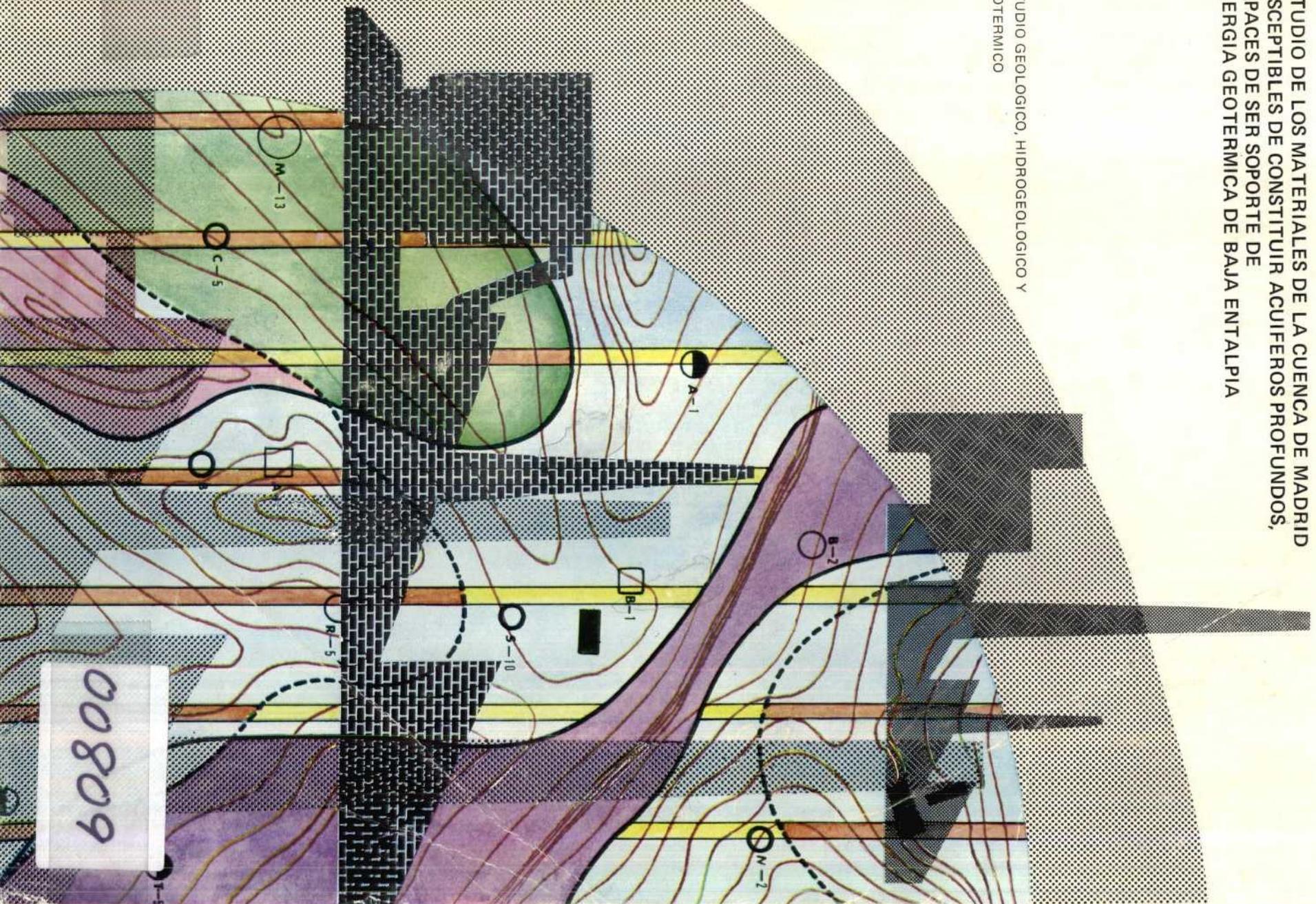


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
DIRECCION GENERAL DE MINAS
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

PLAN NACIONAL DE LA MINERIA
PLAN NACIONAL DE INVESTIGACIONES
GEOLOGICO-MINERA DE
RECURSOS ENERGETICOS

ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE LA CUENCA DE MADRID
SUSCEPTIBLES DE CONSTITUIR ACUIFEROS PROFUNDOS,
CAPACES DE SER SOPORTE DE
ENERGIA GEOTERMICA DE BAJA ENTALPIA

TOMO I ESTUDIO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y
GEOTERMICO



00809

TOMO I.

***ESTUDIO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y
GEOTERMICO***

ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE LA CUENCA DE
MADRID SUCEPTIBLES DE CONSTITUIR ACUIPEROS
PROFUNDOS, CAPACES DE SER SOPORTE DE ENER-
GIA GEOTERMICA DE BAJA ENTALPIA

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Madrid, Diciembre de 1979

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos del proyecto	3
1.2. Area de estudio	4
2. GEOLOGIA GENERAL DE LA CUENCA DE MADRID	5
2.1. Introduucción	6
2.2. Estratigrafia	7
2.2.1. Granitos	8
2.2.2. Rocas metamórficas	9
2.2.3. Carbonífero	10
2.2.4. Cretácico	10
2.2.5. Paleógeno	11
2.2.6. Mioceno	12
2.2.7. Pliocuaternario	17
2.2.8. Cuaternario	17
2.3. Tectónica	18
2.4. Naturaleza del zócalo	20
3. HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA DE MADRID	28
3.1. Climatología	29
3.2. Hidrología superficial	42
3.3. Hidrología subterránea	43
3.3.1. Geometría de los acuíferos	43
3.3.2. Parámetros hidráulicos	46
3.4. Funcionamiento hidráulico	48
4. DESCRIPCION DEL BORDE CRETACICO	53
4.1. Introduucción	54
4.2. Estratigrafía	55
4.2.1. Facies "Utrillas"	55

	<u>Pág.</u>
4.2.2. Cretácico superior	57
4.3. Disposición estructural	62
4.3.1. Macizo de San Pedro	62
4.3.2. Fosa tectónica de Guadalix-Redueña ..	63
4.3.3. Depresión de Torrelaguna	64
4.3.4. Zona de Tamajón	64
4.4. El proceso de carstificación	64
4.4.1. Génesis, Desarrollo y evolución del - carst	65
4.5. Paleogeografía del cretácico	68
5. HIDROGEOLOGIA DEL CRETACICO	74
5.1. Climatología	75
5.2. Geometría de los acuíferos	76
5.3. Características de los acuíferos	77
5.3.1. Facies "Utrillas"	77
5.3.2. Cretácico superior	78
5.3.3. Oligoceno	81
5.4. Parámetros hidrogeológicos	82
5.4.1. Facies "Utrillas"	82
5.4.2. Cretácico superior	82
5.4.3. Oligoceno	83
5.5. Funcionamiento hidráulico	83
6. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	84
7. HIDROQUIMICA	90
7.1. Introducción	91
7.2. Cretácico inferiores (Facies "Utrillas")	92
7.3. Cretácico superior	92
7.4. Oligoceno	93
7.5. Mioceno	93

	<u>Pág.</u>
8. ANALISIS ISOTOPICOS	98
8.1. Introducción	99
8.2. Tritio	99
8.3. Isótopos estables	102
9. TERMOMETRIA HIDROQUIMICA	106
9.1. Introducción	107
9.2. Métodos de geotermómetros hidroquímicos	109
9.3. Resultados	110
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
10.1. Conclusiones	115
10.2. Recomendaciones	119
11. BIBLIOGRAFIA	121

1. INTRODUCCION

La crisis energética y económica desencadenada por la crisis del petróleo en otoño de 1973 a escala mundial, ha obligado a reconsiderar las políticas de consumo y aprovechamiento de los recursos naturales.

Actualmente, en muchas regiones del mundo, el consumo de materias primas tan preciadas y costosas como el petróleo y el carbón equivalen a un escandaloso despilfarro. La presente crisis ha hecho a los responsables de las políticas energéticas fijarse en regiones naturales capaces de proporcionar fuentes de energía de fácil explotación, cuales son la energía geotérmica y la energía solar, recursos que comienzan a ser investigados y aprovechados a ritmo acelerado.

Bien es verdad que la capacidad de energía geotérmica no es igual, ni existe en todas las regiones del mundo. Ciertas circunstancias geológicas permiten, a veces, contar con la posibilidad de grandes temperaturas en profundidad: yacimientos geotérmicos de agua caliente o vapor a más de 200° C, que posibilitan no sólo la instalación de centrales eléctricas, sino también el aprovechamiento de la energía geotérmica en "cascada", para fines diversos, conforme se va degradando el valor de la temperatura.

Pero aparte de estos casos excepcionales, existen muchas otras regiones naturales, con circunstancias hidrogeológicas propicias, que permiten obtener, a profundidades del orden de 1.500 a 2.000 m, agua caliente a temperaturas comprendidas entre 70° C y 100° C.

Además de ser más abundante este último tipo de yacimientos geotérmicos de baja entalpía, su localización es más sencilla y segura, basta la existencia de un acuífero o de una roca almacén capaz de contener el agua a estas profundidades.

Entre las cuencas terciarias con posibilidades concretas de obtención de agua caliente subterránea para calefacción urbana, está la Cuenca Terciaria de Madrid.

La investigación de posibles campos de energía geotérmica de baja entalpía, en el dominio de la cuenca de Madrid, queda plenamente justificada por el ahorro energético que puede suponer para el erario nacional, y especialmente, por la no dependencia de fuentes exteriores de suministro.

Asimismo la existencia de importantes núcleos urbanos en esta cuenca, que pueden ser los consumidores inmediatos de esta energía. Estos núcleos, aparte de la gran aglomeración urbana de Madrid capital, serían Guadalajara, Alcalá de Henares, la futura ciudad de Tres Cantos y el área de Brunete, así como los núcleos de población adyacentes.

1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los materiales de mayor interés capaces de ser soporte de energía geotérmica de baja entalpía, son las calizo-dolomías del Cretácico Superior y las arenas del Cretácico Inferior de Facies Utrillas.

La existencia de este almacén Cretácico capaz de contener agua caliente en profundidad, es presumible, por la lógica distribución paleogeográfica, confirmada por el sondeo petrolífero de Tielmes.

También toda la prospección sísmica desarrollada en el área de estudio parece confirmar la existencia de unidades -cretácicas en profundidad.

El presente trabajo ha sido realizado por el IGME, en colaboración con la empresa IBERICA DE ESPECIALIDADES GEOTECNICAS, S.A. (IBERGESA).

Los análisis hidroquímicos fueron ejecutados por el CENTRO DE ANALISIS DE AGUAS, S.A. de Murcia.

Los isotópicos por el GABINETE DE APLICACIONES NUCLEARES A LAS OBRAS PUBLICAS de Madrid.

1.2. AREA DE ESTUDIO

La zona considerada abarca la Cuenca de Madrid, la cual se ubica en el dominio de la Cuenca del Tajo. Tiene como límites N y NO el borde S del Sistema Central, entre Brunete y Tamajón, por el E el meridiano que pasa por Marchamalo y por el S la línea definida por las poblaciones de Navalcarnero, San Martín de la Vega y Tielmes, siendo la superficie abarcada -aproximadamente de 10.000 km².

Topográficamente la zona se encuentra comprendida en el dominio de las Hojas del Mapa Topográfico Nacional escala 1:50.000 números 484 (Buitrago de Lozoya), 485 (Valdepeñas de la Sierra), 509 (Torrelaguna), 510 (Marchamalo), 533 (San Lorenzo del Escorial), 534 (Colmenar), 535 (Algete), 558 (Villaviciosa de Odón), 559 (Madrid), 560 (Alcalá de Henares), 581 (Navalcarnero), 582 (Getafe) y 583 (Arganda).

Hidrográficamente comprende las cuencas de los Henares, Jarama, Manzanares y Guadarrama.

2. GEOLOGIA GENERAL DE LA CUENCA DE MADRID

2.1. INTRODUCCION

Dos unidades fundamentales se distinguen en la zona estudiada, muy diferentes una de otra, tanto por sus características estratigráficas, como por su comportamiento tectónico: El zócalo y la cobertera sedimentaria.

En la zona de estudio el zócalo constituye el borde S de la Sierra de Guadarrama y Somosierra, pertenecientes a la Cordillera Central Española.

El zócalo constituye una parte de la Meseta española, que fué definida por L. SOLE SABARIS, desde el punto de vista estructural y morfológico como "Una altiplanicie constituida por una unidad tectónica de naturaleza compleja, formada por un zócalo antiguo, plegado y arrasado, que en el transcurso de los plegamientos posteriores ha obrado como un bloque rígido, contra el cual se han plegado los sedimentos depositados en sus mares periféricos".

Este zócalo antiguo está formado, en la zona que nos ocupa, por materiales hercínicos plegados y metamorfizados (pizarras con cuarcitas, neises y micacitas) y macizos graníticos intrusivos.

Los plegamientos póstumos alpinos resquebrajaron este bloque rígido, originándose macizos elevados y fosas tectónicas (p.e. fosa tectónica de Lozoya) que rápidamente se colmaron de sedimentos, acentuándose su hundimiento.

La intensa fracturación del zócalo, que afectó a los materiales suprayacentes, explica la gran potencia que pueden alcanzar los materiales neógenos.

La cobertera sedimentaria se puede subdividir en dos unidades: la orla marginal cretácico-paleógena plegada y la cobertera neógena (Mioceno y Plioceno) subhorizontal.

La orla marginal Cretácico-Paleógena constituye una franja adosada al zócalo paleozoico, orientada en dirección SO-NE. Sus sedimentos cretácicos se adelgazan hacia el SO, hasta llegar a desaparecer a la altura del meridiano de Segovia.

La cobertera neógena discordante se reduce al pie de los relieves importantes a una facies detrítica marginal, pasando al interior de la cuenca a margas, arcillas y yesos Vinobonienses y a las calizas Pontienses de los páramos.

2.2. ESTRATIGRAFIA

Se describen en este apartado las unidades o conjuntos estratigráficos presentes en el área de estudio. Estas unidades han sido diferenciadas fundamentalmente desde el punto de vista hidrogeológico, y están basadas esencialmente en las tesis de CORCHON, F. (1974), LOPEZ VERA, F. (1975), MARTINEZ ALFARO, P.E. (1977) y VILLARROYA GIL, F. (1977).

La descripción de los materiales Cretácico-Oligocenos se desarrollará más ampliamente en el apartado 4, que tratará con detenimiento del estudio de estas formaciones.

2.2.1. GRANITOS

Se pueden diferenciar cuatro afloramientos graníticos:

- Macizo de La Cabrera
- Macizo de Navalafuente
- Macizo de Colmenar Viejo
- Afloramiento de El Molar

El macizo de La Cabrera es discordante con las direcciones de las rocas metamórficas encajantes, y desde el punto de vista petrológico son bastante homogéneas (granitos, granodioritas y adamellitas) y dada la dificultad existente para diferenciarlas directamente en el campo, se las ha denominado bajo el término general de "granitos".

El tamaño del grano varía de grueso a medio, pero en ciertas zonas centrales del macizo y en sus bordes existe una zona de transición de granitos de grano fino con una cierta estructura metamórfica que en conjunto coincide con la del neís encajante.

Estos "granitos neísicos de borde" parecen demostrar que el granito es posterior a la fase de metamorfismo regional que ha originado los neises.

El macizo de Navalafuente también presenta en su flanco N una banda de transición a la facies de contacto del borde del granito de La Cabrera. Aparecen frecuentes contactos tectónicos con el neís y petrográficamente es análogo al anterior, aunque carece de rocas filonianas.

El macizo de Colmenar Viejo, integrante de la denominada Pedriza del Manzanares, está separado de las rocas metamórficas del cerro de San Pedro por una serie de fracturas rellenas de rocas filonianas.

El granito de este macizo es de tipo porfídico y aplítico. Los afloramientos del primer tipo son fácilmente deleznable y originan por meteorización depósitos de arenas silíceas bastas.

El afloramiento de El Molar, está representado por granitos, granodioritas y adamellititas.

La edad de estos granitos debe ser hercínica, pero posterior al plegamiento y metamorfismo de los materiales paleozoicos circundantes, ya que el contacto granito-neis es discordante.

2.2.2. ROCAS METAMORFICAS

Aparecen rodeando a los macizos graníticos de La Cabrera, Navalafuente y Colmenar Viejo y formando el núcleo del gran anticlinal cretácico del Macizo de San Pedro.

Forma este conjunto metamórfico una serie que varía desde pizarras con bajo metamorfismo, hasta neises y cornubianitas en el contacto con los macizos graníticos anteriormente descritos.

Las pizarras están fuertemente replegadas y son más o menos arcillosas y silíceas, con locales intercalaciones de cuarcitas. Estas tienen abundantes ejemplares de crucianas y permiten datarlas como Ordovícicas. En las pizarras es frecuente la presencia de pirita.

Hacia el E desaparecen las cuarcitas, y las pizarras adquieren un carácter más arcilloso. Estas fueron datadas por DE LA CONCHA (1962), como pertenecientes al Silúrico Superior, debido a su posición estratigráfica y analogía con otras de la misma zona y que fueron datadas paleontológicamente.

Las micacitas presentan una intensa foliación y abundantes micas. Se ubican al NO de Torrelaguna, según una banda bien definida en contacto con las pizarras y neises en sus bordes E y O, respectivamente. También aparecen en algunas partes del macizo de San Pedro en contacto anormal con los neises. Indican un metamorfismo intermedio entre el de los neises y el de las pizarras.

Los neises son de diversos tipos con intercalaciones de rocas carbonatadas y silicatos cálcicos, lo que prueba su ori

gen sedimentario. Indican unas condiciones de metamorfismo regional muy intenso.

Respecto al origen litológico de estas formaciones metamórficas, según FUSTER, J.M. y otros (1958), su naturaleza actual se debe exclusivamente a diferencias en la intensidad del metamorfismo y, por tanto, las pizarras, micacitas y neises se han formado simultáneamente y probablemente a partir de materiales muy análogos, de tipo arcilloso, con intercalaciones de niveles más detríticos.

La orogenia hercínica plegó estos sedimentos arcillosos, los cuales sufrieron un intenso metamorfismo y una posterior granitización. De esta forma, las series arcillosas fueron transformándose en pizarras, micacitas y neises, e invadidas por granitos en sus zonas más profundas.

2.2.3. CARBONIFERO

Está representado por una serie de retazos que aparecen en los términos de Tortuero, Valdesotos, Retiendas y Tamajón. Formado principalmente por conglomerados, areniscas y pizarras en bancos delgados, discordantes con las pizarras silúricas y en apariencia concordantes con los materiales cretácicos. Por la flora encontrada se le ha datado como Estefaniense.

2.2.4. CRETACICO

Aflora según una franja reducida (de 500 a 2.500 m de anchura) adosada al borde S de las Sierras de Guadarrama y Somosierra, sirviendo de tránsito entre las series metamórficas y los materiales terciarios. Constituye en profundidad el zócalo de las series continentales premiocenas apoyándose a su vez, discordantemente, sobre el zócalo paleozoico metamorfizado.

La dirección predominante SO-NE de los pliegues cretácicos es debida, probablemente, a la influencia de los movimientos ascensionales del macizo de San Pedro y de las Sierras de Guadarrama y Somosierra.

Los afloramientos cretácicos se distribuyen cubriendo áreas deprimidas y por esta causa han sido respetados por la erosión. Son, por tanto, testigos residuales de la extensa covertera que debió cubrir a la mayor parte de la Sierra a partir de la transgresión Cenomanense.

La descripción detallada del Cretácico se hará en el apartado 4 de esta memoria.

2.2.5. PALEOGENO

Se incluye dentro del Paleógeno un Oligoceno y un posible Eoceno-Paleoceno, además de los niveles continentales del Cretácico Superior.

Según CORCHON, F. (1976) se distingue una formación a la que denomina "Guadalix-Redueña", que está constituida por dos miembros: uno inferior integrado por margas, arcillas y yesos coronada por bancos de conglomerados, calizas tobáceas lacustres y margas, de edad Cretácico Superior (posible paleoceno-eoceno y oligoceno), y una serie superior constituida por bancos de conglomerados separados por intercalaciones de areniscas y arcillas de edad probablemente oligocena.

Ambas unidades aparecen bastante completas y desarrolladas en la fosa tectónica de Guadalix de la Sierra-Redueña.

Se han plegado conjuntamente con los materiales cretácicos infrayacentes estando, por tanto, concordantes con ellos. La sedimentación de estos materiales parece ser continua, como se observa en la zona del Pontón de la Oliva.

El Paleógeno será descrito más exhaustivamente en el apartado "Descripción del borde Cretácico".

2.2.6. MIOCENO

Constituyen los materiales de esta edad el relleno de la Fosa del Tajo. Dentro de éstos, RIBA, O. (1957), había distinguido una serie de unidades basándose en su espectro mineralógico, a las que denominó: facies Madrid, Guadalajara, etc. Más recientemente, LOPEZ VERA, F. (1975) modifica esta clasificación litoestratigráfica, basándose en el estudio de una serie de columnas litológicas de sondeos. Distingue por lo tanto tres facies:

- Facies detrítica o de borde de cuenca, que comprende a las facies Madrid y Guadalajara de RIBA.
- Facies intermedia o de transición.
- Facies química o central.

Facies detrítica o de borde

Está formada por depósitos de borde de cuenca como conglomerados, arenas y arcillas que se apoyan sobre la cobertura sedimentaria del borde y el basamento aflorante en la Sierra, según una discordancia progresiva. Se extiende orlando las Sierras de Guadarrama y Somosierra, hasta indentarse con los materiales químicos del centro de la cuenca.

Estos depósitos son masivos, observándose localmente contactos erosivos, canales rellenos de gravas; a veces estratificación y laminación cruzada y gradual, siendo la distribución de los distintos componentes: gravas, arenas, limos y arcillas, muy compleja.

Del estudio de las columnas de sondeos se deduce por lo general, un aumento del contenido de arcilla en profundidad, por lo que se distinguen dos unidades: La Superior o Formación Madrid y Guadalajara, e Inferior o Formación Tosco y Alcalá.

2.2.6. MIOCENO

Constituyen los materiales de esta edad el relleno de la Fosa del Tajo. Dentro de éstos, RIBA, O. (1957), había distinguido una serie de unidades basándose en su espectro mineralógico, a las que denominó: facies Madrid, Guadalajara, etc. Más recientemente, LOPEZ VERA, F. (1975) modifica esta clasificación litoestratigráfica, basándose en el estudio de una serie de columnas litológicas de sondeos. Distingue por lo tanto tres facies:

- Facies detrítica o de borde de cuenca, que comprende a las facies Madrid y Guadalajara de RIBA.
- Facies intermedia o de transición.
- Facies química o central.

Facies detrítica o de borde

Está formada por depósitos de borde de cuenca como conglomerados, arenas y arcillas que se apoyan sobre la cobertura sedimentaria del borde y el basamento aflorante en la Sierra, según una discordancia progresiva. Se extiende orlando las Sierras de Guadarrama y Somosierra, hasta indentarse con los materiales químicos del centro de la cuenca.

Estos depósitos son masivos, observándose localmente contactos erosivos, canales rellenos de gravas; a veces estratificación y laminación cruzada y gradual, siendo la distribución de los distintos componentes: gravas, arenas, limos y arcillas, muy compleja.

Del estudio de las columnas de sondeos se deduce por lo general, un aumento del contenido de arcilla en profundidad, por lo que se distinguen dos unidades: La Superior o Formación Madrid y Guadalajara, e Inferior o Formación Tosco y Alcalá.

La Formación Madrid presenta dos unidades, una correspondiente a la subfacies proximal del abanico fluvial y que está constituida por grandes bloques en los que no se observa ninguna selección. La otra está constituida por arenas arcóscas de colores amarillentos y constituye un paso lateral de la anterior. Los canteros la denominan "arena de miga" y está formada predominantemente por cuarzo y feldespatos, con un tamaño de grano frecuentemente superior a los 2 mm, heredado de los granitos, de donde proceden; suele tener una matriz arcillosa en proporción variable. Engloba a veces conglomerados de cantos de granito, neis, aplitas y cuarzo, cuyo tamaño decrece según el alejamiento de la Sierra; en el propio casco urbano de Madrid se puede ver tamaños de cantos del orden de 15 a 20 cm. Dentro de las arenas también se observan niveles extensos de arcillas limosas y arenosas que pueden llegar a tener varios metros de espesor (de 2 a 8 m).

El muro de esta formación es muy arbitrario, y en la margen derecha del río Jarama, LOPEZ VERA lo sitúa a una cota de unos 620-630 m. En el Pardo la potencia es de unos 100-150 m. Hacia el S se acuña sobre la Formación Tosco, presentando entonces potencias de sólo algunos metros.

La Formación Tosco es infrayacente a la de Madrid, siendo el tránsito de una a la otra de forma gradual. Es predominantemente arcillosa, con niveles más arenosos intercalados, que raramente superan los 3 ó 4 m de potencia.

La elección del nombre de esta formación se ha basado en que el término litológico predominante son las arcillas arenosas, y que los canteros y constructores locales la denominan "Tosco".

La Formación Guadalajara presenta las mismas características distintivas que la facies del mismo nombre, descrita por RIBA, O. (1956). Su muro, lo establece LOPEZ VERA, a la cota 660 m en la margen izquierda del río Jarama, y denomina a la unidad infrayacente como Formación Alcalá.

Litológicamente se compone de arcosas feldespáticas con cantos de cuarcita, cuarzo y pizarra principalmente y arenas

arcillosas con cantos dispersos de la misma litología. Predominan los tonos rojizos para las arenas arcillosas, y los tonos ~~claro-verdosos~~ para las arcosas feldespáticas. Intercaladas en esta matriz arcósica, aparecen paleocanales de hasta 2 m de espesor, rellenos de gravas y conglomerados de clastos de cuarcita, pizarra y esquistos.

Esta formación se extiende hacia el E a partir de la margen izquierda del río Jarama. El contacto entre las Formaciones Madrid y Guadalajara es también arbitrario, por ser gradual el tránsito de la uno a la otra.

La Formación Alcalá coincide en parte con lo que CAPOTE y CARRO (1968) llaman facies Alcalá. Como se ha dicho anteriormente, es infrayacente a la de Guadalajara y se trata de arcillas arenosas, limos arcillosos, arcillas margosas, arenas arcillosas, de tonos marrón a rojo ladrillo. Hacia el NE, siguiendo la margen izquierda del río Henares, se va haciendo más arenosa-micácea.

Facies intermedia o de transición

Esta facies está constituida por los materiales que presentan caracteres mixtos entre los de las facies de borde y la central. Los materiales que los componen son detríticos, de textura fina, fracción arcilla principalmente, que coexisten con materiales de precipitación química, calizas y yesos y de neoformación, como sílex, sepiolita, etc. También existe digitaciones de materiales más groseros provenientes de las Formaciones Madrid y Guadalajara.

LOPEZ VERA distingue en esta facies dos formaciones: Anchuelo y Pefuela.

La Formación Anchuelo constituye el tránsito de las Tosco y Alcalá a la de Vallecas de la facies central. Los mejores afloramientos se desarrollan en el valle del arroyo Anchuelo y en los escarpes del río Henares. Los materiales están constituidos por unas arcillas rojas oscuras de 0,15 a 1 m de espesor, alternando con otras de espesor semejante, formadas

por margas de color verde oliva. Hacia el O, en la margen derecha del Jarama, cambia la composición litológica de esta formación que está constituida por arcillas rojas, niveles margosos más reducidos, destacando la presencia de arenas finas y arcillas biotíticas y un nivel muy continuo, que se sigue desde Madrid hasta la zona de Parla, de arcillas negras orgánicas que pueden alcanzar desde unos decímetros a varios metros de espesor. Este horizonte-guía marca el contacto con las margas yesíferas y yesos de la Formación Vallecas.

La Formación Peñuela es estratigráficamente superior a la anterior. Buenos afloramientos de ella se pueden observar en los alrededores de Paracuellos y en la margen derecha del Jarama, está compuesta por arenas y margas verdes, margas calcáreas, calizas con nódulos de sflex y sepiolita de tonos blanquinos.

Esta formación según LOPEZ VERA es expansiva, y penetra en la facies detrítica, dentro de la cual aparece englobada a veces. El nombre de esta unidad se debe a que las margas que la integran, presentan en seco una gran dureza, recibiendo popularmente el nombre de "Peñuela". Estas margas contienen los principales yacimientos de fósiles descritos por HERNANDEZ PACHECO, ROYO GOMEZ y CRUSAFONT PAIRO, y que han servido para datarlas como Vindoboniense.

La potencia de la Formación Peñuela en Paracuellos es de unos 35 m.

Facies central o química

Insensiblemente, los depósitos de la facies de transición se van cargando de materiales químicos, principalmente evaporitas, margas yesíferas y calizas margosas, formando la facies química o central. El medio lacustre es poco profundo y contiene esporádicos aportes detríticos.

Dentro de esta facies se pueden diferenciar tres formaciones:

- Formación Vallecas
- Formación Villarejo
- Formación Páramos

La Formación Vallecas está formada petrológicamente por yesos, en bancos o finamente estratificados, de color gris verdoso. Se encuentran en superficie carstificados, mostrando frecuentes secciones de dolinas y simas rellenas de bloques o bolos de yesos cubiertas de una capa de limos yesíferos.

