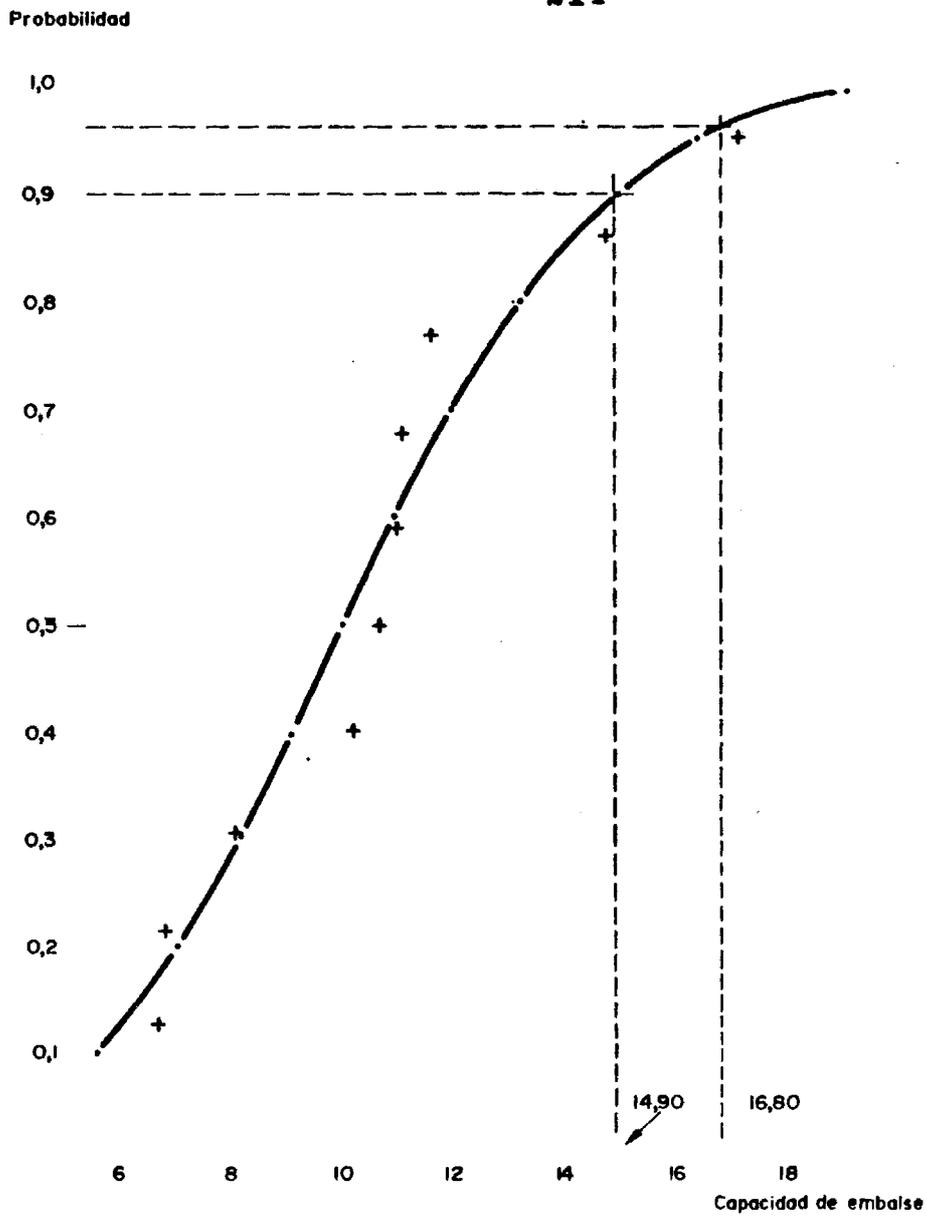
La regulación de las aguas superficiales no se considera como la única solución, ya que podría pensarse también en cubrir estos déficits con agua de procedencia subterránea, bien de forma directa en los re-

TABLA 6-12

RELACION DE LA CAPACIDAD DE EMBALSE CON EL VOLUMEN REGADO  
SEGUN VARIAS HIPOTESIS DE REGULACION

HIPOTESIS	SUPERFICIE (Ha.)	CONSUMO ANUAL (Hm <sup>3</sup> )	CAPACIDAD DE EMBALSE (Hm <sup>3</sup> )	
			G = 90%	G = 96%
Mejora de los regadíos actuales	3.937	28,34	14,90	16,80
Ampliación de los rega díos actuales hasta 7.543 Ha.	7.543	54,32	35,90	37,60
Ampliación de los rega díos actuales hasta 8.543 Ha.	8.543	61,52	44,00	46,70
Ampliación de los rega díos actuales hasta 10.937 Ha.	10.937	78,74	70,40	77,00

G = Garantía



DISTRIBUCION INTERANUAL DE LAS CAPACIDADES DE EMBA  
HIPOTESIS: MEJORA DE LOS REGADIOS ACTUALES

Fig. 6-13

## 215

gadfos o de forma que incremente la aportación del río Tajuña en la zona estudiada.

Para este fin, se trata de calcular el número de Ha. que podrían regarse con agua de procedencia subterránea. Se considera como agua subterránea a la componente básica ya calculada en el apartado 2.3, teniendo en cuenta que los valores varían según los años y de unos meses a otros.

Según el Informe Técnico nº 3 del I.G.M.E., las aguas subterráneas que realmente interesan son las correspondientes a la zona de cuenca ubicada entre las estaciones de aforos de Masegoso, nº 80, y de Orusco, nº 82, cifras ya citadas en el apartado 2.3.1, que suponen un valor anual de  $103 \text{ Hm}^3$ . Con este volumen de agua se pueden regar hasta 6.000 Ha.

Por otra parte, hay que añadir que en el caso de la cuenca abarcada por la estación nº 80 esos valores pueden verse sensiblemente incrementados, ya que el acuífero del Cretácico continúa por debajo de las cotas del río, por lo que podría vaciarse por extracción a través de sondeos en una cantidad tal que pudiera recuperarse en la época de lluvias.

No sucede igual en la zona comprendida entre las estaciones nº 80 y nº 82, donde los acuíferos están colgados, por lo que la cifra indicada aquí debe corregponderse con la realidad, y teniendo en cuenta que los riegos están fundamentalmente localizados por debajo de la estación de aforos nº 82, podrían satisfacerse las

demandas de mejora de riego y ampliación hasta 6.000 Ha. mediante la explotación racional de estos acuíferos.

En la práctica sería preciso prever pérdidas en la explotación del agua subterránea, por otra parte difíciles de determinar. Evaluando estas pérdidas por evapotranspiración y por otros conceptos en una cifra del orden del 20-30%, se podrían regar un total de unas 6.000 Ha.

C A P I T U L O - 7

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este capítulo corresponde a un resumen del estudio que hemos realizado sobre la Hidrogeología regional de la cuenca del río Tajuña en las provincias de Madrid y Guadalajara.

Para facilitar la exposición, hemos numerado las principales conclusiones en el mismo orden en que aparecen los capítulos correspondientes en la Memoria.

#### 1. ANTECEDENTES Y METODOLOGIA

Previamente a la elaboración de los diferentes capítulos se ha hecho una recopilación bibliográfica y se ha mantenido contacto con investigadores y especialistas en diversos temas.

Ha existido durante estos años una relación con el Instituto Geológico y Minero de España, el Instituto Nacional de Meteorología y el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

También ha sido necesario hacer campaña de campo para estudiar directamente los materiales y observar "in situ" los pozos y sondeos.

La metodología utilizada y las conclusiones del estudio de esta cuenca nos servirán de aplicación en las cuencas de mi país.

Finalmente, cabe destacar que la mayor parte de la bibliografía consultada ha sido publicada en los dos últimos años, por lo cual la investigación se ha realizado siguiendo las directrices metodológicas más avanzadas.

## 2. CONCLUSIONES LITOSTRATIGRAFICAS

En el estudio de las características litoestratigráficas que presentan los materiales de la cuenca del río Tajuña, desde el punto de vista hidrogeológico, hemos dividido ésta en dos unidades distintas, la Unidad Ibérica y la Unidad de la Región de la Alcarria.

Durante la realización de este capítulo hemos tenido en cuenta las columnas litológicas recopiladas en el inventario de puntos de agua; además, se han organizado salidas al campo para estudiar directamente las diversas formaciones, habiéndose consultado, por otra parte, numerosas publicaciones y documentos bibliográficos relacionados con este tema.

Se ha elaborado un plano a escala 1:100.000 de la cuenca del río Tajuña, en el que se han distinguido diversas formaciones hidrogeológicas; también hemos realizado varios cortes geológicos en las dos unidades señaladas.

### UNIDAD IBERICA

Los materiales de la Unidad Ibérica ocupan la cabecera del Tajuña. Corresponden a materiales mesozoi-

cos que guardan, por su situación, las directrices geológicas generales de la Cordillera Ibérica.

Dentro de estos materiales, hemos distinguido los siguientes sistemas:

El Triásico. Comienza con una serie detrítica formada por conglomerados del Buntsandstein, margas y dolomías del Muschelkalk y margas y arcillas del Keuper.

El Jurásico. Está representado por una serie carbonatada de calizas y dolomías; hacia el techo son más abundantes los tramos margosos.

El Cretácico. Los materiales corresponden a una alternancia de arcillas, calizas y arenas (Facies Utrillas), y finalmente un banco continuo de calizas algo arenosas hacia el techo, localmente dolomíticas.

