

Universitario,
Madrid-Barcelona, Km. 33,600,
Alcalá de Henares (Madrid).
28904 00. Télex 23896, U.N.A.H. E.

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

ESTUDIO
DE LA CALIDAD Y DE LA CONTAMINACION
DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE
LOS ACUIFEROS ALUVIALES
DE ALCALA DE HENARES Y SU ALFOZ

**ESTUDIO DE LA CALIDAD Y DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS
SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES DE ALCALA DE HENARES Y
SU ALFOZ**

SUMARIO

MEMORIA.

I.- INTRODUCCION

1.1.- Antecedentes y objetivos del estudio	5
1.2.- Trabajos realizados y personal que ha intervenido	6
1.3.- Marco geográfico y geológico	8

II.- ESTRUCTURA HIDROLOGICA

2.1.- Acuífero arcillo-arenoso (facies detrítica cenozoica)	11
2.2.- Acuíferos aluviales	11
2.2.1.- Unidad Terrazas Altas	13
2.2.2.- Unidad Bañuelos	13
2.2.3.- Unidad Villamalea	13
2.2.4.- Unidad aluvial Henares-Camarmilla-Torote	14

III.- MUESTREO Y PARAMETROS INVESTIGADOS

3.1.- Selección de la malla de muestreo	16
3.2.- Puntos de muestreo	16
3.3.- Parámetros analizados	18
3.4.- Toma de muestras y elección fechas de muestreo	18

**IV.- PRESENCIA DE IONES MAYORITARIOS EN LAS AGUAS
SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES**

4.1.- Clasificación hidrogeoquímica de las muestras	21
4.2.- Estructura hidrogeoquímica de las muestras	23
4.2.1.- Unidad Bañuelos	23
4.2.2.- Unidad Villamalea	25
4.2.3.- Unidad aluvial Henares-Camarmilla-Torote	26

4.3.- Variación espacial de contenido en iones mayoritarios	27
4.3.1.- Variación espacial del catión magnesio.	28
4.3.2.- Variación espacial del anión nitrato.	28
4.3.3.- Variación espacial del anión cloruro.	29
4.3.4.- Variación espacial del anión sulfato.	29
4.4.- Variación estacional del contenido en iones mayoritarios	30

V.- PRESENCIA DE IONES MINORITARIOS Y OLIGOELEMENTOS EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES

5.1.- Estructura hidrogeoquímica de las muestras	33
5.1.1.- Unidad Bañuelos	35
5.1.2.- Unidad Villamalea	36
5.1.3.- Unidad aluvial Henares-Camarmilla-Torote	37
5.2.- Variación espacial del contenido en iones minoritarios y oligoelementos	38
5.3.- Variación estacional del contenido en iones minoritarios y oligoelementos	38

VI.- CONTENIDO BACTERIANO EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES

6.1.- Contenido bacteriano de las muestras	43
6.1.1.- Colimetría	43
6.1.2.- Estreptometría	44
6.1.3.- Clostridiometría	45

VII.- SINTESIS Y CONCLUSIONES

46

VII.- BIBLIOGRAFIA

50

ANEJOS.....

ANEJO 1...Fichas de inventario de las red de muestreo.

ANEJO 2...Datos analíticos.

ANEJO 2.1...Iones mayoritarios y parámetros fisicoquímicos.

ANEJO 2.2...Iones minoritarios y oligoelementos.

ANEJO 2.2.1...Iones minoritarios cuya concentración aparece sistemáticamente por encima del límite de detección.

ANEJO 2.2.2...Iones minoritarios cuya concentración no aparece sistemáticamente por encima del límite de detección.

ANEJO 3...Gráficas en barras de variación estacional del contenido en iones mayoritarios.

ANEJO 4...Gráficas lineales de variación estacional del contenido en iones minoritarios.

PLANOS.....

PLANO 1...Mapa geológico del término Municipal de Alcalá de Henares.

PLANO 2...Mapa de unidades hidrogeológicas y red de muestreo.

PLANO 3...Mapa de diagramas poligonales de Stiff (modificados).

PLANO 4...Mapa de variación espacial y estacional del contenido en Coliformes totales.

PLANO 5...Mapa de variación espacial y estacional del contenido en Streptococos Fecales.

PLANO 6...Mapa de variación espacial y estacional del contenido en Clostridios Sulfito - Reductores.

I-INTRODUCCION.

1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El grado de deterioro de la calidad de las aguas del río Henares en el sector final de su cuenca ha despertado desde hace algún tiempo la preocupación de la opinión pública, determinando un comienzo de concienciación por parte de la administración. Por el contrario, el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas de aquel mismo entorno apenas ha sido considerado hasta el momento, lo que no significa que no se halla producido o se esté produciendo. De aquí se deduce el interés por acometer el estudio de la contaminación de las aguas subterráneas de Alcalá de Henares y su alfoz, con especial atención de las que fluyen por el sistema de terrazas bajas y medias del citado río Henares.

Estas aguas subterráneas poco profundas constituyeron el recurso hídrico utilizado para el abastecimiento público de la ciudad hasta finales de la mitad del presente siglo, mediante el tradicional sistema de galerías de captación-conducción hacia el centro del núcleo urbano, conocido vulgarmente como "viajes de agua". En la actualidad son aún ampliamente utilizadas con finalidad agrícola, para riego de áreas ajardinadas o para usos industriales. Por otro lado, resulta harto frecuente que las viviendas del casco antiguo de la ciudad satisfagan total o parcialmente sus necesidades hídricas utilizando tales aguas subterráneas, captadas a través de los pozos excavados-ordinariamente poco profundos, que con cierta frecuencia disponen.

Estas aguas subterráneas proceden por un lado, del acuífero constituido por los sedimentos arcósicos de edad cenozoica que colmatan la cuenca de Madrid; por otro lado- y sobre todo- de los depósitos fluviales de edad cuaternaria que tapizan el fondo del valle del río Henares, constituido por gravas, arenas y arcillas depositadas por el río a lo largo del Cuaternario hasta la actualidad. Estos materiales se presentan bajo un muy característico modelado de terrazas escalonadas, de las cuales, la más moderna, se halla solapada con la actual llanura aluvial. Sobre tal sustrato se emplazan los más importantes núcleos urbanos y polígonos industriales de la Comunidad de Madrid, sirviendo también de asiento a una activa agricultura.

Estos depósitos cuaternarios de origen fluvial constituyen acuíferos libres muy vulnerables a la contaminación ya que la alta permeabilidad de sus materiales y la proximidad en ellos del nivel freático a la superficie, reduce las posibilidades de autodepuración natural de los contaminantes por retención y degradación de los mismos en la zona no saturada; su alta permeabilidad implica también una fácil y rápida difusión de los contaminantes a partir de los puntos de vertido.

Teniendo en cuenta estas puntualizaciones frente al uso que del territorio se realiza, los objetivos del presente trabajo se centran en determinar el grado actual del posible deterioro de la calidad natural de las aguas subterráneas de estos acuíferos aluviales. Deduciendo de la estructura industrial, urbana y agrícola de la zona, una gran variedad y complejidad de los potenciales focos de contaminación, el estudio se basa en el análisis de las aguas tanto desde el punto de vista fisicoquímico como del bacteriológico y siempre tomando como referencia por un lado, los valores normales de la mineralización natural de las aguas y por otro, aquellos que la actual reglamentación española en materia de aguas para abastecimiento público establece como límites orientadores de su calidad.

Los trabajos de investigación realizados anteriormente sobre el tema y área que nos ocupa son muy escasos; VILLARROYA (1977) en su tesis doctoral, recoge una primera interpretación global de las características fisicoquímicas de las aguas del cuaternario de la cuenca del Henares a partir de 44 análisis. Posteriormente LOPEZ VERA (1979) en un trabajo más puntual analiza aguas superficiales y subterráneas de los acuíferos aluviales en un área que comprende parte de los términos municipales de Alcalá de Henares y Meco; en este último trabajo se analiza el contenido en las aguas de 6 metales pesados, a fin de establecer relaciones entre aquellos y la actividad industrial lo que comulga con los objetivos del presente estudio.

Ambos trabajos, junto con las publicaciones relacionadas del Excmo. Ayuntamiento de Alcalá de Henares, serán de obligada referencia a lo largo de la discusión de los resultados obtenidos en el proyecto cuya memoria se expone.

1.2 .-TRABAJOS REALIZADOS Y PERSONAL QUE HA INTERVENIDO

Los trabajos realizados han sido, en síntesis, los siguientes:

-Recopilación de la documentación y datos existentes sobre el área de trabajo en relación con el tema a estudiar.

-Realización de una cartografía de síntesis, a escala 1:25000 de las formaciones aluviales.

-Establecimiento de las unidades y subunidades hidrogeológicas que, a efectos de presente estudio, pueden considerarse.

-Elección de la red de puntos de agua en los que se procedieron a la toma de muestras periódica y sistemática, teniendo en cuenta la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas y la utilización del territorio en cada una de ellas. De este modo se seleccionaron 20 puntos de muestreo.

-Establecimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a determinar. Los análisis efectuados en cada muestra de agua han sido los siguientes:

a) Análisis fisicoquímicos convencionales:

Cl ⁻	Na ⁺	pH
SO ₄	Ca ⁺⁺	Conductividad
CO ₃ H ⁻	Mg ⁺⁺	Dureza total
CO ₂	NH ₄	Residuo seco
NO ₃		Materia orgánica
NO ₂		D.B.O.

b) Contenido en metales pesados: En cada muestra se ha determinado, mediante espectroscopía de plasma, el contenido en los 22 elementos metálicos siguientes: Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Br, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, V y Zn.

c) Parámetros microbiológicos: En cada muestra se han efectuado las determinaciones de coliformes totales, estreptococos fecales y clostridios sulfito-reductores.

-Realización de seis campañas de toma de muestras en las fechas siguientes:

17 de Febrero de 1.984
6 de Marzo de 1.984
27 de Marzo de 1.984
23 de Mayo de 1.984
24 de Julio de 1.984
16 de Octubre de 1.984

-Realización de los análisis en los laboratorios siguientes:

a) Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares:
Totalidad de los parámetros microbiológicos y totalidad de las determinaciones de los análisis fisicoquímicos, a excepción de Na^+ , Mg^{++} y Ca^{++} .

b) División de Química Analítica de la Junta de Energía Nuclear (en la actualidad C.I.E.M.A.T):
Totalidad de las determinaciones de metales pesados, más las de Na^+ , Mg^{++} , y Ca^{++} .

-Elaboración de los datos hidrogeoquímicos para la redacción del presente informe.

El proyecto se ha desarrollado conjunta y coordinadamente por el Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá de Henares y por el Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares, interviniendo los siguientes especialistas:

A) Por el Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá:

-Dr.D. Antonio Sastre Merlín. Profesor titular de "Geodinámica" y especialista en Hidrogeología. Coordinador general del estudio.

-D. Miguel Martín-Loeches Garrido. Licenciado en Ciencias Geológicas y especialista en Hidrogeología.

-D^a Carmen Pastor Moyano. Licenciada en Ciencias Biológicas.

B) Por el Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares:

-D^o Fernando Garcés Toledano. Doctor en Ciencias Biológicas. Director del Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares.

-D^a M^a del Carmen Cuenca Gil. Licenciada en Farmacia. Responsable del laboratorio de Análisis del Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares.

-D^o Julian Luís Recio Villaverde. Licenciado en Farmacia. Analista del Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares.

El estudio ha sido sufragado por la Dirección General de Recursos Hidráulicos de la Comunidad Autónoma de Madrid. Por otro lado, resulta obligado reconocer la colaboración encontrada en la División de Química Analítica de la extinta Junta de Energía Nuclear (en la actualidad, C.I.E.M.A.T).

1.3.-MARCO GEOGRAFICO Y GEOLOGICO

El término municipal de Alcalá de Henares está localizado en el centro neurálgico de lo que se ha dado en llamar "Corredor Madrid-Guadalajara", una zona territorial de unos 25 y 60 kilómetros de anchura y longitud respectivamente, que comprende el área de influencia de una serie de núcleos industriales dispuestos a lo largo del la carretera radial N-II y el ferrocarril Madrid-Barcelona. Por ser el trazado del río Henares el eje de la zona, frecuentemente se utiliza el término "corredor del Henares" para definir la mencionada zona territorial, que, desde el punto de vista geográfico engloba gran parte de la campiña de Guadalajara, un fragmento de la primera Alcarria y parte de los valles de los ríos Jarama y Henares.

El valle del Henares constituye un eje de comunicación de primer orden, cuya importancia se remonta a los primeros pobladores de la península Ibérica, manteniéndose su protagonismo a lo largo del devenir histórico de nuestro país. Los valles de los ríos Henares y Jalón, por su continuidad, forman un "pasillo" a través de la Cordillera Ibérica, facilitando notablemente el acceso al centro peninsular; este pasillo natural fue utilizado por los romanos para la creación de la vía Mérida-Zaragoza; modernamente, el ferrocarril Madrid-Barcelona y, en parte, la carretera N-II siguen un trazado semejante.

Apoyándose en las vías de comunicación y utilizando las favorables condiciones agrícolas del valle, surgieron una serie de núcleos urbanos históricamente importantes, como Alcalá y Guadalajara. Tras un período de decaimiento, estos núcleos históricos y otros de nuevo cuño, experimentaron desde la década de los sesenta una súbita expansión e industrialización, como consecuencia de su estratégica situación en la red de comunicaciones nacionales y de su proximidad a Madrid.

Los principales problemas con que se enfrenta esta región quizás sean los derivados de la inadecuada localización espacial de las acciones urbanísticas. Ante la falta de

acciones planificadas orientadas con claridad a modificar las tendencias existentes, el crecimiento urbano se ha apoyado en la infraestructura tratando de mantener la misma distancia al centro de la aglomeración metropolitana compatible con los precios del suelo. El resultado ha sido la congestión de las zonas próximas al área metropolitana como prolongación del ámbito madrileño, invadiendo zonas inadecuadas para usos urbanos, ahogando y congestionado la escasa infraestructura local y destruyendo los limitados recursos naturales agrícolas, ecológicos y de recreo de la zona.