A partir de la confluencia del río Henares con el Jarama forman los escarpes del valle de este último río. Coincide esta unidad con la denominada por ALIA, M (1973) "serie gris".

Dentro de esta formación, aunque predominan los yesos, que en profundidad pasan a anhidrita, existen también niveles carbonatados, margas y sales solubles, como se ha comprobado en el sondeo de Tielmes.

Esta unidad se extiende por debajo de las anteriormente citadas y los mayores espesores conocidos se encuentran en Tielmes.

La Formación Villarejo es la prolongación hacia el centro de la cuenca de la Formación Peñuela. Destaca por su tonalidad blanquecina que le viene impuesta por la presencia de margas y calizas margosas blancas. Estas margas ocasionalmente engloban yesos especulares. Intercalado en las calizas y muy localmente, hay sílex y sepiolita. Consta de dos miembros, uno inferior margo-yesífero con pequeñas intercalaciones calcáreas, y otro superior, de calizas masivas muy semejantes a las del Páramo. La presencia de yeso en el miembro inferior es particularmente significativa en el S de la Cuenca del Henares. La potencia media de la Formación Villarejo es del orden de 70 m.

La Formación Páramos salvo indentaciones detríticas, que son muy características en las cercanías de la Sierra de Altomira, consta casi exclusivamente de calizas tobáceas, lacustres y compactas que a veces presentan una buena carstificación, con presencia de dolinas y arcillas de decalcificación

en superficie. Intercaladas con ellas aparecen delgadas capas de margas y calizas margosas blanquecinas.

La base de las calizas de los páramos es una unidad que consta de conglomerados calcáreos con cantos de cuarcita y cuarzo preferentemente, arenas, areniscas y limos, de potencia variable desde escasos metros, hasta los 25-30 m.

La potencia media máxima de la unidad Páramos, excluida la base detrítica, es de unos 30 m.

2.2.7. PLIOCUATERNARIO

Esta unidad se encuentra muy desarrollada entre los ríos Jarama y Henares, no encontrándose fuera de esta zona, y corona a la Formación Guadalajara.

Morfológicamente ocupa una altiplanicie digitada en forma palmeada, con una pendiente regional del orden del 6-7‰. La superficie de la raña está cortada por numerosos barrancos y pequeños valles que rompen su continuidad. Baja desde la cota 970 m, en el N, hasta los 795 m, en donde es difícil de separarla de las terrazas altas.

Tiene un espesor de 3-5 m de gravas con matriz arcillo-arenosa de color rojizo y los cantos son fundamentalmente de cuarcita.

2.2.8. CUATERNARIO

Tiene una amplia extensión superficial en toda la zona estudiada. Geomorfológicamente podemos separarlo en: Terrazas y Aluviales.

Las terrazas tienen una amplia representación en el Jarama y sobre todo en la margen derecha del Henares.

En realidad son una serie de niveles distribuidos a diferentes cotas sobre el nivel de los ríos.

Estan constituídos litológicamente por gravas, arenas, areniscas y conglomerados de cemento calcáreo y clastos de cuarcita, caliza y cuarzo.

Los aluviales suelen estar formados por cantos de cuarcita, caliza y cuarzo lavados y que son objeto de numerosas explotaciones. En las zonas de inundación, los limos son el elemento principal.

2.3. TECTONICA

Como se ha mencionado anteriormente, se distinguen dos unidades fundamentales: el zócalo y la cobertera sedimentaria.

El zócalo constituye un bloque paleozoico plegado durante los movimientos hercínicos y arrasado antes que se depositasen los materiales mesozoicos, hasta formar una penillanura. Posteriormente, los plegamientos alpinos han fracturado el gran bloque arrasado, originándose una serie de bloques aislados e independientes. Este hecho produjo el gran abombamiento de la Meseta, cuyo bóveda ocuparía el centro, formándose la Cordillera Central y dos zonas deprimidas a N y S, que hoy día ocupan las cuencas del Duero y Tajo.

Según FUSTER CASAS Y TIRSO FEBREL (1958): "la estructura antigua apenas puede ser esbozada en sus rasgos fundamentales, a partir de las posiciones actuales de las foliaciones metamórficas, aun cuando se las suponga coincidentes con los antiguos planos de estratificación. Aún disponiendo de estos datos en la suficiente cantidad, siempre quedarán grandes lagunas, pues en las zonas actualmente ocupadas por los granitos ha desaparecido por completo la estructura originaria. Como por otra parte, el metamorfismo, al menos en esta zona, corresponde a zonas muy profundas en las que es fácil la deformación plástica, son muy frecuentes los cambios en pequeños espacios de las direcciones clave".

La cobertera sedimentaria ha sido influenciada por los movimientos ascensionales del zócalo, adaptándose en mayor o menor medida a él.

Como en la zona de estudio el espesor de la cobertera -cretáceo-paleógena es pequeño, los plegamientos alpinos han -engendrado a veces formas de fractura, ya que el zócalo rígido ha impedido el desarrollo de estilos tectónicos más ondulados. Otras veces, aparecen pliegues encofrados en el Cretácico, debidos a la adaptación de estos materiales a los movimientos ascendentes y descendentes de los bloques del zócalo. En otras ocasiones la adaptación no llega a ser total y antes de producirse el pliegue, la cobertera se rompe y se producen laminaciones en los estratos inferiores, formándose un contacto mecanizado. Esta es la causa de la casi total desaparición de la facies "Utrillas" en algunos puntos. También se da el caso de que mediante fallas inversas la cobertera sedimentaria ha sido cabalgada, respondiendo de esta forma a los movimientos y esfuerzos más violentos.

En síntesis, la evolución tectónica es la siguiente, de acuerdo con las ideas de SOLE SABARIS y PEREZ GONZALEZ:

A.- La orogenia hercínica plegó los sedimentos paleozoicos, -produciéndose a continuación un intenso metamorfismo y -granitización. Antes de producirse la sedimentación de -los materiales mesozoicos, la erosión arrasa todos los -pliegues produciéndose una penillanura en la primitiva -cordillera hercínica, suavemente inclinada hacia el E.

Durante el mesozoico, el mar de Tetys, en sucesivos -avances y retrocesos, deposita sedimentos. Este avance, -de dirección E-O, alcanza su punto máximo en el Cretácico Superior.

B.- La fase sálica, inmediatamente antes del Mioceno, pliega los sedimentos cretácicos y paleógenos. En este momento, según SOLE SABARIS, se inicia el abombamiento del núcleo paleozoico de Guadarrama y Somosierra, adaptándose al mis

mo los materiales cretácicos. Es posible, según CORCHON, F., que este abombamiento haya sido progresivo y que se iniciase a finales del Cretácico, como parece señalarse por la presencia de brechas intraformacionales, debidas a los movimientos y reajustes del fondo de la cuenca marina.

PEREZ GONZALEZ y otros, indican que la fase principal del plegamiento es intraoligocena, con lo que habría que pensar que el movimiento ascensional de las Sierras se habría iniciado ya en el Oligoceno y con ciertos síntomas de inestabilidad en el Cretácico. De hecho, en las series oligocenas aparecen cantos de rocas procedentes del borde oriental del Sistema Central, lo que parece indicar que ya en el Oligoceno las Sierras de Guadarrama y Somosierra tenían un cierto relieve.

C.- Durante la fase estática, en el Mioceno Medio, antes del Vindobomiense Inferior, se produce el intenso abombamiento de la Cordillera Central y grandes fallas la fracturan y compartimentan en bloques desnivelados, al menos en su iniciación.

D.- Después del Mioceno Superior, la fase rodánica deforma la penillanura en que quedó convertida la Meseta, elevándola a sus actuales alturas, basculando y removiendo todos los bloques. El esfuerzo principal se centra en las fallas internas que elevan los bloques que hoy día constituyen las sierras. Esta fase se origina debido a reajustes isostáticos del zócalo.

Finalmente, la erosión se reaviva de nuevo y la red hidrográfica actual exhuma los relieves fosilizados.

2.4. NATURALEZA DEL ZOCALO

En este apartado se tratará de aportar el mayor número de datos concernientes a la existencia de unidades cretácicas ba

jo los sedimentos terciarios en el área de estudio, litología, etc, además de su disposición espacial en profundidad y grado de compartimentación, debido a la fracturación del basamento.

Los datos que se emplearán serán fundamentalmente las diferentes campañas de sísmica realizadas en la zona por las compañías petroleras y los datos de sondeos profundos.

Los sondeos profundos en la zona son escasos y en realidad se reducen a dos; el sondeo de Alcalá de Henares, ejecutado en el año 1928 por el IGME, con el fin de investigar la cuenca artesiana de Madrid. Para nuestros objetivos no aporta grandes datos, ya que los 1.001 m perforados no pasaron de las facies químicas del Terciario.

El otro sondeo profundo, el de Tielmes, de 1.655 m de profundidad, alcanzó el granito a los 1.622 m. El espesor del Cretácico aquí es de 118 m, de los cuales 57 m corresponden a la facies "Utrillas" y los 61 m restantes al Cretácico Superior. Hay que hacer constar que el Cretácico Superior está formado por dolomías con algunas intercalaciones de anhidrita y se puede interpretar esta facies, como correspondiente a un ambiente sedimentario muy somero, probablemente con episodios intramareales. Facies de este tipo y edad afloran en la Serranía de Cuenca, y también han sido cortadas en el sondeo petrolífero de Villanueva n° 1, situado al SO de Cuenca.

Del sondeo profundo de Tielmes no se han encontrado registros termométricos que nos hubiesen orientado sobre el gradiente geotérmico en la zona de estudio.

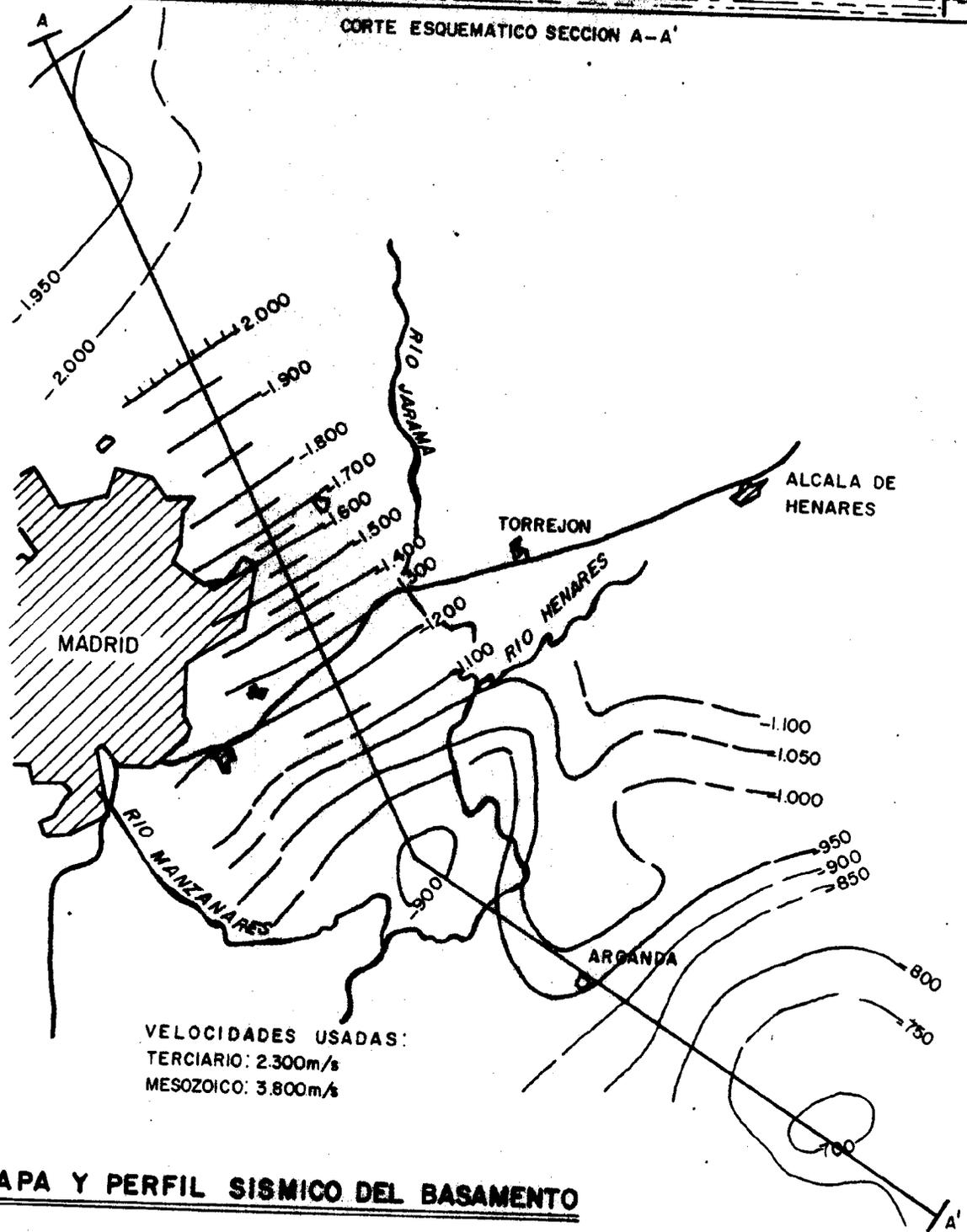
Las campañas de prospección geofísica, principalmente magnética y sísmica proporcionan interesantes datos respecto a la estructura de esta parte de la fosa del Tajo.

La información geofísica más antigua que se conoce, es la investigación gravimétrica realizada por GARCIA SÍNERIZ en 1933. En ella se señala una subfosa profunda en el basamento en los alrededores de El Pardo, con una profundidad del Cretácico, superior a los 1.800 m.

Más tarde, AUXINI realiza un perfil sísmico que pasa al O de Madrid y por la vertical de Arganda (véase gráfico adjunto).

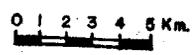


CORTE ESQUEMATICO SECCION A-A'



VELOCIDADES USADAS:
 Terciario: 2.300m/s
 Mesozoico: 3.800m/s

MAPA Y PERFIL SISMICO DEL BASAMENTO
CRETACICO EN LA CUENCA DEL RIO JARAMA



REFERENCIA = Nivel del mar equidistancia 50m.
 MODIFICADO DE DATOS PROPORCIONADOS POR AUXINI

Tomado de L. Vera 1975

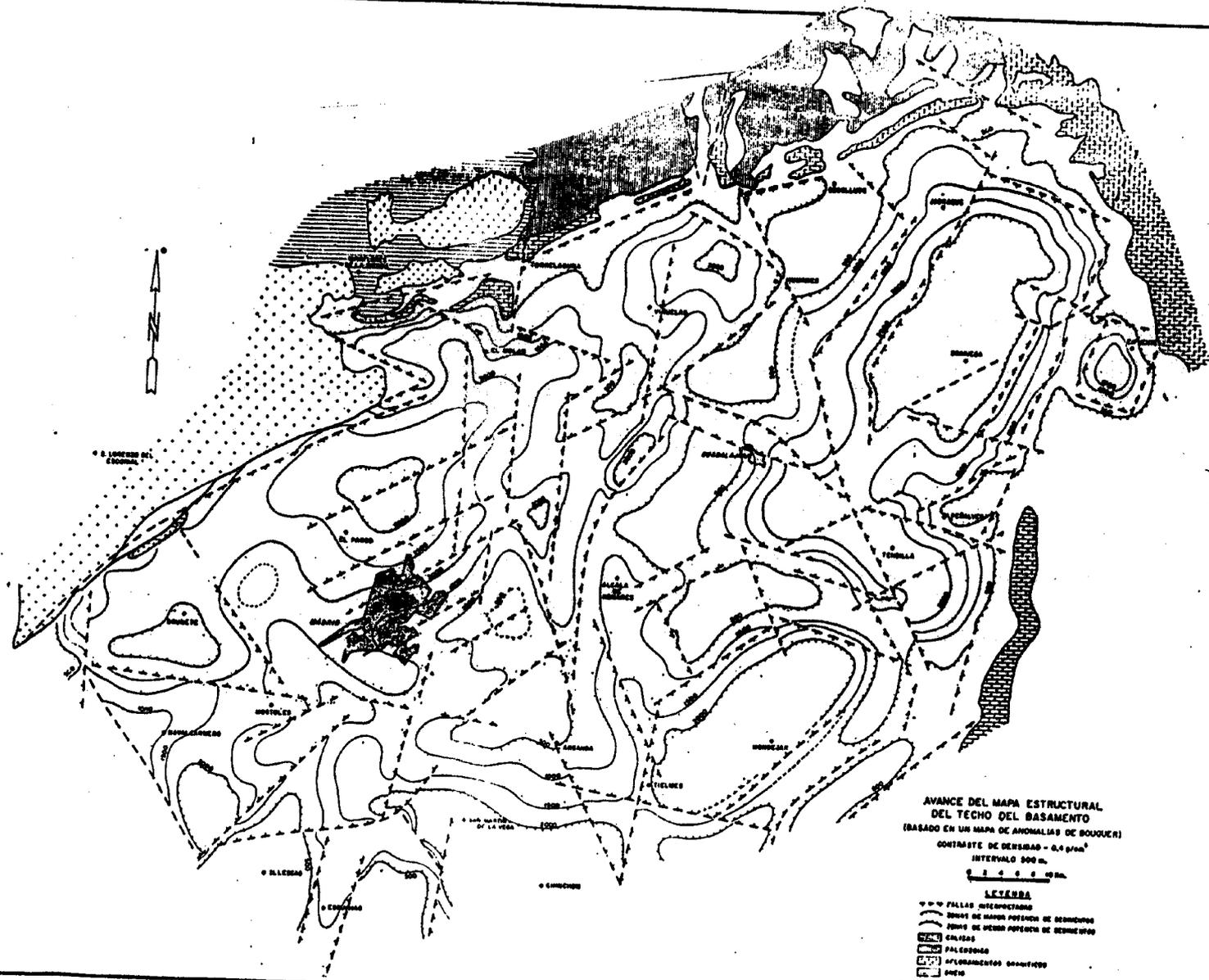
Este perfil confirma la existencia anteriormente citada por GARCIA SÍNERIZ, de una zona profunda del basamento en la parte N de Madrid; así mismo indica que el Cretácico se sitúa en este lugar a una profundidad superior a los 2.000 m.

Estas investigaciones reafirman la idea de ALIA MEDINA esbozada en 1960 en el sentido de, una mayor profundidad del basamento cerca de la Sierra y una elevación del mismo, debajo de los páramos (el sondeo de Tielmes alcanzó al granito a una profundidad de 1.622 m).

Dentro de los estudios geofísicos en la Cuenca de Madrid, merece reseñarse las investigaciones llevadas a cabo por CADAVID. A partir de un levantamiento previo de las anomalías de Bouguer, hace un análisis de los principales accidentes observados (véase gráfico).

Los rasgos principales que señala son:

- 1.- Un basculamiento general del zócalo hacia el SO.
- 2.- Depresión de El Pardo. Se trata de una fosa que bordea a la Sierra de Guadarrama con una profundidad máxima de 3.000 m. Esta depresión está estrangulada por una lineación NO-SE, dando lugar a una subfosa en Brunete de unos 2.500 m de profundidad.
- 3.- Depresión de Brihuega. Es una depresión orientada en dirección NNE-SSO que alcanza los 2.500 m. Esta fosa se estrangula por la lineación Miraflores de la Sierra-Guadajara, mostrando una subdepresión en torno a Tendilla.
- 4.- Depresión de Mondejar. En torno a esta población, se desarrolla otra depresión de orientación NE-SO con una profundidad de unos 2.000 m.
- 5.- Depresión de Chinchón. Se encuentra aquí una fosa subparalela a la Sierra de Guadarrama, con profundidades que sobrepasan los 2.000 m.



AVANCE DEL MAPA ESTRUCTURAL DEL TECHO DEL BASAMENTO
 (BASADO EN UN MAPA DE ANOMALIAS DE BOUGUER)
 CONTRASTE DE DENSIDAD - 0.4 g/cm³
 INTERVALO 500 m.
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 Km.

LEYENDA
 - - - - - FALLAS INTERMEDIAS
 --- ZONAS DE MAYOR POTENCIA DE RESONANCIA
 --- ZONAS DE MENOR POTENCIA DE RESONANCIA
 [Hatched] CERRITOS
 [Dotted] PALCEROS
 [Stippled] APLORANDEROS BOGOTINOS
 [Solid] OCEANO

ELABORADO E INTERPRETADO POR S. CABRERO (1974)

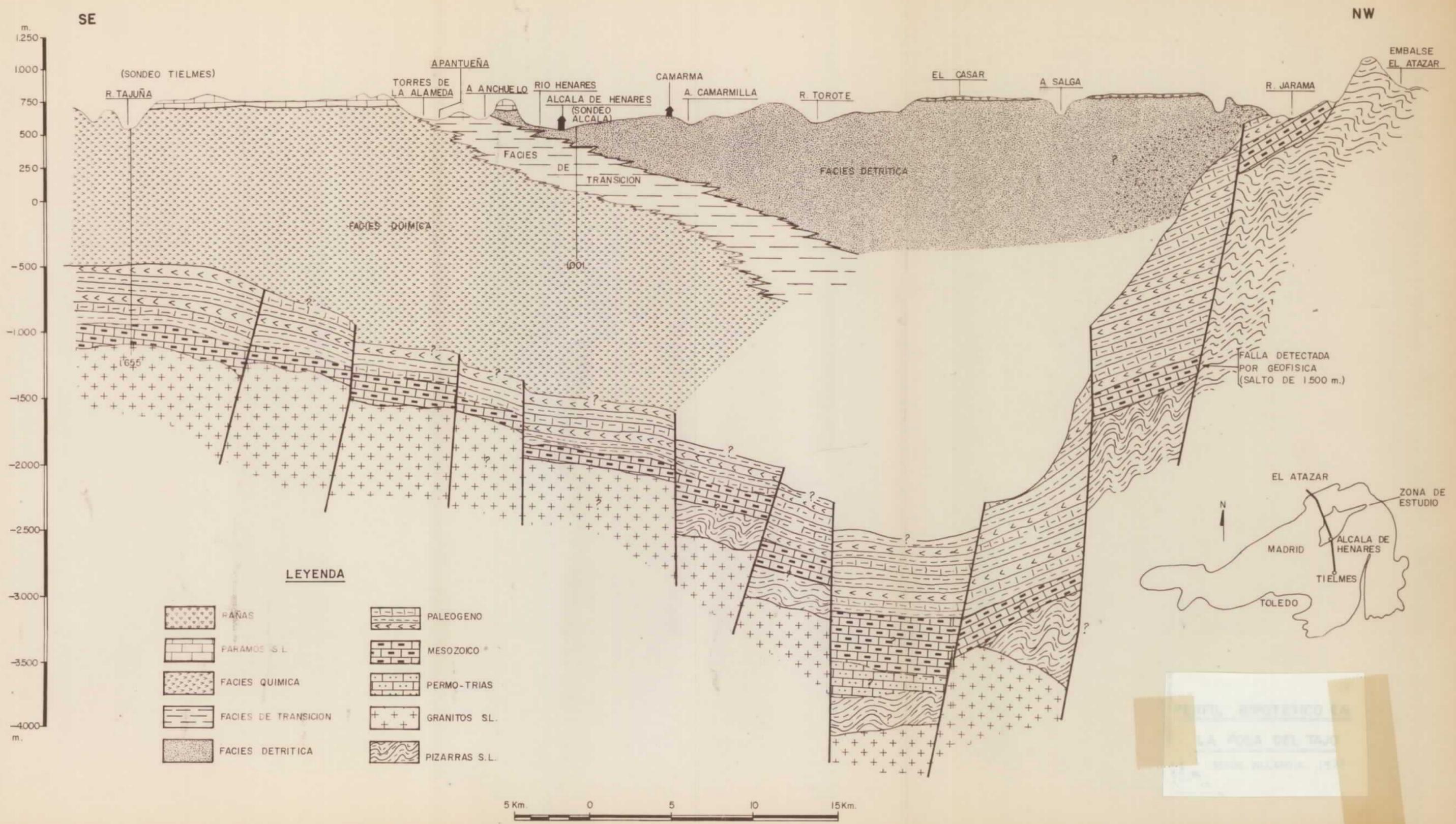
6.- Umbral medio de la depresión del Tajo. Entre las depresiones mencionadas anteriormente, existe un umbral de dirección subparalela a la Sierra de Guadarrama, cuya profundidad media es del orden de los 500 m y que se extiende desde Atienza a Esquivias. Este umbral parece marcar la separación entre las facies detríticas y químicas de la fosa del Tajo.

En 1971 Tenneco España I.N.C., realiza una investigación aeromagnética en un área definida por el triángulo Brihuega-Alcalá de Henares-Pastrana. En esta investigación se señala la existencia de un umbral en la zona de Horche, y un hundimiento del zócalo en dirección NO, alcanzando profundidades superiores a los 3.500 m en el sector Guadalajara-Usanos.

En 1976 AUXINI efectuó una amplia campaña de geofísica (sísmica) en la zona de Humanes-Marchamalo. Se trata de una vasta campaña de sísmica por reflexión con una densa red de perfiles sísmicos, calando algunos de ellos en el sondeo de Tielmes y arrastrándolos hasta los bordes de la Sierra.

Los resultados de esta investigación, a la hora de redactar estas líneas, no son públicos. Ahora bien, VILLARROYA GIL (1977) investigó estos resultados en AUXINI y por su importancia transcribimos íntegramente lo que dice: "Según este estudio se destaca, en líneas generales, la gran profundidad a la que se encuentra el basamento, y por consiguiente el gran espesor de cobertera. En la zona de Los Páramos de la Alcarria (Henares-Tajo) tenemos una "zona de alto" situándose el basamento a unos 1.400-1.500 m de profundidad. Hacia la Sierra nos encontramos con una profunda fosa, cuya pendiente septentrional es más abrupta y que puede alcanzar profundidades de 5.000-6.000 m o incluso más, de los cuales 1.500-2.000 m pueden corresponder al Mesozoico. Al mismo tiempo el eje de esta fosa tiene una cierta inclinación, separándose algo más del frente de la Sierra hacia el NE. Dentro de ella se pueden distinguir amplias estructuras de umbrales y sinclinales".

Resumiendo, parece estar fuera de toda duda la existencia de una profunda fosa en la zona de Brunete-El Pardo. Esta fosa debe de tener una profundidad entre 2.500 y los 6.000 m. La potencia del Cretácico, parece tener según las más recientes investigaciones, un espesor mayor que el que se puede observar en los bordes de la Sierra o el cortado en el sondeo - de Tielmes.



SE

NW

m.
1250
1000
750
500
250
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-3000
-3500
-4000
m.

5 Km. 0 5 10 15 Km.

LEYENDA

- | | | | |
|--|----------------------|--|---------------|
| | RAÑAS | | PALEOGENO |
| | PARAMOS S.L. | | MESOZOICO* |
| | FACIES QUIMICA | | PERMO-TRIAS |
| | FACIES DE TRANSICION | | GRANITOS S.L. |
| | FACIES DETRITICA | | PIZARRAS S.L. |



INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL
 LA ROSA DEL TAJUÑA
 MADRID

3. HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA DE MADRID

En este capítulo se describirán los parámetros de las distintas unidades hidrogeológicas que entran en juego en la Cuenca de Madrid. No se hará mención de las características del Cretácico, que por ser la unidad más interesante para los objetivos del proyecto, tendrá un tratamiento más profundo en el capítulo 5 de esta memoria.

3.1. CLIMATOLOGIA

Para el cálculo de las precipitaciones y temperaturas se han utilizado los datos de las siguientes estaciones termopluiométricas:

Presa de Puentes Viejas

Presa de El Vado

Cogolludo

Villalba

Talamanca del Jarama

Guadalajara

Madrid

Barajas (aeropuerto)
 Torrejón de Ardoz
 Alcalá de Henares
 Meco
 Getafe
 Cuatro Vientos
 Alcorcón
 Aranjuez
 Fuentidueña del Tajo

Los valores de precipitación y temperatura correspondientes a cada una de las estaciones utilizadas, han sido tomados del Balance Hídrico (t. I) publicado por la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales del Ministerio de Obras Públicas.

Los datos están referidos a un período de tiempo comprendido entre 1940 y 1960, y quedan reflejados en las tablas I y II.