El Cretácico tiene una especial importancia hidrogeológica debido a su potencia, que alcanza los 150 m., y a que su superficie recibe directamente la recarga por las precipitaciones.

#### MESETA O REGION DE LA ALCARRIA

En las cuencas media y baja del Tajuña afloran los materiales correspondientes al relleno sedimentario continental de la Fosa del Tajo.

La litología en esta región es muy variada, atribuyéndose en su conjunto al Neógeno.

Por orden cronológico, las formaciones definidas han sido las siguientes:

- a) Formación Vallecas. Aflora en el valle del río Tajuña con yesos y margas yesíferas de colores predominantemente grises. En el talweg del río está recubierta por aluviones calcáreos. El espesor de esta formación se supone que es del orden de 1.000 m.
- b) Formación Villarejo. Aparece por encima de la Formación Vallecas. Está constituida por margas calcáreas en el techo y margas yesíferas en la base. Su espesor varía de 20 a 80 m.
- c) Formación Guadalajara. Aparece en la cuenca media del Tajuña, subyacente a la Formación de los Páramos. Está formada por arenas con gran contenido de arcillas de color rojo. Se caracteriza por la presencia de restos líticos de cuarcitas y pizarras procedentes del Sistema Central. Su espesor medio es de unos 100 m.
- d) Formación Badiel. Está formada por arcillas margosas, arenas calcáreas y conglomerados cementados por carbonatos. Se distingue de la Formación Guadalajara por el predominio en la primera de materiales calcáreos procedentes de las calizas de la Cordillera Ibérica.

- e) Formación de los Páramos. Cubre todas las formaciones neógenas anteriores, ocupando la práctica totalidad de la superficie de la Meseta de la Alcarria. En esta formación distinguimos dos miembros distintos litológicamente: uno inferior detrítico, sin interés hidrogeológico debido a su discontinuidad y a su pequeño espesor; el miembro superior está formado por calizas lacustres karstificadas. El espesor varía de 10 a 40 m.

Depósitos aluviales. En la cuenca baja del Tajuña presentan una amplia extensión superficial, apareciendo dos niveles de terrazas conectadas entre sí. Su espesor oscila entre 10 y 20 m.

Están formadas fundamentalmente por cantos de calizas incluidos en una matriz arcillosa. En la cuenca media y alta se limitan a depósitos esporádicos de arenas y arcillas en el fondo del valle, por lo que su interés hidrogeológico en estas zonas es escaso.

Cabe destacar la presencia de tobas que se desarrollan en la margen derecha del río Tajuña, originándose por las surgencias en las laderas del valle fluvial.

En cuanto a los aspectos estructurales, el conjunto del Neógeno en la Región de la Alcarria aparece tabular poco o nada deformado.

Las deformaciones existentes las hemos agrupado en dos tipos: locales, que son atectónicas y se deben a la plasticidad de los yesos; además, hay otras de formaciones que son tectónicas y afectan a escala regional (como el canal estructural del Tajuña, que se ha delimitado a base de las imágenes recibidas por satélite, investigación del Prof. Alfa Medina, 1.976) y, finalmente, los cambios bruscos abruptos en el curso del río Tajuña que, probablemente, son el reflejo de los controles estructurales del basamento.

En la Unidad Ibérica los materiales de la cabecera del Tajuña, en general, están plegados suavemente y modificados por sistemas de fallas posteriores. En esta unidad se presentan las direcciones tectónicas principales claramente diferenciadas, perpendiculares entre sí, una de dirección N-NW y otra de dirección N-NE.

Por otro lado, la distribución de las distintas facies del Mesozoico están condicionadas por transgresiones y regresiones marinas.

Finalmente, la retirada del mar a finales del Cretácico pone al descubierto este sistema, pudiendo iniciarse procesos de erosión y karstificación.

Respecto a los sistemas de drenajes se ha hecho una labor de recopilación bibliográfica y se han tomado datos de la Comisaría de Aguas del Tajo (C.A.T.) del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (M.O.P.U.) para el período 1.962-63 a 1.979-80.

Mediante la construcción de hidrogramas anuales para cada una de las estaciones de aforos, n° 80 y 82, y siguiendo el método de López Vera y Sáiz García-Cuenca, se ha separado la escorrentía superficial o directa y la escorrentía subterránea o básica.

La escorrentía básica en nuestra zona resulta ser del orden de  $103 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , valor que representa el 14% de la pluviometría registrada sobre la zona.

El déficit de escorrentía, aproximadamente equivalente al valor de la evapotranspiración real, como diferencia entre la precipitación y la escorrentía total, es de  $419 \text{ mm/año}$ , lo que representa el 78% de la pluviometría.

En definitiva, la distribución del agua en la zona estudiada queda de la siguiente manera:

Pluviometría = Esc.Direc. + Esc.Bás. + Déf.Esc.(=ETR)

100% = 8% + 14% + 78%

$544 \text{ mm/año} = 40 \text{ mm/año} + 82 \text{ mm/año} + 419 \text{ mm/año}$

$762 \text{ Hm}^3/\text{año} = 60 \text{ Hm}^3/\text{año} + 103 \text{ Hm}^3/\text{año} + 563 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

### 3. CARACTERISTICAS AMBIENTALES

#### SINTESIS GEOMORFOLOGICA

La región estudiada constituye una extensa llanura hendida longitudinalmente por el río Tajuña, cuyo talweg está fuertemente encajado en la misma.

Los elementos morfológicos que constituyen la superficie de la planicie son mesas, cerros-testigo y cubetas de disolución.

La transición entre la planicie de los páramos y la llanura de las vegas fluviales se realiza por medio de zonas de glacis. Los conos de deyección, manifestaciones periglaciares, formaciones tobáceas y terrazas son también rasgos morfológicos destacados en esta zona. No obstante, la superficie de los páramos de la Alcarria es el principal rasgo morfológico, presentando las calizas una karstificación superficial poco homogénea.

#### TEMPERATURA Y PRECIPITACION

En este apartado se ha efectuado un trabajo previo de recopilación de datos a partir de la bibliografía y los archivos del Instituto Nacional de Meteorología.

En todos los trabajos hidrogeológicos es necesario disponer de datos de temperatura y precipitación con el fin de conocer los factores meteorológicos que intervienen en el ciclo hidrológico, en especial la pluviometría, por ser la principal fuente de recarga de los acuíferos en nuestras latitudes.

Se ha obtenido la temperatura media basándonos en seis estaciones meteorológicas representativas de toda la cuenca. Para el período 1.971-1.980 hemos obtenido una temperatura media anual de 13°C.

La pluviometría media para el período de 1.962-63 a 1.979-80, basado en datos procedentes de 7 estaciones meteorológicas, se ha calculado según los métodos de media aritmética e isoyetas, dando valores de 540 mm. y 548 mm. y considerando el valor de 544 mm. como pluviometría media en la cuenca del Tajuña para el período considerado.

Cabe destacar que en esta región que nos ocupa la cantidad de precipitación no siempre está en la misma proporción; para los años secos la pluviometría puede ser del orden de los 200 a 250 mm.

En definitiva, el agua caída sobre la región que nos ocupa es de 1.340 Hm<sup>3</sup>.

#### EVAPOTRANSPIRACION

La importancia de la evapotranspiración en el cálculo del balance hídrico a nivel de cuenca y en todos los proyectos de recursos hidráulicos, se debe a que mediante este proceso el 70% de la precipitación, aproximadamente, vuelve a la atmósfera.

La evapotranspiración potencial (ETP), obtenida como la media aritmética entre los datos de 14 estaciones, elaborados por otros autores según el método de Thornthwaite, es del orden de los 710 mm.

La evapotranspiración real (ETR) se ha elaborado por diversos métodos. A partir de la ETP, según Thornthwaite, y considerando una reserva de agua en el

suelo de 40 mm., se ha obtenido un valor medio de ETR entre 5 estaciones termopluviométricas de 345 mm., lo cual representa el 76% de la precipitación.

Asimismo, hemos hallado la ETR por los métodos empíricos de Turc, Coutagne y Becerril, obteniendo los siguientes valores: 454 mm., 421 mm. y 450 mm., respectivamente.

La ETR media, teniendo en cuenta también el método de Thornthwaite, resulta ser de 419 mm/año, valor que representa aproximadamente el 78% de las precipitaciones que caen sobre la cuenca de estudio.

#### MODIFICACIONES ANTROPICAS

Las obras civiles hidráulicas en la cuenca del río Tajuña se limitan a la ejecución del embalse de la Tajera, en la provincia de Guadalajara. Este embalse está destinado a la regulación de las aguas del río Tajuña, para garantizar los regadíos existentes, que superan las 4.000 Ha., y hacer posible la ampliación de otras 5.700 Ha.

Por otra parte, debido a la estrechez de la cuenca del río Tajuña, habría excedente de agua, por lo que se piensa efectuar un trasvase de aguas del Tajuña al Tajo, teniendo en cuenta que la elevación geográfica del primero favorece el trasvase por gravedad.

En la actualidad no hay influencia en el régi

men de las aguas superficiales ni subterráneas, salvo las precipitaciones.

#### AMBIENTE HIDROQUÍMICO DE LOS ACUIFEROS

Los resultados de los análisis químicos de las aguas subterráneas de esta cuenca ponen de manifiesto la relación fundamental entre la litofacies y la concentración de los diversos cationes y aniones.