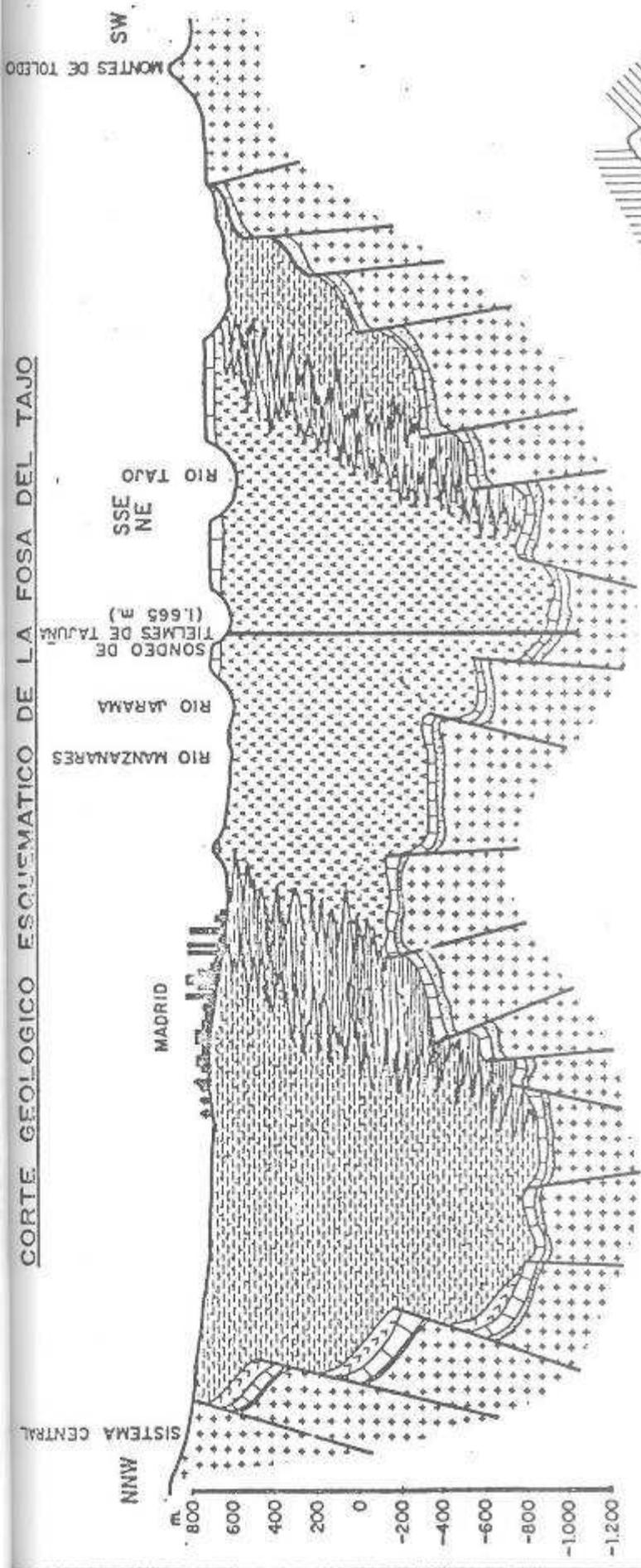
Desde el punto de vista geológico, el área estudiada se ubica sobre la denominada Cuenca de Madrid, una notable depresión tectónica emplazada entre el macizo cristalino del Sistema Central -al norte-, el de los Montes de Toledo-al sur- y la Cordillera Ibérica-al este-, colmatada durante los tiempos cenozoicos por materiales de carácter detrítico, evaporítico y calcáreo-arcosas, yesos y calizas, principalmente- procedentes de las áreas elevadas circundantes, y sobre la que se emplaza la capital de la nación (fig. 1).

Los depósitos de facies detrítica del conjunto sedimentario cenozoico se disponen, como cabe esperar, en los sectores marginales del mismo, orlando el contacto con los macizos elevados limitantes. En el dominio septentrional de la citada facies detrítica pueden distinguirse dos áreas diferentes, de carácter más arenoso una- materiales de facies "Madrid", ocupando el sector occidental de la depresión-, y de carácter predominantemente arcilloso el otro- materiales de facies "Guadalajara", dispuestos a lo largo del sector Alcalá-Guadalajara y áreas nororientales de la depresión-.

El subsuelo de Alcalá de Henares y su término municipal corresponde al segundo de los dominios de la facies detrítica antes comentados y a los sedimentos de "facies de transición" que dispuestos entre los anteriores y los de carácter yesífero ubicados en el ámbito central de la depresión, manifiestan un carácter litológico mixto. No obstante, el complejo sistema de terrazas del río Henares tapiza casi continuamente la superficie de afloramiento de los materiales terciarios en la margen derecha del valle, siendo estos visibles únicamente en la parte inferior de los escarpes de terrazas, los cuales-junto a las entalladuras producidas por los afluentes del Henares (Monjas, Camarmilla, Bañuelos y Torote), se constituyen en el principal elemento del relieve de este lado del valle (fig. 2). Por el contrario, los materiales terciarios aparecen con agreste y árida belleza a lo largo de la margen izquierda del río, toda ella un abrupto y continuo escarpe limitante de la región natural conocida como la Alacarría.

Se ha realizado un mapa geológico del término municipal de Alcalá de Henares a escala 1:25000 (Plano 1) síntesis de la cartografía más reciente, aunque aun inédita (IGME A e IGME B) elaborada a escala 1:50.000 para el plan MAGNA, en el que se puede observar las características comentadas anteriormente. Siendo necesaria una clara referencia de la situación relativa de las diferentes terrazas, además de las tramas, en el mapa geológico se han numerado los niveles siguiendo a GALLARDO Y PEREZ GONZALEZ (1985) quienes señalan la existencia de 20-22 terrazas cartografiables en el valle del Henares.

CORTE GEOLOGICO ESQUEMATICO DE LA FOSA DEL TAJO



LEYENDA

- | | | |
|----------------------|-----------|--|
| TERCIARIO | NEOGENO | FACIES QUIMICA: CALIZAS DE LOS PARAMOS, YESOS Y CALIZAS MARGOSAS |
| | PALEOGENO | FACIES DE TRANSICION: ARCILLAS Y MARGAS YESIFERAS Y CALCAREAS |
| MESOZOICO: CRETACICO | | FACIES DETRITICA: ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS |
| | | MARGAS, YESOS Y CONGLOMERADOS |
| PALEOZOICO | | ARENAS, MARGAS Y CALIZAS |
| | | ZOCALO: ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS |

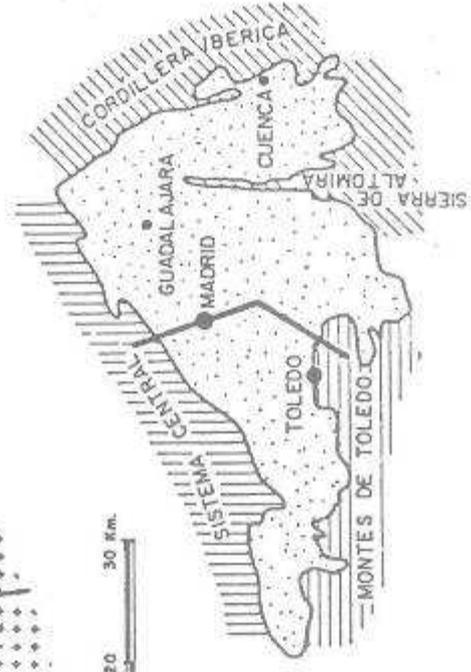


Fig. 1

II.- ESTRUCTURA HIDROLOGICA.

2.1.- ACUIFERO ARCILLO-ARENOSO (FACIES DETRITICA CENOZOICA)

Los materiales terciarios detríticos de la zona que nos ocupa están integrados por arcillas arenosas, limos arcillosos, arcillas margosas y arenas arcillosas; el carácter arcilloso marcado es una constante de los sedimentos de esta unidad, así como la buena estratificación y las tonalidades siempre intensas, desde marrón a rojo ladrillo. Los niveles más arenosos aparecen dispersos por lo general en el conjunto arcilloso.

Esta unidad detrítica reposa sobre una serie de materiales "de transición" entre ella y la de naturaleza evaporítica de los sectores centrales de la cuenca; como tal, incluye capas detríticas de tonos rojos, compuestas por limos y arcillas y de capas de margas yesíferas. La relación estratigráfica entre estas dos unidades es de un solapamiento retractivo (figs.1 y 2).

En el área a reconocer, el flujo del agua subterránea a través de los materiales que estamos comentando es vertical ascendente, correspondiéndose con el carácter de zona de descarga, propio del fondo del valle del río Henares. Ello explica la surgencia de los pozos profundos-en la mayor parte de ellos ya histórica-, el carácter eminentemente sódico del agua subterránea como consecuencia de fenómenos de intercambio catiónico experimentado por aquella en su discurso por el substrato, la existencia de aguas con elevado contenido salino en pozos surgentes en condiciones de reposo, la presencia de vegetación higrófila e higrohalofila y el carácter predominantemente húmedo de las vallonadas, entre otras observaciones.

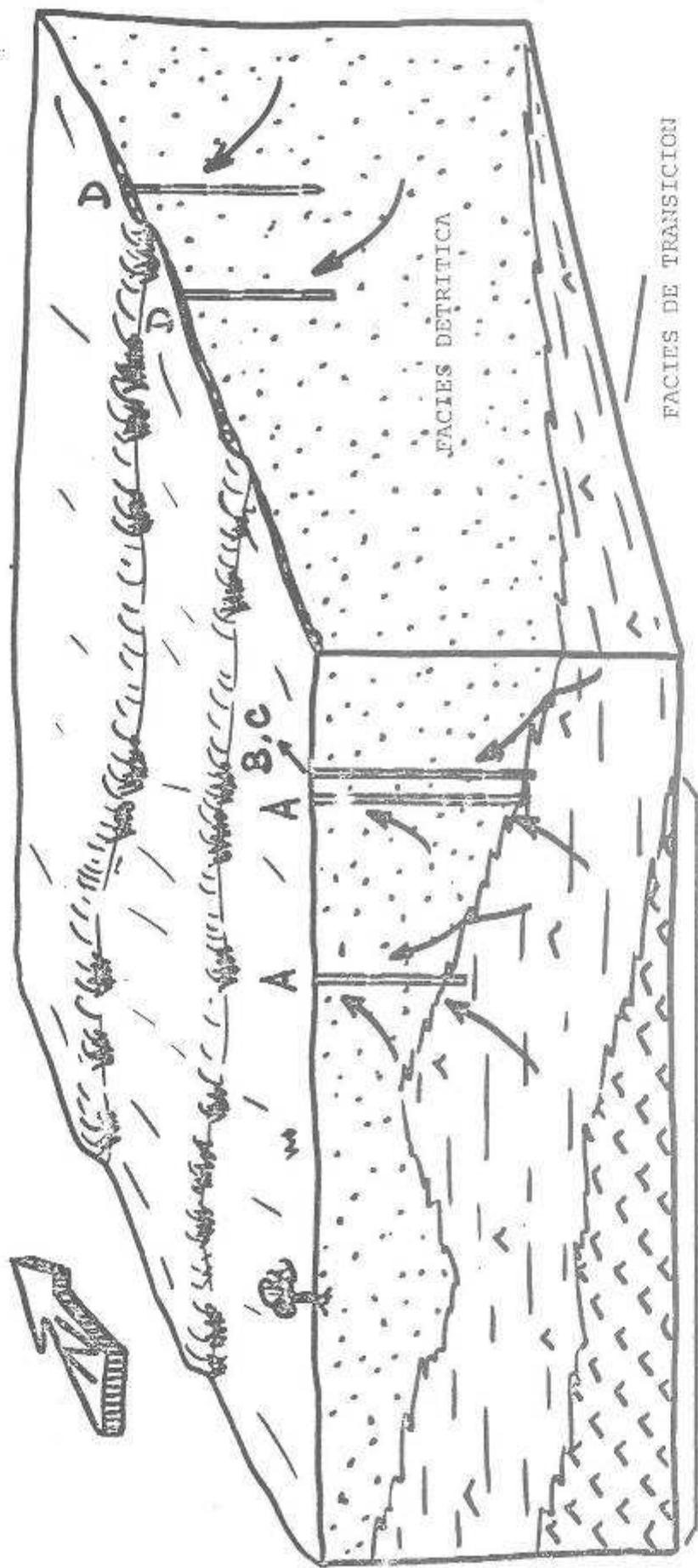
El notable contenido arcilloso de estos materiales es responsable de la baja permeabilidad ante el flujo del agua, lo que explica los bajos caudales de explotación obtenidos por los pozos en ellos emplazados. Esto es una constante para todo el acuífero, salvo en el sector Camarma-Meco-Azuqueca, donde por causas aún no bien explicadas se obtienen rendimientos notables pudiéndose considerar los caudales específicos de algunos de los pozos de este sector como de los más elevados de toda la cuenca de Madrid. Muy posiblemente, la explicación de esta auténtica anomalía geohidráulica positiva resida en la disposición del basamento en esta región, disposición que se conoce por métodos geofísicos (prospección gravimétrica) (CADAVID.S, 1977).

En nuestro estudio estos materiales terciarios constituyen una unidad hidrogeológica que por razones obvias no diferenciaremos.

2.2 ACUIFEROS ALUVIALES

El acuífero constituido por los depósitos fluviales que tapizan la margen derecha del Henares, se caracteriza por una elevada porosidad y permeabilidad.

La recarga se produce por infiltración del agua de las precipitaciones, por la descarga recibida del acuífero arcillo-arenoso subyacente - 4.5 Hm³ y 1.5 Hm³ respectivamente, SGOP (1980) - y por los excedentes de riego y/o pérdidas de la red de distribución del agua de abastecimiento; la descarga tiene lugar por bombeos, por evapotranspiración, por manantiales en el contacto con los materiales terciarios y por descarga difusa a favor del río Henares (fig.3).



FACIES EVAPORITICA DE CENTRO DE CUENCA

Fig. 2

Desde el punto de vista hidráulico estos materiales (VILLARROYA 1977) se estructuran formando un conjunto de pequeños acuíferos libres independientes entre sí, tanto por el carácter de "colgadas" que tienen las terrazas que marcan la morfología de estos sedimentos, como por la individualización del flujo del agua subterránea en aquellos producida por el encajamiento de los arroyos principales que disectan el área de estudio. Una excepción clara dentro de este marco global lo constituyen las terrazas más bajas (niveles T20 y T19- plano 1) que se encuentran solapadas al fondo del valle en evidente conexión hidráulica con los materiales que conforman la actual llanura de inundación del Henares (ver plano 1).

Teniendo en cuenta estas consideraciones y tratando el estudio que nos ocupa de evaluar el estado de las aguas de estos acuíferos, se ha procedido a compartimentar los depósitos aluviales en subunidades hidrogeológicas de tal suerte que los límites de estas lo sean igualmente para la difusión y desarrollo de posibles contaminantes y para determinadas peculiaridades hidrogeológicas derivadas del flujo subterráneo.

En este sentido y de forma puntual, cada porción de terraza delimitada por los escarpes de las mismas y por los arroyos disectantes sería considerada como unidad hidrogeológica independiente; siendo 11 los niveles de terraza extendidos sobre el término municipal de Alcalá, podríamos individualizar hasta 21 unidades, a las que habría que añadir aquellos sectores correspondientes a las llanuras aluviales de los ríos Henares, Camarmilla y Torote. Esta situación, limitante para el desarrollo de las investigaciones (diseño de la red de muestreo, capacidad de análisis, etc.) se resolvió, tras una exhaustiva campaña de reconocimiento y observación "in situ", agrupando en una misma unidad a aquellas terrazas que, a pesar de su carácter colgado, no presentan claros indicios de desconexión respecto a los niveles inferiores-dimensiones del escarpe inferior al espesor de la terraza, afloramiento discontinuo del terciario a favor de los escarpes, ausencia de manifestaciones de humedad, entre otras consideraciones-. Frente a estos acuíferos aparecen niveles cuya separación de la estructura general se muestra fehaciente y de forma continua.