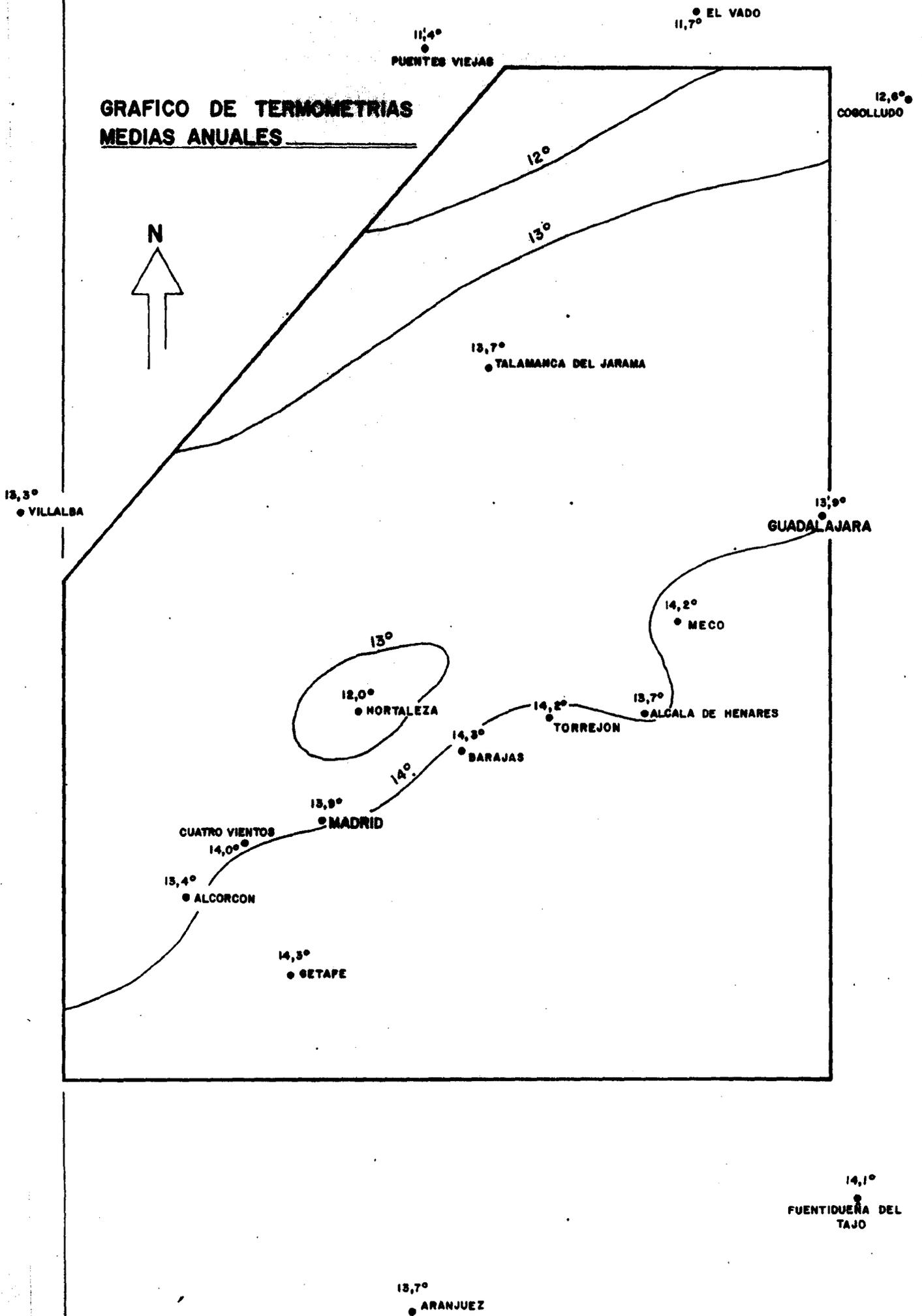
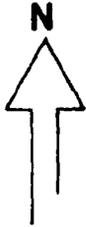
La precipitación media se ha calculado por varios métodos, media aritmética, polígonos de Thiesen e isoyetas.

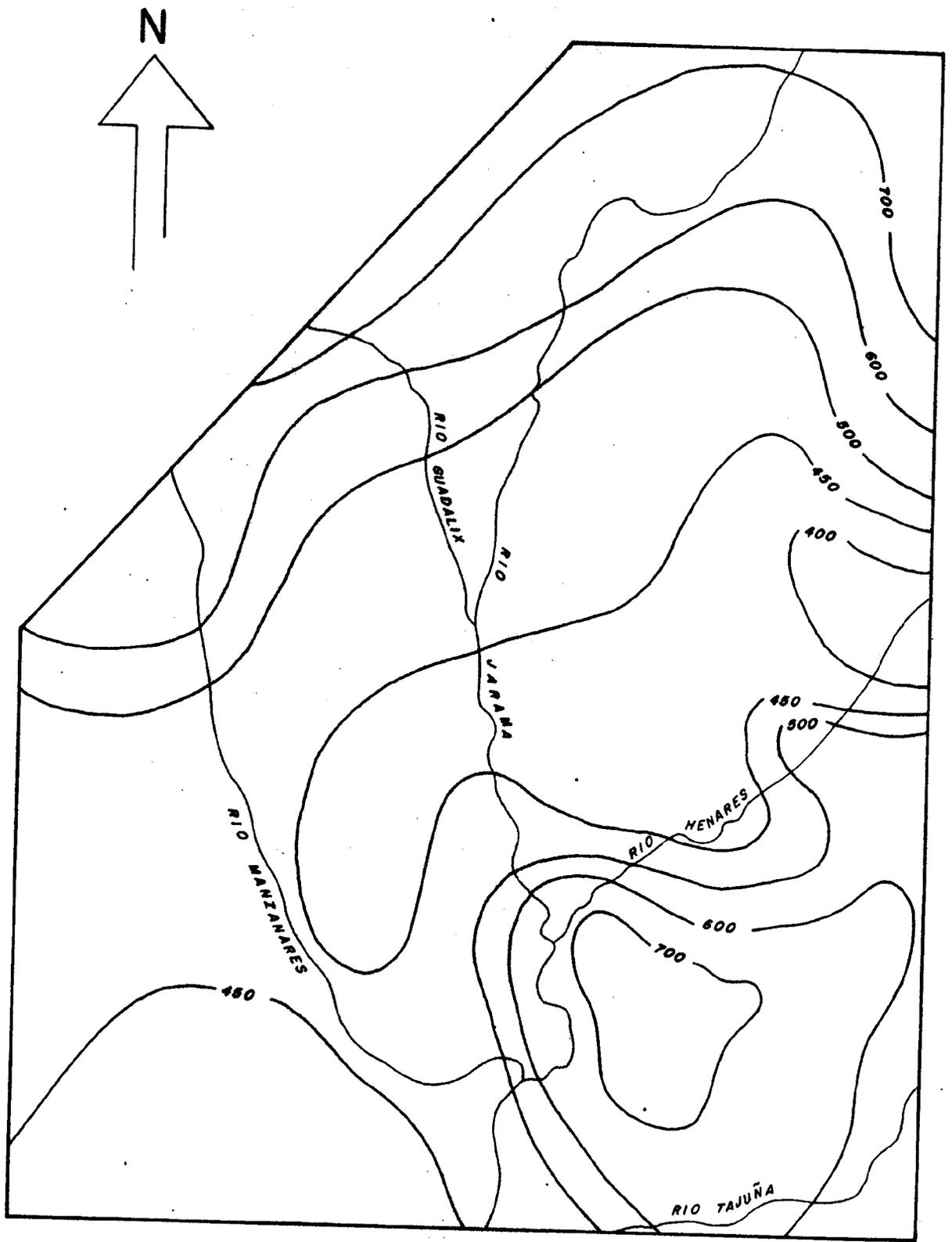
La pluviometría según la media aritmética es de 487,6 mm.

Para el cálculo por el método de los polígonos de Thiesen se han utilizado doce estaciones, suprimiéndose las de Alcorcón, Cuatro Vientos, Hortaleza, Alcalá y Aranjuez. La superficie de cada polígono y su precipitación es la siguiente:

<u>Polígono</u>	<u>Superficie</u>	<u>Pluviometría</u>
1	121 km ²	625 mm
2	219 km ²	744 mm
3	71 km ²	559 mm
4	931 km ²	495 mm
5	266 km ²	373 mm
6	325 km ²	583 mm
7	554 km ²	435 mm
8	374 km ²	475 mm

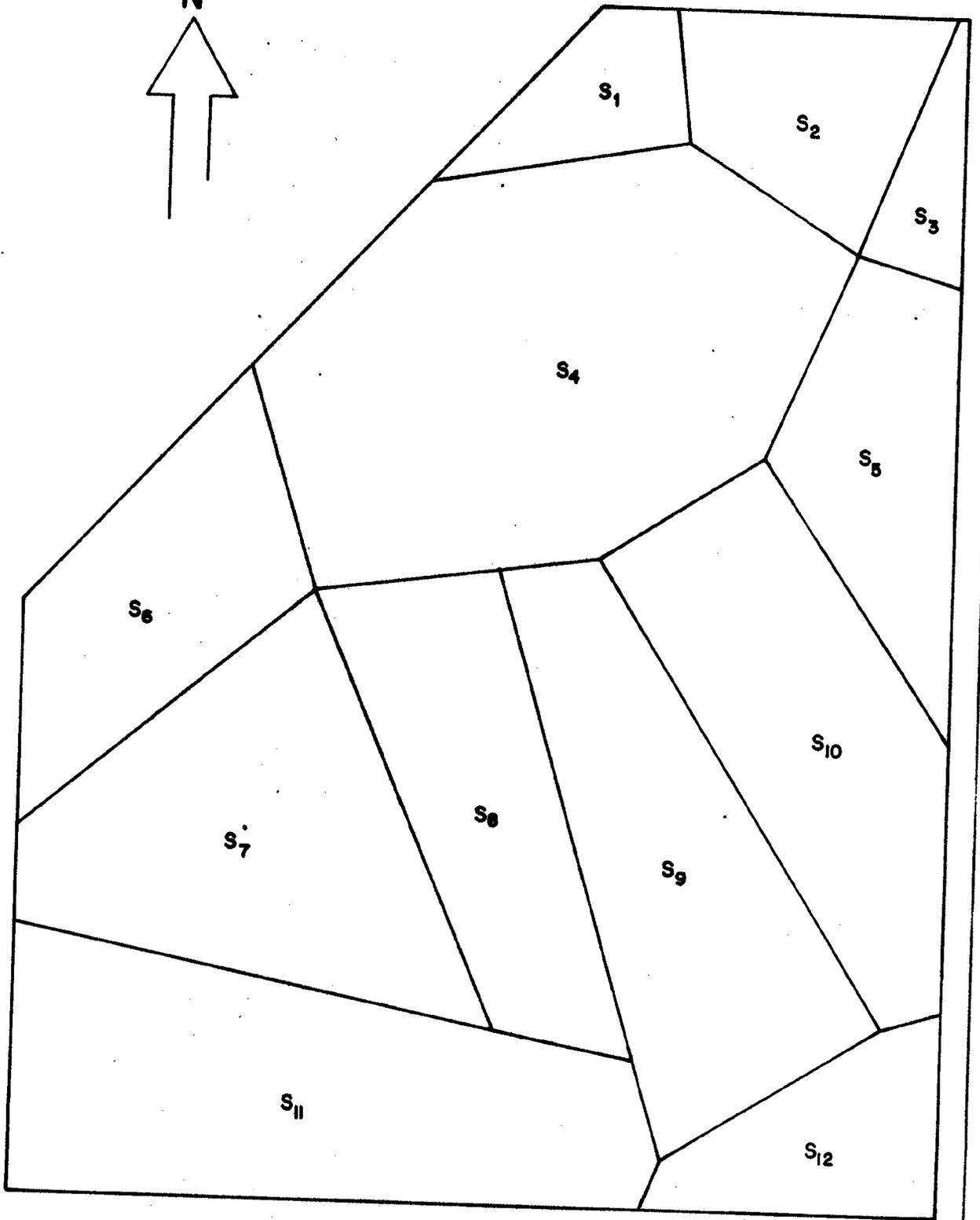
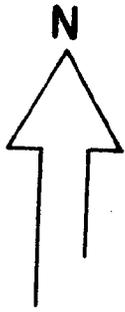
GRAFICO DE TERMOMETRIAS MEDIAS ANUALES





PLANO DE ISOYETAS

ESCALA : 1/400.000



POLIGONOS DE THIESSEN

ESCALA 1/400.000

<u>Polígono</u>	<u>Superficie</u>	<u>Pluviometría</u>
9	505 km ²	406 mm
10	475 km ²	454 mm
11	668 km ²	412 mm
12	192 km ²	535 mm

Por lo tanto según este método la precipitación es de 476,6 mm. Haciéndolo por el método de las isoyetas es de 530,4 mm. Para la zona de estudio se puede considerar una precipitación media de unos 490 mm/año.

La distribución de las precipitaciones a lo largo del año es irregular, teniendo unas máximas en el período marzo-mayo y unas mínimas en los meses de julio y agosto.

La temperatura media anual es de 13,4° (véase tabla II). El mínimo anual se registra en el mes de enero y el máximo en el de julio.

La evapotranspiración real se ha calculado por métodos empíricos (Thorntwaite, Turc y Coutagne). La estimación de la evapotranspiración real por el método de Thorntwaite, se ha realizado para valores de la retención específica del suelo de 25 y 75 mm (según MARTINEZ ALFARO). Por éste método, la evapotranspiración real oscila entre el 72,8 y 83,2% de la precipitación (véase tabla VII). Por el método de Turc el porcentaje es mayor, el 85% y según Coutagne es del 81%.

En resumen, se puede considerar que la evapotranspiración real en la cuenca de Madrid es del 80-81%, valores que son idénticos a los obtenidos por MARTINEZ ALFARO, LOPEZ VERA y VILLARROYA en las cuencas del Manzanares, Jarama y Henares, respectivamente.

TABLA I

PRECIPITACIONES CUENCA DE MADRID (en mm)

<u>Estación</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>	<u>Total</u>	<u>Med.</u>
Presa P. Viejas	50,9	45,1	67,9	66,2	67,4	49,3	22,4	16,9	53,8	62,0	57,3	625,2	62,52	52,1
El Vado	77,0	60,8	88,5	67,8	76,1	49,6	20,6	21,8	49,7	63,4	70,2	98,6	744,0	62,0
Cogolludo	58,2	52,3	66,0	44,9	49,5	36,9	14,3	24,3	47,9	54,2	58,1	52,1	559,2	46,6
Villalba	48,0	40,7	70,9	62,5	61,4	35,2	8,5	22,4	59,2	54,8	48,5	71,6	583,2	48,6
Talamanca del Jar.	43,8	39,8	56,6	58,6	48,3	35,9	9,7	14,3	43,4	50,8	46,3	48,0	495,6	41,3
Guadalajara	33,2	29,8	40,2	43,7	37,8	26,8	4,9	11,1	37,8	41,9	31,3	34,7	373,2	31,1
Hortaleza	34,1	38,3	43,5	41,5	54,8	32,2	11,8	14,0	47,4	55,0	27,5	41,3	441,6	36,8
Madrid	35,7	35,1	43,8	50,8	46,1	24,9	12,8	16,4	35,1	50,8	39,5	44,9	435,6	36,3
Barajas (aerop.)	41,7	43,0	54,2	56,9	49,0	21,5	11,8	13,1	35,9	54,8	41,7	51,8	475,2	39,6
Torrejón de Ardoz	36,3	29,7	43,8	43,5	46,9	24,6	15,6	13,9	36,2	47,5	32,7	36,7	406,8	33,9
Alcalá de Henares	29,3	27,0	40,3	42,7	44,9	26,3	11,4	14,0	41,1	46,6	35,7	37,3	397,2	33,1
Meco	36,3	34,7	51,3	45,5	45,4	31,0	7,6	20,6	52,8	56,6	35,4	37,3	454,8	37,9
Getafe	46,3	40,6	43,3	45,3	46,3	21,2	8,3	17,9	33,6	28,3	39,5	42,0	412,8	34,4
Cuatro Vientos	42,8	42,6	49,2	41,9	47,9	27,4	12,5	17,1	35,6	42,7	44,9	49,5	453,6	37,8
Alcorcón	44,5	39,6	52,0	37,1	49,6	26,2	11,1	10,7	39,6	50,4	37,7	47,2	445,2	37,1
Aranjuez	41,8	42,2	41,3	48,0	44,9	22,9	6,9	12,9	41,8	52,6	38,6	48,1	441,6	36,8
Fuentidueña del T.	52,8	40,4	54,6	50,1	54,2	31,4	16,1	19,5	40,7	53,4	55,7	65,9	535,2	44,6

TABLA II

TEMPERATURAS CUENCA DE MADRID (en °C)

<u>Estación</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>	<u>Media</u>
Presa P. Viejas	3,0	4,0	7,5	9,9	12,8	17,8	21,3	20,5	17,2	11,9	7,0	4,3	11,4
El Vado	2,7	4,1	7,5	9,9	13,5	18,5	21,6	21,0	17,6	12,1	7,2	4,3	11,7
Cogolludo	2,8	4,2	8,7	10,2	14,4	19,2	24,4	23,1	18,0	13,3	7,8	5,0	12,6
Villalba	4,1	5,4	8,6	11,3	14,8	20,1	23,9	23,3	19,8	14,5	7,8	5,4	13,3
Talamanca del Jar.	3,1	7,9	9,9	12,4	14,8	20,9	25,1	23,5	20,4	14,3	8,0	3,7	13,7
Guadalajara	4,0	6,0	9,8	12,6	15,8	21,3	24,5	24,1	20,2	14,1	9,2	5,4	13,9
Hortaleza	3,6	4,1	7,8	10,7	14,2	19,1	22,6	21,0	17,7	12,8	6,3	4,3	12,0
Madrid	5,0	6,8	10,1	13,1	16,0	20,7	23,9	23,2	19,3	14,5	9,1	5,4	13,9
Barajas (aerop.)	4,8	6,5	9,9	12,6	16,3	21,3	25,0	24,4	20,5	15,1	9,6	5,7	14,3
Torrejón de Ardoz	4,8	6,5	9,9	12,6	15,9	21,1	24,8	24,1	20,2	14,8	9,7	5,6	14,2
Alcalá de Henares	4,8	5,9	9,3	11,9	15,4	20,7	24,0	23,4	19,8	14,3	8,6	6,3	13,7
Meco	4,4	6,5	9,9	12,8	15,9	21,5	24,8	24,2	20,4	15,9	9,0	5,6	14,2
Getafe	5,0	6,6	9,8	12,5	15,8	21,3	24,6	24,2	20,4	14,7	9,9	6,1	14,3
Cuatro Vientos	5,1	6,4	9,6	12,0	15,7	20,8	24,4	23,6	19,9	14,8	9,8	5,8	14,0
Alcorcón	3,5	6,5	8,9	11,9	15,2	20,5	23,9	23,6	20,3	14,5	8,9	3,9	13,4
Aranjuez	4,4	5,8	10,3	13,0	15,6	20,7	24,2	24,2	19,2	14,3	8,5	4,3	13,7
Fuentidueña del T.	4,4	6,2	9,6	12,5	15,9	21,4	25,2	24,4	20,3	14,5	9,0	5,1	14,1

TABLA III

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN TURC (en mm)

<u>Estación</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>	<u>Total</u>	<u>Med</u>
Presa P. Viejas	12,8	21,6	45,6	68,3	92,9	122,4	155,2	133,1	92,4	52,2	25,9	14,2	836,4	69,7
El Vado	11,9	22,5	45,9	70,8	102,2	127,3	155,2	132,6	94,4	53,7	27,9	14,8	859,2	71,6
Cogolludo	12,3	23,0	50,7	72,6	107,0	132,1	164,6	138,5	93,3	57,7	30,2	16,6	896,4	74,7
Villalba	17,3	28,6	49,9	81,7	103,1	138,9	167,8	141,3	101,8	61,1	29,1	18,8	939,6	78,3
Talamanca del Jar.	13,9	38,0	56,3	86,3	111,2	139,7	179,4	142,3	103,5	62,1	31,1	14,4	978,0	81,5
Guadalajara	17,1	30,8	56,1	88,4	117,6	142,5	181,7	143,9	99,3	59,2	35,1	19,0	987,6	82,3
Hortaleza	16,8	25,6	50,7	83,8	113,9	142,4	188,4	144,0	101,4	62,1	28,2	17,3	974,4	81,2
Madrid	21,9	37,9	59,8	95,0	121,3	148,4	194,4	152,9	106,4	66,6	36,6	20,9	1062,0	88,5
Barajas (aerop.)	20,9	35,7	58,2	90,9	121,9	147,4	194,0	151,8	106,1	67,5	37,0	21,3	1052,4	87,7
Torrejón de Ardoz	20,9	36,4	58,4	90,6	120,5	148,6	197,0	153,5	105,4	66,7	38,1	21,0	1057,2	88,1
Alcalá de Henares	20,6	33,5	56,1	86,0	118,1	145,0	192,4	149,6	103,3	64,0	34,9	22,4	1026,0	85,5
Meco	19,0	34,6	57,5	88,4	119,3	145,1	190,0	148,1	103,6	67,2	35,4	20,4	1028,4	85,7
Getafe	22,6	38,4	59,1	93,4	121,0	153,0	201,9	162,2	112,1	67,4	39,4	22,7	1093,2	91,1
Cuatro Vientos	22,2	36,8	58,0	91,2	120,3	149,2	196,3	157,1	109,6	67,2	38,2	22,1	1068,0	89,0
Alcorcón	16,8	37,2	55,7	90,7	118,2	151,5	194,5	159,9	112,2	66,7	35,0	16,5	1053,6	87,8
Aranjuez	20,8	36,6	62,0	95,6	120,6	154,1	211,6	178,9	106,4	66,6	36,3	16,5	1106,4	92,2
Fuentidueña del T.	19,9	36,9	58,7	90,5	119,9	153,8	213,5	176,0	106,6	66,1	37,5	18,4	1098,0	91,5

TABLA IV

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL THORNTHWAITTE CORREGIDA (en mm)

<u>Estación</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>	<u>Total</u>	<u>Med.</u>
Presa de P. Viejas	7,4	11,7	28,5	44,5	67,0	104,2	127,0	113,0	82,8	46,6	21,6	11,1	666,0	55,5
El Vado	6,2	11,6	27,5	43,8	70,1	108,2	128,9	116,0	84,3	46,5	21,5	10,5	675,6	56,3
Cogolludo	5,3	9,9	30,0	41,3	71,4	110,5	149,0	129,2	83,5	49,4	21,4	11,0	711,6	59,3
Villalba	8,0	12,7	27,6	45,6	71,8	115,2	143,9	129,0	93,6	53,6	20,0	11,3	732,0	61,0
Talamanca del J.	4,8	20,7	32,3	49,8	70,1	120,0	153,1	130,1	96,3	48,6	21,1	11,7	630,0	52,5
Guadalajara	6,8	13,4	31,2	50,0	75,8	122,9	147,9	135,0	94,1	49,2	23,5	10,2	759,6	63,3
Hortaleza	8,3	10,7	28,0	46,6	72,7	111,5	135,0	115,3	83,5	49,0	17,4	10,0	687,6	57,3
Madrid	9,6	16,5	32,9	53,5	77,8	118,4	142,9	127,4	88,5	51,8	23,4	10,4	753,6	62,8
Barajas (aerop.)	8,3	14,4	30,3	49,1	78,2	121,6	152,0	136,6	95,2	53,7	24,0	10,3	774,0	64,5
Trrejón de Ardoz	8,4	14,7	30,8	49,3	75,7	120,9	150,1	134,2	93,4	52,6	25,0	10,4	765,6	63,8
Alcalá de Henares	9,3	14,0	29,9	47,2	74,6	118,3	143,8	129,2	92,6	51,1	12,0	13,3	745,2	62,1
Meco	7,3	14,4	30,8	50,0	75,7	123,6	149,9	134,8	94,8	58,1	22,0	10,2	775,2	64,6
Getafe	9,1	14,9	30,3	48,5	75,2	121,8	147,9	135,1	94,9	51,8	25,6	11,8	766,8	63,9
Cuatro Vientos	9,6	14,9	30,2	46,8	75,6	118,4	147,0	130,6	92,6	52,9	25,7	11,4	756,0	63,0
Alcorcón	6,0	16,2	28,5	47,7	73,3	117,6	142,7	131,2	95,6	53,0	22,0	7,0	741,6	61,8
Aranjuez	8,1	13,4	34,3	53,1	75,3	117,6	144,9	135,7	88,2	50,9	21,4	7,5	750,0	62,5
Fuentidueña del T.	7,7	14,0	29,8	49,1	76,1	123,0	153,3	136,6	94,4	50,8	22,5	9,2	766,8	63,9

TABLA V

EVAPORACION REAL THORNTHWAITTE PARA UNA RETENCION DE 25 mm

<u>Estación</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>	<u>Total</u>
Presa P. Viejas	7,4	11,7	28,5	44,5	67,0	71,6	25,1	16,9	53,8	46,6	21,6	11,1	405,8
El Vado	6,2	11,6	27,5	43,8	70,1	72,2	23,0	21,8	49,7	46,5	21,5	10,5	404,4
Cogolludo	5,3	9,9	30,0	41,3	64,1	46,8	14,9	24,4	47,9	49,4	21,4	11,0	366,4
Villalba	8,0	12,7	27,6	45,6	69,9	51,0	9,2	22,4	59,2	53,6	20,0	11,3	390,5
Talamanca del J.	4,8	20,7	32,3	49,8	62,8	46,0	10,0	14,3	43,4	50,8	19,6	6,1	360,6
Guadalajara	6,8	13,4	31,2	49,3	53,0	31,0	5,0	11,1	37,8	41,9	23,5	10,2	314,2
Hortaleza	8,3	10,7	28,0	46,1	65,3	41,8	12,2	14,0	47,4	49,0	17,4	10,0	350,2
Madrid	9,6	16,5	32,9	53,3	62,2	31,1	13,0	16,5	35,1	50,8	23,4	10,4	354,8
Barajas (aerop.)	8,3	14,4	30,3	49,1	66,3	29,1	12,0	13,2	35,9	53,7	24,0	10,3	346,6
Torrejón de Ardoz	8,4	14,7	30,8	48,7	60,5	30,7	15,7	13,9	36,2	47,5	25,0	10,4	342,5
Alcalá de Henares	9,3	14,0	29,9	46,8	59,5	32,6	11,6	14,0	41,1	46,6	22,0	13,3	340,7
Meco	7,3	14,4	30,8	49,6	60,0	37,1	7,7	20,6	52,8	56,6	22,0	10,2	376,4
Getafe	9,1	14,9	30,3	48,3	61,4	28,0	8,5	17,9	33,6	28,3	25,6	11,8	317,7
Cuatro Vientos	9,6	14,9	30,2	46,4	61,7	34,1	12,7	17,1	35,6	42,7	25,7	11,4	342,1
Alcorcón	6,0	16,2	28,5	45,8	59,6	32,3	11,3	10,7	39,6	50,4	22,0	7,0	329,4
Aranjuez	8,1	13,4	34,3	52,6	59,2	28,8	7,1	12,9	41,8	50,9	21,4	7,5	338,0
Fuentidueña del T.	7,7	14,0	29,8	49,1	68,8	41,5	16,4	19,5	40,7	50,8	22,5	9,2	370,0

TABLA VI

EVAPOTRANSPIRACION REAL THORNTHWAITTE PARA UNA RETENCION DE 75 mm

<u>Estación</u>	<u>Ene.</u>	<u>Feb.</u>	<u>Mar.</u>	<u>Abr.</u>	<u>May.</u>	<u>Jun.</u>	<u>Jul.</u>	<u>Ago.</u>	<u>Sep.</u>	<u>Oct.</u>	<u>Nov.</u>	<u>Dic.</u>	<u>Total</u>
Presa P. Viejas	7,4	11,7	28,5	44,5	67,0	88,2	49,6	23,3	54,6	46,6	21,6	11,1	463,1
El Vado	6,2	11,6	27,5	43,8	70,1	90,3	46,9	27,6	50,6	46,5	21,5	10,5	453,1
Cogolludo	5,3	9,9	30,0	41,3	68,5	71,9	31,9	27,0	48,3	49,4	21,4	11,0	415,9
Villalba	8,0	12,7	27,6	45,6	71,1	78,0	27,6	25,2	59,5	53,6	20,0	11,3	440,2
Talamanca del J.	4,8	20,7	32,3	49,8	67,2	73,7	25,2	16,4	43,7	50,8	19,6	6,1	410,3
Guadalajara	6,8	13,4	31,2	49,8	65,2	56,8	14,7	12,5	38,0	42,0	23,5	10,2	364,1
Hortaleza	8,3	10,7	28,0	46,4	69,7	68,3	27,2	16,7	47,8	49,0	17,4	10,0	399,5
Madrid	9,6	16,5	32,9	53,4	71,0	58,7	24,1	18,3	35,4	50,9	23,4	10,4	404,6
Barajas (aerop.)	8,3	14,4	30,3	49,1	73,2	58,9	23,2	14,8	36,2	53,7	24,0	10,3	396,4
Torrejón de Ardoz	8,4	14,7	30,8	49,1	69,1	58,8	26,5	15,7	36,5	47,5	25,0	10,4	392,5
Alcalá de Henares	9,3	14,0	29,9	47,0	68,0	60,0	23,0	15,9	41,4	46,6	22,0	13,3	390,4
Meco	7,3	14,4	30,8	49,8	68,8	64,5	19,2	22,2	53,0	56,7	22,0	10,2	418,9
Getafe	9,1	14,9	30,3	48,4	69,3	57,3	19,2	19,5	33,9	28,4	25,6	11,8	367,7
Cuatro Vientos	9,6	14,9	30,2	46,7	69,6	61,6	24,6	19,0	35,9	42,7	25,7	11,9	392,4
Alcorcón	6,0	16,2	28,5	47,0	67,2	59,6	22,7	12,7	39,9	50,4	22,0	7,0	379,2
Aranjuez	8,1	13,4	34,3	52,9	68,3	56,4	18,0	14,6	41,9	50,9	21,4	7,5	387,7
Fuentidueña del T.	7,7	14,0	29,8	49,1	73,2	70,9	30,0	21,6	41,0	50,8	22,5	9,2	419,8

TABLA VII

VALORES DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL Y SU PORCENTAJE CON RESPECTO A LA PRECIPITACION

Estación	Prec. anual	Temperat. med. anual	ETR Thornthwaite para ret. 25 mm		ETR Thornthwaite para ret. 75 mm		ETR Turc		ETR Coutagne		% Medio de P
			ETR	% de P	ETR	% de P	ETR	% de P	ETR	% de P	
Presa P. Viejas	625,2	11,4	405,8	65	463,1	74	466,0	74	460	73	71
El Vado	744,0	11,7	404,4	54	453,1	61	510,2	68	520	69	63
Cogolludo	559,2	12,6	366,4	65	415,9	74	430,1	77	460	82	74
Villalba	583,2	13,3	390,5	67	440,2	75	478,0	82	457	78	75
Talamanca del J.	495,6	13,7	360,6	73	410,3	83	434,7	87	406	82	81
Guadalajara	373,2	13,9	314,2	84	364,1	98	352,0	94	314	84	90
Hortaleza	441,6	12,0	350,2	79	399,5	90	387,3	87	363	82	84
Madrid	435,6	13,9	354,8	81	404,6	93	396,0	91	367	84	87
Barajas (aerop.)	475,2	14,3	346,6	73	396,4	83	388,9	81	395	83	80
Torrejón de A.	406,8	14,2	342,5	84	392,5	97	380,1	93	347	85	89
Alcalá de H.	397,2	13,7	340,7	86	390,4	98	374,7	94	340	85	90
Meco	454,8	14,2	376,4	83	418,9	92	413,4	91	371	81	86
Getafe	412,8	14,3	317,7	77	367,7	89	385,8	93	352	85	86
Cuatro Vientos	453,6	14,0	342,1	75	392,4	87	408,6	90	379	83	83
Alcorcón	445,2	13,4	329,4	74	379,2	85	397,5	89	372	83	82
Aranjuez	441,6	13,7	338,0	77	387,7	88	390,1	88	369	83	84
Fuentidueña de T.	535,2	14,1	370,0	69	419,8	78	457,5	85	432	80	78
MEDIA	487,6	13,4	355,4	72,8	405,6	83,2	414	85	394	81	80,4

3.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

La zona de estudio comprende íntegras las cuencas del - Manzanares y Jarama, margen izquierda del Guadarrama y cuenca baja del Henares.