La abundancia de ciertos iones, como  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ , en la cuenca baja del Tajuña es debido a la solubilización de los yesos, muy abundantes en esta zona, por lo que se descarta una circulación regional.

En general, la composición química va aumentando en el contenido de sales a medida que se profundiza.

Hemos representado los análisis químicos en el diagrama de Piper-Hill-Langelier, a la vista de los cuales se advierte que la característica principal de estas aguas es la de ser bicarbonatadas cálcicas.

Las aguas tomadas en sondeos, que circulan por debajo de la Formación de los Páramos, pasan a ser sulfatadas cálcico-magnésicas.

Finalmente, por lo que se refiere al carácter hidroquímico, a pesar de su estrecha relación con los materiales que forman la cuenca, las variaciones climáticas y las actividades humanas intervienen de manera que

van cargando unos determinados iones, por lo que en las estaciones frías habrá mayor concentración de iones de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , y aparecerán iones  $\text{NO}_3^-$  donde existan focos de contaminación procedente de núcleos urbanos.

#### 4. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL SISTEMA ACUIFERO

##### INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Para la obtención de los parámetros hidráulicos del sistema acuífero, conductividad hidráulica (K), la transmisividad (T), el espesor saturado (b), el caudal específico, ha sido fundamental la labor del inventario realizado en este trabajo.

Aproximadamente han sido inventariados 500 puntos de agua, que corresponden a pozos, sondeos y manantiales.

La mayoría de estos puntos se encuentra sobre las calizas de la Formación de los Páramos, que se extienden por casi toda la región estudiada.

Destaca en esta cuenca la creciente evolución de construcción de sondeos, que están siendo realizados por el Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.).

La profundidad media de los sondeos es de 30-40 m. y la mayoría han sido perforados por el procedimiento de percusión, que es el más utilizado en rocas duras.

La representación del conjunto de los puntos de agua inventariados se ha hecho por hojas topográficas a escala 1:50.000, y dentro de éstas se ha hecho una división en ocho octantes (ver Plano nº 2, Inventario de Puntos de Agua. Tomo II, en el que constan la situación geográfica del punto y su naturaleza, con la expresión del nº de orden en cada octante).

Finalmente, las características técnicas de los sondeos y el resumen del Inventario se pueden observar en el Anexo II del Tomo II.

#### LA POROSIDAD EFICAZ

Damos valores extraídos de la bibliografía y de otros autores. Para las calizas de los Páramos, Llamas y López Vera (1.975) estiman que la porosidad eficaz de esta formación está comprendida entre 0,05 y 0,10.

Para las calizas del Cretácico, basándonos en la bibliografía consultada, pensamos en porosidades que varían entre un 5% y un 20%.

Para los materiales del Cuaternario estimamos que la porosidad eficaz puede oscilar entre 0,10 y 0,20.

Finalmente, la formación yesífera presenta una porosidad eficaz que estimamos debe ser muy baja y heterogénea.

### TRANSMISIVIDAD (T)

Para el acuífero de las calizas de la Formación de los Páramos se han obtenido mediante pruebas de bombeo, según el método de Jacob, valores que varían de 93 m<sup>2</sup>/día a 540 m<sup>2</sup>/día.

Por otra parte, según el método de agotamiento del sistema acuífero de López Vera y Sáiz García-Cuenca, basándose en los datos de aforos, éstos han calculado en estas calizas unas transmisividades que oscilan entre 50 y 500 m<sup>2</sup>/día.

En el Cretácico hemos extraído, a partir de un ensayo de bombeo según el método de Jacob, un valor de transmisividad de unos 340 m<sup>2</sup>/día.

Finalmente, para los materiales correspondientes al Cuaternario otros autores obtuvieron valores de transmisividad superiores, en general, a 2.000 m<sup>2</sup>/día.

### PERMEABILIDAD O CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (K)

La estimación de la cond. hidráulica en el acuífero calcáreo de la Formación de los Páramos se ha hecho a partir de datos de transmisividad obtenidos mediante ensayos de bombeo. Los valores así hallados oscilan entre 5 y 40 m/día.

En el acuífero del Cretácico hemos estimado la permeabilidad dividiendo el valor de la transmisividad por la longitud de tubería filtrante en el pozo en que se efectuó el ensayo de bombeo correspondiente. La

conductividad así obtenida de esta manera resulta ser de unos 45 m/día.

En los depósitos aluviales se han obtenido valores de conductividad que oscilan entre 100 y 200 m/día, al dividir los valores de transmisividad por el espesor saturado del acuífero.

#### COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S)

Mediante pruebas de bombeo no ha sido posible su determinación, al no disponer de los radios de influencia de las captaciones.

Basándonos en la bibliografía, este parámetro puede oscilar entre 0,01 y 0,4 para el acuífero calcáreo, en que el coeficiente de almacenamiento coincide con la porosidad eficaz.

En el acuífero del Cretácico este parámetro puede variar de 0,05 a 0,20.

Finalmente, en los materiales del Cuaternario el coeficiente de almacenamiento varía de 0,10 a 0,20.

Los valores expuestos son los característicos de acuíferos libres.

#### CAUDAL ESPECIFICO (CAPACIDAD ESPECIFICA)

En el acuífero calcáreo karstificado de la Formación de los Páramos los caudales específicos que hemos obtenido muestran una marcada dispersión en sus valores.

## 233

Se ha explicado la heterogeneidad de este parámetro en esta clase de acuíferos kársticos con el criterio morfológico de López Vera (1.977). Efectivamente, las captaciones ubicadas al pie de un cerro residual tienen caudales específicos comprendidos entre 0,01 y 0,03 l/seg/m., llegando incluso a estar secos en ocasiones. Por el contrario, los pozos y sondeos ubicados en alineaciones de depresiones cuentan con caudales específicos que superan por lo general los 2 l/seg/m.

A partir de 25 datos de caudales específicos se ha realizado un pequeño estudio estadístico: la media aritmética de los mismos es de 5,7 l/seg/m., y la mediana de 1,83 l/seg/m.

En el acuífero del Cretácico hemos obtenido una capacidad específica de unos 6 l/seg/m.

Para los materiales del Cuaternario el caudal específico oscila entre 0,66 l/seg/m. y valores superiores a los 100 l/seg/m.

### 5. HIDRODINAMICA Y BALANCE HIDRICO

#### FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LA FORMACION DE LOS PARAMOS

El modelo propuesto para la facies química (Fig. 5-2 ) consta de tres acuíferos superpuestos: el superior lo constituye la Formación de los Páramos, el intermedio la Formación Villarejo y el inferior la Formación yesífera o Vallecas, para la mitad SW de la región. En la mitad NE (Plano nº 1), consiste en un acuífero calcáreo superpuesto en unos sitios sobre la Formación Guadalaajara, y en otros sobre la Formación Badiel, ambas detríticas.

La hidrodinámica de la Formación de los Páramos -el principal acuífero que nos ocupa- se caracteriza por los siguientes factores:

- a) La recarga se produce fundamentalmente por la precipitación directa sobre el terreno.
- b) La dinámica del agua está controlada por la geomorfología y por el tipo de permeabilidad de las diversas unidades que constituyen la Formación de los Páramos.
- c) El flujo es fundamentalmente centrífugo hacia los bordes en cada una de las unidades, aunque existe asimismo un flujo vertical hacia las formaciones subyacentes.
- d) La descarga se efectúa mediante manantiales de contacto de ladera y zonas de rezume situadas topográficamente por encima de los valles; también es destacada la descarga por evapotranspiración.
- e) Finalmente, el funcionamiento en cada una de las diferentes unidades es prácticamente independiente de las otras.

#### FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LA FORMACION YESIFERA

La dinámica del agua está limitada por el nivel de base de los ríos.

La recarga se produce por precipitación directa, además de la efectuada indirectamente por el flujo vertical de los acuíferos suprayacentes, principalmente

el constituido por las calizas de la Formación de los Páramos.

La circulación es fundamentalmente centrífuga. La descarga tiene lugar por flujo subterráneo al río y mediante manantiales y zonas de rezume.

Cabe destacar que las aguas subterráneas de las rocas evaporitas contienen un exceso de sales disueltas, por lo cual se comprende su escaso interés como acuífero.

#### FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES

Ya se indicó la conexión hidráulica de los materiales cuaternarios y las fuertes interrelaciones con la Formación Vallecas (ver Plano nº 1. Tomo II ). De esta manera podemos resumir su funcionamiento en que los procedimientos de recarga corresponden a tres fuentes: la recarga directa por la precipitación, el flujo subterráneo proveniente de la facies química y el agua de riego.

La dinámica de las aguas está limitada tanto en los bordes como en la base por los materiales yesíferos. De esta manera cabe pensar que la transferencia de las aguas se realizará de las zonas de mayor potencial hidráulico a las de menor.

Finalmente, la descarga se realiza fundamentalmente por evapotranspiración, ya que el nivel freático está cerca de la superficie del terreno. No obstante, la descarga más importante de este acuífero se efectúa ha-

## 236

cia el río Tajuña, mostrándose por tanto el carácter ganador de este río.

BALANCE HIDRICO DEL SISTEMA

En la cuenca del Tajuña se ha aplicado un método propuesto por Freeze y Cherry (1.979), en el que consideran dos ecuaciones para el balance hídrico, una para el área de recarga y otra para el área de descarga.

Cuantitativamente, la cantidad de agua que entra en el sistema y sale del mismo resulta ser de unos 734 Hm<sup>3</sup>/año.