Finalmente y tomando como límites claros desde el punto de vista hidrogeológico, por un lado al arroyo Camarmilla, que disecta transversalmente a los acuíferos considerados y por otro al escarpe de terraza delimitado entre los niveles T19 y T17 y que recorre longitudinalmente todo el término municipal, se pueden considerar cuatro unidades hidrogeológicas prácticamente independientes entre sí que denominamos:

- Unidad Terrazas Altas
- Unidad Bañuelos
- Unidad Villamalea
- Unidad Aluvial Henares-Camarmilla-Torote

2.2.1 .- UNIDAD TERRAZAS ALTAS

Constituido por los afloramientos de los niveles de terraza T11, T12 , T13 y T14 (plano 1) en el extremo más noroccidental del término municipal de Alcalá. Con afloramientos de muy escasa extensión, estas terrazas no presentan interés desde el punto de vista hidrogeológico y son excluidas de los objetivos generales de este proyecto.

2.2.2 .- UNIDAD BAÑUELOS

Corresponde al sector más occidental del area de estudio, quedando definida al oeste por el aluvial del rio Torote, al este por el valle del rio Camarmilla y al sur por el escarpe existente entre los niveles T17 y T19 del sistema de terrazas general. La unidad terrazas altas y el límite del término municipal constituyen su extremo norte.

Esta unidad (abreviadamente UB), de 16 km² de superficie, está formada por un mosaico de cuatro niveles de terraza - T18, T17, T16 y T15; ver plano 1 - que se encuentran disectadas en la parte central de la unidad por el arroyo Bañuelos - del que se ha tomado el nombre de la unidad - , de escaso encajamiento sobre aquellas y sin importancia global en el funcionamiento del sistema de flujo de las aguas subterráneas poco profundas.

Sobre esta unidad y a lo largo de las principales carreteras que la atraviesan, se asientan seis núcleos industriales de relativa importancia. La mayor parte de su superficie, sin embargo, acoge un uso agrícola aun en la actualidad.

2.2.3 .- UNIDAD VILLAMALEA

Excluyendo las terrazas altas, la unidad Villamalea (UV abreviadamente) es la que abarca menor extensión, 12 km². Ocupa la parte nororiental del término municipal y queda definida entre el escarpe de las terrazas T17 y T19, el límite oriental del aluvial del arroyo Camarmilla y el propio término municipal.

Esta unidad está constituida por un sector de los niveles T17 , T16 y T15 del sistema de terrazas del Henares-Camarmilla no disectados aquí por ningún arroyo de importancia en longitud aunque sí por dos cortos pero notables encajamientos en el nivel T17 conocidos toponimicamente como el "Prado de Villamalea" uno y el "Cortijo del Carmen" el otro (ver plano 1); los materiales de origen aluvial-coluviol depositados en el lecho de ambas entalladuras no poseen conexión hidráulica con la terraza a la que disectan y, por lo tanto, no se incluyen dentro de la unidad Villamalea. Por el contrario si presentan conexión con la terraza T19, perteneciente a la unidad inferior, donde culminan su extensión formando pequeños abanicos aluviales (ver planos 1 y 2).

Dentro de esta unidad no se ubican nucleos urbanos e industriales de importancia, siendo la actividad agrícola la predominante.

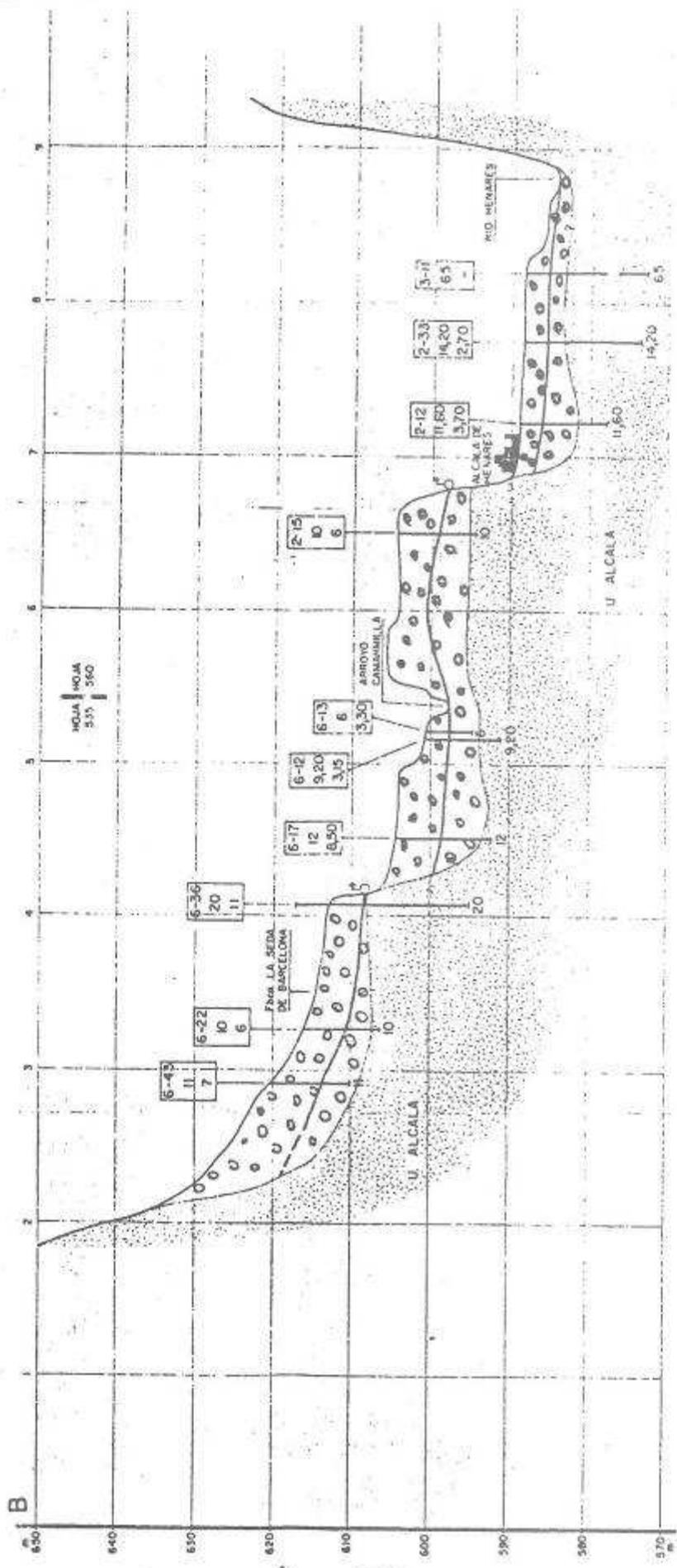


Fig. 3

14

2.2.4 .-UNIDAD ALUVIAL HENARES-CAMARMILLA-TOROTE

Esta unidad, que denominamos abreviadamente AHCT, abarca 29 km² siendo la más extensa de las cuatro en que se ha discretizado desde el punto de vista geohidrológico el sistema de terrazas del Henares en los alrededores de Alcalá. Está constituida por las llanuras de inundación o aluviales de los ríos Henares, Camarmilla y Torote, por los niveles de terraza T20 y T19 y por los ya comentados cauces del arroyo del Prado de Villamalea y el del cortijo del Carmen.

Limita esta unidad al sur con la rampa hacia la Alcarria labrada sobre los materiales arcilloso-arenosos cenozoicos. Muchas de las cárcavas y arroyos que oradan las arcillas terciarias de este escarpe forman en su contacto con la planicie de la vega pequeños conos aluviales y de deyección que también incluimos en esta unidad ya que la permeabilidad previsible de sus materiales (arenas, gravas poligénicas no consolidadas, etc.) es superior a la de las rocas que los originaron, más próxima en su valor a la de los depósitos aluviales del río Henares sobre los que yace.

Sobre esta unidad se asienta la mayor parte de la ciudad de Alcalá y su área de influencia urbana, así como también los más importantes polígonos industriales, como puede apreciarse en los planos 1 y 2.

III.- MUESTREO Y PARAMETROS INVESTIGADOS.

3.1 .- SELECCION DE LA MALLA DE MUESTREO

A partir del inventario de puntos de agua elaborado con anterioridad por otros investigadores relacionados con el Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá de Henares, y de acuerdo con el modelo de estructura geohidrológica comentado en el apartado anterior, se estableció una malla de 21 puntos de muestreo que hubo que dejar reducida a 20 tras la primera campaña de toma de muestras, ante la inaccesibilidad de uno de los puntos seleccionados. En tal selección se tuvo en cuenta su proximidad a focos probables de contaminación considerados de forma apriorística, tratándose, en la medida de lo posible, de establecer pares de puntos de muestreo que permitieran comparar la calidad del agua subterránea aguas arriba y aguas abajo del probable foco de contaminación, siempre en la dirección del flujo subterráneo.

3.2 .-PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo seleccionados han sido los siguientes:

- Punto nº 1: Pozo "Parque Municipal"
- Punto nº 2: Pozo "Robert Bosch"
- Punto nº 3: Pozo "Gayoso Wellcome, S.A."
- Punto nº 4: Fuente "La salud"
- Punto nº 5: Pozo de las "Casas de la Rinconada"
- Punto nº 6: Pozo del convento del Carmen o de Afuera
- Punto nº 7: Pozo del Poligono Industrial Bañuelos
- Punto nº 8: Pozo del Poligono Industrial Azque
- Punto nº 9: Pozo del Colegio San Gabriel
- Punto nº 10: Pozo "Philips, S.A."
- Punto nº 11: Pozo I.V.I.A.S.A.
- Punto nº 12: Pozo de la finca "Las cuarenta fanegas"
- Punto nº 13: Fuente "Roclaine"
- Punto nº 15: Pozo del "Viaje" de los Jesuitas
- Punto nº 16: Pozo de la fina "El sueño"
- Punto nº 17: Pozo de la carretera de Meco

-Punto nº 18: Antiguo depósito del "viaje" de Villamalea

-Punto nº 19: Pozo de riego del Campus Universitario

-Punto nº 20: Fuente del "Tío Cañamón"

-Punto nº 21: Pozo de "Aeroquip Iberica S.A."

La situación de los puntos puede observarse en el plano 2, sobre las unidades hidrogeológicas establecidas inicialmente y la localización de las zonas de influencia urbana e industrial. Puede comprobarse cómo la mayor densidad de puntos se encuentra en las inmediaciones del casco urbano y en aquellas áreas con mayor densidad de ubicación de industrias.

La distribución de los puntos respecto a las unidades hidrogeológicas ha sido la siguiente:

UAHCT: 1, 2, 3, 4, 5, 17, 11, 12, 19, 20 y 21.

UB: 7, 8, 9 y 10.

UV: 13, 15, 16, 18 y 6.

Las fichas de inventario detalladas de cada uno de los puntos de la red de muestreo se presentan en el anejo 1 de este informe.

Como se puede apreciar en el plano 2, los puntos 18 y 6 de la red aparecen repetidos, con distinta simbología asociada; esto se debe a que los sistemas de captación de agua que designan consisten en galerías subhorizontales, los ya mencionados "viajes de agua"; los dos escogidos son los mejor conservados: el viaje de "VILLAMALEA", punto nº 18, y el denominado viaje de "EL CARMEN", punto nº 6. El símbolo ◦ se sitúa en el lugar donde se tomó el agua analizada y que coincide con el punto final accesible del recorrido del agua recogida por las galerías, mientras que el símbolo ■ se sitúa en los puntos iniciales del recorrido de los respectivos viajes. La fuente del Carmen recibe aguas drenadas por dos ramales estando ambos señalados en el respectivo plano 2; el más oriental - y mejor conocido - transcurre entre los coluviones que rellenan el fondo del ya mencionado arroyo de la finca del Cortijo del Carmen. Es por esto que, las aguas procedentes de este sector han de considerarse pertenecientes a la unidad AHCT. Sin embargo, el ramal más occidental - de longitud desconocida - marca su trazado entre los materiales que constituyen el nivel de terraza T17, drenando por tanto aguas pertenecientes a la UV. Como quiera que, más al sur, las aguas procedentes de ambos ramales se mezclan - circulando hasta el punto de recogida de las muestras a lo largo de una única tubería - el punto 6 no debe considerarse como perteneciente a una sola de las unidades mencionadas. En este sentido, a lo largo del presente informe dicho punto se ha incluido indistintamente en la UV o en la UAHCT, según los casos, para mayor claridad en la exposición.

3.3.-PARAMETROS ANALIZADOS

La elección de los parámetros a analizar ha respondido a los criterios siguientes:

- a) Conocimiento de la mineralización global del agua en base a la determinación del contenido de aniones y cationes mayoritarios.
- b) Conocimiento del nivel de degradación biológica mediante análisis de parámetros microbiológicos convencionales.
- c) Conocimiento de la presencia y contenido de iones minoritarios y oligoelementos que pudieran relacionarse con actividades industriales contaminantes de las aguas subterráneas.

Dada la casi ausencia de datos preexistentes se optó por una táctica de barrido de elementos minoritarios y oligoelementos de la mayor amplitud posible compatible con un nivel de sensibilidad adecuado, en lugar de centrarse con la máxima precisión en unos pocos cationes metálicos pesados.

Por todo ello, se eligieron los parámetros indicados en el epígrafe 1.2. Las determinaciones de la mayor parte de los parámetros fisicoquímicos y todos los microbiológicos fueron realizados en el laboratorio del Centro Municipal de Salud de Alcalá de Henares, poniendo en práctica técnicas convencionales. Las determinaciones de metales pesados y las concentraciones de Na^+ , Mg^{++} y Ca^{++} fueron realizadas en el laboratorio de la División de Química Analítica de la Junta de Energía Nuclear, mediante la técnica de espectroscopía de plasma.

Los resultados analíticos obtenidos en las seis campañas de muestreo realizadas se presentan en el anejo 2 de este informe.

3.4.-TOMA DE MUESTRAS Y ELECCION DE LAS FECHAS DE MUESTREO

La toma de muestras se ha efectuado directamente de la tubería de impulsión del agua bombeada, siempre que ello ha sido posible. En aquellos pozos que carecían de bomba la muestra era obtenida mediante botellas lastradas.

La muestra para determinación del contenido en metales pesados se ha tomado en frascos de plástico en los que previamente en el laboratorio, se introducía NO_3H en volumen proporcional al de la muestra tomada, con el fin de mantener un pH adecuado que evitara la precipitación de los metales a determinar-lo que evidentemente enmascararía el resultado-, por si tales determinaciones no se hacían inmediatamente después de la toma.

El muestreo para la determinación de los parámetros microbiológicos comportó el empleo de un equipo de filtración Millipore portátil, de manera que en el mismo punto de muestreo, previa esterilización del equipo, se filtraba una cantidad adecuada, sembrando los filtros en sus medios correspondientes, llevándose a incubar en estufas preparadas a tal efecto en el laboratorio.