Analizaremos en este apartado la distribución de la escorrentía, y para ello nos apoyaremos en los datos suministrados por los autores de los estudios hidrogeológicos efectuados en las distintas cuencas hidrográficas incluidas en la zona de estudio.

Un método utilizado usualmente para estimar cuantitativamente el volumen de escorrentía subterránea es como aportación subterránea o escorrentía básica frente a la escorrentía superficial o directa, mediante la descomposición de los hidrogramas en estaciones de aforos determinados.

VILLARROYA GIL, F. (1977) estima para la cuenca del Henares, un índice de infiltración del 10% de la pluviometría y un 9% de escorrentía superficial. Valores similares son asignados por MARTINEZ ALFARO (1977) para la cuenca del Manzanarres, el 13% de índice de infiltración eficaz para las facies detríticas y el 20% para las facies químicas.

REBOLLO (1977), da unos valores de infiltración eficaz en las facies detríticas de la cuenca del Guadarrama, del 12%.

LOPEZ VERA (1975) estima valores más elevados, el 20%, en las facies detríticas de la cuenca del Jarama, y el 40% en las químicas.

Resumiendo, se puede estimar una infiltración eficaz - del orden del 10-12% para las facies detríticas del Terciario y de un 20% en las químicas.

La escorrentía superficial o directa oscila en las diferentes cuencas entre el 2% y el 9%.

3.3. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Se analizan a continuación los distintos parámetros hidrogeológicos, así como la geometría y el modelo de flujo de la cuenca terciaria.

3.3.1. GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS

Se definen la superficie, límites y espesor de las distintas unidades del Mioceno y Cuaternario.

Las características del Oligoceno serán descritas más adelante, en el apartado Hidrogeología del Cretácico. Tampoco se toman en consideración los materiales paleozoicos que desde el punto de vista hidrogeológico, pueden considerarse como acuífugos, es decir, como materiales que no contienen ni transmiten agua subterránea, sin perjuicio de que en ciertos puntos, según su grado de fracturación o alteración, pueden proporcionar pequeños caudales de agua.

Facies de borde

Está integrada por las formaciones de Madrid, Tosco, - Guadalajara y Alcalá. Ocupa una extensión total en nuestra zona de estudio de 2.031 km².

Esta facies es expansiva sobre las facies centrales o químicas. Se desconoce el espesor máximo de esta unidad, ya que el sondeo más profundo realizado en la zona de influencia de la facies detrítica, al N de Madrid, penetra 500 m en ella. Por los datos proporcionados por la sísmica se puede deducir que supera ampliamente los 1.000 m, especialmente en la subfosa de El Pardo.

Las formaciones Tosco y Alcalá, infrayacentes a las de Madrid y Guadalajara, superan muy probablemente los 800 m, y pudiera ser que su parte inferior sea de edad paleógena.

Las formaciones Madrid y Guadalajara presentan potencias menores. El espesor máximo de la Formación Madrid es de 120 m, en la divisoria del Jarama con el Manzanares, y de unos 200 m la Guadalajara.

El límite inferior de la facies detrítica, es la unidad margo-yesífera del Paleógeno, que actúa como borde impermeable o barrera negativa a efectos hidráulicos. Al S limita con la Formación Anchuelo y al E, con las facies centrales o evaporíticas.

Estas facies detríticas constituyen un acuífero interesante y como consecuencia de su génesis, es un sistema de abanicos aluviales, los tramos más permeables aparecen como canales, los cuales sufren frecuentes cambios laterales y verticales. Estos canales aparecen con una mayor frecuencia hacia la superficie, criterio que LOPEZ VERA utilizó para distinguir las distintas formaciones. Las dimensiones de estos canales o paleocauces son: espesor de 0,20 a 22 m, anchura de 2 a 750 m y longitud de 25 a 2.000 m.

El comportamiento hidrogeológico de esta unidad es de un acuífero para los canales y de acuitardo para los materiales que engloba. Otra característica de esta facies detrítica, es la de un aumento de la permeabilidad desde los bordes hacia el centro de la cuenca y también una mayor permeabilidad en el sentido E-O, pues las formaciones Guadalajara y Alcalá son en conjunto menos permeables que las formaciones Madrid y Tosco.

Facies de transición

En la zona de estudio ocupa un área de 235 km². No pueden considerarse las dos formaciones que configuran esta facies, Peñuela y Anchuelo, conjuntamente.

La Formación Peñuela aparece morfológicamente como retazos colgados, o bien intercalada en las facies detríticas, en las proximidades del contacto entre las formaciones Madrid y Guadalajara con las formaciones infrayacentes Tosco y Alcalá.

Los niveles carbonatados que la constituyen suelen estar carstificados. El espesor es difícil de evaluar, por estar frecuentemente erosionada. En la zona de Vaciamadrid tiene 40-50 m, en Paracuellos 80 m, en la zona del Manzanares 30-40 m, y en los alrededores de Aljavir unos 35 m. Desde el punto de vista hidrogeológico no tiene un gran interés.

La Formación Anchuelo se presenta como un paso lateral entre las formaciones Tosco y Alcalá a la Formación Vallecas. Hidrogeológicamente puede considerarse como un acuitardo, separando los sistemas acuíferos de las formaciones Tosco y Alcalá de la Formación Vallecas. Su potencia es muy variable y puede oscilar, según LOPEZ VERA, entre 300 m en la zona del arroyo Anchuelo a 30-40 m en la cuenca del Manzanares. Litológicamente es muy variable y aumenta la permeabilidad de E a O.

Facies químicas

Ocupa una superficie de 766 km². Está integrada por las formaciones Vallecas, Villarejo y Páramos.

La Formación Vallecas está limitada al N y O por las facies de transición, por debajo de las cuales desaparece. Al E se introduce bajo las formaciones Villarejo y Páramos, que quedan colgadas sobre los valles del Henares y Jarama.

El espesor máximo de la Formación Vallecas se estima de unos 1.000 m, según los datos del sondeo profundo de Tielmes.

En general las facies químicas pueden considerarse como un acuífero.

Pliocuaternario

No presenta un gran interés hidrogeológico debido a lo exiguo de su espesor, 2 a 5 m, y al carácter predominantemente arcilloso de la matriz. Se presenta como retazos aislados apoyados en la Formación Guadalajara-

Cuaternario

Constituido esencialmente por niveles de terrazas. Están conectadas hidráulicamente por lo general con las formaciones infrayacentes. Aparecen escalonadas sobre las facies detríticas y encajadas sobre las químicas.

Su potencia es variable y oscila entre los 3 y 25 m, siendo las zonas de mayor espesor en la confluencia del Jarama con el Henares.

3.3.2. PARAMETROS HIDRAULICOS

La capacidad de un cuerpo geológico para constituir un acuífero viene condicionada fundamentalmente por su porosidad, permeabilidad y transmisibilidad. En este apartado estudiaremos los valores de estos parámetros y su distribución espacial.

Facies detríticas

Para materiales análogos a las facies detríticas, Beard y Weyl dan una porosidad total que oscila entre el 27,9% para arenas poco seleccionadas y del 42,4% para las más seleccionadas. LLAMAS y LOPEZ VERA estiman una porosidad eficaz del 5 al 15%. Para MARTINEZ ALFARO el valor más correcto es del 7%.

Su permeabilidad ha sido estimada por LOPEZ VERA, mediante curvas granulométricas de muestras procedentes de sondeos en la "facies Madrid", del orden de 1 a 30 m/día. Con permeámetros de carga constante obtiene valores de 0,05 a 0,128 m/día. Pero los datos más aceptables son los obtenidos a partir de los ensayos de bombeo; en la cuenca del Jarama oscila entre 0,8 y 9 m/día, en la del Manzanares entre 0,04 y 4,63 m/día y en la del Guadarrama del orden de 2,5 m/día. VILLARRO YA asigna para las formaciones de Alcalá y Guadalajara un valor de 0,22 m/día.

Los valores de la transmisibilidad son más fáciles de obtener a partir de los caudales específicos y de los ensayos de bombeo. En la cuenca del Jarama LOPEZ VERA se dice que la transmisibilidad oscila entre 1,1 y 280 m²/día, siendo el valor más frecuente del orden de 20 m²/día.

En la cuenca del Manzanares, MARTINEZ ALFARO, en un ensayo de bombeo efectuado en un sondeo en El Pardo, calcula valores comprendidos entre 52 y 123 m²/día, aunque en el ámbito de esta cuenca oscila entre 1 y 166 m²/día.

VILLARROYA GIL en la cuenca del Henares asigna unos valores de transmisibilidad, para las formaciones Guadalajara y Alcalá, comprendidos entre 1 y 130 m²/día.

El coeficiente de almacenamiento es del orden de 10⁻³ a 10⁻⁵, siendo muy frecuente la cifra de 10⁻⁴.

Facies de transición

Como se dijo anteriormente, la Formación Anchuelo no tiene interés hidrogeológico y debe de ser considerada como un acuícludo de baja permeabilidad. Son muy frecuentes los sondeos con resultados negativos.

La Formación Peñuela posee una permeabilidad media del orden de 200 m/día. Los valores obtenidos en unos ensayos de bombeo por LARA SEGOVIA (1974), arrojan cifras comprendidas entre 113 y 193 m²/día.

Los caudales específicos medios en la cuenca del Jarama son del orden de 6,12 l/seg/m como término medio, y en la del Manzanares, más bajos, están comprendidos entre 0,33 y 0,8 l/seg/m.

Facies química

De la Formación Vallecas no se tienen datos, por ser escasos los sondeos y pozos realizados en ella.

Las formaciones Páramos y Villarejo tienen unos caudales específicos que oscilan entre 0,33 y 0,8 l/seg/m en la

cuenca del Manzanares y en la del Jarama de 0,82 l/seg/m, como término medio.

De valores de transmisibilidad sólo se tiene un dato de un pozo en Santorcaz, que da unos 20 m²/día.

Pliocuaternario

Por no ser un buen acuífero son escasas las captaciones realizadas en él, no conociéndose los valores de los parámetros hidráulicos.

Cuaternario

Tiene parámetros hidrogeológicos muy diferentes, siendo los mejores acuíferos las terrazas bajas. Los datos sobre caudales específicos oscilan entre 10 y 18 l/seg/m para las terrazas bajas y entre 1,7 a 2,3 l/seg/m las altas.

3.4. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

Según LOPEZ VERA el comportamiento hidráulico para la facies detrítica, en una primera aproximación, es la de un acuífero semiconfinado en el que juega un importante papel el almacenamiento en el acuícludo, el cual es drenado por los canales que son los que constituyen los acuíferos.

LLAMAS y LOPEZ VERA (1974) proponen un modelo de flujo (véase gráfico adjunto) basado en el propuesto en 1963 por TOTH; éste sugirió al analizar el sistema de flujo en las grandes cuencas hidrogeológicas, la distinción de sistemas de flujo locales, intermedios y regionales, según que las aguas infiltradas en una zona de recarga emerjan en el valle más próximo o en valles más alejados. TOTH suponía que el acuífero es isótropo y homogéneo, pero en el caso de la cuenca de Madrid, es lógico pensar que existe una gran anisotropía, de modo que la permeabilidad horizontal es muy superior a la ver

tical. Esto tiende a reducir la importancia de los flujos regionales, de modo que casi todos los flujos tienden a ser locales.

En resumen, los aspectos más característicos del modelo de LLAMAS y LOPEZ VERA, es el siguiente:

- La recarga que recibe el sistema en su contacto con la Sierra o con las facies de transición y química es prácticamente nula.
- La recarga se debe esencialmente a la infiltración eficaz de las lluvias que caen directamente sobre los afloramientos terciarios y cuaternarios.
- La descarga principal de las aguas subterráneas va a pasar a los ríos a través de manantiales o de zonas de rezume subfluviales.
- Es posible que también se produzca una cierta descarga natural por evapotranspiración en aquellas zonas terciarias o cuaternarias de fondo de valle, donde la zona saturada está próxima a la superficie del terreno.
- La recarga de un acuífero semiconfinado procede: en las zonas de interfluvio del acuífero superior y en las zonas de valle del acuífero inmediatamente inferior.
- La descarga de un acuífero semiconfinado se efectúa: en las zonas de interfluvio hacia el acuífero inmediatamente inferior, y en las zonas de valle hacia el acuífero inmediatamente superior.
- Si se efectúa un sondeo en una zona de interfluvio, los niveles piezométricos irán disminuyendo a medida que se alcancen profundidades mayores; lo contrario ocurrirá en los

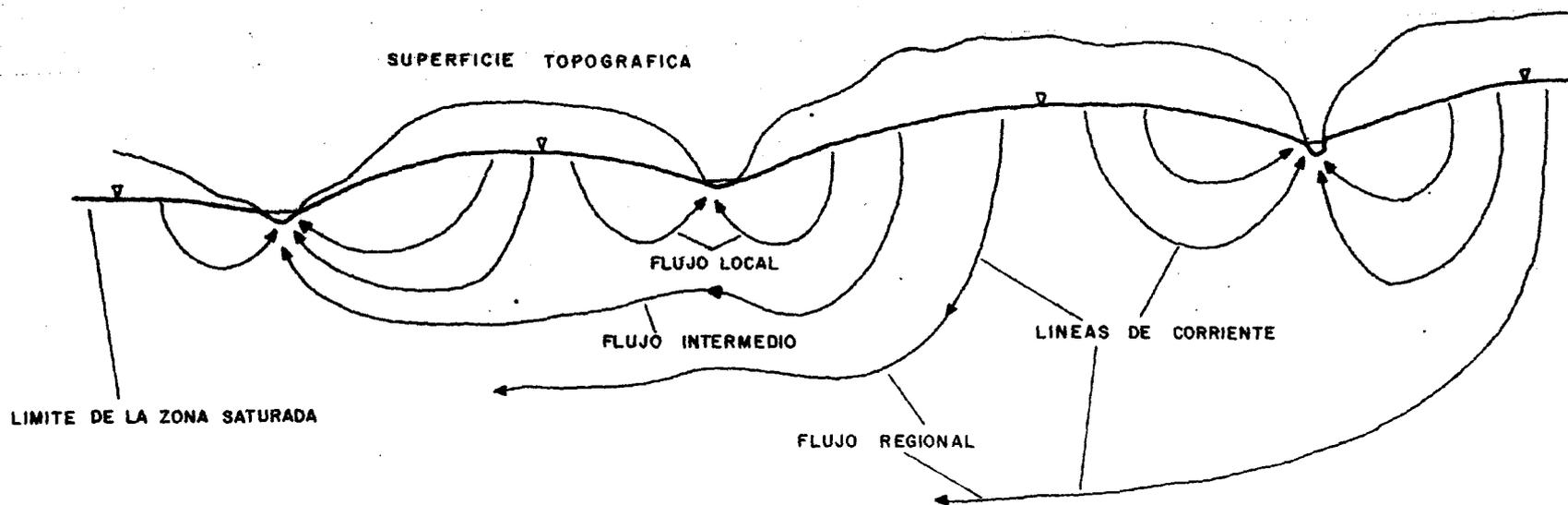
sondeos que se realicen en los valles. De hecho, suelen ser surgentes en cuanto se alcance una cierta profundidad.

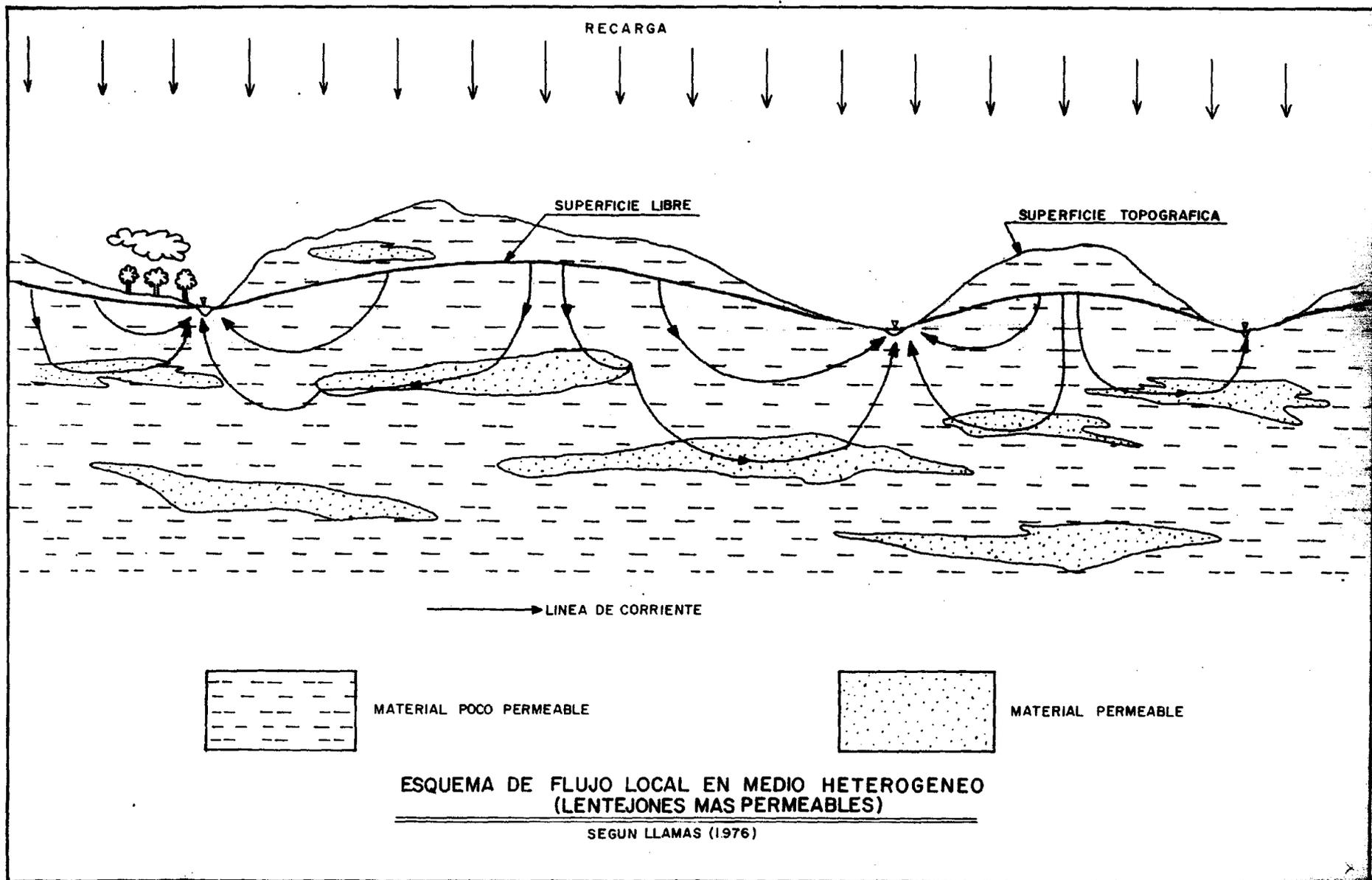
La utilización de índices hidrogeoquímicos e isotópicos ha confirmado este modelo.

La facies química o central se comporta como un acuífero multicapa de tres capas permeables, Formación Páramos, Villarejo y Vallecas, separadas por dos acuicludos, zona basal de la Formación Páramos y tramo margo-yesífero de la Formación Villarejo. La alimentación es debida a la infiltración eficaz de la lluvia y el flujo es radial y centrífugo, efectuándose la descarga por los bordes de los acuíferos.

El Cuaternario tiene la alimentación por las precipitaciones caídas sobre él y lateralmente y por el fondo debido a la descarga del Terciario.

MODELO DE FLUJO (Toth, 1963)





4. DESCRIPCION DEL BORDE CRETACICO

4.1. INTRODUCCION

Se estudian los afloramientos cretácicos de manera más detallada por ser éstos los de mayor interés desde el punto de vista geotérmico, debido a sus buenas características como acuífero y estar presente en la cuenca de Madrid, a varios miles de metros de profundidad.

Los únicos afloramientos cretácicos en la zona aparecen en una reducida franja que se adosa al S de las Sierras de Guadarrama y Somosierra, y que por su cercanía a la subfosa de El Pardo, la más interesante por su gran profundidad, serán muy similares a los que aquí se encuentren.

CORCHON RODRIGUEZ, F. (1975), ha estudiado con detalle este Cretácico desde el punto de vista hidrogeológico, por tanto el presente capítulo será prácticamente una síntesis de su trabajo.

4.2. ESTRATIGRAFIA

Como se ha mencionado anteriormente, el Cretácico aflora al N de Madrid, siguiendo una estrecha franja, que con una dirección aproximada SO-NE, se apoya sobre un zócalo paleozoico metamorfizado y que constituye en profundidad el zócalo de las series continentales premiocenas y miocenas.

La unidad Cretácica está constituida por dos formaciones que CORCHON denomina "Formación Patones" (facies "Utrillas") y Formación "Pontón de la Oliva" (Cretácico Superior).

4.2.1. FACIES "UTRILLAS"

Constituye el tramo detrítico basal del Cretácico y se apoya discordante sobre el zócalo metamórfico. Se caracteriza por sus tonos vivos, facies mixta (continental-marina) y de edad frecuente, Albense, aunque puede comenzar en el Aptense y llegar al Cenomanense.

Se observa muy bien esta formación a todo lo largo de la banda cretácica de la región, pero en especial en los alrededores de Patones, donde se presenta con un espesor de 55 m.

Son arenas y areniscas de cuarzo fundamentalmente, de tamaño variable, fino a grueso, con intercalaciones de arcillas y niveles de cantos de cuarcita, especialmente en la parte baja.

Los granos de cuarzo son angulosos y subredondeados, lo que indica un corto transporte. Están unidos por un escaso cemento de calcita, observándose al microscopio algunos cristales de dolomita, así como granos de glauconita de color verde oscuro, óxido de hierro y algo de mica y pirita. Son formaciones azoicas.

Es muy frecuente la aparición de un tramo basal conglomerático de cantos de cuarcita, disminuyendo la presencia de éstos hacia el techo de la formación.

Entre Torrelaguna y el Pontón de la Oliva aparece la formación Utrillas separada del zócalo pizarroso, mediante un tramo de color rojizo, constituido por un conjunto de cantos de pizarra débilmente trabados por una matriz arcillosa.

Los colores son variados (blanco, amarillento, rojo, verde y marrón principalmente). A veces aparecen intercalados en la formación episodios marinos de tipo calcáreo y margoso, típico de un ambiente de sedimentación marino-costera (litoral). Su litología predominante es la arenisca cuarzosa de grano fino.

En los niveles arenosos y areniscosos suelen aparecer estructuras de tipo "estratificación cruzada" que permite deducir a la zona de la Sierra de Guadarrama como área madre de los aportes.

El espesor es muy variable y en muchos casos las capas de "Utrillas" han experimentado reducciones en su espesor a consecuencia de estiramientos tectónicos, actuando como lubricantes del resto del Cretácico. De hecho, en algunos sondeos realizados en la zona, se ha observado la casi total desaparición de estas capas. Por lo tanto el espesor está comprendido entre 0 y 60 m disminuyendo, en general hacia el O. Parece ser que el máximo espesor se encuentra comprendido entre el Pontón de la Oliva y Patones.

Exceptuando algunos restos vegetales, no se encuentran fósiles en la zona. La edad de estas capas se ha dado tradicionalmente como Albense, por estar situadas bajo los sedimentos margosos fosilíferos del Cenomanense.

Sin embargo las facies litológicas del Cretácico no corresponden a isocronas, por lo que no es correcta la denominación de Albense, dado que las facies arenosas pasan lateralmente al Cenomanense. Su edad pues, es Albense-Cenomanense.

Los conglomerados y areniscas gruesas de la base representan episodios de sedimentación litoral o continental. Hacia el techo, la presencia de glauconita y la intercalación de bancos de caliza representa una fase transgresiva y un me-

dio de sedimentación marino. Se trata pues, de un ambiente mixto, continental-marino. La gran transgresión Cenomanense se inicia ya en los niveles superiores de la facies "Utrillas".

4.2.2. CRETACICO SUPERIOR

CORCHON lo denomina Formación "Pontón de la Oliva"; está constituido por una serie claramente transgresiva, integrada en su base por un conjunto calco-margoso de tonos blanco-amarillentos y en el techo por gruesos paquetes de calizas y calizas dolomíticas separadas por delgadas capas margosas o calcomargosas.

Los tramos calcáreos del techo ofrecen fuertes resaltes topográficos, lo que permite su fácil identificación sobre el terreno.

Este Cretácico es muy constante en toda la zona y su edad va desde el Cenomanense al Senonense. CORCHON lo subdivide en cinco tramos atendiendo a sus características hidrogeológicas en especial. El tramo inferior A es eminentemente calcomargoso, el B calcáreo, el C calcomargoso, el D calcáreo y el E son unas brechas calcáreas intraformacionales.

A continuación se describen las características más sobresalientes de cada uno de estos tramos:

Tramo A

Es una unidad calco-margosa que separa la facies detrítica basal de los paquetes calco-dolomíticos carstificados superiores, individualizando ambos conjuntos.

Son como se ha dicho, calizas margosas y margas alternantes, de colores blanco amarillentos, con intercalaciones de calizas, calizas dolomíticas muy recristalizadas, calizas arenosas y areniscas calcáreas de cemento calizo.

Al microscopio se identifican como micritas o dolomicitas con bandas de esparita, algo arcillosas y muy recrista

lizadas. Suelen aparecer granos de cuarzo, óxidos de hierro y pirita oxidada.

Localmente presentan estas capas gran cantidad de materia orgánica. Este hecho nos indica un borde de cuenca y posiblemente un medio reductor paralacustre. Vemos así que la transgresión Cenomanense no se produce en forma continua, sino a saltos y con oscilaciones en su avance.

Los cristales de dolomita se observan bien al microscopio. La dolomitización borra muchas veces la textura original de la roca haciendo poco reconocible sus restos fósiles; químicamente reflejan un contenido en magnesio comprendido entre el 9 y el 23%.

El espesor disminuye de NE a SO, es decir, hacia el borde de la cuenca, y varía entre 20 y 75 m.