En la cuenca de estudio, la recarga proviene exclusivamente de la precipitación en las estaciones húmedas. De esta manera en el área de recarga la ecuación sería:

$$\begin{array}{rclclcl}
 \text{Precipitación} & = & \text{Recarga} & + & \text{Esc. directa} & + & \text{Evapotranspiración} \\
 100\% & = & 72\% & + & 8\% & + & 20\% \\
 544 \text{ mm.} & = & 395 \text{ mm.} & + & 40 \text{ mm.} & + & 109 \text{ mm.} \\
 762 \text{ Hm}^3 & = & 550 \text{ Hm}^3 & + & 60 \text{ Hm}^3 & + & 152 \text{ Hm}^3
 \end{array}$$

Se ha considerado que la evapotranspiración es insignificante en el área de recarga, ya que las aguas que caen se infiltran en un 72% de las precipitaciones.

En áreas de descarga el balance es el siguiente:

Precipitación	=	Descarga manant.	+	Esc. directa	+	Evapotrans.
100%	=	14%	+	8%	+	78%
544 mm.	=	82 mm.	+	40 mm.	+	422 mm.
762 Hm <sup>3</sup>	=	103 Hm <sup>3</sup>	+	60 Hm <sup>3</sup>	+	599 Hm <sup>3</sup>

De esta forma el volumen de agua que entra en el sistema acuífero resulta ser igual al volumen que sale del mismo, por lo que el almacenamiento se mantendrá constante.

## 6. RECURSOS HIDROGEOLOGICOS Y USOS DEL AGUA

### RESERVAS Y RECURSOS DEL SISTEMA

Hemos definido las reservas y recursos según varios autores, aunque, en general, las reservas serían equivalentes al agua acumulada a lo largo del tiempo en el subsuelo del sistema.

Los recursos se definen como la cantidad anual de agua infiltrada que llega a la zona saturada de la formación acuífera y que tiene que salir por algún punto.

### EVALUACION DE RESERVAS Y RECURSOS EN EL ACUIFERO CALCAREO

En base a los siguientes parámetros, vamos a evaluar las reservas.

De los perfiles hidrogeológicos (véase Plano 4) hemos sacado un espesor saturado medio (b) de 10 m.; el valor de la porosidad eficaz ( $m_e$ ) es el estimado en el

apartado 4.1.1, que varía entre 0,05 y 0,10. La superficie de acuífero en la zona de estudio (S) es de  $700 \text{ Km}^2$ .

Teniendo en cuenta los intervalos de porosidad, obtendríamos:

$$\text{a) Reservas} = S \cdot b \cdot m_e = 700 \text{ Km}^2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 0,05 = 350 \text{ Hm}^3$$

$$\text{b) Reservas} = S \cdot b \cdot m_e = 700 \text{ Km}^2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 0,10 = 700 \text{ Hm}^3$$

Las reservas resultan estar comprendidas entre 350 y  $700 \text{ Hm}^3$ .

Los recursos los calcularemos a partir de la infiltración eficaz (I), que la estimamos en  $76 \text{ mm/año}$ , cifra equivalente al 14% de la pluviometría.

Teniendo en cuenta que la superficie del acuífero es de  $700 \text{ Km}^2$ , obtenemos:

$$\text{Recursos} = S \cdot I = 700 \text{ Km}^2 \cdot 76 \text{ mm} = 53,2 \text{ Hm}^3$$

De esta manera, resulta que las reservas son de 6 a 9 veces superiores que los recursos en este acuífero.

#### EVALUACION DE RESERVAS Y RECURSOS EN EL ACUIFERO ALUVIAL

Los principales parámetros del acuífero aluvial, a tener en cuenta para el cálculo de las reservas, presentan los siguientes valores: espesor saturado medio (b) = 6 m.; porosidad eficaz ( $m_e$ ), de 0,10 a 0,20; superficie del acuífero (S) =  $56 \text{ Km}^2$ .

Las reservas resultan estar comprendidas entre 34 y 67 Hm<sup>3</sup>.

Tomando como base la superficie del acuífero, 56 Km<sup>2</sup>, y una infiltración eficaz de 150 mm/año, que equivale al 28% de la pluviometría anual, obtenemos unos recursos de 26 Hm<sup>3</sup>/año.

#### EVALUACION DE RESERVAS Y RECURSOS DEL ACUIFERO CRETACICO

Para la evaluación de las reservas nos hemos basado en los siguientes parámetros: un espesor saturado medio (b) de 8 m., y una porosidad eficaz asignada para los materiales del Cretácico variable entre un 10 y un 20%. El área del acuífero en la zona estudiada (S) es de 210 Km<sup>2</sup>.

Basándonos en estos datos y teniendo en cuenta el intervalo de la porosidad, las reservas varían entre 168 Hm<sup>3</sup> y 336 Hm<sup>3</sup>. Los recursos anuales, a partir de una infiltración eficaz de 114 mm., que equivale al 21% de la pluviometría anual, suponen un valor de 24 Hm<sup>3</sup>.

#### CALIDAD DEL AGUA DE LOS DIVERSOS ACUIFEROS

Se ha hecho un estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la zona a fin de considerar su posible aplicación. Para ello se han elaborado diversos diagramas a partir de los datos de análisis físico-químicos recogidos en el Apéndice 3, Tomo II.

Para la clasificación de la calidad del agua para uso doméstico hemos utilizado el diagrama de Schoeller-Berkaloff (1.962) y la Norma Española (1.968), con los resultados de análisis químicos en mg/l. (Tabla 6-4).

Para la clasificación del agua para riego se han utilizado diagramas según la norma de Riverside.

#### CALIDAD DE LAS AGUAS PARA USO DOMESTICO

De acuerdo con las Figuras 6-2 y 6-3, las aguas subterráneas de la zona son potables, según la norma española de 1.968, salvo algunas muestras recogidas en la cuenca baja del Tajuña, de no ser por el excesivo contenido en nitratos que presentan.

Cabe destacar que las muestras correspondientes a la cuenca baja del río presentan un elevado contenido de  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , debido a la solubilidad de los yesos, muy abundantes en estas zonas (ver apartado 3.5). De esta manera, rebasan el límite de sanitariamente tolerable a im potable en la Norma Española, y tolerable en el diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figs.6-5 y 6-6).

#### CALIDAD DE LAS AGUAS PARA USOS AGRICOLAS

Respecto a la utilización de las aguas en la agricultura se ha hecho una clasificación de las muestras analizadas según las normas de Riverside, que se basan en la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio (S.A.R.).

En la Figura 6-7 se puede observar que casi todas las aguas procedentes de la Formación de los Páramos responden al carácter C2-S1, salvo algunas muestras que están clasificadas como C3-S1. Esto implica que las aguas son de salinidad media, por lo que se pueden utilizar para casi todo tipo de cultivos, siempre que haya un grado moderado de lavado. Las aguas de

carácter C3-S1 implican en su utilización un cierto riesgo de salinización del suelo.

Las aguas del acuífero aluvial son del tipo C3-S1, como las anteriores, por lo que solamente se deben utilizar en cultivos de plantas tolerantes a las aguas salinas (Fig. 6-8).

#### CONTAMINACION

Podemos establecer dos tipos de fuentes de contaminación, cuyos orígenes y causas son diferentes. El primero es natural y se debe a la gran abundancia de yesos, sobre todo en las formaciones subyacentes (este tema está tratado en el apartado 3.5). El otro tipo de contaminación es antrópico, debido al elevado contenido en nitratos que presentan las aguas, procedentes de las diferentes actividades humanas tanto en los núcleos urbanizados como en el campo, en este caso por fertilizantes, y también por el descuido en la protección sanitaria de las captaciones, que se encuentran localizadas a cotas más bajas que la red de vertidos de aguas residuales.

#### USO POTENCIAL DE LOS RECURSOS

Los recursos actuales de aguas superficiales en la cuenca del río Tajuña se emplean casi exclusivamente en usos agrícolas.

En el momento presente la superficie regada asciende a 4.000 Ha., lo cual supone un consumo anual de unos 25 Hm<sup>3</sup>.

La mayor parte de la superficie regada se encuentra situada aguas arriba de la estación de aforos n° 82, Orusco, donde la aportación del río Tajuña supera el consumo.

En cuanto a la posible mejora de los regadíos actuales, la componente subterránea del agua aforada supera en la zona de cuenca comprendida entre las dos estaciones de aforos n° 80, Masegoso, y n° 82, Orusco, un total de 70 Hm<sup>3</sup>/año, los cuales permitirían regar más de 6.000 Ha.

Por otra parte, interesa destacar el embalse de la Tajera, en fase de ejecución, cuya capacidad es de 60 Hm<sup>3</sup>, mediante el cual se podrían poner en regadío unas 6.000 Ha. más.

Por consiguiente, añadiendo la disponibilidad de aguas subterráneas a las del embalse de la Tajera, podrían regarse un máximo de 12.000 Ha. en la cuenca del río Tajuña.

#### TIEMPO DE RESIDENCIA MEDIO DEL AGUA EN LOS ACUIFEROS

Los tiempos de residencia del agua en los acuíferos de nuestra cuenca expresan el período de renovación del agua subterránea en los mismos.