Como se indicaba en el epígrafe 1.2 se han llevado ha cabo 6 campañas de toma de muestras en las fechas 17-II-84, 06-III-84, 27-III-84, 23-V-84, 24-VII-84 y 16-X-84 pretendiéndose el disponer de muestras en las diversas estaciones del año, así como conocer la variación intra-anual de los parámetros determinados.

**IV.-PRESENCIA DE IONES MAYORITARIOS EN LAS AGUAS
SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES.**

4.1.-CLASIFICACION HIDROGEOQUIMICA DE LAS MUESTRAS

Se han efectuado análisis fisicoquímicos convencionales sobre las muestras recogidas en las diferentes campañas, determinándose el contenido en iones mayoritarios o fundamentales Cl , SO_4 , CO_3H , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , CO_3 , NO_3 , NO_2 , NH_4 y los parámetros pH, conductividad, dureza total, residuo seco, materia orgánica y DBO. Estas determinaciones constituyen la base para definir el grado de mineralización global de las aguas analizadas y para realizar una primera clasificación geoquímica.

Los escasos antecedentes que existen sobre la investigación y estudio del quimismo de las aguas que nos ocupan han sido tomados como puntos de obligada referencia a la hora de definir variaciones temporales significativas respecto a los resultados obtenidos.

Los valores medios de las seis campañas efectuadas para todos los puntos de la red de muestreo se representan en el diagrama de PIPER de la figura 4, en el cual se incluyen los nitratos junto con el ión Cl (CUSTODIO Y LLAMAS 1976) puesto que las concentraciones de este elemento en las muestras representan una proporción no despreciable frente al resto de los mayoritarios.

La clasificación de las aguas analizadas por los iones dominantes se muestra en la tabla I; como se ve, respecto al anión dominante las aguas en su conjunto son de tipo Bicarbonatado Cálculo o Magnésico y Clorurado, apareciendo los tipos Bicarbonatado Sulfatado en los puntos 20 y 5 de la UAH y 6 y 17 de la UV. En cuanto al catión dominante existe menos dispersión, concentrándose todos los puntos en la parte central del diagrama a excepción del 21 (UAHCT)-tipo Sódico- y del 13 (UV)-tipo Cálculo-. Se aprecia un mayor agrupamiento hacia los tipos Magnésico-Cálculos y Cálculo-Magnésicos.

Según VILLARROYA (1977) las aguas del acuífero cuaternario suprayacente a los materiales terciarios que definen la denominada UNIDAD ALCALA (formación Alcalá de LOPEZ VERA, 1976) son ligeramente bicarbonatadas cálcicas lo que coincide con el carácter bicarbonatado-cálcico deducido en los análisis actuales, ya que las aguas muestreadas proceden de acuíferos aluviales que tapizan exclusivamente materiales terciarios pertenecientes a la citada formación.

El trabajo de LOPEZ VERA et al.(1979), cuyos límites y objetivos se ajustan de forma más estrecha a los del presente trabajo, refleja resultados similares si bien se señala una mayor presencia de los iones Na^+ y SO_4 en aguas recogidas de pozos coincidentes o muy próximos a algunos de los que integran la actual red de muestreo considerada.

En el caso que nos ocupa, y como es congruente con la pequeña extensión del área de estudio, no pueden señalarse diferencias claras entre las aguas de las diferentes unidades consideradas a partir del exclusivo análisis de estos diagramas.

Programa

ESTUDIO: Calidad y contaminación
 ACUIFERO: General

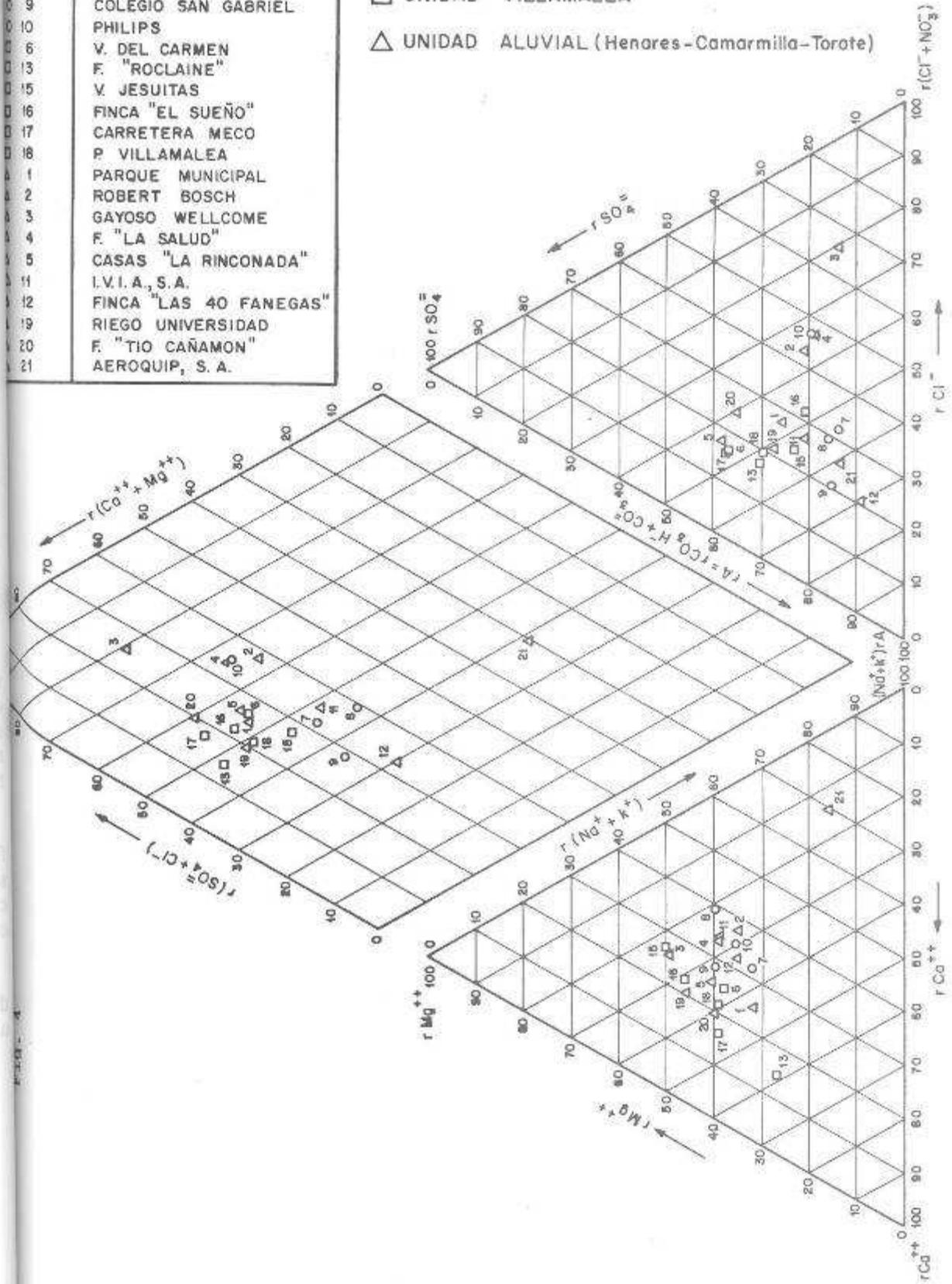
Medias
campanas
de mues-
treo

FECHA

PIPER - HILL - LANGELIER:

MUESTRAS	
Centenario	Toponimia
07	P. BAÑUELOS
08	P. AZQUE
09	COLEGIO SAN GABRIEL
10	PHILIPS
06	V. DEL CARMEN
13	F. "ROCLAINE"
15	V. JESUITAS
16	FINCA "EL SUEÑO"
17	CARRETERA MECO
18	P. VILLAMALEA
01	PARQUE MUNICIPAL
02	ROBERT BOSCH
03	GAYOSO WELLCOME
04	F. "LA SALUD"
05	CASAS "LA RINCONADA"
11	I.V.I.A., S.A.
12	FINCA "LAS 40 FANEGAS"
19	RIEGO UNIVERSIDAD
20	F. "TIO CAÑAMON"
21	AEROQUIP, S.A.

- UNIDAD BAÑUELOS
- UNIDAD VILLAMALEA
- △ UNIDAD ALUVIAL (Henares - Camarmilla - Torote)



n° Punto	Clasf. hidrogeoquímica ión dominante	Unidad Hidro.
7	Bicarbonatado Calcico-Magnésico.	UB
8	Bicarbonatado Magnésico-Cálcico.	
9	Bicarbonatado Magnésico-Cálcico.	
10	Clorurado/Bicarbonatado Mg-Ca.	
13	Bicarbonatado Cálcico.	UV
15	Bicarbonatado Magnésico.	
16	Bicarbonatado/Clorurado Mg-Ca.	
18	Bicarbonatado Magnésico-Cálcico.	
6	Bicarbonatado/Sulfatado Mg-Ca.	
1	Bicarbonatado/Clorurado Ca-Mg.	UAHCT
2	Clorurada/Bicarbonatado Mg-Na.	
3	Clorurado Magnésico.	
4	Clorurado/Bicarbonatado Mg-Na.	
5	Bicarbonatado/Sulfatado Mg-Ca.	
11	Bicarbonatado Magnésico-Sódico.	
12	Bicarbonatado Magnésico-Sódico.	
19	Bicarbonatado Magnésico-Cálcico.	
20	Bicarbonatado/Sulfatado Ca-Mg.	
21	Bicarbonatado Sódico.	
17	Bicarbonatado/Sulfatado Ca-Mg.	

TABLA.1. Clasificación Hidrogeoquímica de las muestras por el ión dominante.

4.2 .- ESTRUCTURA HIDROGEOQUIMICA DE LAS MUESTRAS

Para el estudio de las características hidrogeoquímicas de las aguas de los acuíferos estudiados respecto a su contenido en iones mayoritarios se han representado estos, por unidades hidrogeológicas, en diagramas modificados de SCHOLLER-BERCKALOFF (figs. 5, 6, 7 y 8). Junto con los iones fundamentales Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Cl^- , SO_4 y CO_3H^- (CUSTODIO Y LLAMAS, 1976) se han representado en los diagramas los nitratos por constituir este un parámetro de importancia y por aparecer en proporciones significativas respecto al resto de los iones. Otros parámetros que se incluyen en los diagramas son el pH, la dureza y la conductividad.

Como ya apuntamos inicialmente, la referencia patrón para determinar el estado y la calidad fisicoquímica del agua se especifica en el Código Alimentario Español donde en lo referente a la reglamentación Técnico-Sanitaria para abastecimiento público de aguas potables, se diferencian o separan los caracteres de las aguas a controlar en organolépticos, fisicoquímicos, no deseables, tóxicos, microbiológicos y radioactivos. Es en el grupo de caracteres físico-químicos donde se especifican las concentraciones de calidad para la mayoría de los iones fundamentales de las aguas naturales, además de incluir parámetros como el pH, la Conductividad, la dureza total, el residuo seco y el oxígeno disuelto.

Entre los iones considerados en este apartado la reglamentación incluye al Al^{+++} que nosotros trataremos en el capítulo dedicado a iones minoritarios y oligoelementos. Así vemos como, exceptuando a este elemento, al residuo seco y al oxígeno disuelto, en los diagramas SCHOLLER-BERCKALOFF diseñados, se señalan los componentes físico-químicos que especifica la reglamentación, añadiéndose los nitratos. Sobre los diagramas se han marcado, para cada parámetro, los límites tolerables y el orientador de calidad fijados por la reglamentación española o, en su caso, fijados por la normativa de la CEE; no ha sido posible realizar una clasificación sanitaria de las aguas ya que esta debe considerarse conforme a la totalidad de los parámetros que incluye la ley; y aun si quisiéramos realizarla para cada parámetro en particular, resultaría imposible marcar el límite de la potabilidad-no potabilidad ya que no se consideran impotables a aquellas aguas en las que alguno de sus componentes físico-químicos sobrepasan los límites tolerables.

El resto de los parámetros debe consultarse en los datos analíticos expuestos en el anejo 2.

4.2.1 .- UNIDAD BAÑUELOS

En esta unidad se localizan los puntos de la red de muestreo nº 7 - POLIGONO INDUSTRIAL BAÑUELOS-, nº 8 -POLIGONO INDUSTRIAL AZQUE-, nº 9 - COLEGIO SAN GABRIEL- y nº 10 -PHILIPS IBERICA-, representándose los valores medios de las seis campañas de los parámetros señalados en el apartado anterior en el diagrama de SCHOLLER-BERCKALOFF correspondiente a la figura 5.

Se observa en el diagrama cómo ninguno de los puntos difiere significativamente respecto al resto en cuanto a la concentración de los parámetros representados; la

estrecha banda formada entre los valores extremos de la figura, indica la homogeneidad físico-química de las aguas de esta unidad.

Dentro de las características globales observadas destaca la notable conductividad de las aguas muestreadas, reflejo de su alta mineralización, entre 800 y 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$, un elevado contenido en ión CO_3H , comprendido entre los 340 mg/l de media observados en el punto nº 8 y los correspondientes 472 mg/l para el punto nº 9, y una notable dureza, superior en todas las muestras a 300 ppm de CO_3Ca .

Sobresale moderadamente el punto nº 10 (PHILIPS IBERICA) por su mayor mineralización, superando al resto de los puntos en el contenido en Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , SO_4 y especialmente en Cl^- , de tal forma que, mientras los puntos 7, 8 y 9 son claramente de tipo Bicarbonatado-Cálcico o Magnésico el punto 10 lo es de tipo Clorurado-Bicarbonatado.