Este tramo suele tener fauna y DE LA CONCHA (1962) cita en el término de Valdesotos la siguiente asociación faunística:

<i>Exogyra flabellata</i> , d'Orb	- Cenomanense
<i>Pachytraga lapparenti</i> , Paquier	- Cenomanense
<i>Enallaster greenowi</i> , d'Orb	- Cenomanense
<i>Molaster lastissimus</i> , Agass	- Cenomanense
<i>Epiaster varusensis</i> , d'Orb	- Cenomanense
<i>Pecten Matronensis</i> , d'Orb	- Cenomanense
<i>Janira alpina</i> , d'Orb	- Cenomanense
<i>Cardium alternatum</i>	- Turonense?

FUSTER (1958) cita la siguiente asociación microfaunística:

Valvulineria sp.
Globigerina sp.
Quinqueloculina sp.
Textulario sp.
Gandryina sp.

Esta asociación parece indicar, según el autor, un mar epicontinental del Cenomanense Superior.

Se puede atribuir al tramo A, en base a esta asociación faunística, una edad Cenomanense-Turonense.

La presencia de moluscos y la abundancia de dolomita - hacen pensar en una deposición de mar poco profundo, de carácter litoral.

El mar Cenomanense-Turonense no parece sobrepasar el límite de la facies "Utrillas".

Tramo B

Se encuentra al techo del tramo A y constituye morfológicamente un escarpe fácilmente visible en el campo.

Sus características litoestratigráficas, al igual que - las del resto del Cretácico, son muy constantes. A veces aparece subdividido en dos o tres bancos separados por intercalaciones de calizas margosas tableadas amarillentas.

En este tramo, en la zona donde confluyen el Jarama y - Lozoya, se encuentra situada la cueva del Reguerillo, importante forma endocárstica.

Esta unidad está formada por calizas arenosas, calizas algo margosas, calizas dolomíticas y dolomías calcáreas muy - recristalizadas. El contenido en arcilla es menor que en el - tramo A, pero el contenido en magnesio es mayor.

Se define este tramo por su carácter arenoso, abundante contenido en magnesio, especialmente en la parte baja, y grado de recristalización. Son calizas muy duras y carstificadas en su parte baja en el contacto con el tramo A, más o menos - impermeable y presentan tonos blanquecinos.

Este tramo de composición casi dolomítica es más abundante en magnesio y más detrítico que el D, lo que indica según SANCHEZ DE LA TORRE, sedimentación en condiciones litorales extremas.

Se puede considerar a este tramo que está formado por - calizas dolomíticas y dolomías calcáreas. El estudio de las -

láminas delgadas ha permitido identificar a estas rocas como micritas, dolomicritas, biodolomicritas y esparitas. También aparece algo de óxido de hierro, pirita y manchas arcillosas.

El espesor se encuentra comprendido entre los 10 y 60 m, disminuyendo en general hacia el SO, teniendo su mayor espesor, al N de Torremocha del Jarama, donde presenta intercaladas dos delgadas capas calcomargosas, que lateralmente desaparecen.

El elevado grado de dolomitización ha epigenizado muchos ejemplares de fauna. Algunas muestras de fauna han permitido datarlo como Coniaciense-Santoniense (Senonense Inferior).

La presencia de moluscos y su carácter arenoso, además del alto contenido en magnesio, parecen indicar unas condiciones de sedimentación de tipo litoral.

Tramo C

Se trata de un paquete margoso o calco-margoso de tonos amarillentos, intercalado entre los tramos B y D. Al ser más blando que los dos bancos calcáreos que lo limitan, ofrece en campo un perfil cóncavo fácil de identificar. A veces presenta una pequeña intercalación calcárea.

Son calizas margosas y margas algo arenosas con recristalizaciones, algo de magnesio y óxido de hierro.

El espesor varía entre 0 y 15 m, y debido a su distinta competencia respecto a los materiales que lo rodean, actúa como lubricante entre los bancos B y D, laminándose contra ellos y se explica así su desaparición en algunos puntos.

No se han encontrado fósiles en este tramo, pero por su posición estratigráfica por encima del Senonense Inferior, se le puede datar a este tramo como Senonense Inferior-Superior.

La disminución del contenido de magnesio con respecto a los tramos anteriores, y también del tamaño del grano de la fracción detrítica, junto con el aumento del contenido de arcilla, indica una sedimentación en zonas más alejadas de la costa que los anteriores.

Tramo D

Sus características morfológicas son muy similares a las del tramo B, si bien su grado de carstificación es menor.

Constituye el techo de la serie monoclinial que se observa a lo largo de toda la banda cretácica, entre Torrelaguna y la confluencia de los ríos Jarama y Lozoya. El techo real de la serie cretácica lo constituyen las brechas intraformacionales que afloran en el Pontón de la Oliva.

En su superficie se observan formas exocársticas incipientes, principalmente de tipo lapiaz. Estructuralmente constituye, junto con todos los miembros del cretácico marino, una serie monoclinial resuelta morfológicamente en una "cuesta" de elevada pendiente, y desarrollada principalmente en la zona comprendida entre Torrelaguna y la presa del Pontón de la Oliva.

Son calizas compactas de grano fino, algo arenosas y dolomíticas, con una elevada proporción de CO_3Ca respecto a CO_3Mg . Se puede clasificar a estas rocas como calizas y calizas algo dolomíticas.

El espesor varía según la intensidad de la erosión, pero en general disminuye hacia el O, y está comprendida entre 10 y 40 m.

A este tramo se le atribuye una edad del Senonense Superior. La proporción de calcio con respecto al magnesio, favorable al calcio, junto con la disminución del tamaño de grano, indica una sedimentación menos litoral que los anteriores tramos.

Tramo E

En la zona de la presa del Pontón de la Oliva, encima de la serie marina cretácica y concordante con ella, aparecen unos conglomerados rojizos atribuidos tradicionalmente a la base del Oligoceno.

Se trata de unas brechas de origen intraformacional constituidas por cantos angulosos de caliza. Por analogía con otros tramos idénticos encontrados en ciertos puntos de la Serranía de Cuenca y en todo el borde suroccidental de la cordillera Ibérica, se las puede considerar como Cretácico Superior (Senonense alto).

Al final del Cretácico se inicia una época de inestabilidad, preludio de la regresión posterior, que origina estos materiales formados "in situ" en un mar somero y a consecuencia de pequeños movimientos diferenciales del fondo de la cuenca.

Solamente se ve aflorar este tramo en la zona del Pontón de la Oliva, con un espesor máximo de unos 20 m.

4.3. DISPOSICION ESTRUCTURAL

Siguiendo a CORCHON y para describir la estructura de los materiales cretácicos, se puede dividir la zona en los siguientes conjuntos:

Macizo de San Pedro
 Fosa tectónica de Guadalix-Redueña
 Depresión de Torrelaguna
 Zona de Tamajón

4.3.1. MACIZO DE SAN PEDRO

Constituye el núcleo del gran anticlinal cretácico adosado periclinalmente a sus bordes. Destaca como un islote emergido de la plataforma, arradado del borde S de la Sierra de Guadarrama y su movimiento ascensional motivó las estructuras cretácico-paleógenas que se observan en la actualidad. El buzamiento medio de los estratos cretácicos que lo rodean es -

de unos 25°, disminuyendo a medida que nos alejamos del macizo que los ha deformado.

La dirección general de las estructuras cretácicas es de SO-NE. La gran falla detectada por geofísica, límite de este cretácico en profundidad, y que corre paralela a los afloramientos, lleva también esta dirección. Casi con toda seguridad es una de las grandes fracturas que han desnivelado el zócalo durante los movimientos alpinos y que provocan la discontinuidad del Cretácico en profundidad.

El flanco del Cretácico situado al N del Macizo de S. - Pedro, entre Venturada y Guadalix de la Sierra, y más hacia el O sobre el pequeño macizo de Hormigales, entre Soto del Real y Guadalix, aparece muy complicado tectónicamente. Entre el macizo de Hormigales y el de San Pedro hay una gran falla inversa que provoca el cabalgamiento de los materiales cretácicos y paleógenos por los neises.

Entre Guadalix y Redueña, numerosas fallas en dirección compartimentan al Cretácico en un conjunto de bloques desnivelados.

4.3.2. FOSA TECTONICA DE GUADALIX-REDUEÑA

Se trata de una depresión tectónica al N del Macizo de San Pedro, rellena de sedimentos cretácicos, paleógenos y miocenos. Constituye en realidad un gran sinclinal fallado, cerrado en torno a Guadalix de la Sierra. Hacia el E la estructura enlaza con la depresión de Torrelaguna. Interiormente la fosa está surcada por una serie de fallas de dirección SO-NE.

El flanco S de la cubeta ya se ha descrito en el apartado anterior. En el flanco N, el Cretácico choca violentamente con los materiales del macizo de la Cabrera por fallas, que le hacen adoptar posiciones casi verticales, e incluso invertidas. A menudo estas fallas hacen desaparecer por cabalgamiento el Cretácico en la zona N de la depresión.

4.3.3. DEPRESION DE TORRELAGUNA

Está limitada al O por la fosa de Guadalix-Reñueña y al N por la serie monoclinial cretácica, que se prolonga hacia el NE constituyendo morfológicamente una cuesta estructural con buzamiento de unos 25-35° hacia el SE.

Merced a investigaciones geoelectricas parece ser que los estratos cretácicos, se mantienen sensiblemente paralelos a la superficie topográfica, bajo la cobertura terciaria que los oculta, y sin discontinuidades aparentes.

4.3.4. ZONA DE TAMAJON

En esta zona el Cretácico adquiere espesores notables, siendo de resaltar el grado de carstificación de los paquetes senonenses.

Estructuralmente se trata de un sinclinal muy laxo y - flanqueado por fallas inversas que lo cobijan. La estructura se asimila a un pliegue encofrado fallado por ambos flancos.

4.4. EL PROCESO DE CARSTIFICACION

Una de las principales interrogantes del proyecto es el conocer el grado de desarrollo y la época de formación del - carst cretácico, por estar éste íntimamente ligado a las condiciones hidrogeológicas favorables para constituir un acuífero en profundidad, que sea capaz de contener recursos geotérmicos aprovechables.

La posibilidad de penetración y circulación de agua en las calizas depende muy directamente de su grado de fisuración, es decir, de la presencia de un sistema de fracturas o fisuras comunicadas y abiertas que permitan, gracias a la acción de disolución y ensanchamiento por las aguas superficiales y

subterráneas, la instalación de una serie de conductos cársticos. La permeabilidad y transmisibilidad hidráulica de las calizas, dependerá del mayor o menor grado de desarrollo del carst, bajo la cobertura de materiales terciarios que lo recubre. También tienen una gran importancia las aberturas y conductos desarrollados a lo largo de los planos de estratificación, y que según DAVIS y DE WIEST, son los más importantes desde el punto de vista hidrogeológico.

CORCHON RODRIGUEZ, hace un estudio exhaustivo del carst de la zona, apoyándose en métodos geomorfológicos y sedimentológicos. Mediante métodos geomorfológicos, intenta relacionar la evolución del carst con el relieve en general, y con la utilización de la sedimentología analiza los sedimentos que rellenan las cavernas y conductos cársticos de la zona, comparándolos con los sedimentos exteriores.

4.4.1. GENESIS, DESARROLLO Y EVOLUCION DEL CARST

A lo largo de los barrancos que cortan transversalmente a los afloramientos cretácicos, se pueden observar numerosas formas cársticas internas (endocarst) alineadas a lo largo de los planos de estratificación de las capas. Algunas de estas formas adquieren un notable desarrollo, como es el caso de las cuevas del Reguerillo y de la Escarigüela, que se instalan respectivamente, en los tramos B y D del Cretácico Superior.

Según PEREZ GONZALEZ (1971), en el cerro de Mingo Negro, se encuentra un Mioceno Medio y Superior apoyado transgresiva y discordantemente sobre los materiales inferiores oligocenos fosilizando un paleorrelieve que la erosión actual está exhumando.

Probablemente esta discordancia ha marcado la primera fase importante del proceso de carstificación en el carst que hoy se observa. Es probable que haya existido un carst oligoceno instalado en el Cretácico que cubrió zonas altas de las

Sierras y que hoy día han desaparecido por la erosión. En cualquier caso, si se admite que la fracturación principal es de edad miocena, el carst no debió ser muy importante en el Oligoceno.

La sedimentación del Cretácico marino y de las series premiocenas continentales parece ser continua, por lo que no es probable la existencia de un paleocarst prepaleógeno originado a partir de formas exocársticas, aunque no se puede descartar la idea de un carst originado bajo el nivel freático.

Por otra parte, el paso de un medio marino a otro continental ya provoca automáticamente un incipiente proceso de carstificación, por lo que parece lógico admitir que ya durante el Oligoceno, o incluso durante el Cretácico Superior continental, comenzó la génesis preparatoria de lo que después, en el Mioceno, sería un carst propiamente dicho. No se formarían, por tanto, al principio de la sedimentación continental, cavernas ni conductos importantes, pero sí pequeños conductos y fisuras por ensanchamiento de poros.

Respecto a la génesis del carst CORCHON opina que probablemente ha funcionado como un carst cubierto, es decir, sus formas se engendrarían debido al flujo del agua subterránea en la zona saturada, si bien a lo largo de la historia geológica ha habido varias etapas de rejuvenecimiento y reactivación, de acuerdo con los sucesivos encajamientos de la red fluvial.

El esquema evolutivo del carst que se observa en la zona puede ser el siguiente:

- 1.- A finales del Cretácico, el mar se retira instalándose en la región un régimen continental. Se deposita el Cretácico Superior continental, un posible Paleoceno-Eoceno y el Oligoceno Inferior sin discontinuidad alguna. Génesis inicial o fase preparatoria de la carstificación. Formación de pequeñas fisuras y conductos por ensanchamiento de poros.

- 2.- Fase intraoligocena del plegamiento (Oligoceno Inferior-Oligoceno Medio) que provoca el comienzo del movimiento ascensional de la Sierra de Guadarrama. Continúa el proceso de carstificación incipiente. Tal vez se originaron formas cársticas de cierta importancia, hoy día desaparecidas por la erosión.
- 3.- Fase sálica, al final del Oligoceno. El movimiento ascensional de la Sierra sufre un fuerte impulso y comienzan a delimitarse las fallas importantes de la misma. Comienzan a originarse formas cársticas de cierta importancia.
- 4.- Fase estafrica en el Mioceno Medio. Se producen las grandes fallas que compartimentan en bloques la Cordillera Central. Como consecuencia del intenso abombamiento del macizo antiguo se encaja la red fluvial. Primera fase importante de la carstificación.
- 5.- La erosión ataca los relieves formados, y se colmatan las depresiones tectónicas. El carst queda fosilizado y probablemente continúa funcionando como un carst abierto.
- 6.- Sedimentación de las "calizas de los páramos" en lagunas aisladas.
- 7.- Fase rodánica posterior al Mioceno Superior. Deformaciones de gran radio en la Cordillera Central. Rejuvenecimiento de la red fluvial y reactivación del carst. Segunda fase importante de la carstificación.
- 8.- La erosión vuelve a reanimarse depositándose las "rañas". Se forma, a finales del Plioceno, la superficie de erosión que bordea la Sierra. El proceso de carstificación continúa por debajo del nivel freático con débiles gradientes hidráulicos.

- 9.- Posteriormente a la formación de la anterior superficie de erosión comienza a encajarse la red fluvial actual, y el carst sufre una nueva etapa de reactivación. Tercera fase importante de la carstificación.
- 10.- En la época actual, hay un ensanchamiento de las fisuras y conductos en las zonas de descarga, debido a la mayor velocidad de circulación del agua. En las restantes zonas el proceso es muy lento, debido a la baja velocidad del flujo subterráneo.

En resumen, las tres fases importantes de la carstificación se producen en el Mioceno Medio, final del Mioceno Superior y Pliocuaternario.

4.5. PALEOGEOGRAFIA DEL CRETACICO

El Cretácico corresponde en general a un periodo de gran movilidad y actividad orogénica, lo que motiva gran multitud de facies y alternancias de periodos de sedimentación marina y continental. En España, se manifiestan muy claramente dos discordancias que pertenecen a los movimientos Paleolpinos, y que marcan el comienzo de otros tantos ciclos sedimentarios,

La primera, la Neocimérica, se encuentra separando los sedimentos Jurásicos de los Cretácicos, y reviste una gran importancia erosiva, habiendo eliminado en zonas muy extensas gran parte del Jurásico, lo que es posible que halla sucedido en nuestra zona de estudio.

La segunda, la Austrica, se localiza en la base de las facies "Utrillas", es decir, en el Albense, y como en el caso anterior, se manifiesta principalmente como erosiva, aunque de menos importancia. Normalmente, sus efectos se limitan a erosionar parcialmente el Cretácico Inferior.

El Cretácico Inferior, aunque ampliamente representado en la Cordillera Ibérica a lo largo de un estrecho surco, que con orientación NO-SE va desde Zacrejas a Buñol, no lo está en nuestra zona de estudio y corresponde fundamentalmente a las facies "Weald".

El segundo gran ciclo sedimentario, se desarrolla durante el Cretácico Superior, aunque realmente comienza antes, en el Albense, con la sedimentación de la formación "Utrillas", y termina en el Terciario Inferior bajo facies "Garumnenses", ambas de ambiente predominantemente continental.

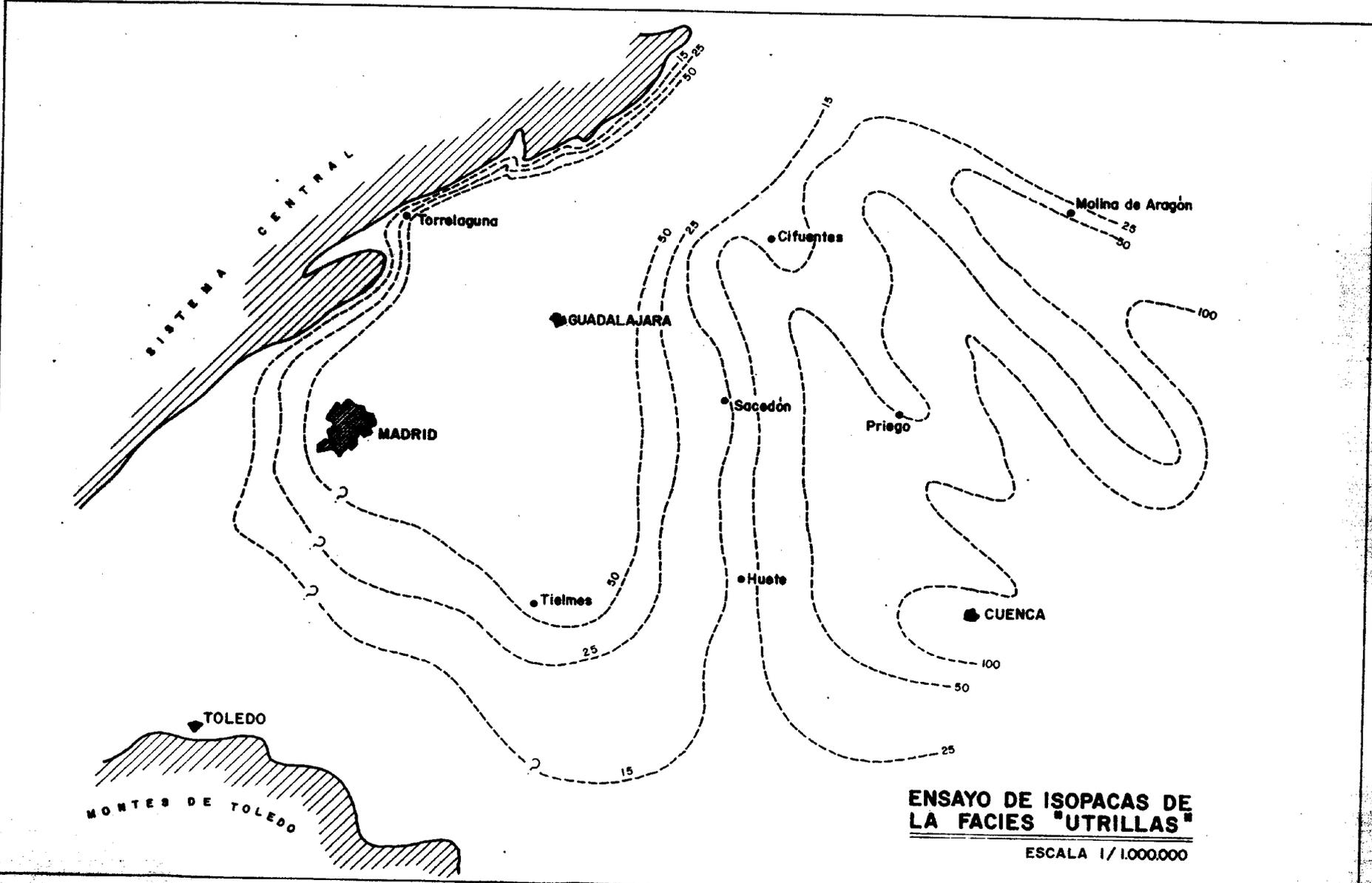
La formación "Utrillas" (extensiva según la mayoría de los autores modernos), corresponde realmente al comienzo de la transgresión Cenomanense. Se encuentra ampliamente distribuida en toda la zona, presentando desde el punto de vista de su edad, un marcado diacronismo. Así, mientras en la zona de Buñol (Valencia) se localizan las últimas intercalaciones marinas septentrionales de edad Albense, este límite se localiza en el Cenomanense Inferior en la zona de Reillo-Cañete, pasando a ser en regiones más occidentales, nuestra zona de estudio, las primeras capas marinas de edad Cenomanense Medio-Superior. Es decir, se puede observar un avance de la transgresión marina hacia el NO, que en sucesivas etapas fué sobrepasando los diversos umbrales existentes.

El Cretácico Superior marino se encuentra distribuido en toda la región. Desde el punto de vista de las potencias (véase gráfico adjunto) las isopacas definen claramente una cuenca en la Serranía de Cuenca, compartimentada en cubetas más o menos aisladas. Otra hipotética cuenca y de gran interés para los fines del presente proyecto, es la que se podría situar al N de Madrid y que correspondería a un surco de dirección NE-SO, sensiblemente paralelo a los bordes del Sistema Central. La existencia de este surco en el Cretácico Superior podría deberse a una zona de subsidencia diferencial con respecto a otras regiones. Las recientes investigaciones sísmicas en el área de estudio parecen indicar, la posible exis-

tencia en la subfosa de El Pardo, de potentes unidades del -
Cretácico Superior.

En el cuadro adjunto puede observarse las diferentes fa
cies del Cretácico en distintos puntos de la región.

CRONOESTRATIGRAFIA		TORRELAGUNA	TIELMES (Sondeo)	IBERICA (M. de Aragón)	SIERRA DE ALTOMIRA (Sector N)	SERRANIA DE CUENCA	
E S T R A T I G R A F I A	PALEOCENO	Tramo E (Brechas intra formacionales)	Anhidrita y algún ní vel de dolomía	Calizas dolomíticas y dolomías	Yesos con intercalaciones calcáreas	Facies Garumense	Areniscas y arcillas rojizas Margas, calizas - lacustres y yesos
	MAASTRICHTIENSE	Tramo D (calizas arenosas y dolomíticas)	Dolomías con intercalaciones de anhidrita				
	CAMPANIENSE	Tramo C (margas y calizas margosas)		"Dolomías brechoides"			
	SANTONIENSE	Tramo B (calizas dolomíticas y dolomías)			Margas arcillosas	Arcillas y dolomías	
	CONIACIENSE	Tramo A (calizas margosas)	Calizas arcillosas y margas	Calizas dolomíticas recristalizadas			Dolomías "Ciudad Encantada"
TURONENSE	"Fm. Arenas de Utrillas"	"Fm. Arenas de Utrillas"	Dolomías y calizas - dolomíticas	Margas, calcarenitas y areniscas	Dolomías, arcillas y - calizas	Arcillas calcáreas verdes	
CENOMANENSE			"Fm. Arenas de Utrillas"	"Fm. Arenas de Utrillas"	"Fm. Arenas de Utrillas"	"Fm. Arenas de Utrillas"	"Fm. Arenas de Utrillas"
ALBENSE	Fase Adástrica	Fase Adástrica	Fase Adástrica	Fase Adástrica	Serie ciclotemática (lignitos)		
APTENSE	BARREMIENSE HAUTERIVIENSE					Arcillas abigarradas y areniscas	



SISTEMA CENTRAL

Torrelaguna

GUADALAJARA

MADRID

Tielmes

Sacadón

Huete

Cifuentes

Priego

CUENCA

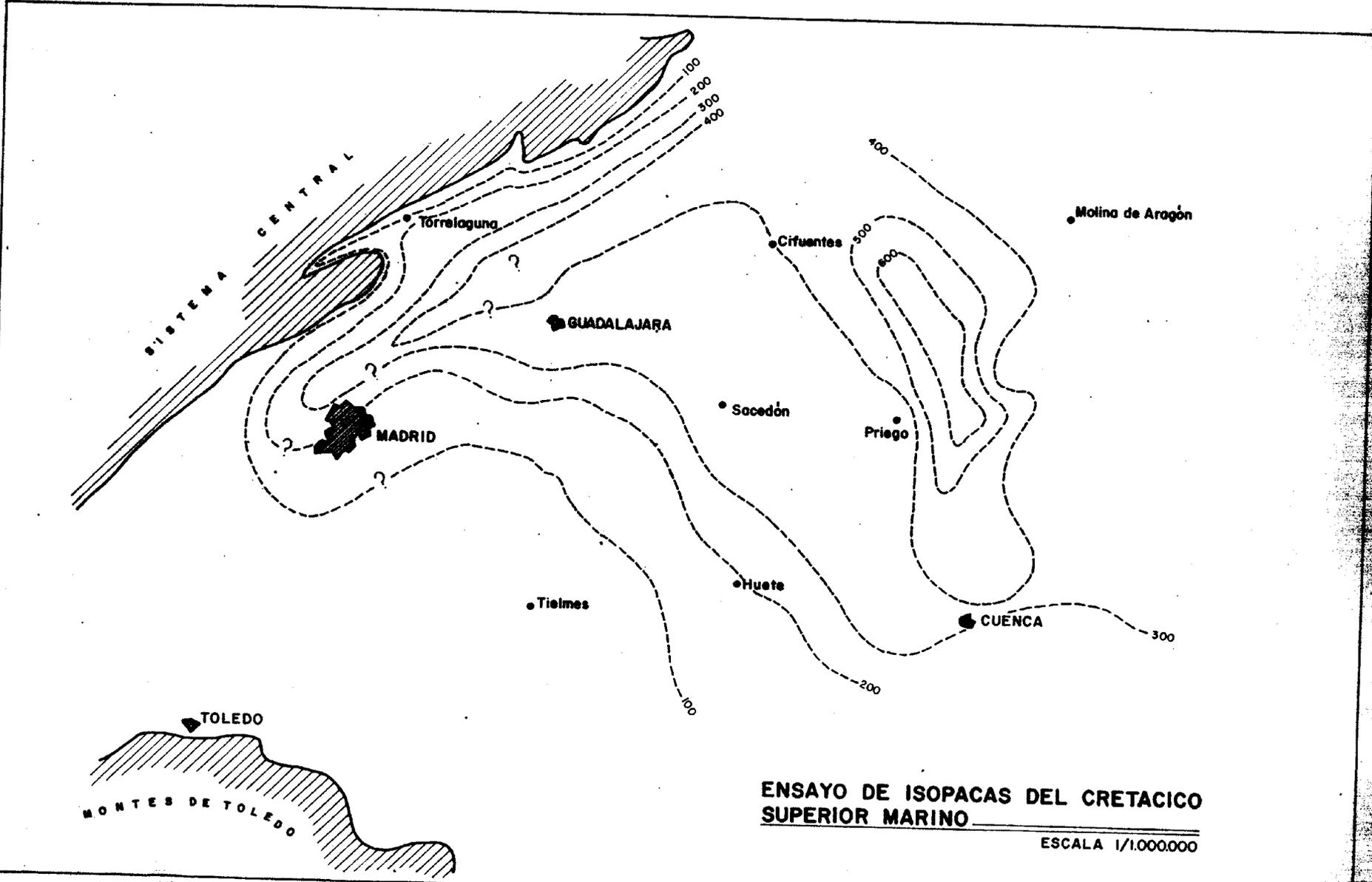
Molina de Aragón

TOLEDO

MONTES DE TOLEDO

ENSAYO DE ISOPACAS DE LA FACIES "UTRILLAS"

ESCALA 1/1.000.000



ENSAYO DE ISOPACAS DEL CRETACICO SUPERIOR MARINO

ESCALA 1/1.000.000

5. HIDROGEOLOGIA DEL CRETACICO

Los datos que a continuación se aportan han sido tomados del "Estudio Hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna", realizado por CORCHON RODRIGUEZ.

5.1. CLIMATOLOGIA

Para el estudio de las precipitaciones se consideran las siguientes estaciones pluviométricas:

Embalse de El Vado	751 mm
Lozoyuela	798 mm
Presa de Puentes Viejas	645 mm
Talamanca del Jarama	524 mm
Bustarviejo	946 mm
Guadalix de la Sierra	664 mm

La precipitación media en la zona para el período 1945-46 al 1962-63 es de 720 mm aproximadamente. La temperatura media anual es de 11,3° C, registrándose una temperatura máxima diaria de 34,3° C y una media diaria mínima de -5° C.