Estos valores han resultado ser de: 8 años, para el acuífero calcáreo de la Formación de los Páramos; 3 años, para el acuífero aluvial; y 12 años para el acuífero del Cretácico.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- ALIA MEDINA, M. (1.960). "Sobre la tectónica de la fosa del Tajo". Not. y Com. del I.G.M.E. nº 58. pp.125-162. Madrid.
- ALIA MEDINA, M. (1.972). "Evolution post-hercynienne dans les régions centrales de la Meseta Espagnole". Not. y Com. I.G.M.E.
- ALIA MEDINA, M. (1.975). "Aspectos tectónicos de la Sierra de Altomira". Estudios Geológicos, vol. XXXI, nº 5-6, pp.609-614. Diciembre. Madrid.
- ALIA MEDINA, M. (1.976). "Una megaestructura de la Meseta Ibérica: la Bóveda Castellano-Extremeña". Estudios Geológicos, 32. pp.229-238.
- ALIA MEDINA, M., PORTERO, J.M. y MARTIN ESCORZA, C.(1.973). "Evolución geotectónica de la región de Ocaña (Toledo) durante el Neógeno y Cuaternario". Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.) T.71. pp.9-20. Madrid.
- ALONSO, J., GARCIA, J. y RIBA, O. (1.964). "Arcillas miocenas de la cuenca del Tajo". Curs. y Cont. del Inst. Lucas Mallada. C.S.I.C. Fasc. IX. Madrid.
- ALLEN, J.R.L. (1.965). "A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments". Sedimentology (Journal of the International Association of Sedimentologists). Vol.5, nº 2. September, 1.965. Special Inssue.

- ASENSIO AMOR, I. y GONZALEZ MARTIN, J.A. (1.974). "Presencia de materiales detríticos ordenados (grèzes litèes) en el valle del río Tajuña (Carabaña-Villarejo de Salvanés)". Estudios Geológicos, 30. pp.69-73.
- ASENSIO AMOR, I. y GONZALEZ MARTIN, J.A. (1.976). "Manifestaciones periglaciares en los alrededores de Cifuentes (Guadalajara)". Estudios Geológicos, 32. pp.443-449.
- ASENSIO AMOR, I. y VAUDOUR, J. (1.976). "Depósitos cuaternarios en los alrededores de Mejorada del Campo (Valle del río Jarama)". Estudios Geológicos, vol. XXIII. pp.237-256.
- BENAYAS, J., PEREZ MATEOS, J. y RIBA, O. (1.960). "Asociaciones de minerales detríticos en los sedimentos de la cuenca del Tajo". Anuales de Edaf. y Agrobiol. C.S.I.C. Tomo XIX, nº 11. pp.633-670.
- BENITEZ, A. (1.972). "Captación de aguas subterráneas" (Nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales). Ed. Dossat, S.A.
- BLANEY, H.F. y CRIDDLE, W.D. (1.962). "Determining consumptive use and investigation water requirements". Techn Bull, nº 1. 275 Agricultural Research Service. U.S.A. pp.59.

- BLISSENBACH, E. (1.954). "Geology of Alluvial Fans in Semiarid Regions". Bull Geolog. Soc. Am. vol. 65. February. pp.175-190.
- BROWN, R.H. (1.963). "Estimating the Transmissibility of an artesian aquifer from the specific capacity of a well". Bentall, Ray. Computer, Methods of determining permeability, transmissibility and drawdown: U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1.536 - I. pp.336-338.
- BULL, W.B. (1.971). "Recognition of ancient sedimentary environments". Society of economic paleontologists and mineralogists publ. Esp. nº 16. pp. 73-83.
- BURDON, D.J. y PAPAKIS, N. (1.963). "Handbook of Karst Hydrogeology". Inst. for Geol. and Subsurface Research. Atenas.
- BUSTILLO REVUELTA, A. (1.976). "Estudio petrológico de las rocas silíceas miocenas de la cuenca del Tajo".
- CABEZA GONZALEZ, F. (1.976). "Hidráulica de captaciones en medios heterogéneos y anisótropos. Valoración de ensayos de bombeo en la facies detrítica de la fosa del Tajo". E.T.S.I.C.C.P. Madrid.

- CADAVID CAMIÑA, S. (1.973). "Estudios geofísicos del basamento en la depresión meridional de la Sierra del Guadarrama". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- CADAVID CAMIÑA, S. y HERNANDEZ FERNANDEZ, M.E. (1.969). "Estudios magnetométricos del basamento de la Hoja 583. Arganda". Estudios Geológicos, vol. XXIII, nº 1-2.
- CAPOTE, R. y CARRO, S. "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 536. Guadalajara". I.G.M.E.
- CARAMES, M. et al. (1.973). "Nota sobre la mineralogía del sondeo de Tielmes en el Terciario de la cuenca del Tajo". Estudios Geológicos, vol. XXIX. pp.307-313.
- CARRO, S. y CAPOTE, R. "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 561. Pastrana". I.G.M.E.
- CASTANY, G. (1.971). "Tratado práctico de las aguas subterráneas". Ed. Omega, S.A. Barcelona.
- CATALAN LAFUENTE, J.G. (1.965). "Estudio químico-sedimentológico de algunos afluentes del Tajo". Tesis Doctoral. C.S.I.C. Madrid.
- CATALAN LAFUENTE, J.G. (1.969). "Química del agua". Ed. Blume.
- CJVIJIC, J. (1.960). "La Geographie des terrains calcaires". Belgrado.

- COMA GUILLEN, J.E. (1.971). "Mapa hidrogeológico Nacional y programa previo de investigación de aguas subterráneas". I.C.H.I.L.A.G.E. E-3-12.
- COMAS RENGIFO, M.J. y GOY, A. (1.975). "Estratigrafía y paleontología del Jurásico de Ribarredonda (Guadalajara)". Estudios Geológicos, vol.XXXI. pp.233-339.
- C.S.I.C. (1.970). "Mapa de suelos de la provincia de Guadalajara. E. 1:250.000". Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología José M<sup>o</sup> Albareda.
- COOPER, H.H. y JACOB, C.E. (1.964). "A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history". Am. Geophys. Union Trans. Vol. 27, n<sup>o</sup> 4. pp.526-534.
- CORCHON RODRIGUEZ, F. (1.973). "Estudio hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara)". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.
- CRUCES, J. y LLAMAS, M.R. (1.976). "Comportamiento hidráulico del Terciario detrítico de Madrid frente a bombeos concentrados". Memorias de la II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Barcelona.

- CRUSAFONT, M., REGUANT, S. y GOLPE, J.M. (1.975). "Síntesis biocronoestratigráfica del Terciario continental español". Estudios Geológicos, vol.XXXI, nº 5-6. pp.581-587.
- CRUSAFONT, M. y TRUYOLS, J. (1.960). "El Mioceno de las cuencas de Castilla y de la Cordillera Ibérica". Not. y Com. del I.G.M.E., nº60. Madrid.
- CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1.976). "Hidrología subterránea". Ed. Omega. Barcelona.
- CUSTODIO, E. (1.969). "Influencia de las obras hidráulicas en las aguas subterráneas". Agua. Enero-Febrero. pp.28-33. Barcelona.
- CUSTODIO, E. y COMPTE, J.M. (1.969). "Influencia de los embalses de superficie en la calidad del agua subterránea". Agua. Septiembre-October. Nº57. pp.23-30. Barcelona.
- CUTANDA PERALES, J. (1.969). "El Terciario continental de Villaseca de Henares". Cuadernos de Geología Ibérica. Instituto de Geología Económica. C.S.I.C.
- DAVIS, S.N. y DE WIEST, R. (1.971). "Hidrogeología". Ed. Ariel. Barcelona.
- DAVIS, G.H. et al. (1.959). "Groundwater conditions and storage capacity in the San Joaquin Valley, California". U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1.469. pp.287.

- DEJU, R.A. (1.971). "Regional Hidrology fundamentals".  
Ed. Gordon & Brech. U.S.A.
- DE PRADO, C. (1.864). "Descripción física y geológica  
de la provincia de Madrid". Junta General de  
Estadística. Madrid.
- DERRUAU, M. (1.977). "Les formes du relief terrestre.  
Notions de Géomorphologie". Ed. Masson. París.
- D.G.O.H. (1.966). "Plan nacional de abastecimiento y Sa  
neamiento. Memoria de la cuenca del Tajo". M.  
O.P.U.
- D.G.O.H. "Anuarios de aforos, 1.961-62 a 1.979-80. Cuen  
ca del Tajo". M.O.P.U.
- DUPUIT, J. (1.863). "Etudes théoriques et pratiques sur  
le mouvement des eaux". París.
- ELIAS, F. y GIMENEZ, R. (1.965). "Evapotranspiraciones  
potenciales y balances de agua en España".  
Mapa agronómico nacional. Dirección General  
de Agricultura. M<sup>e</sup> de Agricultura. Madrid.
- ELIAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRAN, L. (1.973). "Clasi  
ficación agroclimática de España (basada en  
la clasificación ecológica de Papadakis)".  
Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- ERASO, A. (1.969). "Mecanismos sobre la corrosión en el  
Karst y su repercusión en Geodinámica". Bol.  
Geol. y Min. T.LXXX. pp.42-65.

- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1.979). "Groundwater".  
Prentice-Hall. New York. U.S.A.
- GAIBAR, J. y GEYER, O. (1.967). "Estratigrafía del Jurásico y Liásico en el sector de Yómeda (SW cordillera Ibérica)". Acta Geol. Hisp. nº 2. pp.4.
- GALOFRE, A. (1.966). "Cálculo de la Transmisibilidad a partir de descensos específicos". Estudio de los recursos hidráulicos totales de las cuencas de los ríos Besós y bajo Llobregat. C.A. P.O. y S.G.O.P. Barcelona. pp.7.69-7.73.
- GOY, A. y LAFEREZ, F. (1.974). "Algunas observaciones sobre la Bioestratigrafía del Liás de Maranchón (Guadalajara)". Col-Pa, nº 25. Madrid.
- GRISOLIET, H., GUILMET, B. y ARLERY, R. (1.962). "Climatologie. Méthodes et Pratiques". Gauthiers-Villars. París.
- HANTUSH, M.S. (1.961). "Drawdown around a partially penetrating well". Journal of the Hydraulics Division. Proc. A.S.C.E. Hy4. July, 1.961. pp. 83-98.
- HANTUSH, M.S. (1.964). "Hydraulics of wells". Advance in Hydrosience. Vol.I. Ven te Chow. Academic Press. pp.281-432.

- HEM, J.D. (1.970). "Study and interpretation of the Chemical characteristics of Natural Water". Geol. Survey Water-Supply Paper, 1.473.
- HERAK, & STRINGFIELD (1.972). "Karst. Important Karst Regions of the Northern Hemisphere". Elsevier P.C. Amsterdam.
- HERAS, r. (1.972). "Métodos prácticos para el estudio de aguas superficiales y subterráneas". Madrid.
- HERNANDEZ-PACHECO, F. (1.928). "Los cinco ríos principales de España y sus terrazas". Trab. Mus. Nac. Ciencias Naturales. Serie Geol. nº 36.
- HERNANDEZ-PACHECO, F. (1.930). "Modificación de la red fluvial en España. Fenómenos de capturas durante el Plioceno al norte de la provincia de Madrid". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T. 70. pp. 213-224.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (1.980). Archivos.
- HUBBERT, M.K. (1.940). "The theory of groundwater motion". Journal of Geol. nº 48. pp.785-944.
- IGLESIAS LOPEZ, P. y MARTINEZ ALFARO, P.E. (1.979). "Evolución de la calidad química de las aguas de las fuentes de Madrid". II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona.

- I.G.M.E. (1.971). "Mapa geológico de España. Síntesis de la cartografía existente. E. 1:200.000. Hoja 39. Sigüenza".
- I.G.M.E. (1.972). "Mapa geológico de España. Síntesis de la cartografía existente. E. 1:200.000. Hoja 45. Madrid".
- I.G.M.E. (1.972). "Mapa geológico de España. Síntesis de la cartografía existente. E. 1:200.000. Hoja 46. Cuenca-Guadalajara".
- I.G.M.E. (1.972). "Mapa Hidrogeológico Nacional". Memorias del I.G.M.E. T. 81. Madrid.
- I.G.M.E. (1.973). "Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos". E. 1:1000000.
- I.G.M.E. (1.981). "Estudio de la composición química de las aguas del río Júcar en relación con las litofacias de su cuenca". Bol. Geol. y Min. T.XCII-III.
- I.G.M.E. (1.979). "Hidrogeología de la cabecera mesozoica del Tajuña". Informe Técnico nº 4.
- I.G.M.E. (1.979). "Cuenca del Tajuña: Usos actuales y futuros del agua". Informe Técnico nº 3.

- JOHNSON, A.T. (1.967). "Specific yield: compilation of specific yield for various materials". U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 1.662-D. pp.74. Washington.
- KINDELAN, J.A. (1.953). "Notas sobre la potencialidad hidrológica de la cuenca del Tajo". Not. y Com. del I.G.M.E. nº 29.
- LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. y PAULHUS, J.L. (1.958). "Hydrology for Engineers". Mc Graw-Hill.
- LOGAN, J. (1.964). "Estimating Transmissibility from Routine Production Tests of Water Wells". Groundwater, vol. 2. nº 2. pp.35-37.
- LOHMAN, S.W. (1.974). "Hidráulica subterránea". Traducción del Professional Paper nº 708. U.S. Geological Survey.
- LOPEZ OLMEDO, y GALLEGO COIDURAS. "Notas sobre la facies Weald y Utrillas del Cretácico en la Serranía del alto Tajo". Tecniterrae.
- LOPEZ VERA, F. (1.973). "Estudio hidrogeológico de los acuíferos del Terciario y Cuaternario en la cuenca del río Jarama". Tesis de Licenciatura. E Ciencias Geológicas. Madrid.
- LOPEZ VERA, F. (1.975). "Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid". Tesis Doctoral. 3 tomos. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.

- LOPEZ VERA, F. (1.977). "La utilización de cartografía geomorfológica en el aprovechamiento de los recursos de aguas subterráneas en regiones karstificadas (Los Páramos de la Alcarria, Madrid y Guadalajara)". Facultad de Ciencias. Madrid.
- LOPEZ VERA, F. y SAIZ GARCIA-CUENCA, J. (1.974). "Cálculo de la infiltración eficaz en materiales karstificados". Tecniterrae nº 5. Abril-Mayo pp.32-41.
- LOPEZ VERA, F. y SAIZ GARCIA-CUENCA, J. (1.976). "Evaluación de recursos hídricos subterráneos en regiones kársticas semiáridas". Bol. Geol. y Min. T. LXXXVII-III. pp.274-283.
- LOPEZ VERA, F. y PEDRAZA GILSANZ, J. (1.976). "Síntesis geomorfológica de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid". Estudios Geológicos, 32. pp.499-508.
- LOPEZ VERA, F. (1.979). "Análisis de las investigaciones hidrogeológicas en la actualidad". II Simposio Nacional de Hidrogeología. pp.1.333.
- LLAMAS, M.R. (1.968). "La utilización de las aguas subterráneas en España". Bol. del S.G.O.P. nº 29. pp.17-36.
- LLAMAS, M.R. y LOPEZ VERA, F. (1.975). "Estudio sobre los recursos hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influenu

cia: avance de las características hidrogeológicas del Terciario detrítico de la cuenca del río Jarama". Agua. Enero-Marzo. nº 88. pp.31-55.

LLOPIS LLADO, N. (1.970). "Fundamentos de Hidrogeología Kárstica". Ed. Blume. Madrid. 269 pp.

MARTIN ESCORZA, C. (1.976). "Un ejemplo de la actividad tectónica durante el Mioceno del basamento fracturado de la fosa del Tajo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.). T.74. pp.159-169.

MARTIN ESCORZA, C. (1.976). "Actividad tectónica durante el Mioceno de las fracturas del basamento de la fosa del Tajo". Estudios Geológicos, 32. pp.509-522.

MARTIN ESCORZA, C. y HERNANDEZ ENRILE, J.L. (1.972). "Contribución al conocimiento geológico del Terciario occidental de la fosa del Tajo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.71. pp.167-182.

MARTIN LOPEZ, M.I., BRELL, J.M. y GALAN, E. (1.976). "Mineralogía de los materiales terciarios del Area de Alcalá de Henares (Depresión del Tajo)". Estudios Geológicos, vol.32. nº 1.

MEGIAS, A.G., ORDÓÑEZ, S. y CALVO, J.P. (1.981). "Tertiary clastic gypsum deposits in the Madrid basin". International Association of Sedimentologists. Bologna. Italia.

- MELENDEZ HEVIA, F. (1.972). "El Cretácico superior y Terciario inferior de la Serranía de Cuenca y la Sierra de Altomira. Ensayo de correlación". Acta Geol. Hisp. C.S.I.C.
- MELENDEZ, B. y FUSTER, J.M. (1.969). "Geología". Edit. Paraninfo. Madrid.
- MINGARRO MARTIN, F. (1.966). "Estudio hidrogeológico de la Sierra de Altomira (Cuenca)". Bol. I.G.M.E. Tomo LXXIII.
- NODAL RAMOS, M.T. y AGUEDA VILLAR, J.A. (1.976). "Características de la sedimentación cretácico-terciaria en el borde septentrional de la cuenca del Tajo". Estudios Geológicos, vol.32, nº 1. pp.115-120.
- ORDÓÑEZ, S. y GONZALEZ, J.A. (1.979). "Formaciones tobáceas del valle del río Tajuña entre Brihuega-Masegoso (provincia de Guadalajara)". Estudios Geológicos 35. pp.205-212.
- PELAEZ, J.R., PEREZ GONZALEZ, A., VILAS, L. y AGUEDA, J.A. (1.971). "Características hidrogeológicas del Cuaternario del río Jarama". I.C.H.I.L.A.G.E. E-3-50.
- PENMAN, H.L. (1.948). "Natural evaporation from open water. Bare soil and Grass". Proc. Royal Soc.(A). Vol. CXCVIII. pp.120-145.

- PEREZ AZUARA, J.A. (1.971). "El borde meridional de la Cordillera Ibérica en los alrededores de Algora (Guadalajara)". Bol. I.G.M.E. T. LXXXII.
- PEREZ BAVIERA, A. (1.974). "Estudio hidrogeológico de la Alcarria entre los ríos Tajuña y Henares desde Chiloeches a Morata de Tajuña". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.
- PEREZ MATEOS, J. y MONTURIOL, F. y BENAYAS, J. (1.970). "Estudio morfológico y microscópico de los paleosuelos sobre la raña de Guadalajara". Anuarios de Edaf. y Agrobiol. T. XXIX nº 11-12. pp.865-883.
- PEREZ MATEOS, J. y VAUDOUR, J. (1.972). "Estudio mineralógico y geomorfológico de las regiones arenosas al sur de Madrid". Estudios Geológicos, vol. XXVIII. pp.201-208.
- REBOLLO FERREIRO, L.F. (1.977). "Estudio hidrogeológico regional de la cuenca media y baja del río Guadarrama". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.
- REBOLLO, L.F. y VILLARROYA, F.I. (1.976). "Capacidades específicas del Terciario detrítico de la cuenca del río Guadarrama". Simposio Nacional de Hidrogeología. T.1. pp.788-809. Valencia.