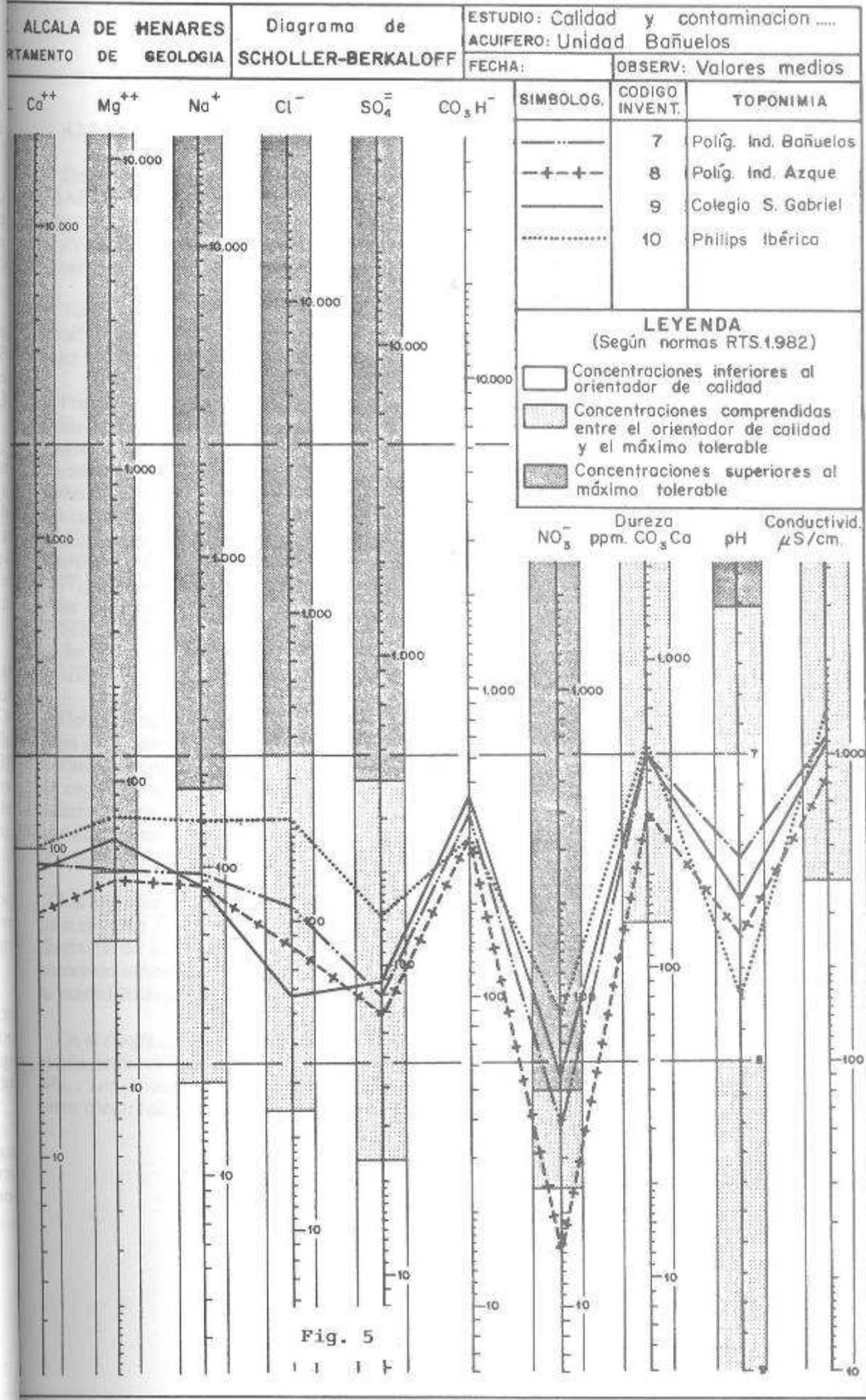
De forma puntual, cabe señalar que las concentraciones obtenidas para los cationes mayoritarios están comprendidas dentro de los valores admitidos como normales en las aguas naturales dulces (CUSTODIO Y LLAMAS 1976, pg. 201 y sig), si bien deben destacarse las notables concentraciones en magnesio; por el contrario los contenidos en aniones y especialmente en NO_3 y CO_3H^- se encuentran próximos o por encima de los valores normales (no tiene por que deducirse de esto una contaminación de las aguas, ni tan si quiera una pérdida de su calidad- salvo en determinados casos-, sino más bien una característica natural del agua analizada).

En lo que respecta a la situación de las concentraciones medias obtenidas frente a los límites marcados en la actual reglamentación (RTS, 1982) se observa en la figura 5 cómo los puntos 7, 9 y 10 superan el límite tolerable para el Mg^{++} (fijado en 50 mg/l): nº 7, 47 mg/l; nº 9, 65 mg/l; nº 10, 76 mg/l. Mientras, los puntos 9 y 10 superan igualmente el máximo tolerable para los nitratos - establecido este en 50 mg/l- : nº 9, 54 mg/l y nº 10, 87 mg/l. Ninguno de los restantes iones y parámetros físico-químicos son superados en su valor tolerable por los valores obtenidos si bien hay que señalar que para el Na, el Cl, los sulfatos, la dureza y la conductividad todos los puntos están comprendidos entre el máximo tolerable y el orientador de calidad.

De una manera formal las aguas de los puntos 7, 9 y 10 no son potables, aunque podrían clasificarse como sanitariamente permisibles ya que la reglamentación engloba en esta clase a las aguas que sobrepasen los límites tolerables para algunos de sus caracteres físico-químicos.

Los relativamente altos contenidos en NO_3 (punto nº 10, 85 mg/l) deben ser imputables a efectos locales de contaminación orgánica, por abandono y descuido de los pozos, puesto que no se encuentra relación con otro tipo de actividad antrópica (riegos, agricultura, ganadería, etc.), salvo en el caso del pozo nº 7, situado inmediatamente aguas abajo de una finca de importante actividad ganadera y agrícola.

Las concentraciones en Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ encontradas en las aguas de la unidad UB pueden derivar de la influencia de los materiales terciarios subyacentes puesto que muy probablemente los pozos de muestreo llegan a horadar - acaso "epidérmicamente" - tales sedimentos.



4.2.2 .-UNIDAD VILLAMALEA

Dentro de esta unidad se sitúan los puntos nº 13 fuente ROCLAINE, nº 15 pozo VIAJE JESUITAS, nº 16 FINCA EL SUEÑO y nº 18 DEPOSITO VILLAMALEA (ver plano 2). En el diagrama SCHOELLER-BERKALOFF de la figura 6 se representan los valores medios obtenidos en estos puntos para los parámetros considerados.

Todas las muestras, al igual que en la UB, presentan una gran uniformidad poniéndose en evidencia el carácter bicarbonatado de las aguas, el alto contenido en sales de las mismas y su dureza.

Presenta esta unidad hidrogeológica una gran similitud respecto a sus características físico-químicas con la UB (ver figuras 5 y 6), manteniéndose los mismos ordenes de magnitud para los valores de los distintos parámetros. Con todo, cabe señalar que las muestras de la UV poseen mayor contenido en sulfatos y algo menor en cloruros y sodio. Estas diferencias no son suficientemente significativas como para tratar de buscar sus causas en fenómenos globales derivados del flujo subterráneo o de la litología del acuífero, especialmente si se tiene en cuenta que esta unidad ocupa una posición equivalente a la UB respecto a los esquemas de flujo propuestos (VILLARROYA, 1977); una excepción lo supone el caso del Na⁺, cuyas menores concentraciones pueden estar en relación con la menor profundidad de las obras de captación (VIAJE JESUITAS, 8,30 m.; FINCA EL SUEÑO, 3,5 m.) y por tanto con la menor influencia de las aguas subterráneas del sustrato terciario respecto de los pozos muestreados en la UB.

Debe destacarse el punto nº 13 - fuente ROCLAINE - por presentar los valores más bajos en el contenido de los iones representados en el diagrama (excepto para el Ca⁺⁺), lo cual a nuestro juicio cabe interpretarse en favor de suponer a una antigua galería de captación o "viaje de agua" como origen de las aguas recogidas por este punto; la galería tendría su origen en una zona situada más al norte, drenando aguas que llegan al punto de muestreo considerado con menor recorrido a través del sustrato y por tanto con menor cantidad de sales.

Las consideraciones realizadas para la fuente Roclaine deberían hacerse extensivas para el punto 18, depósito VIAJE DE VILLAMALEA, aunque, como se aprecia en el diagrama de la figura 6, las aguas de esta galería, en su punto final, muestran un contenido iónico medio e incluso alto respecto del total de los puntos considerados en la unidad hidrogeológica que nos ocupa.

En el diagrama de la figura 6 se observa finalmente cómo los puntos 15 y 16 superan escasamente el valor tolerable especificado en la RTS (1982) para el Mg⁺⁺ y para el NO₃⁻. Los valores obtenidos en los restantes puntos y para el resto de los parámetros están comprendidos entre el orientador de calidad y el máximo tolerable.

Ca⁺⁺ Mg⁺⁺ Na⁺ Cl⁻ SO₄⁼ CO₃H⁻

SIMBOLOG.

CODIGO
 INVENT.

TOPONIMIA

—	13	Fuente "Roelaine"
- - -	15	Viaje jesuitas
- · - · -	16	Finca "El Sueño"
· · · · ·	18	Antiguo Depósito Villamalea

LEYENDA
 (Según normas RTS.1982)

-  Concentraciones inferiores al orientador de calidad
-  Concentraciones comprendidas entre el orientador de calidad y el máximo tolerable
-  Concentraciones superiores al máximo tolerable

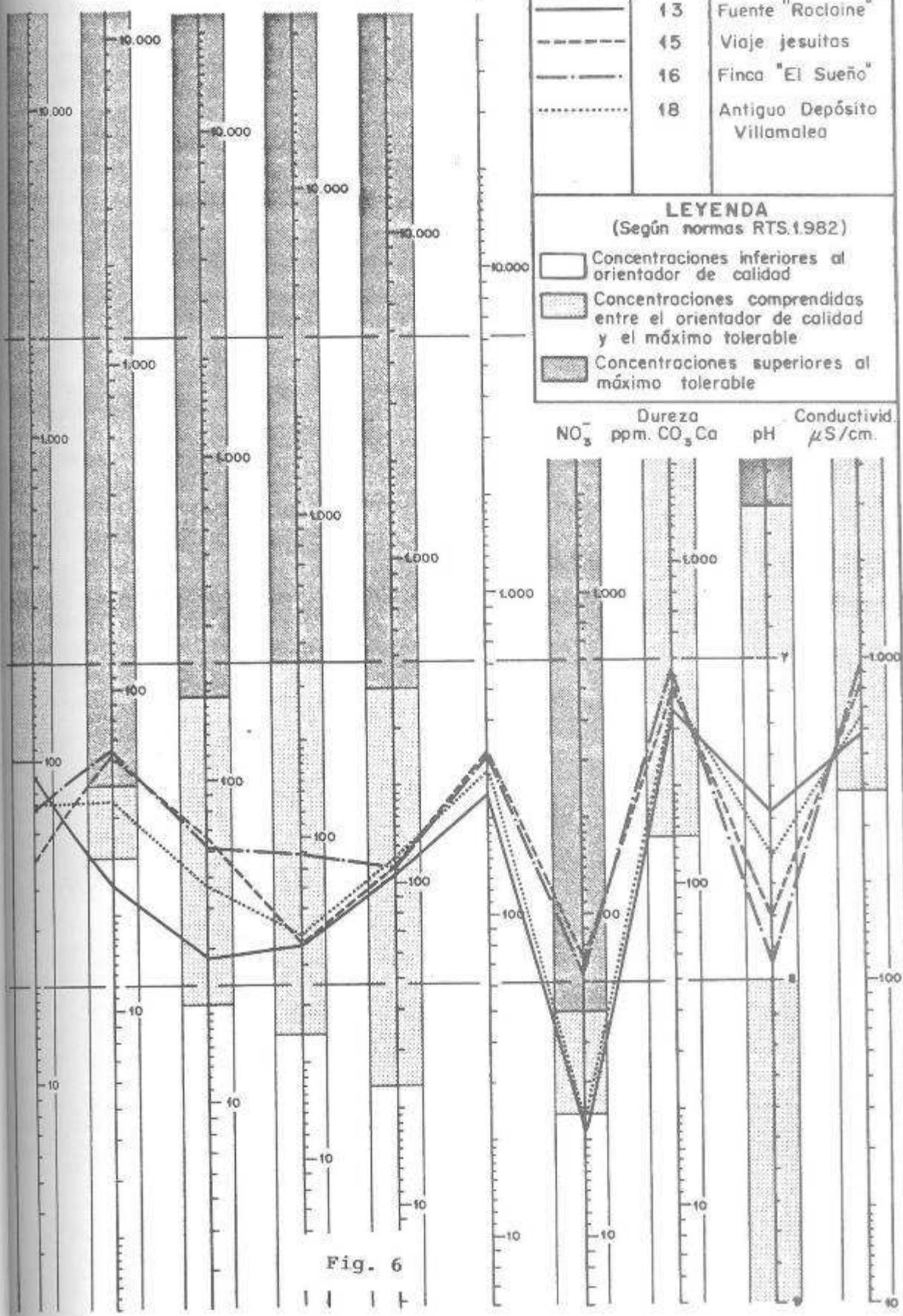


Fig. 6

4.2.3.-UNIDAD ALUVIAL HENARES-CAMARMILLA-TOROTE

Agrupación 11 de los 20 puntos que conforman la red de muestreo cuya relación aparece especificada en el plano 1.

Dado el elevado número de puntos representativos de esta unidad, se han dividido estos en dos grupos para su mejor visualización en los diagramas de SCHOELLER-BERCKALOF; así en la figura 7 se representan los puntos 1, 2, 3, 4, 11 y 12, y en la figura 8 los puntos 5, 6, 17, 19, 20 y 21; la interpretación de los resultados se realiza, en cualquier caso, de forma conjunta. La elección de los grupos responde más a criterios geométricos y de simplificación, que a razones científicas.

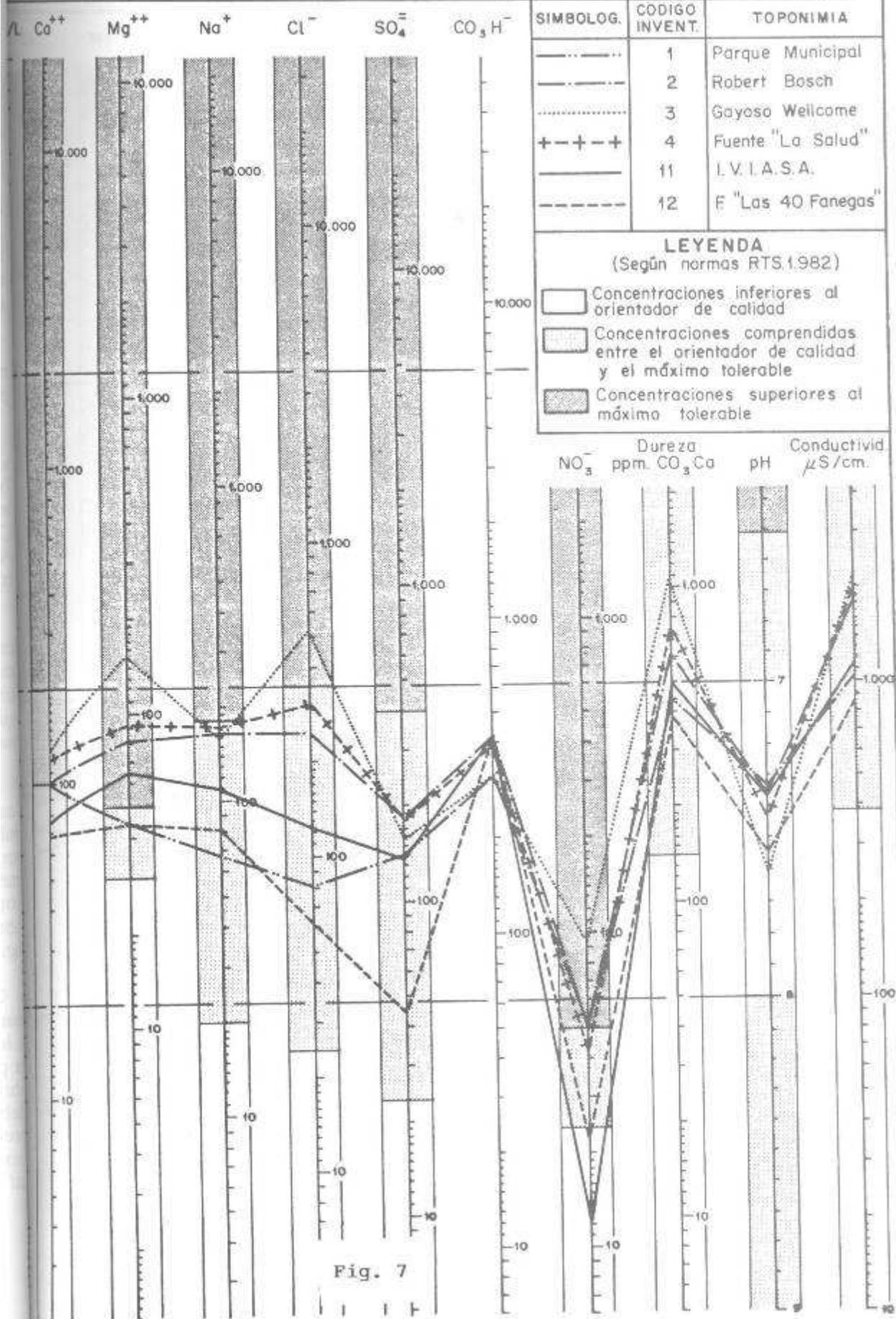
En esta unidad existe una notable dispersión de los contenidos iónicos en las aguas muestreadas salvo para el CO_3H , que oscila entre los 306 mg/l de valor medio del punto nº 20 -Fuente del Tío Cañamón - y los 422 mg/l del punto nº 11-IVIASA-.