La evapotranspiración es de 350 mm en la Presa de El Vado y 230 mm en la de Puentes Viejas. La diferencia entre las precipitaciones y la evapotranspiración es de 300 a 350 mm/año, que es la escorrentía total.

5.2. GEOMETRIA DE LOS ACUIFEROS

La superficie ocupada por los afloramientos cretácicos es aproximadamente de unos 80 km². La extensión total horizontal bajo sedimentos más modernos, está limitada hacia el S - por una gran falla de salto superior a los 1.000 m, que interrumpe bruscamente la continuidad del Cretácico.

El trazado de esta gran falla discurre sensiblemente paralelo a los afloramientos cretácicos, y a una distancia de - éstos comprendida entre 1 km, en las proximidades de El Molar, y unos 5 km a la altura de Uceda. El área que puede quedar sumergida bajo formaciones más modernas es del orden de 190 a - 230 km.

Las potencias del Cretácico se deducen a partir de las columnas estratigráficas superficiales, sondeos mecánicos de reconocimiento y pozos experimentales. En el siguiente cuadro se recogen los espesores que a continuación se indican:

<u>Zona</u>	<u>F. "Utrillas"</u>	<u>Cretácico Super.</u>
San Agustín-El Molar	35 m	40 m
El Espartal-El Vellón	40 m	45 m
Fosa Guadalix-Redueña	35 m	35 m
Torrelaguna-El Pontón de la Oliva	45 m	60 m
Zona Tamajón	80 m	100 m
	<hr/>	<hr/>
Espesor medio	47 m	56 m

5.3. CARACTERISTICAS DE LOS ACUIFEROS

Se estudian en este apartado las características hidrogeológicas generales de los materiales cretácicos y de los oligocenos no definidos al hablar de la Cuenca de Madrid, por considerar que desde el punto de vista hidrogeológico, era más coherente hacerlo junto con la descripción del Cretácico, por constituir los materiales premiocenos el techo de la anterior unidad.

5.3.1. FACIES "UTRILLAS"

Es un acuífero con permeabilidad primaria por porosidad intergranular, siendo su base impermeable el zócalo paleozoico.

Se encuentra confinado o semiconfinado por el paquete de margas y calizas margosas inmediatamente superiores del acuitardo A, excepto en las zonas de afloramientos. Los sondeos situados en este acuífero son surgentes, con el nivel piezométrico siempre por encima del nivel de agua de los acuíferos cársticos superiores.

La calidad química de las aguas de este acuífero y su contenido en unidades Tritio, además de la posición de su nivel piezométrico, parecen probar su independencia y aislamiento respecto a los acuíferos calizos superiores.

Respecto a la composición, se trata de arenas de grano fino muy uniformes, cuyo tamaño medio está comprendido entre 0,15 y 0,40 mm.

De la aplicación del gráfico de Breddin a las curvas granulométricas, de las pruebas de permeabilidad realizadas en laboratorio y de los ensayos de bombeos, se deduce que se trata de un acuífero poco permeable, pobre, del que únicamente se pueden extraer pequeños caudales de agua.

5.3.2. CRETACICO SUPERIOR

Se describen por separado los cinco tramos individualizados en el apartado 4.2.2.

Acuitardo A

Se trata de un tramo calco-margoso que separa la facies detrítica basal de los paquete calco-dolomíticos carstificados superiores, individualizando ambos acuíferos. Estratigráficamente se corresponde con el tramo A del Cretácico Superior.

El grado de carstificación que presenta este miembro es muy incipiente, debido al abundante contenido en arcilla de sus materiales. Puede ocurrir que en algunas zonas se presenten intercalaciones de bancos más calcáreos que tengan una cierta transmisibilidad horizontal.

Hidrogeológicamente se le puede considerar en conjunto como un acuitardo, es decir, como una capa semipermeable que permite una pequeña circulación de agua a su través.

No es de esperar caudales importantes en este acuitardo. Estos materiales aíslan el acuífero basal arenoso de los acuíferos superiores, como lo prueban los diferentes niveles piezométricos que tienen ambos.

Acuífero B

Constituye el principal acuífero de toda la serie cretácica, dada su elevada permeabilidad debida a su fuerte grado de carstificación. Hidrogeológicamente se le puede definir como un acuífero con permeabilidad secundaria por fisuración y carstificación. Presenta excelentes posibilidades para la captación de importantes caudales de agua subterránea.

En estos materiales se encuentra instalado un carst de variable desarrollo según las zonas. Los pozos construidos por el Servicio Geológico de Obras Públicas en esta zona han

proporcionado caudales superiores a los 100 l/seg, con transmisibilidades del orden de los 1.000 m²/día y caudales específicos de 10 l/seg/m.

Estratigráficamente este acuífero calco-dolomítico se corresponde con el tramo B, descrito en el apartado de estratigrafía.

Las cuevas y conductos cársticos que se observan en este tramo se instalan preferentemente en el contacto con las calizas margosas y margas sobre las que descansa.

Como se dijo en el apartado de estratigrafía, el acuífero B siempre tiene una composición mineralógica más dolomítica que el acuífero D, y puesto que es en aquél donde está instalado el carst principal, puede pensarse en una posible relación directa entre la dolomitización de la roca y su grado de carstificación. Sobre este aspecto hay opiniones diferentes, pero parece haberse llegado a la conclusión de que no es posible establecer una relación entre ambos fenómenos, puesto que, como es sabido, en el proceso general de carstificación intervienen, además de factores fisicoquímicos, factores estructurales, biológicos, climatológicos, geomorfológicos, paleogeográficos, etc, que pueden influir, tanto o más que la composición química de la roca.

Se encuentra separado del acuífero D superior, por una delgada intercalación de margas y calizas margosas semipermeables que parecen aislar hidráulicamente en algunas zonas los dos acuíferos, ya que se ha observado que tienen diferentes niveles piezométricos.

A efectos prácticos, se puede considerar a los acuíferos B y D como uno sólo, pero con un tramo intermedio menos permeable.

Acuitardo C

Se trata de una delgada capa margosa y calco-margosa intercalada entre los acuíferos B y D.

Sus características hidrogeológicas son análogas a las del acuitardo A, es decir, se trata de una capa semipermeable que permite una pequeña conexión hidráulica entre los acuíferos B y D, individualizando a veces ambos acuíferos.

De todas formas, dado su pequeño espesor, se puede considerar conjuntamente ambos acuíferos, definiéndose entonces como un tramo menos permeable dentro del conjunto, sobre todo teniendo en cuenta que a veces desaparece al ser comprimido - por las capas más competentes superior e inferior.

Acuífero D

Es un acuífero cárstico análogo al B, pero con un grado de carstificación menor, como parece deducirse del estudio separado de sus transmisibilidades. Los conductos carstificados se encuentran desarrollados en el contacto con el tramo basal C semimpermeable.

En las zonas donde aflora presenta, junto con el resto de la serie cretácica, un fuerte buzamiento que provoca una elevada escorrentía superficial.

Estratigráficamente se corresponde con el tramo D. En este tramo se encuentra ubicada la cueva de Escariquela, importante forma endocárstica.

En la zona donde aflora constituye un acuífero libre, - pasando a confinado o semiconfinado cuando los materiales pre miocenos y miocenos lo recubren.

Se encuentra conectado hidráulicamente con los ríos Jarama y Lozoya en el tramo comprendido entre la presa del Pontón de la Oliva y el cruce de la carretera de Torrelaguna a la presa de El Atazar con la carretera de Uceda, coincidiendo su nivel piezométrico con el del río Jarama en esta zona. También está conectado con el río Guadalix al NO de San Agustín de Guadalix.

A lo largo de la margen derecha aparecen alineados numerosos manantiales, que constituyen la zona de descarga del acuífero del Cretácico Superior en conjunto.

Acuífero E

No se tienen datos acerca del funcionamiento hidrogeológico de las brechas calizas intraformacionales del Cretácico Superior.

Dadas sus características litológicas se puede suponer que probablemente constituye un único acuífero junto con el D, ya que ambos tramos están íntimamente en contacto.

5.3.3. OLIGOCENO

En realidad son dos acuitardos que corresponden a las dos distintas facies que presenta.

El tramo inferior está constituido por margas y arcillas con intercalaciones de conglomerados y potentes lentejones de yesos y margas yesíferas, que hacia el techo suele tener niveles de calizas tobáceas. En detalle, estos materiales pueden constituir acuíferos locales, aunque prácticamente desconectados hidráulicamente los unos de los otros. Los paquetes de yesos pueden constituir a veces acuíferos cársticos, individualizados unos de otros por los tramos arcillosos y margosos. También los niveles de calizas tobáceas (superiores, muy porosas y permeables) deben constituir acuíferos, aunque de poca importancia por su escasa potencia que no sobrepasa los 5-6 m.

En conjunto, como se ha dicho anteriormente, se puede considerar hidrogeológicamente como un acuitardo que permite la lenta circulación de agua a su través.

El tramo superior está representado por bancos de conglomerados, que tienen su mayor desarrollo en la fosa tectónica de Guadalix-Redueña. Aunque no se tienen datos, deben ser poco permeables debido a su intensa cementación y están separados por delgadas intercalaciones de arcillas y margas. Además, el estar situados a cotas topográficas altas y colgados sobre los materiales del Oligoceno Inferior, ofrecen un

fácil drenaje. En conjunto, hay que considerarlo también como un acuitardo.

5.4. PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS

En este apartado se describen los parámetros hidrogeológicos que definen a los materiales del Cretácico.

5.4.1. FACIES "UTRILLAS"

La permeabilidad de estos materiales es baja como ya se dijo anteriormente. Los valores de ésta obtenidos mediante ensayos en parámetros, son del orden de 0,17 a 0,34 m/día. Mediante la aplicación del gráfico de Breddin a las curvas granulométricas de las muestras de este acuífero, se obtienen valores del coeficiente de permeabilidad mayores, del orden de 4 a 7 m/día.

Mediante un ensayo de bombeo se obtuvo una transmisividad de 37 m²/día. En pruebas de permeabilidad realizadas en piezómetros se obtuvieron valores de transmisibilidad comprendidos entre 25 y 40 m²/día.

Los valores del coeficiente de almacenamiento de este acuífero, deducidos de un ensayo de bombeo y de pruebas de descenso constante efectuadas en los piezómetros surgentes, oscilan entre 3×10^{-4} y 5×10^{-4} .

La porosidad eficaz de este acuífero, está comprendida en base a sus características litológicas y granulométricas, entre un 5 y un 10%.

5.4.2. CRETACICO SUPERIOR

Se considera que los cinco tramos que integran la parte superior del Cretácico constituyen un sólo acuífero.

Los datos se han obtenido de ensayos de bombeo, dan unos valores de transmisibilidad comprendidos entre 800 y más de $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en la zona de la confluencia de los ríos Jarama y Lozoya. En las proximidades de Torrelaguna es mucho más baja, del orden de 10 a $50 \text{ m}^2/\text{día}$. Estos márgenes de variación son lógicos en los acuíferos cársticos debido a la heterogeneidad de la distribución de las fisuras.

Los valores del coeficiente de almacenamiento están comprendidos entre 10^{-3} y 10^{-4} . La porosidad eficaz se puede estimar conservadoramente que está comprendida entre el 2 y el 5%.

5.4.3. OLIGOCENO

Debido a que los materiales oligocenos no constituyen un acuífero, no se tienen datos acerca de sus parámetros hidrogeológicos.

5.5. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

La recarga de los acuíferos cretácicos se produce a través de la infiltración eficaz de la lluvia en las zonas de afloramiento, además de la recarga inducida de los numerosos arroyos que surcan estos afloramientos.

La descarga se produce a través de sus aliviaderos naturales que son los manantiales cársticos de la zona.

El caudal total que mana de los manantiales de la zona es de 200 l/seg, de los que una parte importante se debe a las pérdidas de los canales de abastecimiento a Madrid, que discurren por encima de los afloramientos cretácicos.

Las entradas de agua al Cretácico se pueden estimar en unos $20-25 \text{ Hm}^3/\text{año}$, de los que 8 a $10 \text{ Hm}^3/\text{año}$ se deben a infiltración de la lluvia.

Actualmente los ríos Lozoya, Jarama y Guadalix se comportan como afluentes, es decir, drenan a los materiales cretácicos.

6. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Como los materiales más interesantes desde el punto de vista geotérmico son los cretácicos, debido a sus buenas características hidrogeológicas y a su distribución en profundidad bajo los sedimentos terciarios en la cuenca de Madrid, sólo se han considerado como útiles para nuestros fines, la obtención de muestras de agua para análisis hidroquímicos e isotópicos, aquellos que están situados en los afloramientos cretácicos o alcanzan en profundidad a éstos.

En cuanto a sondeos profundos en la zona, que pudieran aportar datos útiles para nuestros fines, se reducen a dos, el primero realizado por el IGME en el año 1928 con una profundidad de 1.001 m, se encuentra situado en Alcalá de Henares. El objetivo fué la investigación artesiana de la cuenca de Madrid. El segundo, más moderno, tiene una mayor profundidad, 1.655 m y el objetivo fué la investigación petrolífera.

El inventario de puntos de agua del Cretácico se ha obtenido del "Estudio hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna", elaborado por CORCHON RODRIGUEZ. En los cuadros siguientes se dan las características más sobresalientes de aquéllos.

En total son 66 puntos de aguas de los que 16 son pozos, 33 sondeos mecánicos de reconocimiento y 16 corresponden a fuentes y manantiales.

También se han obtenido muestras de dos sondeos ubicados en el Terciario detrítico, para análisis hidroquímicos e isotópicos. Estos sondeos construidos por Agua y Suelo, S.A., se utilizan para el abastecimiento de Madrid. Los datos de estos dos sondeos son los siguientes:

FPX 3-437

Longitud = $0^{\circ} 02' 28''$ O (Meridiano de Madrid)

Latitud = $40^{\circ} 30' 13''$ N

Profundidad = 437 m

FA 3-431

Longitud = $0^{\circ} 02' 36''$ O (Meridiano de Madrid)

Latitud = $40^{\circ} 30' 35''$ N

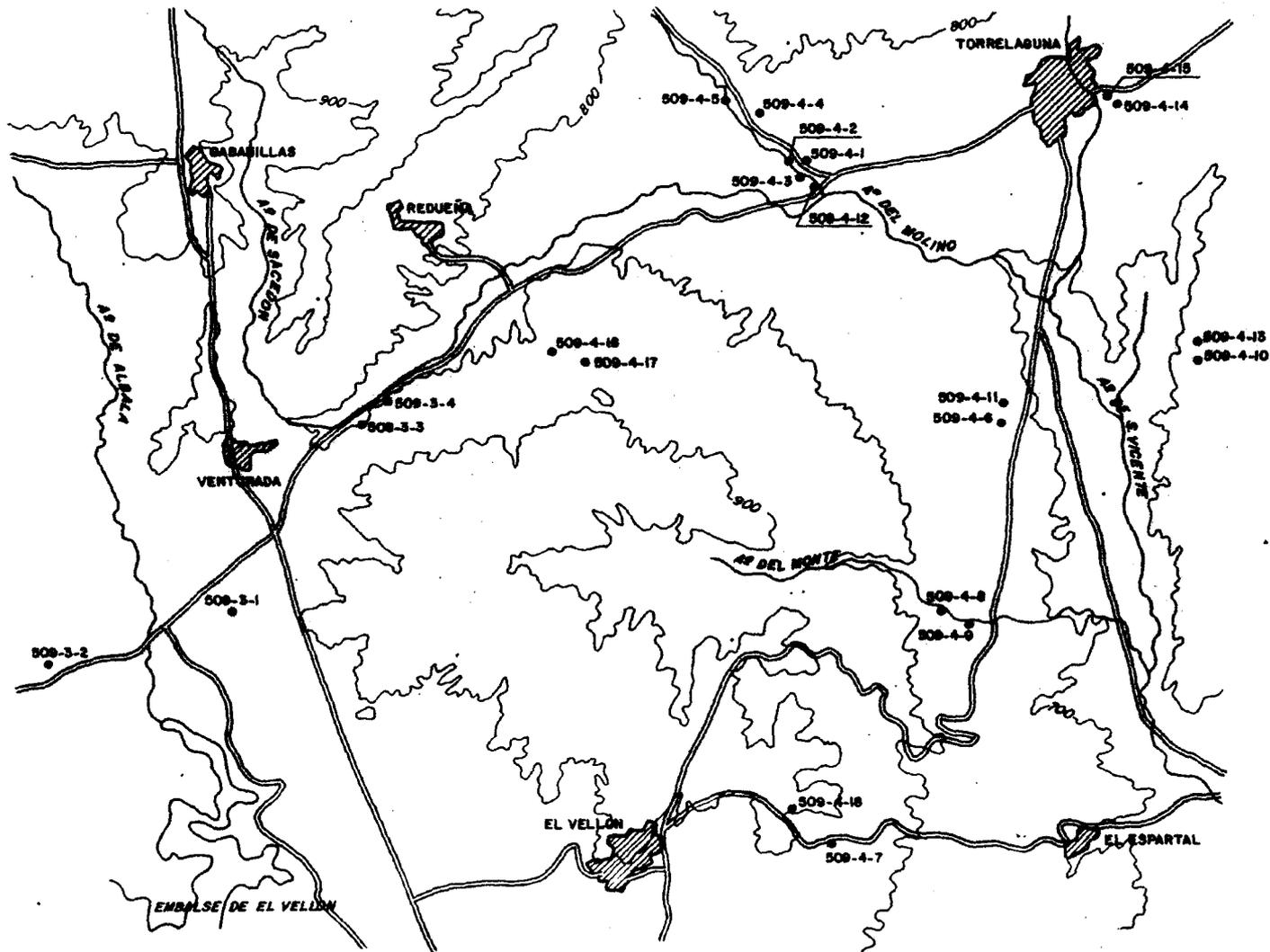
Profundidad = 431 m

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Hoja	Octante	N° pozo	Toponimia	Naturaleza	Profund.	Prof. agua	Cota	Caudal en l/seg. de la bomba	Naturaleza del acuífero	Observaciones
459	8	1	Pozo moderno de abastecimiento	Pozo entubado	50,00	2,50	1.034	4	Calizas arenosas	-
455	8	2	Pozo abastecimiento	Pozo excavado	3,50	3,20	1.033	7	Calizas arenosas	Se agota en 10 minutos
459	8	3	Pozo de la Calzada	Pozo excavado	5,55	4,43	1.030	2,5	Calizas arenosas	Se agota en 20 minutos
455	8	4	Sondeo n° 7 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	91,75	14,00	1.070	-	Arcillas, margas y arenas	-
459	8	5	Sondeo n° 6 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	180,00	14,70	1.060	-	Calizas arenosas	Admisión de agua 0,2 l/m/minuto
459	8	6	Sondeo n° 5 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	200,00	13,60	1.070	-	Calizas y margas	-
459	8	7	Sondeo n° 4 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	180,26	11,50	1.060	-	Calizas y margas	Admisión de agua 0,47 l/m/minuto
459	8	8	Sondeo n° 3 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	127,00	11,50	1.040	-	Calizas y margas	-
459	8	9	Sondeo n° 2 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	114,30	7	1.035	-	Areniscas y arcillas	-
459	8	10	Sondeo n° 1 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	21,00	4,50	1.070	-	Impermeable	-
459	8	11	Sondeo n° 11 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	90,40	3,20	1.060	-	Calizas y margas	-
459	8	12	Sondeo n° 12 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	133,35	7	1.050	-	Calizas y calizas margosas	-
459	8	13	Sondeo n° 13 del S.G.O.P.	Sondeo de Reconocimiento	171,60	3,00	1.040	-	Calizas margosas	-
484	1	1	Pozo moderno de abastecimiento	Pozo entubado	78,00	1,20	1.090	-	Calizas y areniscas	Q = 2,3 l/seg.
484	1	2	Manantial Prado de las Eras	Manantial	-	-	1.089	-	Calizas	Q = 5 l/seg.
485	5	1	Sondeo ST-4	Sondeo piezométrico	278,00	26,20	730	-	Calizas	-
485	5	2	Pozo PT-2	Pozo entubado	213,00	2,5 atmósf.	714	-	Calizas y areniscas	Pozo surgente. T = 35-40 m ² /día
485	5	3	Manantial Barranco de las Cuevas	Manantial	-	-	698	-	Calizas	Q = 50 l/seg.
485	5	4	Manantial del Jardínillo	Manantial	-	-	700	-	Calizas	Q = 5 l/seg.
485	5	5	Sondeo S-18 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	60,00	46,20	825	-	Calizas	Admisión de agua 1 l/m/minuto
485	5	6	Sondeo S-15 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	57,00	28,00	725	-	Calizas	Admisión de agua 1,05 l/m/minuto
485	5	7	Sondeo S-14 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	60,00	4,40	704	-	Calizas	Admisión de agua 1,00 l/m/minuto
485	5	8	Sondeo S-13 del S.G.O.P.	Sondeo de reconocimiento	60,00	2,05	704	-	Calizas	Admisión de agua 1,00 l/m/minuto
485	5	9	Pozo PT-5	Pozo no entubado	96,00	5,15	704	-	Calizas y calizas margosas	Q = 1,5 l/seg.
485	5	10	Manantial del Locino	Manantial	-	-	702	-	Calizas	Q = 30 l/seg.

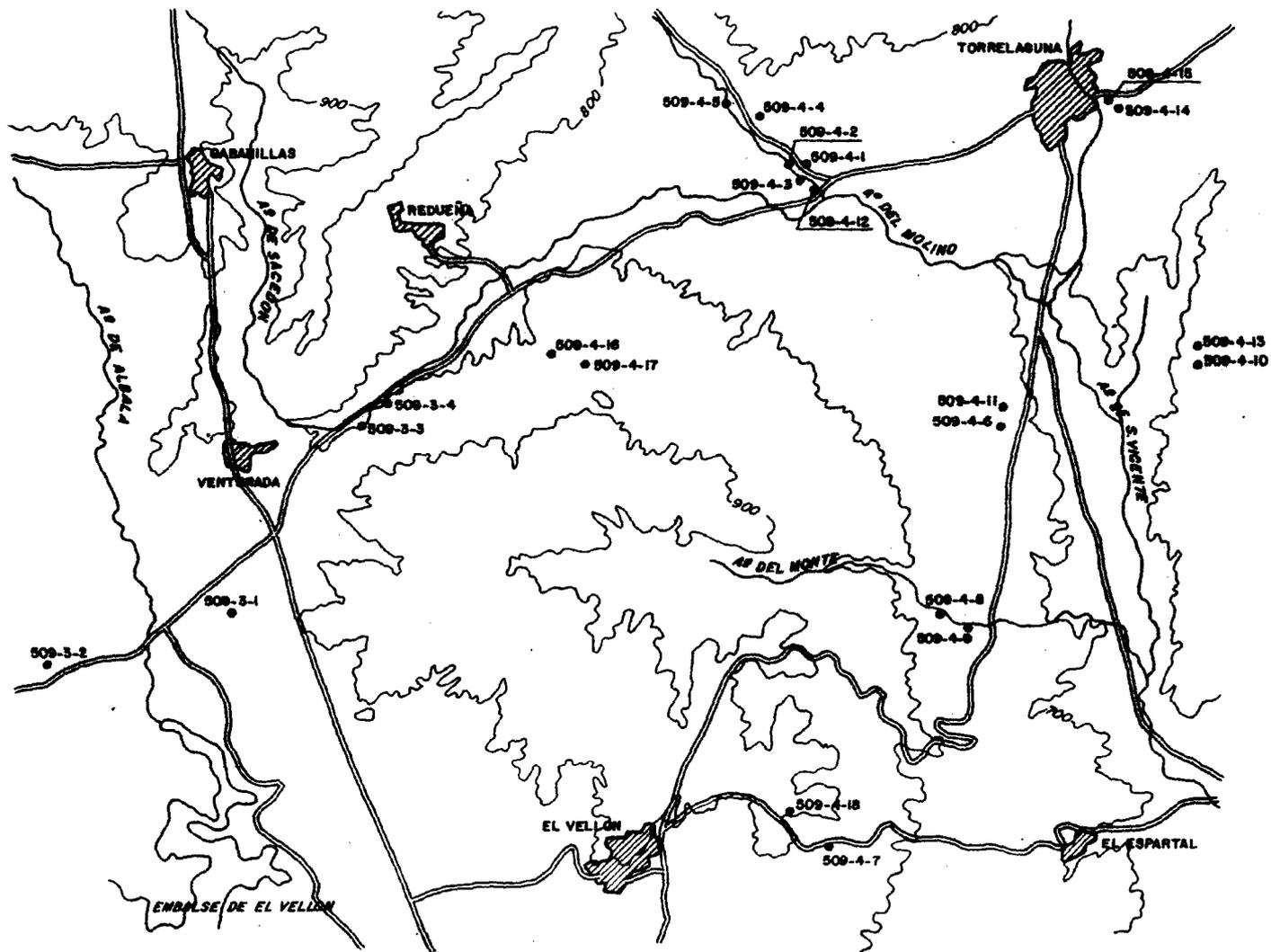
Noja	Octante	N° POZO	Toponimia	Naturaleza	Profund.	Prof. agua	Cota	Caudal en l/seg. de la bomba	Naturaleza del acuífero	Observaciones
485	5	11	Manantial pozos Panney	Manantial	-	-	702	-	Calizas	Q = 2,5 l/seg.
485	5	12	Sondeo ST-3	Sondeo piezométrico	72,50	5,00	708	-	Calizas	-
485	5	13	Pozo PT-1 (B)	Pozo no entubado	100,00	6,00	708	-	Calizas y calizas margosas	Actualmente está cementado
485	5	14	Pozo PT-1 (C)	Pozo entubado	150,00	5,00	708	100	Calizas y calizas margosas	T = 800 m ² /día
485	5	15	Pozo PT-1 (A)	Pozo entubado	79,00	6,40	708	78	Calizas y calizas margosas	T = 600 - 1.600 m ² /día
485	5	16	Pozo PT-4	Pozo entubado	262,00	5,33	708	80	Calizas y areniscas	T = 125-800 m ² /día
485	5	17	Sondeo ST-8 (A)	Sondeo piezométrico	211,50	4,00	708	-	Areniscas	Sondeo surgente. Q = 10 l/min.
485	5	18	Fuente del Canalejo	Fuente	-	-	707	-	Calizas	Q = 30-50 l/seg.
485	5	19	Manantial Valdentelos	Manantial	-	-	708	-	Calizas	Q = 3-5 l/seg.
485	5	20	Manantial Pontón de la Oliva	Manantial	-	-	710	-	Calizas	Q = 5-10 l/seg.
485	5	21	Manantial del Rocandero	Manantial	-	-	700	-	Calizas	Q = 10 l/seg.
485	5	22	Sondeo Krensa S-1	Sondeo piezométrico	67,50	0,00	708	-	Calizas y calizas margosas	Sondeo surgente Q = 4 l/min.
485	5	23	Sondeo ST-8 (B)	Sondeo piezométrico	120,00	2,00	708	-	Calizas y calizas margosas	-
485	5	24	Sondeo ST-11	Sondeo piezométrico	126,15	10,00	710	-	Yesos	No alcanza al Cretácico
509	3	1	Pozo PT-3	Pozo entubado	218,00	21,50	844	70	Calizas, calizas margosas y aren.	T = 30-1.000 m ² /día
509	3	2	Sondeo ST-2	Sondeo piezométrico	164,50	17,00	830	-	Yesos	No alcanza al Cretácico
509	4	1	Sondeo ST-1 (A)	Sondeo piezométrico	191,50	6,0 atmósf.	729	-	Areniscas	Sondeo surgente. Q = 11 l/seg.
509	4	2	Sondeo ST-1 (B)	Sondeo piezométrico	79,10	2,8 atmósf.	729	-	Calizas	Sondeo surgente. Q = 0,8 l/seg.
509	4	3	Sondeo ST-1 (C)	Sondeo piezométrico	40,00	6,00	729	-	Calizas	-
509	4	4	Manantial de las Peñuelas	Manantial	-	-	732	-	Calizas	Q = 1-3 l/seg.
509	4	5	Fuente de Vera Gil	Fuente	-	-	733	-	Calizas	Q = 10 l/seg.
509	4	6	Sondeo ST-5 (B)	Sondeo piezométrico	215,70	1,6 atmósf.	723	-	Areniscas	Sondeo surgente. Q = 1,2 l/seg.
509	4	7	Fuente de la Caleriza de la Torre	Fuente	-	-	892	-	Areniscas	Q = 2-3 l/min.
509	4	8	Fuente Gorda de la Aldehuela	Fuente	-	-	733	-	Calizas	Q = 3-5 l/seg.
509	4	9	Manantial Almenara de Aldehuela	Manantial	-	-	723	-	Calizas	Q = 7-10 l/seg.
509	4	10	Sondeo ST-6 (A)	Sondeo piezométrico	141,20	79,00	724	-	Yesos	No se alcanza el Cretácico
509	4	11	Sondeo ST-5 (A)	Sondeo piezométrico	122,20	0,1 atmósf.	723	-	Calizas	Sondeo surgente. Q = 1,4 l/seg.
509	4	12	Pozo PT-6	Pozo entubado	185,00	7,5 atmósf.	729	35	Calizas y areniscas	Pozo surgente. T = 20 m ² /día
509	4	13	Pozo ST-6 (B)	Sondeo piezométrico	231,60	79,00	724	-	Yesos	No alcanza al Cretácico

<u>Hoja</u>	<u>Oriente</u>	<u>N° pozo</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Naturaleza</u>	<u>Profund.</u>	<u>Prof. agua</u>	<u>Cota</u>	<u>Caudal en l/seg. de la bomba</u>	<u>Naturaleza del acuífero</u>	<u>Observaciones</u>
509	4	14	Sondeo ST-10	Sondeo piezométrico	243,00	0,8 atmósf	725	-	Calizas	Sondeo surgente
509	4	15	Sondeo ST-10 (Y)	Sondeo piezométricos	100,00	4,60	725	-	Yesos	-
509	4	16	Fuente El Montecillo	Fuente	-	-	840	-	Calizas	Q = 0,04 l/seg.
509	4	17	Pozo finca "El Montecillo"	Pozo entubado	150,00	10,00	875	-	Calizas	Q = 1 l/seg.
509	7	4	Sondeo ST-9	Sondeo piezométrico	50,00	12,40	720	-	Calizas	-
509	3	3	Pozo Urbanización "Monterrey"	Pozo entubado	150,00	Surgente	830	-	Calizas	Q = 0,5 l/seg.
509	3	4	-	Fuente	-	-	800	-	Calizas	Q = 0,2 l/seg.
509	4	18	Fuente La Caiza	Fuente	-	-	860	-	Calizas	Q = 0,01 l/seg.