- REBOLLO, L.F. y VILLARROYA, F.I. (1.977). "Estudio hidrogeológico del Karst de la Alcarria en la zona comprendida entre los ríos Henares, Tajuña y Tajo". Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.
- REMENIERAS, G. (1.965). "L'Hydrologie de l'Ingenieur". Erolles. 2ª ed. Paris.
- RIBA, O. (1.956). "Ensayo sobre la distribución de las litofacies del Terciario continental de la cuenca del Tajo al oeste de la Sierra de Altomira". Comisión de la 1ª Reunión del Terciario. Sabadell.
- RIBA, O. (1.969). "Estudio sedimentológico de las calizas del Páramo del Terciario de la cubeta del Tajo". Bol. Inst. Geol. y Min. España. T.LXXX. Fac. VI.
- ROYO GOMEZ, J. (1.917). "Datos para la Geología de la submeseta del Tajo". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XVII y XVIII. pp.2.
- ROYO GOMEZ, J. (1.926 b). "Edad de las formaciones yesíferas del Terciario Ibérico". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XXVI. pp.259-279.
- ROYO GOMEZ, J. (1.929). "Datos para el estudio de la Geología de la provincia de Madrid. Cuenca terciaria del alto Tajo. Hoja nº 560. Alcalá de Henares". I.G.M.F.

- SAIZ GARCIA-CUENCA, J. (1.974). "Capacidad de regulación de las calizas de los Páramos sobre los caudales del río Tajuña". I y II. Cimbra. Rev. de Ingeniería Técnica de Obras Públicas nº 106 y 107. Abril y Mayo.
- SAN JOSE LANCHA, M.A. (1.971). "Síntesis hidrogeológica de la cuenca del Tajo". I.C.H.I.L.A.G.E. E-3-64. pp.659-677. T-II, secc.3.
- SAN JOSE LANCHA, M.A. (1.976). "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 2Q23 (583). Arganda". I.G.M.E.
- SAN JOSE LANCHA, M.A. (1.977). "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja (584). Mondéjar". I.G.M.E.
- SCHOELLER, M. (1.962). "Les eaux souterraines". Ed. Masson. París.
- SCHWENZNER, J.E. (1.943). "La morfología de la región montañosa de la Meseta Española". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.XLI nº 1-2. pp.121-143..
- SOLE SABARIS, L. (1.952). "Geografía de España y Portugal". Tomo I. Ed. Montaner y Simón, S.A. Barcelona. pp.175-198.
- THEIS, C.V. (1.935). "The relation between the lowering

of the piezometric surface and the rate and duration of this charge of a well using ground-water Storage". Trans. Am. Geophysical Union. Vol. XVI. pp.519-524.

THEIS, C.V. (1.938). "The significance and nature of the cone of depression in Groundwater bodies". Econ. Geology. Vol.33, n° 8.

THORNTHWAITE, C.W. (1.948). "An approach toward a rational classification of climate". Geological Rev. Vol.38. pp.55-94.

TODD, D.K. (1.959). "Groundwater Hydrology".

TOTH, J. (1.963). "A theoretical analysis of Groundwater flow in small drainage basins". J. Geographys. Rev. Vol.68. pp.795-812.

TURC, L. (1.961). "Evaluation des besoins en eau d'irrigation-evapotranspiration potentielle (formule climatique simplifiée et mise à jour)". Ann. Agron. 12 (I). pp.13-49.

VAUDOUR, J. (1.975). "Encroûtements, croûtes et carapaces calcaires dans la région de Madrid". Acta Geológica Hispánica, T.X n° 2. pp.67-70.

VIDAL BOX, C. (1.942). "La línea morfotectónica meridional de la Sierra de Guadarrama". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. T.40. pp.117.

VILLARROYA GIL, F.I. (1.977). "Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y Cuaternario de la cuenca del río Henares". Tesis Doctoral. 3 tomos. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.

WALTON, W.C. (1.970). "Ground resource evaluation salt". Mc Graw-Hill (New York).

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS EN EL TEXTO

CAPITULO - 1

- Fig. 1-1.- Situación geográfica de la zona de estudio.
- Fig. 1-2.- Organigrama de la metodología utilizada.
- Fig. 1-3.- Localización de la cuenca del río Tajuña en el contexto geológico "Litofacies de la fosa de Madrid", según Oriol Riba (1.957).

CAPITULO - 2

- Fig. 2-1.- Sondeo de Tiernes.
- Fig. 2-2.- Serie tipo de los afloramientos.
- Fig. 2-3.- Modelo del medio sedimentario.
- Fig. 2-4.- Canal estructural del Tajuña.
- Fig. 2-5.- Perfil longitudinal del río Tajuña.
- Fig. 2-6.- Imagen espacial del Páramo de la Alcarria.
- Fig. 2-7.- Esquema morfométrico de la red de drenaje de la cuenca del río Tajuña.
- Tabla 2-8.- Resumen de las características geométricas de los acuíferos identificados.
- Fig. 2-9.- Serie sinóptica de la Región de los Páramos.

CAPITULO - 3

- Fig. 3-1.- Situación de las estaciones meteorológicas.

- Tabla 3-2 .- Características de las estaciones meteorológicas.
- Tabla 3-3 .- Temperaturas medias anuales.
- Tabla 3-4 .- Precipitaciones medias anuales.
- Fig. 3-5 .- Mapa de isoyetas medias de la cuenca del río Tajuña.
- Tabla 3-6 .- Evapotranspiración potencial (Thornthwaite).
- Fig. 3-7 .- Mapa de ETP de la cuenca del río Tajuña.
- Tabla 3-8 .- Capacidad de retención según cultivo y terreno.
- Tabla 3-9 .- Evapotranspiración real calculada a partir de la ETP (Thornthwaite).
- Fig. 3-10.- Situación de las estaciones de aforos sobre el cauce del río Tajuña.
- Tabla 3-11.- Aportaciones medias mensuales de la estación n° 80, Masegoso.
- Tabla 3-12.- Aportaciones medias mensuales de la estación n° 82, Orusco.
- Tabla 3-13.- Valores de la escorrentía básica en  $m^3/seg.$  de la estación de aforos n° 80, Masegoso.
- Tabla 3-14.- Valores de la escorrentía básica en  $m^3/seg.$  de la estación de aforos n° 82, Orusco.
- Fig. 3-15.- Coeficientes de agotamiento  $\alpha = d/a^{-1}$  en la estación de aforos n° 82, Orusco.
- Fig. 3-16.- Resultados de los análisis químicos correspondientes al acuífero de las calizas de la Formación de los Páramos (meq/l).
- Fig. 3-17.- Esquema de subdivisión en Unidades Hidrogeológicas. Característica Hidroquímica.

- Fig. 3-18.- Diagrama de Piper-Hill-Langelier.
- Fig. 3-19.- Aumento de los sulfatos con la profundidad en el sistema acuífero.
- Fig. 3-20.- Estudio de viabilidad técnico-económica del Plan de Riegos del río Tajuña.

#### CAPITULO - 4

- Figs. 4-1  
a 4-8 .- Ensayos de bombeo en la cuenca del Tajuña.
- Tablas 4-9  
y 4-10.- Caudales específicos y otras características hidráulicas de las captaciones.
- Fig. 4-11.- Distribución de frecuencias de los caudales específicos de 26 sondeos y pozos en la Formación de los Páramos.

#### CAPITULO - 5

- Fig. 5-1 .- Hidrodinámica y elementos del balance hídrico en una cuenca.
- Fig. 5-2 .- Modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero (facies química).
- Fig. 5-3 .- Distribución espacial de unas captaciones con datos hidráulicos.
- Fig. 5-4 .- Curvas características de tres pozos en la Urbanización Valdeláguila, ubicados sobre la superficie de la Formación de los Páramos.

## 266

Fig. 5-5 .- Criterios de prospección de la superficie de las calizas de la Formación de los Páramos.

Fig. 5-6 .- Evolución de la superficie piezométrica.

CAPITULO - 6

Tabla 6-1 .- Resumen de los valores obtenidos de reservas y recursos de los acuíferos principales en la cuenca del río Tajuña.

Fig. 6-2 .- Clasificación del agua para uso doméstico (Norma Española, 1.968). Cuenca media del Tajuña.

Fig. 6-3 .- Clasificación del agua para uso doméstico (Norma Española, 1.968). Cuenca baja del Tajuña.

Tabla 6-4 .- Resultados de análisis químicos de muestras de agua en mg/l. en la cuenca del Tajuña.

Fig. 6-5 .- Diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff.

Fig. 6-6 .- Diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff en la zona noreste de Guadalajara.

Fig. 6-7 .- Diagrama de Riverside. Clasificación de las aguas destinadas para usos agrícolas del acuífero calcáreo.

Fig. 6-8 .- Diagrama de Riverside del acuífero aluvial.

Tabla 6-9 .- Clasificación de las muestras para la agricultura según el diagrama de Riverside.

Fig. 6-10.- Unidades hidrogeológicas de la cuenca del río Tajuña.

Tabla 6-11.- Tabla de los valores de iones de las diversas unidades hidrogeológicas.

Tabla 6-12.- Relación de la capacidad de embalse con el volumen regado según varias hipótesis de regulación.