En general, son aguas duras y de elevada mineralización. En cuanto al contenido aniónico, se distinguen dos tipos de aguas: Cloruradas (puntos 2, 3 y 4) y Bicarbonatadas (resto de los puntos). Respecto a los cationes, en la gran mayoría de las aguas muestreadas, domina el Mg^{++} -puntos 3, 4, 5, 11, 12 y 19-; en los puntos 1, 17 y 20 el Ca^{++} , y el Na^+ en el punto 2 - ROBERT BOSCH - y, especialmente, en el 21 - AEROQUIP -, donde alcanza una concentración en este elemento anómala respecto al conjunto de la unidad considerada.

El punto 3, GAYOSO WELCOME, sobresale por poseer las mayores concentraciones medias de todos los puntos de la red en Cl (546 mg/l-14 meq/l), Mg^{++} (155 mg/l- 12 meq/l) y NO_3^- (1,5 meq/l); las concentraciones en Cl y Mg^{++} podrían estar en relación con la actividad industrial desarrollada en el entorno del punto de muestreo mientras que el contenido en NO_3^- , no superando este el orden de magnitud general obtenido para la unidad en su conjunto, podría derivar de acciones locales de contaminación.

Por similares razones destaca el punto nº 21, AEROQUIP, ya que en él se registran las máximas concentraciones en Na^+ -366 mg/l- y CO_3H -875 mg/l- lo que se podría relacionar directamente con vertidos efectuados al subsuelo. Como se verá más adelante, en este pozo se registraron igualmente valores anómalos en la concentración de algunos metales; también se encuentran indicios en él de contaminación fecal, lo que es congruente con las precarias condiciones sanitarias en las que se encuentra, ya que se abandonó por los servicios técnicos de la empresa debido a la contaminación de sus aguas.

Cabría señalar como anómalas las bajas concentraciones iónicas registradas en el punto nº 12 - finca LAS CUARENTA FANEGAS - especialmente en lo que se refiere a los sulfatos (43 mg/l de valor medio); esta circunstancia debe estar en relación con la posición del pozo respecto a las componentes del flujo de las aguas subterráneas. El aluvial del río Camarmilla sin conexión hidráulica con las terrazas a las que disecta, solo debe recibir en este sector, aguas procedentes del substrato terciario y de la precipitación recogida por su propio valle, por lo que los puntos situados aguas arriba (como es el caso del nº 12) deben contener menos sales que los situados aguas abajo; así se aprecia un aumento del contenido en sales y especialmente en sulfatos en los



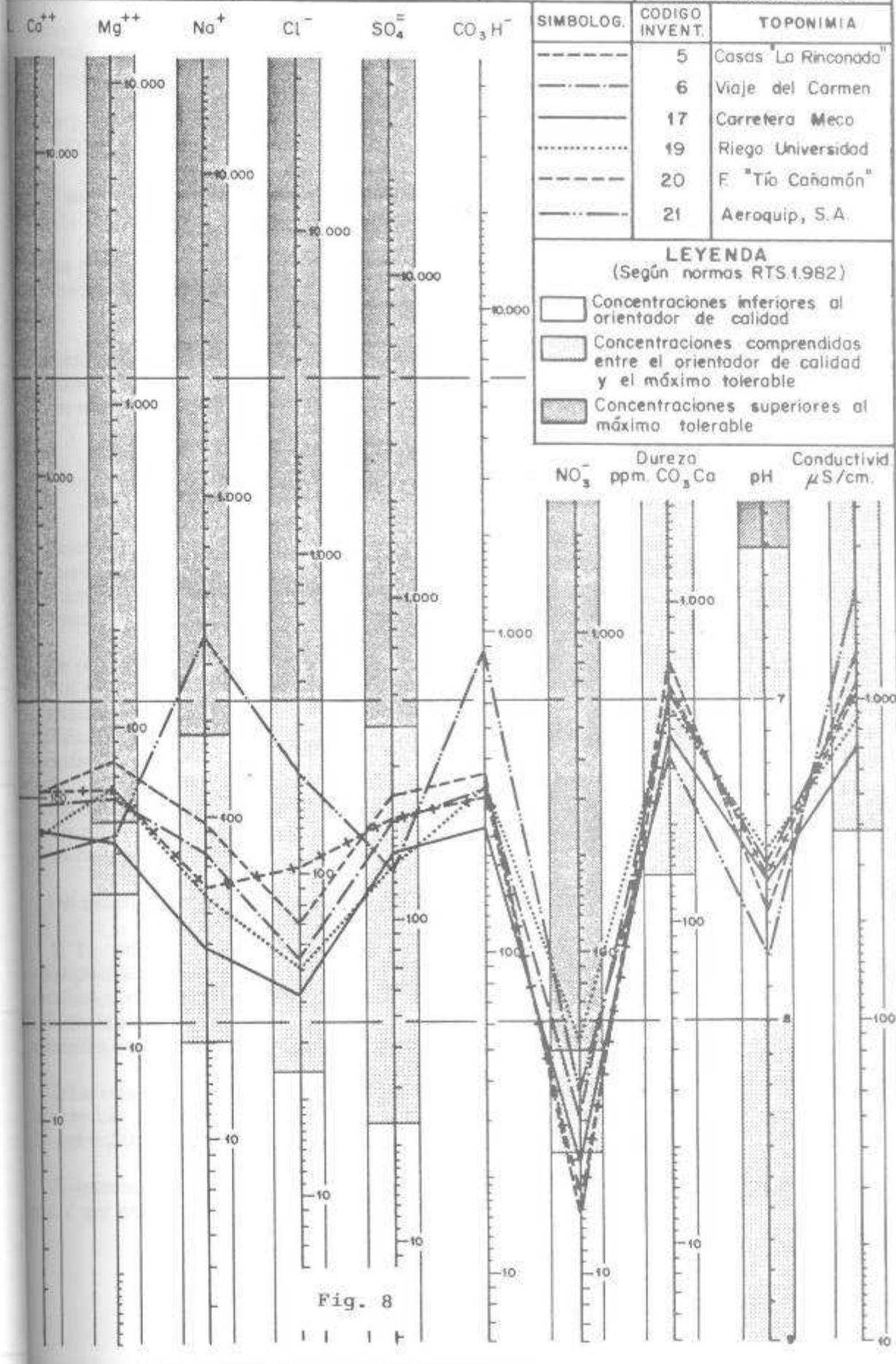


Fig. 8

puntos 11, 1 y 5 en línea aproximada hacia el río Henares. Esta característica, ya apuntada por LOPEZ VERA (1976) será comentada en el apartado siguiente de la presente memoria.

En cuanto a su calidad para consumo público las aguas del punto 3, GALLOSO WELCOME, sobrepasan los límites tolerables, en Mg^{++} , Cl y NO_3^- .

El punto 19, pozo RIEGO UNIVERSIDAD, sobrepasa el valor tolerable para Mg^{++} y NO_3^- .

Los puntos 20, 6, 5, 4, 2 y 11 sobrepasan el valor del Mg^{++} y el nº 21 supera la concentración máxima admisible en Na^+ (170 mg/l) especificada en las normas de la CEE.

Como se ve, en esta unidad, solo las aguas de los puntos 1, 17 y 12 podrían clasificarse como potables según la actual reglamentación, a falta de la interpretación de los resultados obtenidos para el resto de los parámetros.

4.3.- VARIACION ESPACIAL DEL CONTENIDO EN IONES MAYORITARIOS

Resulta de especial interés para la consecución de los objetivos propuestos conocer las pautas de la distribución espacial de los distintos iones y/o parámetros determinados a lo largo del territorio muestreado, puesto que de esta forma podrán aislarse áreas que se desvíen de la tendencia general, para su análisis detallado posterior.

En el apartado que nos ocupa, se muestran las interpretaciones de la distribución de los valores medios obtenidos en las seis campañas de muestreo, a partir de la representación gráfica de los datos en un plano de diagramas poligonales de STIFF modificados (plano 3) y de otros distintos planos de isocontenido en los iones que hemos considerado más significativos.

Los diagramas poligonales del plano 3 representan los miliequivalentes/litro de cada punto, cationes a la izquierda y aniones a la derecha del eje central de cada polígono. A los cationes se añade además la conductividad en $\mu mhos/cm$.

Del análisis de este plano se pueden extraer tres observaciones principales:

1) La mineralización de las aguas subterráneas es creciente hacia el sur, correspondiendo los polígonos de mayor tamaño a los puntos de la red de muestreo más próximos al río Henares; por tanto los contenidos en sales aumentan en relación al flujo subterráneo y a la cada vez mayor presencia en el sustrato de la facies yesífera cenozoica siguiendo esta dirección.

2) Las concentraciones en CO_3H son las más altas de entre los aniones encontrándose valores más o menos constantes para todo el área muestreada, a excepción del punto 21 que registró concentraciones anómalas.

3) Aparece una mayor semejanza geométrica entre los polígonos de las unidades UB y UV que entre los correspondientes a la unidad AHCT, lo que debe entenderse en

relación con circunstancias concretas de contaminación puntual más que debido a causas naturales derivadas de la posición de esta última unidad respecto al esquema general del flujo de las aguas subterráneas poco profundas.

Las características de variación espacial para cada ión se pueden visualizar mejor en planos específicos a los mismos; por este motivo hemos realizado mapas de isovariación para aquellos iones que resultaban significativos o interesantes por mostrar gran dispersión y/o fluctuación en las muestras, presentar sistemáticamente concentraciones superiores a los valores máximos admitidos para aguas potables o ser un buen indicador de la dependencia química entre la litología y/o el flujo subterráneo entre otras consideraciones. Así, los iones escogidos han sido el Mg^{++} , el NO_3^- , el SO_4 y el Cl^- .

4.3.1.- VARIACION ESPACIAL DEL CATION MAGNESIO.

La distribución espacial del contenido en ión Mg^{++} queda reflejada en el mapa de la figura 9.

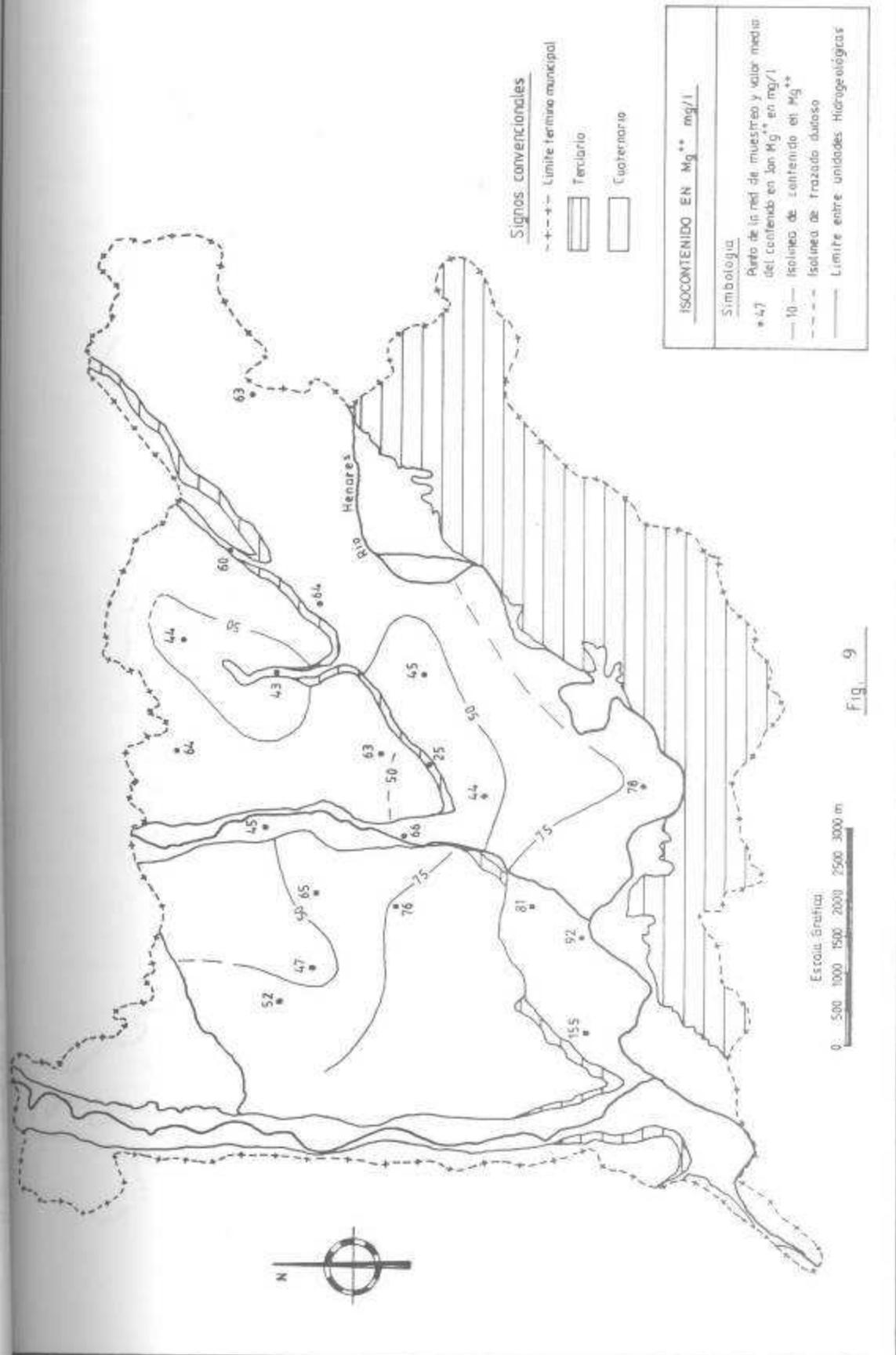
En la unidad Villamalea se localizan los valores globalmente más bajos, destacando en tal sentido el punto 13 - fuente ROCLAINÉ - , con 25 mg/l, lo que debe estar relacionado con la condición del mismo como exutario de un viaje de agua y, por tanto, con una menor permanencia del agua en el acuífero.