HOJA DE TORRELAGUNA

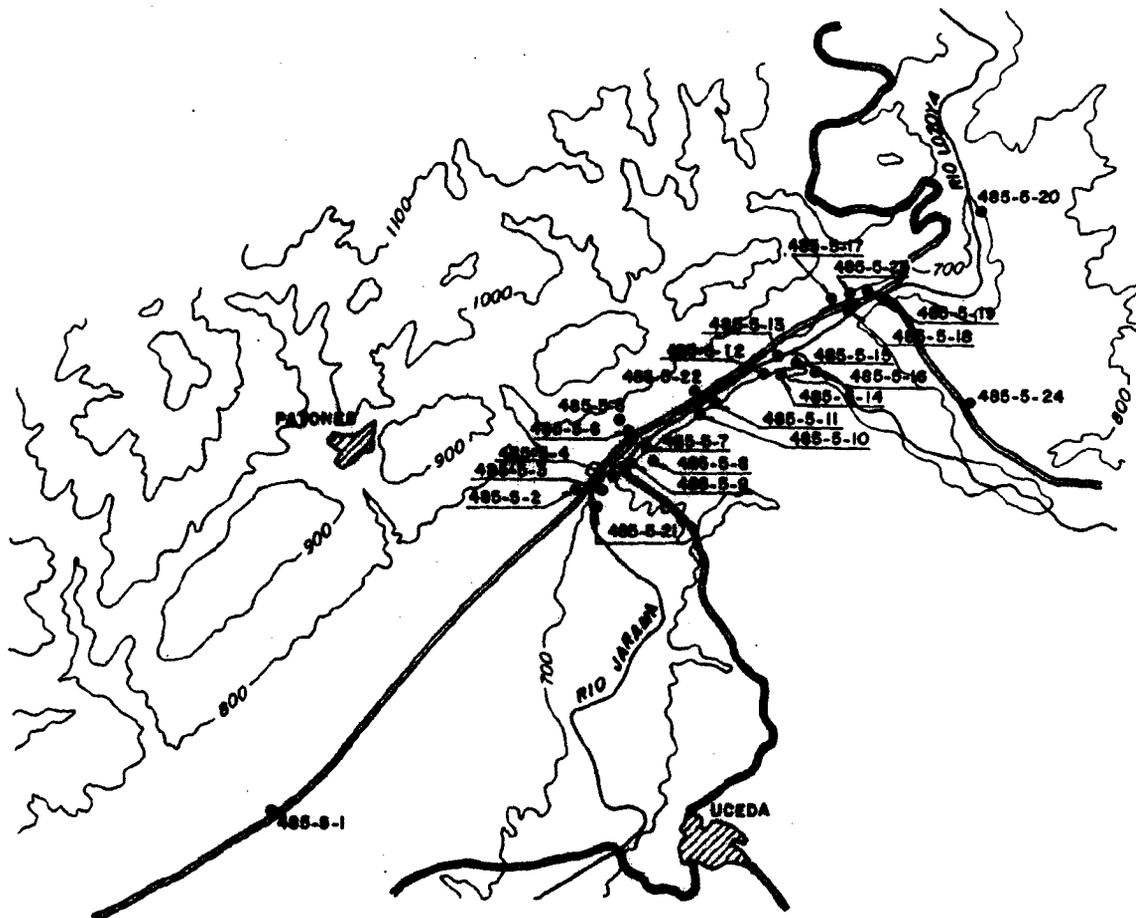
SITUACION DE PUNTOS DE AGUA
 ESCALA 1/50.000



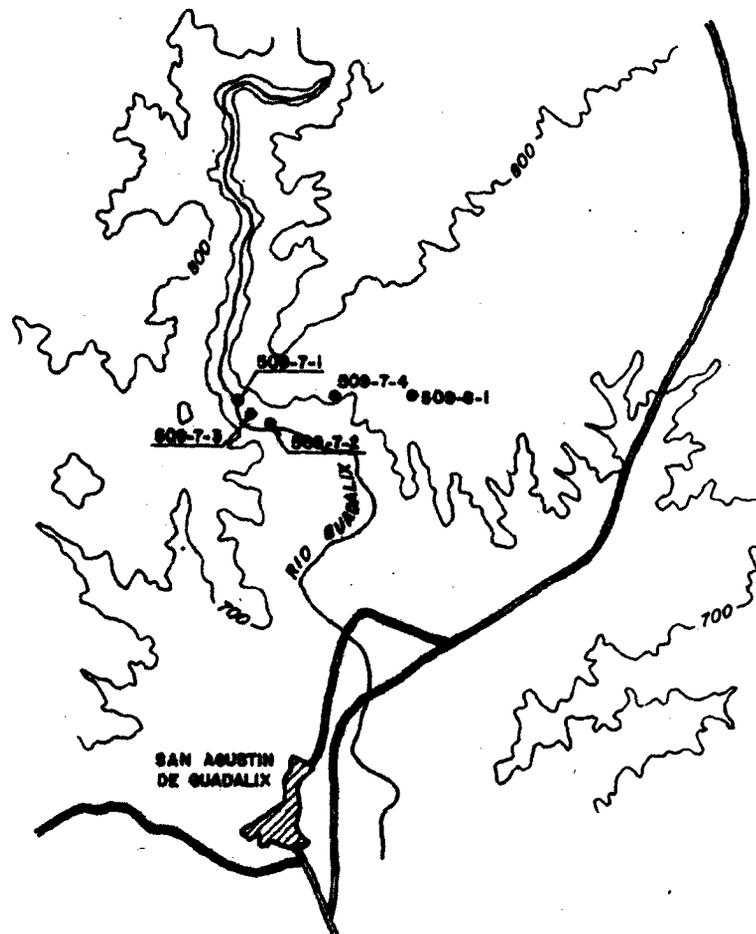
HOJA DE TORRELAGUNA

SITUACION DE PUNTOS DE AGUA

ESCALA 1/50.000



HOJA DE VALDEPEÑAS DE LA SIERRA



HOJA DE TORRELAGUNA

SITUACION DE PUNTOS DE AGUA

ESCALA 1/50.000

7. HIDROQUIMICA

7.1. INTRODUCCION

En este apartado describiremos las características químicas de las aguas del Cretácico en especial. También lo serán las del Terciario (Mioceno y Oligoceno).

Para este fin se han recogido un total de 60 muestras de agua, repartidas en 33 puntos. En la tabla adjunta se puede observar los puntos de agua que corresponden a cada muestra; asimismo, al final del capítulo se dan los resultados de estos análisis.

En los puntos de agua correspondientes al Cretácico y Oligoceno se han realizado dos tandas de recogida de muestras.

Se han determinado los parámetros usuales: seis aniones ($\text{CO}_3^{=}$, CO_3H^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , NO_2^- , NO_3^-) y cuatro cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+), además se ha determinado el contenido de SiO_2 (para la utilización como geotermómetro) y otros parámetros de carácter físico.

Los resultados de los análisis de la primera tanda del Cretácico y Oligoceno y los del Mioceno, se han representado en un diagrama de Piper-Hill-Langelier.

A continuación se describen las características hidroquímicas de cada acuífero.

7.2. CRETACICO INFERIOR (FACIES UTRILLAS)

Corresponde a este acuífero una muestra, la GTM-26.

De los análisis efectuados se deduce que es un agua con características bicarbonatada sódico-cálcica. En el trabajo de CORCHON, F., se definían a las aguas procedentes de este acuífero como bicarbonatadas magnésico-cálcicas; por lo tanto ha habido un aumento del contenido en sodio en detrimento del magnesio. Esto puede deberse a una influencia, en la zona de muestreo de la recarga del acuífero por aguas de escorrentía superficial, ricas en sodio, gracias al lavado de los silicatos.

7.3. CRETACICO SUPERIOR

Las muestras procedentes de esta unidad son las siguientes: GTM-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30 y 31.

De la observación del diagrama de Piper se deduce que corresponden a aguas clasificadas en dos grupos: bicarbonatadas cálcico-magnésicas y sulfatadas cálcico-magnésicas. Las clasificadas en este segundo grupo no se las puede considerar como típicas de este acuífero, debiéndose el aumento del contenido en sulfatos a una contaminación por los yesos del Oligoceno.

Hay otras dos muestras, la GTM-12 y 16 que corresponden a una mezcla de los acuíferos del Cretácico Inferior y Superior, teniendo las dos las mismas características que las del Cretácico Superior, es decir, bicarbonatadas cálcico-magnésicas.

7.4. OLIGOCENO

De este acuífero procede una sola muestra, la GTM-15. Del análisis de agua se deduce que es un agua sulfatada magnésico-cálcica y es impotable para el consumo humano.

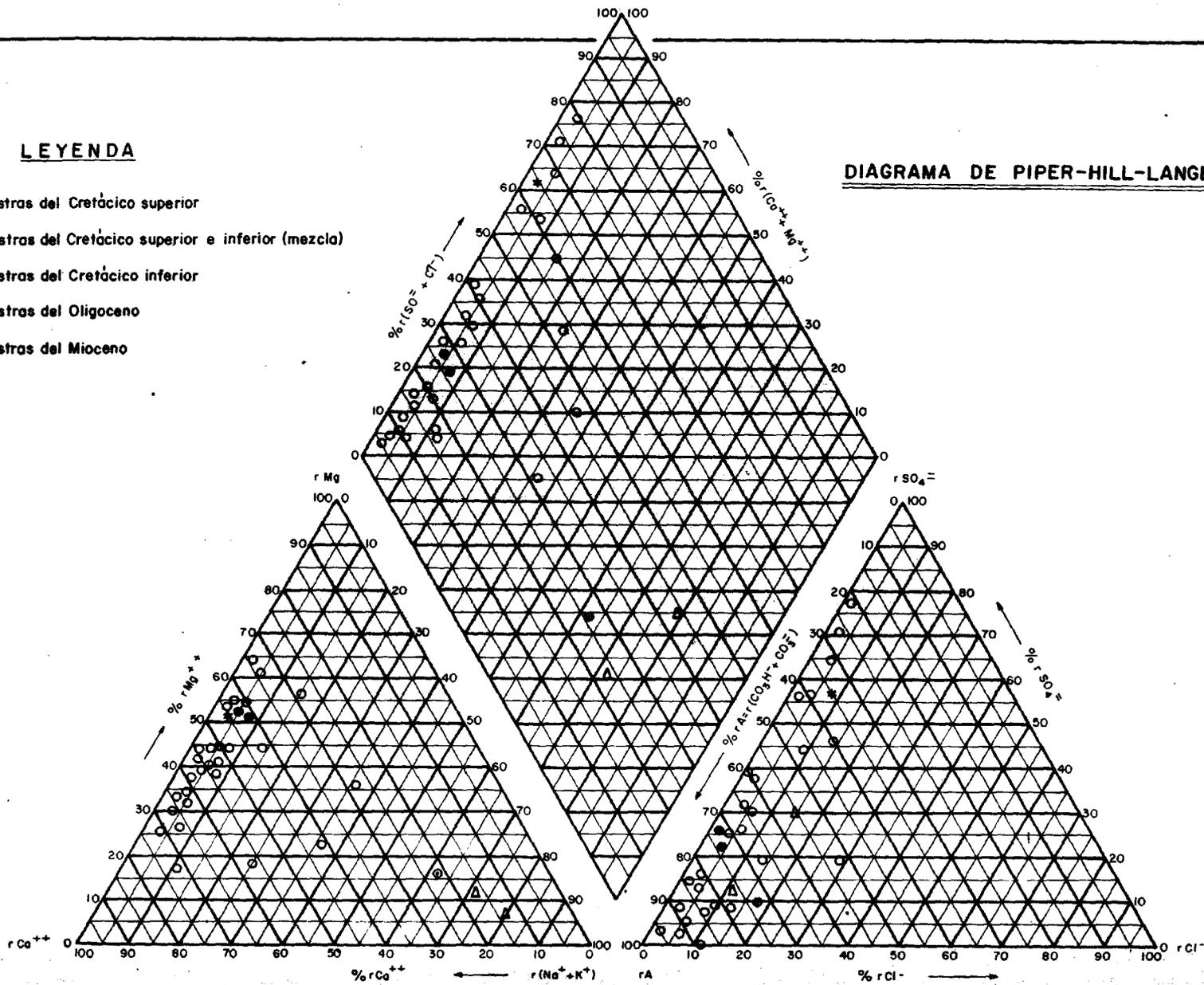
7.5. MIOCENO

Las muestras obtenidas de este acuífero son las siguientes: FPX3-437 y FA3-431. Proceden de dos sondeos profundos - situados al N de Madrid. A estas aguas se las puede clasificar como bicarbonatadas sódicas.

LEYENDA

- Muestras del Cretácico superior
- Muestras del Cretácico superior e inferior (mezcla)
- ⊙ Muestras del Cretácico inferior
- * Muestras del Oligoceno
- △ Muestras del Mioceno

DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER



Nº DE MUESTRA	HOJA 1/50,000	OCTANTE	Nº DE ORDEN	TOPONIMIA	NATURALEZA	ACUIFERO
GTM-1 y 1 bis	485	5	10	Manantial del Lo cino	Manantial	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-2 y 2 bis	509	4	4	Manantial de las Peñuelas	Manantial	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-3 y 3 bis	509	4	8	Fte. Gorda de Al dehuela	Fuente	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-4 y 4 bis	509	7	1	Fte. de Cabesta- ny	Fuente	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-5 y 5 bis	509	8	1	Pozo de Valdeoli vas	Sondeo	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-6 y 6 bis	509	4	16	Fte. de Monteci- llo	Sondeo	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-7 y 7 bis	509	3	4		Manantial	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-8 y 8 bis	459	8	1	Pozo abasteci- - miento	Sondeo	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-9 y 9 bis	459	8	2	Pozo abasteci-- miento	Pozo excava do	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-10 y 10 bis	459	8	3	Pozo de la Calza da	Pozo excava do	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.
GTM-11 y 11 bis	509	4	3	Sondeo ST-1 (C)	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías.Cre tácico Superior.

Nº DE MUESTRA	HOJA 1/50.000	OCTANTE	Nº DE ORDEN	TOPONIMIA	NATURALEZA	ACUIFERO
GTM-12 y 12 bis	509	4	1	Sondeo ST-1 (A)	Sondeo pie- zométrico	Areniscas y arcillas de la Fac. "Utrillas"
GTM-13 y 13 bis	509	4	2	Sondeo ST-1 (B)	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías Cretácico Superior.
GTM-14 y 14 bis	509	4	12	Pozo PY-6	Sondeo	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-15 y 15 bis	509	4	13	Sondeo ST-6 (B)	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-16 y 16 bis	509	4	6	Sondeo ST-5 (B)	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-17 y 17 bis	509	7	4	Sondeo ST-9	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-18 y 18 bis	509	7	3	Sondeo ST-7 (B)	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-19 y 19 bis	509	4	17	Sondeo "El Mon- tecillo.	Sondeo	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-20 y 20 bis	509	4	18	Fte. La Caiza	Fuente	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-21 y 21 bis	485	5	1	Sondeo ST-4	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.
GTM-22 y 22 bis	485	5	21	Manantial del Roncadero	Manantial	Calizas y dolomías. Cretácico Superior.

Nº DE MUESTRA	HOJA 1/50.000	OCTANTE	Nº DE ORDEN	TOPONIMIA	NATURALEZA	ACUIFERO
GTM-23 y 23 bis	485	5	3	Manantial del - Bco. de las Cue- vas	Manantial	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-24 y 24 bis	485	5	4	Manantial del - Jardinillo	Manantial	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-25 y 25 bis	485	5	23	Sondeo ST-8 (B)	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-26 y 26 bis	485	5	17	Sondeo ST-8 (A)	Sondeo pie- zométrico	Areniscas y arcillas - de la Fac. "Utrillas".
GTM-27 y 27 bis	509	3	3	Sondeo Urbaniz. de Monterrey	Sondeo	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-28 y 28 bis	485	5	20	Manantial Pontón de la Oliva	Manantial	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-29 y 29 bis	485	5	12	Sondeo ST-3	Sondeo pie- zométrico	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-30 y 30 bis	485	5	15	Pozo PT-1 (A)	Sondeo	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
GTM-31 y 31 bis	485	5	13	Pozo PT-1 (B)	Sondeo	Calizas y dolomías del Cretácico Superior.
FPX3-437					Sondeo	Arcillas, limos y are- nas arcillosas del Ter- ciario (Mioceno).
FA3-431					Sondeo	Arcillas, limos y are- nas arcillosas del Ter- ciario (Mioceno).

8. ANALISIS ISOTOPICOS

8.1. INTRODUCCION

Conjuntamente con el muestreo hidroquímico se ha procedido a la recogida de muestras para realizar un estudio isotópico de los componentes naturales de las moléculas de agua, tanto en lo que respecta a los isótopos estables (deuterio y oxígeno-18), como al susceptible de desintegración (tritio).

Para estos fines, se han recogido cinco muestras (GTM-1, 2 y 3, FA-3-431 y FPX3-437). Las tres primeras corresponden a manantiales del Cretácico Superior y las otras dos a sendos sondeos en las facies detríticas del Mioceno.

Las determinaciones de estos tres isótopos han sido -- efectuadas por el Departamento de Radioisótopos del Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas del M.O.P.

8.2. TRITIO

El tritio (H^3) es el isótopo más pesado del hidrógeno. y se caracteriza por poseer un período de semidesintegración

de 12,26 años, por lo que resulta idóneo para el trazado natural de las aguas de lluvia.

El tritio se forma naturalmente en las altas capas de la atmósfera, y a un ritmo de producción constante en los últimos cientos de años, aunque con pequeñas oscilaciones, en función de la actividad solar. A través de mecanismos más o menos complicados, el tritio generado es transportado de la estratosfera a la troposfera, donde se incorpora a la humedad atmosférica y llega al suelo en forma de precipitación.

La concentración natural media de tritio para nuestra latitud, antes de la primera explosión termonuclear de 1952, que comenzó a generar tritio artificial, era de 15 U.T. (OLIVE 1970). Partiendo de esta base, en 1979, la concentración residual de estas aguas es de:

$$C_t = C_o \exp \left(\frac{-0,693}{T} t \right)$$

$$C_{1979} = 15 \exp \left(\frac{-0,693 \times 27}{12,26} \right) = 3,26 \text{ U.T.}$$

Por lo tanto, aguas con un contenido menor de 3,26 U.T. serán anteriores a 1952.

En 1976, CORCHON RODRIGUEZ realiza un detallado estudio isotópico de las aguas procedentes del acuífero Cretácico de Torrelaguna. Hace una recogida de 115 muestras, parte de ellas de cursos de aguas superficiales (ríos Guadalix, Lozoya, Jarama y embalse del Vellón), para comparar con los resultados de agua procedentes de los acuíferos.

Las conclusiones a que llega son las siguientes:

- Las aguas procedentes del acuífero "C" (Cretácico Superior), tienen un contenido en tritio similar al de las aguas superficiales.
- Se deduce que las aguas del acuífero Cretácico Superior en la zona de afloramientos y adyacentes son re--

- cientes. Este acuífero está influido por el agua de lluvia, con un corto tiempo de permanencia de la misma en el interior, resaltándose la relativa rapidez del flujo subterráneo.
- El acuífero del Cretácico Inferior (facies "Utrillas"), tiene un contenido en tritio bajo, del orden de 0,6-0,8 U.T., siendo sus aguas anteriores a 1952. Se deduce por tanto, que está desconectado hidráulicamente del acuífero superior.
 - Por comparación con un gráfico de contenido de tritio en Madrid, se deduce que el tiempo de permanencia del agua subterránea, por lo menos la procedente de manantiales, es inferior a 2 meses.

La recogida de muestras se efectuó en la última quincena del mes de julio de 1979, y los resultados analíticos se obtuvieron en diciembre del mismo año.

Los contenidos en tritio son los siguientes:

GTM-1	36,7	± 2,0	U.T.
GTM-2	34,8	± 1,8	U.T.
GTM-3	57,1	± 2,6	U.T.
FA3-431	0,8	± 0,3	U.T.
FPX3-437	0,6	± 0,2	U.T.

Se deduce de estos datos en contenido de tritio, que las aguas procedentes del acuífero calco-dolomítico del Cretácico Superior, son posteriores a 1952, y de acuerdo con las investigaciones de CORCHON podrían tener un tiempo de residencia menor a un año.

Es evidente, que con un período de residencia tan corto en el acuífero, no se ha podido realizar el equilibrio roca-agua, en función de la temperatura que existe en el potencial almacén geotérmico. Estos equilibrios termodinámicos son objeto de estudio en el capítulo siguiente.

Las muestras procedentes del Terciario detrítico, presentan contenidos en tritio bajos, como era de esperar, y evidentemente son muy anteriores a 1952. En este acuífero es -- presumible que se haya alcanzado el equilibrio roca-agua, por tener tiempos muy largos de residencia y no haberse modificado por la mezcla con aguas más recientes.

8.3. ISOTOPOS ESTABLES

En el agua existen diferentes especies moleculares (PLATA, 1972). La molécula más abundante es $H_2^{16}O$, junto a ésta existen otras en las que intervienen los restantes isótopos - de ambos elementos, principalmente, moléculas del tipo $DH^{16}O$ y $H_2^{18}O$. Las moléculas que contienen D y ^{18}O son algo más pesadas que las de $H_2^{16}O$ y, debido a ello, su desplazamiento a través del ciclo hidrológico es ligeramente distinto, produciéndose el fraccionamiento de los tres tipos de moléculas. - Las concentraciones de D y ^{18}O en una muestra de agua dependen de su historia anterior desde que salió del océano. Estas circunstancias convierten al D y ^{18}O en excelentes trazadores naturales.

Las concentraciones de D y ^{18}O en el agua se suelen expresar como desviación (δ) de la relación isotópica en tanto por mil con respecto a un agua-patrón (SMOW), basada en una serie de muestras tomadas en distintos océanos.

Las nubes formadas sobre el océano tienen siempre un valor negativo. Como las moléculas pesadas condensan, el valor de esta nube se hace más negativo a medida que va viajando a través de los continentes. Por tanto, las concentraciones de D y ^{18}O en las precipitaciones depende de la historia anterior de la nube, relacionada, a su vez, con la distancia del océano y de una serie de factores que influyen en la temperatura a que se produce la condensación, altitud, latitud, climatología local y estación del año, como más importantes.

Todos los factores reseñados anteriormente hacen que -- las aguas subterráneas de diferentes zonas, de diferentes orígenes o de diferentes mecanismos de recarga, tengan composiciones isotópicas diferentes.

Cuando el agua se somete a procesos de evaporación y -- condensación en condiciones de equilibrio, el fraccionamiento para los dos isótopos estables, D y ^{18}O , tiene lugar de una forma paralela. DANSGAARD ha llevado a cabo un estudio muy -- completo sobre la variación de la composición isotópica de -- las precipitaciones colectadas en numerosas estaciones de la red mundial OIEA-OMM. Para el hemisferio Norte, las desviaciones relativas de D y ^{18}O determinan una línea cuya ecuación es:

$$D = (8,1 \pm 0,1) \text{ } ^{18}\text{O} (11 \pm 1)$$

Con el aumento de la temperatura el contenido en ^{18}O aumenta, por intercambio isotópico con los materiales sólidos -- del acuífero y por vaporización. En cambio el contenido en -- deuterio apenas es alterado.

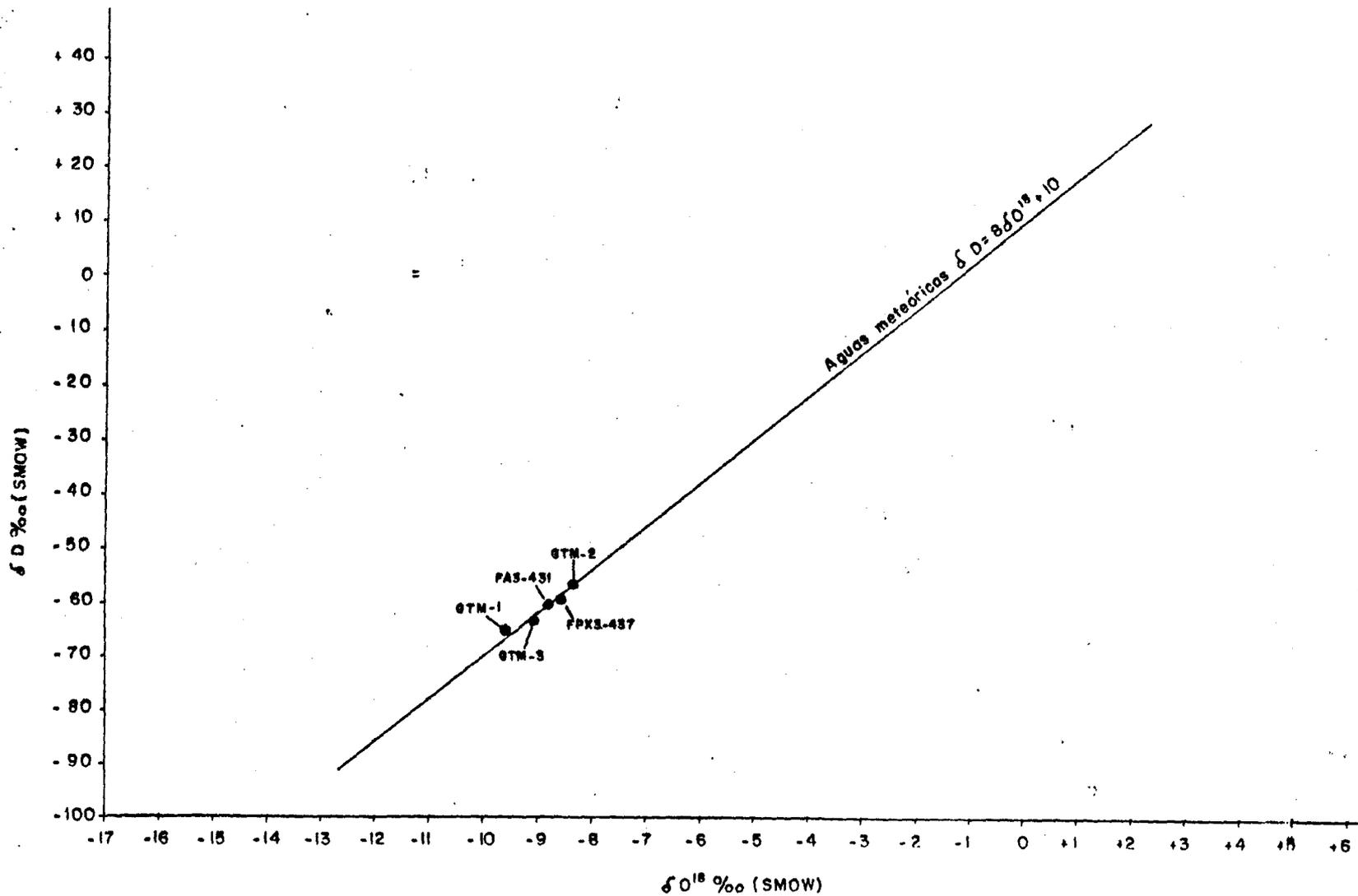
Si la relación D/ ^{18}O de una muestra se aparta de la relación dada por DANSGAARD para las aguas meteóricas, puede ser -- que haya un fraccionamiento isotópico por existencia de fase -- vapor o bien por intercambio de oxígeno con las rocas carbonatadas que son susceptibles de constituir los potenciales almacenes geotérmicos.