Fig. 6-13.- Distribución interanual de las capacidades de embalse. Hipótesis de mejora de los regadíos actuales.

## 268

INDICE DE GRANDES PLANOS

- Plano 1. Mapa litoestratigráfico y estructural.  
E. 1:100.000.
- Plano 2. Mapa de inventario de puntos de agua.  
E. 1:100.000.
- Plano 3. Mapa de isopiezas. E. 1:100.000.
- Plano 4. Perfiles hidrogeológicos.
- Plano 5. Mapa de la distribución del contenido en  
 $\text{Ca}^{++}$  +  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$ .
- Plano 6. Mapa de la distribución de valores de la dure-  
za ( $^{\circ}\text{F}$ ) y el contenido en sólidos disueltos.
- Plano 7. Mapa de la distribución del contenido en  $\text{SO}_4^-$   
y  $\text{Cl}^-$  (isócoras de  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Cl}^-$ ).
- Plano 8. Mapa de caudales específicos.

(Dado el gran formato de estos planos no ha sido posible incluirlos en esta publicación. Pueden consultarse en el Tomo II. Grandes planos y anexos en la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Geológicas.)

INDICE DE APENDICES

- Apéndice 1. Columnas litológicas.
- Apéndice 2. Inventario de puntos de agua.
- Apéndice 3. Resumen de análisis químicos.
- Apéndice 4. Perfiles hidrogeológicos de los pozos.
- Apéndice 5. Ensayos de bombeo.
- Apéndice 6. Series estratigráficas.
- Apéndice 7. Hidrogramas anuales de las estaciones de aforos.

(Debido al gran volumen de estos Apéndice no se incluyen en esta publicación, pero pueden consultarse en el Tomo II , en la biblioteca de la Facultad de Ciencias Geológicas.)

INDICE DETALLADO

AGRADECIMIENTOS

INDICE DE CAPITULOS

1.- INTRODUCCION

- 1.1.- SITUACION Y EXTENSION.
- 1.2.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA.
- 1.3.- ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS.
  - 1.3.1.- Los primeros conocimientos.
  - 1.3.2.- Los modernos conocimientos.

2.- GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS DE LA REGION

- 2.1.- LITOSTRATIGRAFIA.
  - 2.1.1.- Unidad Ibérica.
    - 2.1.1.1.- Jurásico.
    - 2.1.1.2.- Cretácico.
    - 2.1.1.3.- Terciario.
    - 2.1.1.4.- Cuaternario.
  - 2.1.2.- Meseta o Región de la Alcarria.
    - 2.1.2.1.- Paleógeno.
    - 2.1.2.2.- Neógeno.
      - 2.1.2.2.1.- Formación Vallecas.
      - 2.1.2.2.2.- Formación Villarejo.
      - 2.1.2.2.3.- Formación de los Páramos.
        - 2.1.2.2.3.1.- Miembro basal detritico.
        - 2.1.2.2.3.2.- Calizas de los Páramos.
      - 2.1.2.2.4.- Formación Guadalajara.
      - 2.1.2.2.5.- Formación Badiel.

- 2.1.2.3.- Cuaternario.
  - 2.1.2.3.1.- Depósitos aluviales.
  - 2.1.2.3.2.- Depósitos coluviales.
  - 2.1.2.3.3.- Depósitos eluviales.
- 2.1.2.4.- a) Génesis de los depósitos terciarios.
  - b) El medio de abanico aluvial.

## 2.2.- ESTRUCTURAS.

- 2.2.1.- Estructuras de la Unidad Ibérica.
- 2.2.2.- Estructuras de la Meseta de la Alcarria.
  - 2.2.2.1.- Fases y ciclos orogénicos.
  - 2.2.2.2.- Deformaciones.
    - 2.2.2.2.1.- Deformaciones atectónicas.
    - 2.2.2.2.2.- Deformaciones tectónicas regionales.
    - 2.2.2.2.3.- Deformaciones tectónicas locales.
  - 2.2.2.3.- Fracturación.

## 2.3.- MORFOLOGIA DE LA REGION.

- 2.3.1.- Caracteres morfológicos generales de la cuenca del río Tajuña.
- 2.3.2.- Principales elementos morfológicos.
- 2.3.3.- Otros rasgos geomorfológicos.
- 2.3.4.- Análisis morfométrico del drenaje.

## 2.4.- SINTESIS DE LA GEOMETRIA.

## 3.- CARACTERISTICAS AMBIENTALES

### 3.1.- TEMPERATURA Y PRECIPITACION.

- 3.1.1.- Significación hidrológica.
- 3.1.2.- Temperatura.
- 3.1.3.- Precipitación.

- 3.2.- EVAPOTRANSPIRACION.
  - 3.2.1.- Evapotranspiración potencial (ETP).
  - 3.2.2.- Evapotranspiración real (ETR).
    - 3.2.2.1.- Determinación de la evapotranspiración real (ETR) a partir de la ETP.
    - 3.2.2.2.- Cálculo de la evapotranspiración real (ETR) por métodos empíricos.
- 3.3.- SISTEMAS DE DRENAJE.
  - 3.3.1.- Características de las estaciones de aforos.
  - 3.3.2.- Aportaciones naturales medias en las estaciones de aforos.
  - 3.3.3.- Evaluación de la escorrentía subterránea o básica.
  - 3.3.4.- Coefficientes de agotamiento.
  - 3.3.5.- Déficit de escorrentía y distribución de las escorrentías directa y básica entre las dos estaciones de aforos.
- 3.4.- AMBIENTE HIDROQUIMICO DE LOS ACUIFEROS.
  - 3.4.1.- Valoración de los datos de los análisis químicos.
    - 3.4.1.1.- Características hidroquímicas del acuífero calcáreo.
    - 3.4.1.2.- Características hidroquímicas de la Formación Vallecas.
    - 3.4.1.3.- Características hidroquímicas del acuífero aluvial.
  - 3.4.2.- Conclusiones generales.

3.5.- MODIFICACIONES ANTROPICAS.

3.5.1.- Consideraciones generales.

3.5.2.- Obras en ejecución en la cuenca del río  
Tajuña.

3.5.3.- Obras en proyecto.

3.5.4.- Posibles influencias de las zonas rega-  
das en el régimen de las aguas subterrá-  
neas.

3.5.5.- Interferencias antrópicas en las vegas  
fértiles.

4.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL SISTEMA ACUIFERO

4.1.- PARAMETROS HIDRAULICOS DEL ACUIFERO CALCAREO.

4.1.1.- La porosidad eficaz ( $m_o$ ).

4.1.2.- Transmisividad (T).

4.1.3.- La permeabilidad o conductividad hidráu-  
lica (K).

4.1.4.- Coeficiente de almacenamiento (S).

4.1.5.- Caudal específico (q).

4.2.- PARAMETROS HIDRAULICOS DE LA FORMACION YESIFERA.

4.3.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS DEPOSITOS  
ALUVIALES.

4.3.1.- Estimación del valor de los parámetros  
y su distribución.

4.4.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ACUIFERO CRETACICO.

4.4.1.- Parámetros hidráulicos del acuífero del  
Cretácico.

5.- HIDRODINAMICA Y BALANCE HIDRICO

5.1.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DEL ACUIFERO CALCAREO.

- 5.1.1.- Características del funcionamiento hidrodinámico.
- 5.1.2.- Relaciones entre Geomorfología y Aguas Subterráneas.
- 5.1.3.- Profundidad de las aguas subterráneas.
- 5.2.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LA FORMACION YESIFERA.
- 5.3.- FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO DE LOS DEPOSITOS ALUVIALES.
- 5.4.- FUNCIONAMIENTO CONJUNTO DEL SISTEMA.
- 5.5.- BALANCE HIDRICO DEL SISTEMA.
- 6.- RECURSOS HIDROGEOLOGICOS Y USOS DEL AGUA
  - 6.1.- RESERVAS Y RECURSOS DEL SISTEMA.
    - 6.1.1.- Reservas y recursos del acuífero calcáreo.
    - 6.1.2.- Reservas y recursos del acuífero aluvial.
    - 6.1.3.- Reservas y recursos del acuífero del Cretácico.
    - 6.1.4.- Tiempo de residencia media del agua en los acuíferos.
  - 6.2.- CALIDAD DEL AGUA DE LOS DIVERSOS ACUIFEROS.
    - 6.2.1.- Utilización para consumo doméstico.
    - 6.2.2.- Calidad de las aguas para usos agrícolas.
    - 6.2.3.- Contaminación de los acuíferos.
  - 6.3.- USO POTENCIAL DE LOS RECURSOS:
    - 6.3.1.- Disponibilidad del agua en la cuenca del Tajúfa.
    - 6.3.2.- Aprovechamiento actual de las aguas superficiales.
    - 6.3.3.- Planes de regulación en fase de ejecución.
    - 6.3.4.- Aprovechamiento de las aguas subterráneas.

7.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 1.- ANTECEDENTES Y METODOLOGIA.
- 2.- CONCLUSIONES LITOSTRATIGRAFICAS.
- 3.- CARACTERISTICAS AMBIENTALES.
- 4.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL SISTEMA ACUIFERO.
- 5.- HIDRODINAMICA Y BALANCE HIDRICO.
- 6.- RECURSOS HIDROGEOLOGICOS Y USOS DEL AGUA.

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS EN EL TEXTO

INDICE DE GRANDES PLANOS

INDICE DE APENDICES

INDICE DETALLADO