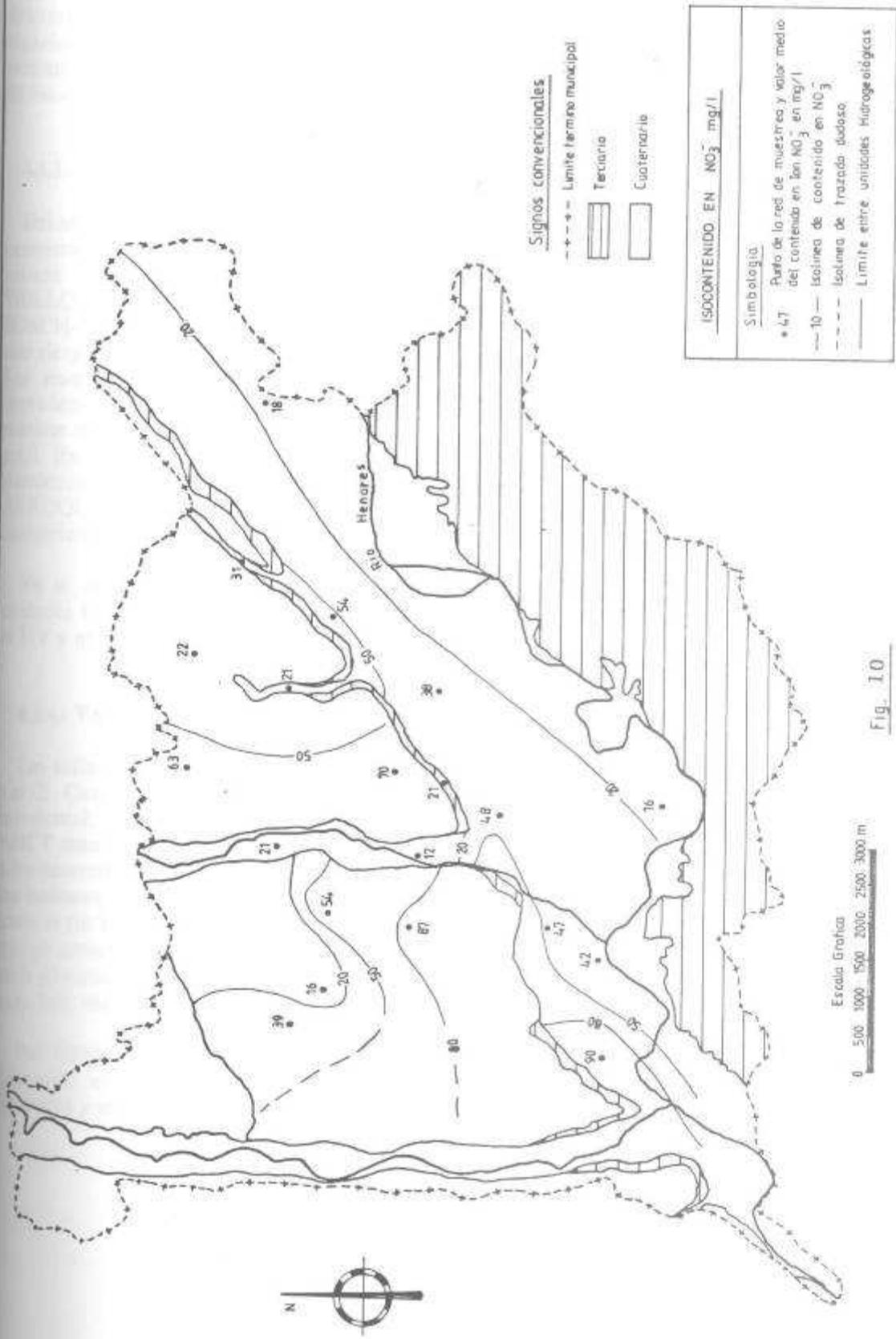
En la UB los valores obtenidos oscilan entre 50 y 75 mg/l observándose una cierta tendencia de crecimiento hacia el sur. Hay que descartar la posibilidad de que esta tendencia al aumento de Mg registrado hacia el sur (polígono Azque, 47 mg/l; polígono Bañuelos, 52 mg/l; colegio San Gabriel 65 mg/l; PHILIPS, 76 mg/l) se deba a la influencia de los vertidos industriales situados en este sector puesto que, para las cantidades registradas, los procesos de dilución en las aguas subterráneas rebajarían considerablemente las concentraciones del ión a pocos metros del punto de vertido.

En la UAHCT se observa una distribución más aleatoria, lo que no es óptico para que en ella se localice el valor más alto registrado en la zona de estudio, el cual coincide espacialmente tanto con un área de concentración industrial como con la zona en la que, de acuerdo con la tendencia general de incremento de mineralización de las aguas subterráneas de la región, habría que esperar una mayor mineralización.

4.3.2.- VARIACION ESPACIAL DEL ANION NITRATO.

La variación espacial del NO_3^- , reflejada en el mapa de la figura 10, es significativa por la incidencia sanitaria conocida del mismo. No se han registrado valores superiores a las 100 ppm en las aguas analizadas siendo 7 de 21 muestras las que registran un contenido superior al máximo tolerable por la actual reglamentación; la unidad Bañuelos parece presentar un aumento de su contenido en NO_3^- en dirección sur mientras que en la UV parece registrarse hacia el oeste. En la unidad AHCT se encuentran los valores máximos en este elemento en los puntos próximos al escarpe de la terraza que limita la unidad mientras que los mínimos corresponden a los puntos próximos al río Henares.





Escala Gráfica
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 m

Fig. 10

Debe señalarse una vez más que el contenido en NO_3^- del agua de un pozo determinado puede tener su origen en una contaminación local del mismo por materia orgánica debido a sus deficientes condiciones sanitarias y/o abandono, por lo que sería aventurado generalizar los resultados obtenidos para clasificar sanitariamente las aguas de los acuíferos.

4.3.3.- VARIACION ESPACIAL DEL ANION CLORURO.

Del análisis del mapa de isocontenido en Cl⁻ (fig. 11) puede inferirse que, al igual que ocurriera con el Mg^{++} , los máximos valores se concentran en torno al área industrial situada inmediatamente al SW de la ciudad de Alcalá (puntos nº 3-GAYOSO WELLCOME-, con 546 mg/l, nº4-FUENTE LA SALUD-con 312 mg/l y nº2-ROBERT BOSCH- con 254 mg/l) en la unidad AHCT, por lo que este área debe clasificarse de alto riesgo a la contaminación, a falta de un adecuado saneamiento de las industrias. Los resultados obtenidos, sin embargo, salvo para el punto 3, no suponen una degradación excesiva de la calidad química de las aguas ya que, recordemos, el valor máximo tolerable por la RTS(1982) en lo referente a aguas potables, se sitúa en 350 mg/l. En cuanto al resto de los puntos de la unidad, una apreciable tendencia a la disminución hacia el noreste en los valores medios es interrumpida por el punto nº 21, AEROQUIP, que sobresale con 202 mg/l, producto igualmente de acciones contaminantes, con bastante probabilidad.

No se observan tendencias significativas en la distribución de los valores de las unidades UB y UV. En conjunto las aguas de la UB contienen más cloruros que las de la UV y menos que los de la AHCT sobre todo en su sector oriental.

4.3.4.- VARIACION ESPACIAL DEL ANION SULFATO.

Los sulfatos guardan la tónica general (fig 12) respecto a lo observado para el Mg^{++} y el Cl⁻. Cuatro de los valores más altos se localizan en la unidad AHCT, en su extremo suroriental; hay que destacar, sin embargo, que el resto de los puntos de la unidad AHCT mantienen unos niveles altos en el contenido en SO_4^{--} , generalmente superiores a los encontrados en las unidades UB y UV. Se puede observar en la figura 12 cómo las isóneas definen tímidamente un gradiente de concentración en SO_4^{--} , progresivo hacia el río Henares (puntos nº 21 con 210 mg/l y nº 5 con 244 mg/l). Esto significa lo que ya comentamos en capítulos anteriores acerca del aumento del contenido en SO_4^{--} en la dirección del flujo subterráneo, fenómeno ya señalado por LOPEZ VERA (1979) para este sector de la cuenca del Henares.

Por último, debe llamarse la atención sobre los valores relativamente altos del contenido en SO_4^{--} observados en el VIAJE DEL CARMEN, punto nº 6 con 201 mg/l de media y en el punto nº5, CASAS DE LA RINCONADA, con 244 mg/l.



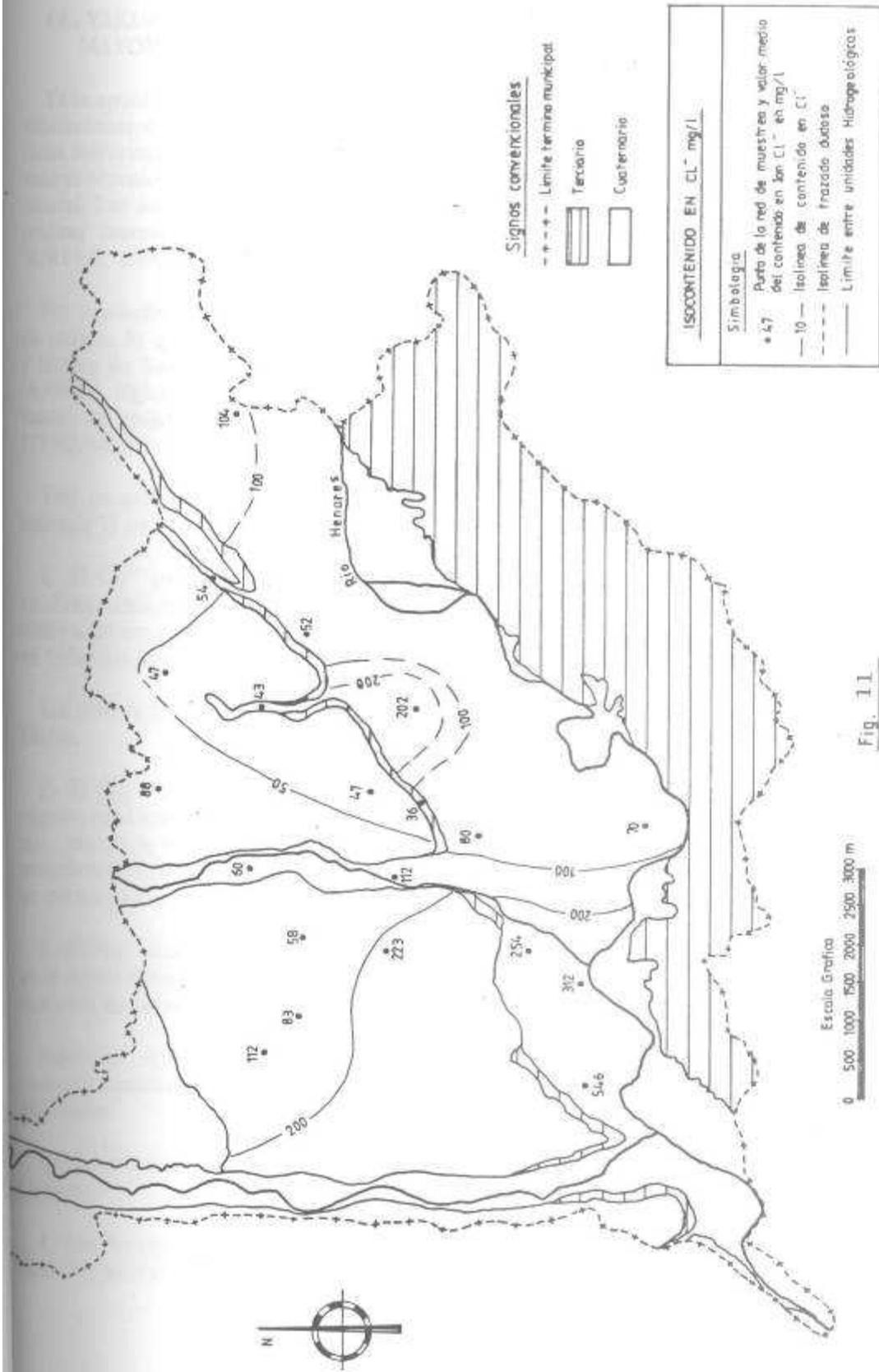


Fig. 11.

Escala Grafica
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 m

4.4. VARIACION ESTACIONAL DEL CONTENIDO EN IONES MAYORITARIOS

Ya se apuntaron en el epígrafe 3.4 las razones de muestrear periódicamente las aguas subterráneas de acuíferos de alta vulnerabilidad a la contaminación. En cuanto a los iones mayoritarios se ha realizado para cada punto de la red una representación de los valores obtenidos por campaña de análisis en diagramas de barras utilizando una escala natural. Los iones representados son Ca, Mg, Na, Cl, SO₄, CO₃H, NO₃ y NO₂; las gráficas correspondientes han sido obtenidas a través del programa informático SURFER; dichas gráficas se incluyen como anejo 3 de este informe.

Por limitaciones del programa solo han podido representarse 5 de las 6 campañas de análisis, lo que, a un tiempo, ha supuesto una mayor claridad en la representación y lectura de los resultados. La campaña defenestrada ha sido la correspondiente al 06/03/84, lógica elección, por otro lado, ya que la siguiente campaña correspondió a finales del mismo mes y ocupa una posición intermedia entre la primera campaña (17/02/84) y la cuarta (23/05/84).

Tras un análisis global efectuado por cada ion en las representaciones, se puede subrayar lo siguiente:

1.- El Ca⁺⁺ presenta las concentraciones máximas, en un gran número de puntos, en el muestreo efectuado en Julio - puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 16 y 18 -. Las diferencias sin embargo no son notables, manteniéndose el mismo orden de magnitud en todos los casos y a lo largo del año.

Los valores mínimos en Ca⁺⁺ casi siempre se registran en el muestreo efectuado en Marzo.

2.- El Mg⁺⁺ es, en líneas generales, más variable que el Ca⁺⁺; como este último, registra en el mes de Julio las máximas concentraciones en muchos de los puntos de la red - puntos 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17 y 20 -. De igual manera, no se aprecian variaciones importantes en las concentraciones de Mg entre las distintas campañas en un mismo punto y para una misma campaña, entre puntos diferentes.

3.- El Na⁺ oscila entre los 18 mg/l de valor mínimo obtenidos en la última campaña en el punto número 8 y los 500 mg/l de valor máximo registrados en el punto 21 en la campaña de Noviembre.

Salvo en el punto número 7 y, por circunstancias especiales, en el 21, las concentraciones en Na se mantienen aproximadamente entre las campañas de muestreo efectuadas.

Los máximos son más frecuentes en Mayo - 10 puntos - y los mínimos en Marzo y Octubre.