Con este fin se ha realizado el muestreo y análisis de -- D y ^{18}O . Los resultados obtenidos son los siguientes:

<u>Muestra</u>	<u>^{18}O</u>	<u>D</u>
GTM-1	- 9,6	- 65,4
GTM-2	- 8,4	- 56,8
GTM-3	- 9,1	- 63,6
FA3-431	- 8,8	- 60,7
FPX3-437	- 8,6	- 59,6

Comparando estos resultados con la función establecida por DANSGAARD (véase gráfico adjunto), se deduce que estas -- aguas no han sufrido un fraccionamiento isotópico por vaporización, ni intercambio con las rocas carbonatadas más ricas -- en pesados.

Las diferencias algo acusadas en contenido de ^{18}O en -- las aguas del Cretácico, se deben a variaciones estacionales. Este acuífero debe de ser del tipo "pistón", en el que el agua infiltrada en un momento determinado, no se mezcla previamente en el sistema, sino que desciende a través de las fisuras a manera de "pistón".



RELACION DEUTERIO - OXIGENO 18

9. TERMOMETRIA HIDROQUIMICA

9.1. INTRODUCCION

Mediante la utilización de parámetros hidroquímicos resulta factible el conocer con bastante exactitud, la temperatura a la que se encuentra o ha encontrado un fluido termal en profundidad.

Según ALBERT BELTRAN (1979), lo que se mide es la temperatura del último equilibrio termodinámico entre el agua y la roca en caso de que éste se halla producido, y este equilibrio suele tener lugar en el tramo distal del acuífero que actúa como almacén geotérmico. En consecuencia, estas técnicas permiten conocer, a efectos prácticos, la temperatura a la que se halla el acuífero en profundidad y del que, el manantial termal en cuestión que se muestrea, no es sino un escape que llega a la superficie.

Todos los métodos de termometría hidroquímica estriban en el mismo principio: se trata de aplicar una reacción entre el agua y una o varias fases minerales que sean sólo función de la temperatura y cuya termodinámica sea perfectamente conocida hasta la temperatura en la que el agua alcanza su punto crítico. En este caso, la solubilidad o la relación de solubilidades entre las referidas fases minerales, reflejada en el

análisis de agua, permitirá determinar las condiciones térmicas en las que se ha producido la reacción de equilibrio.

Para la utilización de cualquier método de termometría hidroquímica, es necesario que se verifiquen una serie de supuestos previos que son según FOURNIER, WHITE y TRUESDELL (1974):

- 1.- Las reacciones entre el agua y la fase mineral que se investiga deben de ser función de la temperatura. Evidentemente todas las reacciones termodinámicas en las que se basan los cálculos geotermométricos verifican esta condición.
- 2.- Todos los elementos reaccionantes han de ser lo suficientemente abundantes, de manera que no exista limitación cuantitativa entre soluto y disolvente. En un acuífero homogéneo y extenso no debe de existir, pues, tal limitación.
- 3.- Se ha de alcanzar el equilibrio entre el agua y la fase mineral considerada en la temperatura interna en cuestión, y que es lo que se pretende averiguar. De aquí la importancia de la determinación del tiempo de residencia mediante el tritio, pues el tiempo es factor fundamental en la reacción termodinámica de equilibrio.
- 4.- Los cambios de composición química durante el ascenso a la superficie han de ser mínimos. Debe cuidarse de que no exista, por ejemplo, desprendimientos de CO_2 que pueda dar lugar a cambios de pH o precipitaciones; que la litología del circuito de salida sea homogénea o, cuando menos, rápida la ascensión del agua.
- 5.- No ha de existir mezcla del agua termal ascendente con otras meteóricas de infiltración reciente. La dilución o mezcla falsearía el resultado del equilibrio. Vuelve a po

nerse de manifiesto, por tanto, la importancia de la determinación del contenido en tritio. Las aguas desprovistas de tritio o con escasa concentración son las más aptas para calcular geotermómetros.

9.2. METODOS DE GEOTERMOMETROS HIDROQUIMICOS

Los geotermómetros más usados son los que se basan en el contenido de SiO_2 , en la relación Na/K y Na-K-Ca.

De todos ellos el más utilizado es el de la sílice, en sus distintas modalidades, como indicador de temperatura. Se basa en que el equilibrio con el cuarzo se alcanza generalmente a alta temperatura del almacén geotérmico. Para sistemas de baja entalpía, algunos autores señalan, que el equilibrio se realiza con la calcedonia. Ahora bien, la concentración de equilibrio se alcanza con la temperatura y esta concentración no suele variar en el ascenso, debido a que la precipitación del sílice es muy lenta durante el enfriamiento del agua.

El método más usado para estimar la temperatura en función del contenido de sílice es el propuesto por FOURNIER y TRUESDELL (1970). Estos autores consideran dos tipos de curvas según que el enfriamiento se realice por conducción o por vaporización. En el primer caso, tanto el aumento del contenido en sílice como la disminución por precipitación se suponen despreciables; de esta manera el contenido en sílice del agua en superficie coincide con el adquirido en profundidad, lo que significa que será función de la temperatura a la que se ha establecido el equilibrio entre el agua y la roca. La curva de vaporización es apreciable a los casos en los que el enfriamiento va acompañado de una vaporización a medida que desciende la presión, de modo que el contenido en sílice iría aumentando de forma progresiva hasta la superficie.

SIEVER (1962) estableció también una curva de solubilidad del cuarzo en función de la temperatura.

Otros métodos se basan en que la relación existente entre los contenidos de sodio y potasio en el agua termal son función de la temperatura. El equilibrio realizado en el almacén geotérmico, se mantiene durante el ascenso del agua hasta la superficie, ya que la relación Na/K sólo se modifica lentamente al disminuir la temperatura.

Son numerosos los autores que han propuesto distintas gráficas para la variación de la relación Na/K en función de la temperatura, existiendo entre ellas notables diferencias. La gráfica de ELLIS (1970) es la más utilizada, y da un valor promedio de las propuestas por otros autores. Otra gráfica utilizada para esta misma relación es la propuesta por FOURNIER y TRUESDELL (1973).

El método de relación Na/K plantea una serie de problemas, y para soslayarlo FOURNIER y TRUESDELL propusieron un nuevo método empírico en el que se considera el contenido en calcio. Se basa éste en admitir que el calcio interviene junto con el sodio y potasio, en las reacciones de equilibrio que son función de la temperatura. Este método es adecuado para circulaciones de aguas en rocas silicatadas.

Finalmente otro método es el aplicado por ALBERT (1975, 1976) a las aguas termales catalanas, y que es específico para materiales graníticos. El método se basa en calcular los valores de la constante de equilibrio (K), correspondiente a las reacciones de equilibrio albita-anortita a diferentes temperaturas.

9.3. RESULTADOS

Se ha procedido al cálculo por métodos mecánicos de las temperaturas de base utilizando los geotermómetros de sílice en sus variedades de conducción, enfriamiento adiabático, Siever y calcedonia, relación Na/K en las modalidades de Ellis y Fournier-Truesdell y Na-K-Ca. Para ello se han utilizado 33 análisis hidroquímicos de aguas procedentes en su mayoría de

los acuíferos cretácicos; el resto corresponden al Terciario detrítico y a las formaciones Premiocenas.

No se ha medido directamente la temperatura de salida del agua, pues no se esperaban manifestaciones termales.

En la tabla adjunta se dan las temperaturas según los diferentes geotermómetros utilizados.

Como se esperaba los resultados de las muestras procedentes del Cretácico y Oligoceno son aberrantes, debido al es caso tiempo de residencia del agua en el acuífero y consiguente falta de equilibrio termodinámico agua-fase mineral. Por lo tanto la fiabilidad de los geotermómetros en este caso es nula.

El contenido en SiO_2 en las muestras analizadas no se ajusta a una distribución logarítmico-normal. Se ha realizado un estudio estadístico de estos contenidos. La media resultante es de 8,5 p.p.m. y la media más una desviación standard es de 15,5 p.p.m. Si consideramos anómalos los valores que superen esta cantidad tendremos cuatro, corresponden a las muestras GTM-7, 20, 27 y 28. Quizás este hecho podría interpretarse como una mezcla de aguas procedentes unas, del propio acuífero cretácico, y otras, de flujos ascensionales a través de fracturas del basamento paleozóico.

La aplicación de los geotermómetros hidroquímicos a las muestras procedentes del Terciario detrítico, FPX3-437 y FA3-434, es mucho más satisfactoria (véase tabla adjunta). Las temperaturas medias de base, sin utilizar el método Na-K-Ca, creemos que en este caso da temperaturas elevadas, son de $37,8^\circ$ y $41,8^\circ$ respectivamente. Si tenemos en cuenta que estas aguas son bastante antiguas, el contenido en tritio, es bastante bajo, y que proceden de acuíferos profundos, no es de extrañar que hallan estado sometidas a estas temperaturas; además estos dos sondeos se utilizan para el abastecimiento de agua a Madrid, tienen unos fuertes bombeos continuados que provocan la desviación hacia ellos de flujos más profundos.

TEMPERATURAS DE BASE

Nº DE MUESTRA	SILICE				Na/K		Na-K-Ca
	Adiabático F. y T. (1970)	Conducción F. y T. (1970)	Siever (1962)	Calcedonia	Ellis (1970)	F. y T. (1973)	
FPX3-437	55,4°	47,2°	30,4°	12,4°	46,4°	35,2°	88,4°
FA3-431	57,5°	49,5°	32,8°	14,8°	53,7°	42,7°	83,1°
GTM-1	11,5°	- 0,6°	-18,7°	-35,7°	371,4°	390,9°	98,2°
GTM-2	58,2°	50,3°	33,7°	15,6°	298,3°	306,7°	83,3°
GTM-3	4,7°	- 7,7°	-25,9°	-37,9°	412,8°	439,6°	93,7°
GTM-4					127,2°	119,3°	105,9°
GTM-5	41,8°	32,3°	14,7°	- 2,8°			
GTM-6	41,8°	32,3°	14,7°	- 2,8°	435,5°	466,8°	103,3°
GTM-7	62,5°	55,2°	38,8°	20,6°	182,6°	178,6°	68,0°
GTM-8	-20,0°	-34,3°	-52,4°	-68,3°	871,7°	1043,8°	150,8°
GTM-9	0,8°	-11,9°	-30,2°	-46,8°			
GTM-10	10,4°	- 1,7°	-19,8°	-36,8°			
GTM-11	0,8°	-11,9°	-30,2°	-68,3°	551,6°	609,8°	128,6°
GTM-12	20,2°	8,7°	- 9,2°	-26,5°	543,8°	599,9°	126,1°
GTM-13	0,8°	-11,9°	-30,2°	-68,3°	513,7°	562,3°	104,6°
GTM-14	0,8°	-11,9°	-30,2°	-68,3°	593,4°	662,9°	132,7°

Nº DE MUESTRA							Na-K-Ca
	Adiabático F. y T. (1970)	Conducción F. y T. (1970)	Siever (1962)	Calcedonia	Ellis (1970)	F. y T. (1973)	
GTM-15	- 5,4°	-18,6°	-36,8°	-53,2°	521,0°	590,2°	135,0°
GTM-16	15,9°	4,6°	-13,5°	-30,6°	485,8°	527,9°	140,7°
GTM-17	7,3°	- 5,1°	-23,2°	-40,1°	357,2°	374,3°	97,6°
GTM-18	24,7°	13,6°	- 4,2°	-21,6°	168,4°	163,4°	94,9°
GTM-19	49,8°	41,1°	24,0°	6,1°	376,4°	396,7°	94,7°
GTM-20	83,6°	78,9°	63,8°	45,2°	551,6°	609,8°	145,4°
GTM-21	28,8°	18,1°	0,3°	-17,1°	313,9°	324,5°	115,6°
GTM-22	61,0°	53,6°	37,1°	18,9°	391,5°	414,5°	92,2°
GTM-23	48,5°	39,5°	22,5°	4,6°	528,5°	580,7°	122,3°
GTM-24	60,4°	52,7°	36,2°	18,1°	339,2°	353,5°	108,9°
GTM-25	43,8°	34,5°	17,2°	- 0,6°	343,6°	358,6°	90,2°
GTM-26	47,8°	38,8°	21,7°	3,8°	150,9°	144,6°	130,3°
GTM-27	69,3°	62,7°	46,7°	28,5°	309,9°	319,9°	97,8°
GTM-28	68,5°	61,9°	45,8°	27,6°	83,7°	73,7°	45,1°
GTM-29	41,8°	32,3°	14,7°	- 2,8°	180,2°	175,9°	91,0°
GTM-30	49,8°	41,1°	24,0°	6,1°	225,0°	224,9°	72,5°
GTM-31	48,5°	39,6°	22,5°	4,6°	272,7°	277,9°	80,8°

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. CONCLUSIONES

A) Geológicas

- El almacén geotérmico más interesante en la Cuenca de Madrid son las calco-dolomías del Cretácico Superior; de menor interés, son las areniscas de las facies "Utrillas".
- Parece probado fuera de toda duda, la existencia de unidades cretácicas en la zona de estudio, bajo las facies terciarias que rellenan la "fosa" de Madrid; así lo atestiguan las relativas numerosas campañas geofísicas, sísmica principalmente, y el sondeo petrolífero de Tielmes que cortó - capas de esta edad.
- La distribución del Cretácico en profundidad no es continúa, estando compartimentado en una serie de bloques, como respuesta a los esfuerzos producidos durante la orogenia alpina que rompen y desnivelan el basamento granito-paleozóico, y dan lugar a una serie de "fosas" y "grabens".

- La zona más profunda dentro del área de estudio, se sitúa en una banda definida por las poblaciones de Brunete y El Pardo. La profundidad a que se encuentra aquí el basamento no es bien conocida, aunque la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo hablan de 2.500 a 3.000 m. Las prospecciones sísmicas más recientes señalan profundidades mucho mayores (hasta 6.000 m), aunque este extremo no ha podido ser confirmado, debido a que en el momento de redactar estas líneas los datos no son públicos.

- La potencia de las formaciones carbonatadas del Cretácico bajo la cuenca terciaria de Madrid, no se conoce bien, aunque deben de ser similares a las observadas en el borde de la Sierra de Guadarrama (35 a 100 m) y en el sondeo de Tielmes (61 m). Las más modernas investigaciones sísmicas parecen indicar potencias mucho mayores, de varios centenares de metros, dato este que no se ha podido confirmar por las razones expuestas en el apartado anterior. El espesor de la facies "Utrillas" en el borde de la Sierra de Guadarrama es de 35 a 80 m, y de 61 m en el sondeo de Tielmes.

- Las facies del Cretácico Superior en la "fosa" de El Pardo - Brunete deben de ser similares a las del borde, calizas y dolomías. Más hacia el Sur, quizás a la altura de Madrid, hay un cambio, comienzan las intercalaciones de materiales evaporíticos (sondeo de Tielmes), especialmente en los tramos altos del Cretácico Superior, como sucede en amplios sectores de la Cordillera Ibérica y Sierra de Altomira.

El Cretácico Inferior presenta formaciones muy uniformes en todos los sectores investigados y corresponden a la denominada facies "Utrillas".

B) Hidrogeológicas e hidroquímicas

- Las características hidrogeológicas del acuífero calco-dolomítico son buenas, aunque muy variables, como sucede en todos los acuíferos cársticos. La transmisibilidad oscila entre 50 y 1.000 m²/día. El coeficiente de almacenamiento es del orden de 10⁻³ - 10⁻⁴. La porosidad eficaz varía entre el 0,5 y el 5%.

El acuífero formado por las facies "Utrillas" tiene características hidrogeológicas más pobres. La transmisibilidad está comprendida entre 25 y 40 m²/día; el coeficiente de almacenamiento oscila entre 3 x 10⁻⁴ y 5 x 10⁻⁴ y la porosidad eficaz se puede estimar que varía entre un 5 y un 10%.

- No se conoce bien el mecanismo de recarga y descarga del acuífero cretácico presente bajo los rellenos terciarios en la cuenca de Madrid, aunque probablemente se realice a través de fracturas; sobre el techo de estas calizas y dolomías yace una potente serie impermeable compuesta por margas y yesos principalmente.
- Las calidades hidroquímicas son buenas, y corresponden a aguas clasificadas como bicarbonatado-cálcico-magnésicas. Cabe la posibilidad de que las aguas presentes en el acuífero profundo Cretácico, tengan contenidos relativamente altos en sulfatos, debido a la posible recarga a través de formaciones ricas en yesos (Oligoceno).

C) Isotópicas

- Las aguas pertenecientes al acuífero calco-dolomítico tienen contenidos altos de tritio, lo que indica que son aguas recientes. El tiempo de residencia según un reciente estudio, es de unos 2 meses.

- La relación $D/^{18}O$ de las muestras tomadas indica que corresponden a aguas meteóricas y por lo tanto no ha habido fraccionamiento isotópico por existencia de fase de vapor, ni intercambio de oxígeno-18 con la roca almacén.
- Las diferencias en los valores del contenido de D y ^{18}O de las muestras procedentes del Cretácico, se deben a variaciones estacionales, y al escaso tiempo de permanencia en el acuífero y gran velocidad del flujo, lo que implica que no halla mezcla de las aguas procedentes de precipitaciones muy cercanas en el tiempo.
- Los contenidos en tritio de las muestras del Terciario son muy bajos y por tanto muy antiguas.

D) Geotermométricos

- En el área de estudio no existen manifestaciones termales conocidas.
- El posible termalismo se debe simplemente al grado geotérmico normal.
- La utilización de los termómetros hidroquímicos en las muestras del Cretácico de borde, dan resultados aberrantes, tal como era de esperar, debido al escaso tiempo de residencia del agua en el acuífero.
- Del sondeo de Tielmes no se conocen registros termométricos, que hubiesen orientado sobre el grado geotérmico.
- Las termometrias hidroquímicas en las muestras del Terciario dan resultados más satisfactorios que las del Cretácico, con temperaturas de unos 40° . Ahora bien, hay que tener en cuenta que al ser aguas procedentes de sondeos con

continuas y fuertes extracciones, posiblemente "captan" - flujos profundos.

10.2. RECOMENDACIONES

La presente investigación ha permitido definir con un cierto detalle la morfología de la Cuenca de Madrid, y más concretamente la zona en donde los acuíferos más interesantes (calco-dolomías Cretácicas) se encuentran a una mayor profundidad y por lógica con aguas con una temperatura más elevada.

Los resultados obtenidos en esta primera fase de la prospección son alentadores. Se confirma la presencia de acuíferos profundos, con características hidrogeológicas interesantes, presumibles fluidos con excelente calidad hidroquímica y temperaturas de equilibrio probablemente altas.

Por todo lo expuesto, se recomienda el proseguir la investigación en una segunda fase, con el objeto de estudiar más detalladamente la zona Brunete-El Pardo, definida en esta investigación como la más interesante dentro del ámbito de la Cuenca de Madrid.

Será muy interesante el obtener los datos de las prospecciones sísmicas más recientes cuyos resultados no se han podido conocer. Si se llegan a realizar los anunciados sondeos de investigación petrolífera en los alrededores de Madrid, serán una extraordinaria fuente de datos para los objetivos propuestos.

En los sondeos profundos ubicados en la zona recomendada y especialmente en aquellos en que se sospeche la existencia de flujos horizontes, entonces no habrá mezclas de aguas de distintos niveles acuíferos, se deberá proceder a una toma de muestras de agua a distintas profundidades, con el fin de realizar análisis hidroquímicos e isotópicos, así como medidas directas de temperatura, al objeto de conocer los valores del grado geotérmico. Persiguiendo los mismos fines, sería in

teressante el analizar muestras procedentes de sondeos situados en las zonas de descarga (zonas de valle).

Con el fin de definir la morfología y el espesor de estos acuíferos profundos sería deseable el realizar una campaña de geofísica, combinando varias modalidades (p.e. sísmica, gravimétrica, sondeos eléctricos verticales, magnetométrica, teluromagnética y cuadripolar).

11. BIBLIOGRAFIA

- ALBERT BELTRAN, J.F. (1975). "El equilibrio albita-anortita - como termómetro hidroquímico en zonas graníticas". Acta Geológica Hispánica. Año X. nº 5. Barcelona.
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1979). "El mapa español de flujos caloríficos. Intento de correlación entre anomalías geotérmicas y estructura cortical". Bol. del Int. Geol. y Minero de España. Madrid.
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1979). "Métodos geoquímicos aplicados a la prospección geotérmica". II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona.
- ALBERT BELTRAN, J.F. (1979). "Estudio geotérmico preliminar - de Navarra". II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona.
- ALIA MEDINA, M.; PORTERO, J.M^a y MARTIN ESCORZA, C. (1973). - "Evolución geotectónica de la región de Ocaña (Toledo) durante el Neógeno y Cuaternario". Bol. de la Real. Soc. Esp. de Hist. Nat. Madrid.
- CADAVID, S. (1977). "Mapa estructural del techo del basamento del borde meridional de la Sierra de Guadarrama". Bol. del Inst. Geol. y Minero de España. T. LXXXVIII. Madrid.
- CARRO, S. y CAPOTE, R. (1968). "Mapa Geológico de España. Explicación de la hoja 560 (Alcalá de Henares)". Inst. - Geol. y Minero de España. Madrid.
- CATALAN LAFUENTE, J. (1969). "Química del Agua". Editorial - Blume. Madrid.
- CORCHON RODRIGUEZ, F. (1976). "Estudio hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Gua-

dalajara)". Boletín del Servicio Geológico de Obras Públicas n° 40. Madrid.

CORCHON RODRIGUEZ, F. (1926). "Empleo de técnicas isotópicas en el estudio de los acuíferos del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna". Fundación Juan March (inédito). Madrid.

CRUSAFONT-PAIRO, M. y GOLPE-POSSE, J.M^a (1971). "Sobre unos yacimientos de mamíferos Vindobonienses en Paracuellos del Jarama (Madrid)". Bol. de la Real Soc. Esp. de Hist. Nat. Madrid.

CRUZ SANJULIAN, J. (1976). "Sobre la temperatura límite del termalismo". Revista Tecniterrae n° 12. Madrid.

CRUZ SANJULIAN, et al. (1979). "Temperatura de base de las aguas termales de la provincia de Granada". II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1976). "Hidrogeología Subterránea". Editorial Omega. Barcelona.

DANSGAARD, W. (1964). "Stable isotopes in precipitation". Tellus, vol. 16, n° 4.

DAVIS, S.N. y DE WIEST, R. (1966). "Hidrología". Ediciones Ariel. Barcelona.

DE LA CONCHA, S. (1962). "Mapa Geológico de España. Explicación de la hoja 485 (Valdepeñas de la Sierra)". Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.

ELLIS, A.J. (1970). "Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems". Geothermics. Special Issue.

- FOURNIER, R.O. and TRUESDELL, A.H. (1970). "Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot springs - waters of Yellowstone National Parck (Wyoming, U.S.A.)". Geothermic. Special Issue.
- FOURNIER, R.O. and TRUESDELL, A.H. (1973). "An empirical Na-K -Ca geothermometer of natural waters". Geochim. Cosmochim. Acta V-37.
- FOURNIER, R.O.; WHITE, D.E. and TRUESDELL, A.H. (1974). "Geochemical indicator of subsurface temperature". Journ. Research U.S. Geol. Survey. vol. 2.
- FUSTER, J.M^a; FEBREL, T. y DE PEDRO, F. (1958). "Mapa Geológico de España. Explicación de la hoja 484 (Buitrago de Lozoya)". Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- FUSTER, J.M^a y FEBREL, T. (1959). "Mapa Geológico de España. Explicación de la hoja 509 (Torrelaguna)". Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- GARCIA SINERIZ, J. (1933). "La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección". Memorias del Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- HERRAEZ SANCHEZ DE LAS MATAS, I. et al. (1979). "Aplicación del análisis del oxígeno-18 y carbono-14 al estudio del acuífero Terciario detrítico de Madrid". II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1975). "Inventario Nacional de manifestaciones geotérmicas en el territorio Nacional". (Inédito). Madrid.

- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1979). "Estudio geotérmico preliminar de las depresiones de Granada, Guadaliz-Baza y Almería". (Inédito). Madrid.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1977). "Fase preliminar de prospección de recursos geotérmicos de baja entalpia en el Vallés (Barcelona)". (inédito). Madrid.
- LARA SEGOVIA, V. (1974). "Estudio hidrogeológico de las facies marginales y centrales de la zona comprendida entre los ríos Jarama y Manzanares". Tesis de Licenciatura. Facultad de Geológicas. Madrid.
- LOPEZ VERA, F. (1975). "Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid". Memorias del Inst. Geol. y Minero de España. n° 91. Madrid.
- LOPEZ VERA, F. y SAIZ GARCIA-CUENCA, J. (1977). "Capacidad de regulación del Terciario y Cuaternario sobre los caudales del río Jarama en los alrededores de Madrid". Boletín del Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- LLAMAS MADURGA, M.R. y LOPEZ VERA, F. (1975). "Estudio sobre los recursos hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influencia. Avance de las características de la Cuenca del Jarama". Revista Agua. Barcelona.
- MARTIN GARCIA, L. y LEIVA, F. (1973). "Memorias del Mapa Geológico Nacional, hoja 510 (Marchamalo). Magna". Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- MARTINEZ ALFARO, E. y SAIZ GARCIA-CUENCA, J. (1976). "Relaciones aguas superficiales-aguas subterfaneas en la cuenca de Manzanares". I Simposio Nacional de Hidrogeología. Valencia.

- MARTINEZ ALFARO, P.E. (1977). "Hidrogeología de los materiales Terciarios y Cuaternarios de la cuenca del río Manzanares". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.
- MELLENDEZ HEVIA, F. et al. (1974). "Síntesis del Cretácico de la zona sur de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica". 1^{er} Simposio sobre el Cretácico de la Cordillera Ibérica. Cuenca.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. DIRECCIONES GENERAL DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES (1967). "Balance hídrico". Madrid.
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS (1971). "Autopista Madrid-Burgos. Tramo: Madrid-Torrelaguna". Dirección General de Carreteras. Div. de materiales. Madrid.
- MORENO DE GUERRA, R. y LOPEZ VERA, F. (1979). "Análisis de fluor y silicio en las aguas subterráneas del terciario detrítico de Madrid". II Simposio Nacional de Hidrogeología. Pamplona.
- OLIVE, Ph. (1970). "Contribution al l'etude geodynamique du cycle de l'eau dan l'hemisphere nord par la métodu tritium". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias de París.
- PEREZ GONZÁLEZ, A. et al. (1971). "Las series continentales al este de la Sierra de Altomira". I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. T. I. secc. 1. Madrid.
- PEREZ REGODON, J. (1970). "Guía geológica, hidrogeológica y minera de la provincia de Madrid". Memorias del Inst. Geol. y Min. de España. Madrid.

- PLATA BEDMAR, A. (1972). "Isótopos en hidrología". Editorial Alhambra. Madrid.
- REBOLLO FERREIRO, L.E. y VILLARROYA GIL, F.I. (1976). "Capacidades específicas del Terciario detrítico de la Cuenca del río Guadarrama". I Simposio Nacional de Hidrogeología. Valencia.
- REBOLLO FERREIRO, L.E. (1977). "Estudio hidrogeológico regional de la cuenca media y baja del río Guadarrama". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.
- RIBA, O. (1956). "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 I - Reunión del Terciario. Sabadell.
- SAEFTTEL, H. (1961). "Paleogeografía del Albense en las cadenas celtibéricas de España". Notas y Comunicaciones - de Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- SAIZ GARCIA-CUENCA, J. y REBOLLO FERREIRO, L.E. (1975). "Aportaciones subterráneas del Terciario detrítico de la Cuenca del río Guadarrama". Revista Tecniterrae nº 8. Madrid.
- SAN JOSE, M.A. (1974). "Hoja geológica 20-23 (Arganda). Magna". Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- SANCHEZ SORIA, P. (1974). "Síntesis del Cretácico de la Sierra de Altomira". 1^{er} Simposio sobre el Cretácico de la Cordillera Ibérica. Cuenca.
- SANCHEZ DE LA TORRE, L. et al. (1964). "Características de la sedimentación cretácica en el centro de España". In - litt.

- SIEVER, R. (1962). "Silica solubility 0-200° C and the diagenesis of siliceous sediments". *The Journal of Geology* - V. 70, n° 2.
- SOLE SABARIS, L. (1966). "Sobre el concepto de Meseta española y su descubrimiento". Volumen homenaje a D. Amadeo Melón y Ruiz Gordejuela. Zaragoza.
- TERAN, M. y SOLE SABARIS, L. (1954). "Geografía de España y Portugal. España Geografía Física". T. I. Editorial Montaner y Limón. Barcelona.
- TONANI, F. (1970). "Geochemical methods of exploration for geothermal energy". *Geothermic. Special Issue* n° 2.
- VEGAS, R. y PEREZ GONZALEZ, A. (1974). "Hoja geológica n° 19-23 (Getafe) Magna". Inst. Geol. y Minero de España. Madrid.
- VILLARROYA GIL, F. (1977). "Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y Cuaternario de la Cuenca del río Henares". Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Madrid.