4.- Los cloruros muestran concentraciones muy homogéneas a lo largo del año en casi todos los puntos. Los mínimos se registran mayoritariamente en la campaña de Mayo

mientras que los máximos son mucho más variables, estando concentrados fundamentalmente en las dos últimas campañas.

5.- Los sulfatos muestran prácticamente en todos los puntos la misma tendencia: el máximo localizado en las dos campañas de mediados de año - especialmente en la de Mayo - , mientras que los mínimos aparecen en las campañas extremas (Febrero y Octubre).

6.- Los bicarbonatos muestran una mayor irregularidad en sus concentraciones por campaña. Esta circunstancia es especialmente llamativa en los puntos 1, 4, 8, 12 y 21.

En ocho de los pozos muestreados se registraron las máximas concentraciones en Octubre y para cuatro, en el mes de Julio.

El mínimo aparece en 12 de los puntos, en la campaña de Mayo.

7.- En los nitratos no se aprecian tendencias claras en la variación temporal de la concentración.

V.- PRESENCIA DE IONES MINORITARIOS Y OLIGOELEMENTOS EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES.

V.- PRESENCIA DE IONES MINORITARIOS Y OLIGOELEMENTOS EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES

La notable vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos estudiados frente a la actividad industrial que soportan en buena parte de su superficie, hizo aconsejable acometer en el estudio un reconocimiento de la presencia de iones minoritarios y oligoelementos, especialmente en lo que respecta a elementos metálicos pesados.

La importancia e interés de estas determinaciones en los estudios de contaminación deriva de la toxicidad que presentan algunos de estos metales - muy frecuentes en la química de los procesos industriales, como se sabe - aun en muy pequeñas concentraciones. Así las distintas reglamentaciones para el control de la calidad de las aguas potables de consumo público marcan los límites máximos tolerables para aquellos en un orden de magnitud muy inferior al correspondiente para los parámetros físico-químicos.

Los únicos antecedentes relacionados con esta cuestión se limitan al ya mencionado estudio de LOPEZ VERA et al.(1979) donde se muestran los resultados de una única campaña de análisis sobre el contenido en los metales Zn, Pb, Cd, Cr, y Cu.

La diversidad de las fuentes de contaminación posibles de las aguas subterráneas, derivada de la amplitud y desarrollo del sector industrial ubicado sobre el término municipal de Alcalá, aconsejaron acometer aquel reconocimiento a partir de una primera aproximación amplia en cuanto al número de elementos a considerar. En este sentido, han sido analizados un total de 22 iones menores mediante una técnica de barrido fundamentada en la utilización de un espectrofotómetro de plasma.

Atendiendo a los resultados obtenidos, los 22 iones determinados se pueden dividir en dos grandes grupos que se recogen en el anejo 2: el primero de ellos agrupa a aquellos elementos cuyo contenido era siempre o casi siempre superior al límite de sensibilidad de la técnica empleada; son Al, Ba, Fe, Sr, Cu, B y Zn (anejo 2.2.1). Mientras que el segundo está constituido por los iones As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti y V (anejo 2.2.2), cuyas concentraciones eran sistemáticamente inferiores al límite de sensibilidad analítica, variable este según el elemento medido.

5.1.- ESTRUCTURA HIDROGEOQUIMICA DE LAS MUESTRAS

El análisis de los resultados obtenidos se ha realizado individualizando a los dos grupos de elementos antes mencionados. El estudio del primer grupo, que corresponde a los elementos menores que aparecen en concentraciones superiores al límite de detección, se basa en el análisis de la representación gráfica de sus valores medios por unidades hidrogeológicas a través de las figuras 13, 14 y 15; en dichas gráficas se considera, para cada elemento, el límite de detección correspondiente y un límite de potabilidad, adoptándose una escala logarítmica para la señalización de las diferentes concentraciones. Los límites de potabilidad aparecen fijados conforme a los criterios siguientes:

-En el caso de los elementos Al, Fe, Cu y Zn el límite de potabilidad es el indicado por la RTS (1982).

-Para el B se ha adoptado el límite máximo que fijan las distintas clasificaciones de calidad del agua para usos agrícolas: 3800 $\mu\text{g/l}$.

-Con respecto al Ba, se ha utilizado el límite fijado por la normativa de la CEE (1975): 100 $\mu\text{g/l}$.

-Por último para el Sr se ha fijado el límite de 1000 $\mu\text{g/l}$ según el criterio que se expondrá más adelante.

A partir de un análisis global de las figuras, se pueden destacar las siguientes observaciones:

1) En primer lugar, las altas concentraciones obtenidas para todos los puntos en Al (entre los 520 $\mu\text{g/l}$ de concentración media en el punto 21 y 840 $\mu\text{g/l}$ para el punto nº 5), hecho que podría ser explicado más como consecuencia de la presencia de partículas de arcilla en suspensión en las muestras analizadas - procedentes de los sedimentos terciarios, particularmente en los pozos que llegan a horadar la formación arcósica -, que por un proceso de contaminación.

2) Prácticamente lo mismo se puede señalar respecto a las concentraciones obtenidas en Ba: casi todos los valores medios superan el valor de 100 $\mu\text{g/l}$ fijado por la normativa de la CEE como límite de potabilidad (CEE, 1975).

3) El Fe, presenta una variación bastante apreciable en el conjunto de las muestras analizadas: desde 60 $\mu\text{g/l}$ a 650 $\mu\text{g/l}$, por lo que algunas muestras superan el límite de potabilidad fijado por la RTS (1982). Conviene indicar que las concentraciones más bajas observadas en la red de muestreo corresponden a fuentes relacionadas con viajes de agua: puntos nº 13 y nº 4 (concentraciones de 60 y 80 $\mu\text{g/l}$, respectivamente).

4) Por otro lado el Sr aparece siempre en concentraciones superiores a los 1000 $\mu\text{g/l}$ (hasta 4400 $\mu\text{g/l}$ en el punto nº 9) valor que ciertos autores estiman como límite superior del rango normal en aguas naturales (CUSTODIO Y LLAMAS, 1976; AHMAD, T, 1978); se piensa que la presencia de este elemento también puede estar en relación con la litología del sustrato cenozoico.

5) Por último cabe destacar las bajas concentraciones siempre obtenidas en Cu, B y Zn, próximas al límite de sensibilidad, especialmente para el caso del Zn, que en un notable número de campañas aparece en concentraciones inferiores a aquél.

Respecto al segundo grupo, que corresponde a los restantes quince elementos determinados, se ha optado por la no representación de sus concentraciones, realizándose su análisis a través de la comparación directa de aquellas con los límites fijados por las correspondientes reglamentaciones utilizadas.

Dentro de este segundo grupo, para los elementos As, Cd, Hg y Se el límite de detección de la técnica utilizada ha sido muy superior al límite de potabilidad fijado por la RTS(1982), por lo que, lamentablemente, no se pudo caracterizar el estado sanitario de las aguas respecto a los mismos salvo en un caso anómalo, el punto 6, en el que para

una de las campañas se registraron 500 $\mu\text{g/l}$ de concentración en Hg, desconociéndose sus causas.

En cuanto a los once elementos restantes, de siete de ellos - Mo, Be, Bi, Co, Ti, V y Li - no existe ningún tipo de pronunciamiento en ninguna de las reglamentaciones consultadas. En todo caso salvo para el Bi y el Li- y en estos solo de forma eventual en alguna campaña-, todas las determinaciones del contenido quedaron por debajo del límite de detección. Por el contrario, sí que existe pronunciamiento, como es sabido, para los metales Cr, Mn, Ni y Pb, pudiéndose concluir como sigue:

- En el caso del Ni ninguna muestra ha superado el límite de potabilidad de la RTS (1982).

- El punto 3, pozo situado en un area industrial, ha registrado para todas las campañas valores superiores a los 1400 $\mu\text{g/l}$ en Cr, frente al resto de los puntos de la red que no alcanzaron en ningún caso los 50 $\mu\text{g/l}$ de concentración, marcados como límite de sensibilidad analítica y como valor máximo admisible en un agua de la que se puede hacer uso para abastecimiento público. Estos valores anormalmente altos en Cr deben relacionarse con los vertidos - probablemente pretéritos - llevados a cabo por una empresa situada aguas arriba de este punto y que incluye una planta de cromado dentro de su sistema de producción.

- El punto 5 ha registrado concentraciones en Pb y Mn superiores al límite de potabilidad(RTS, 1982); la situación de este punto respecto a las areas de mayor riesgo no es especialmente estrecha, si bien se encuentra aguas abajo del núcleo urbano de la ciudad de Alcalá.

Por comparación con los resultados obtenidos por LOPEZ VERA et al. (1979) sobre una red de muestreo coincidente en algunos de sus puntos por la seleccionada para este estudio, se observa un incremento en el contenido en Cu, aunque sin alcanzar nunca niveles preocupantes, manteniéndose singularmente el sesgo para el Zn y de forma generalizada para el resto de los metales pesados analizados por estos autores (Pb, Cd y Cr).

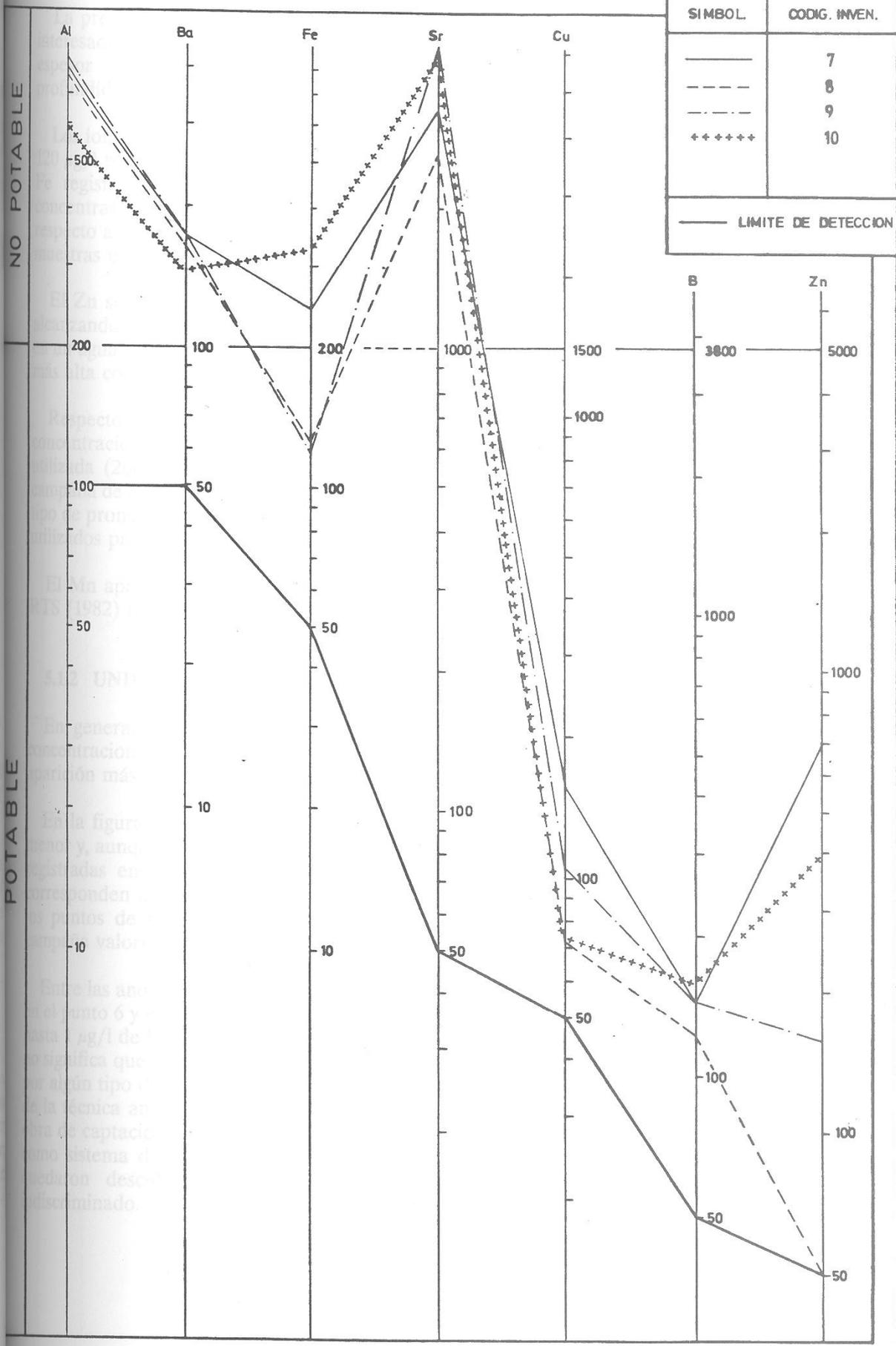
Así pues, la concentración de los elementos pesados analizados en las aguas subterráneas de los acuíferos aluviales del entorno de Alcalá, son bastante inferiores a lo que intuitivamente podría aventurarse - excepción hecha de los casos indicados - ante el acentuado uso industrial del suelo en la zona, así como ante la abundante presencia de depósitos de residuos esparcidos por doquier en el territorio investigado.

5.1.1. UNIDAD BAÑUELOS

Las aguas muestreadas dentro de esta unidad han registrado contenidos comparables en los diferentes iones menores analizados. En la figura 13 se puede apreciar cómo las concentraciones medias en Al, Ba, Sr, Cu y B aparecen comprendidas en un estrecho rango de valores. La escasa variación de la concentración de estos elementos de un punto a otro del acuífero ya los descarta como anomalías especialmente si tenemos en cuenta que el sesgo presentado en esta unidad se repite en las otras dos.

Fig. 13

ESTUDIO: ACUIFERO: **Unidad Bañuelos**
 FECHA: OBSERV.:



NO POTABLE

POTABLE

SIMBOL	CODIG. INVEN.
————	7
-----	8
- · - · - ·	9
+++++	10

— LIMITE DE DETECCION

La presencia de Al y Sr, debe estar en relación a la litología del sustrato terciario, interesado muy probablemente por las obras de captación seleccionadas, ya que el espesor medio del aluvial en esta unidad- 5 metros - es notablemente inferior a la profundidad de los pozos: punto nº 7, 12 m.; nº 8, 11,5 m.; nº9, 12 m.; nº10, 5,8m.

Los iones Fe y Zn aparecen en concentraciones más dispersas (variables entre 320 y 120 $\mu\text{g/l}$ para el Fe y entre 710 y 50 $\mu\text{g/l}$ para el Zn). Los valores de concentración en Fe registrados en esta unidad, no discrepan respecto al orden de magnitud de concentración encontrado en los pozos del resto de las unidades. En cualquier caso, respecto a este elemento las aguas de los puntos 7 y 10 superaron en la mayoría de las muestras el valor máximo admitido por la RTS (1982).

El Zn sobresale en esta unidad por presentar los valores más altos, aunque nunca alcanzando concentraciones preocupantes: la RTS (1982) admite hasta 5000 $\mu\text{g/l}$ de Zn en un agua potable valor nunca alcanzado en las muestras recogidas. La concentración más alta corresponde a 3600 $\mu\text{g/l}$ (campana del 6/03/84 en el punto nº 7).

Respecto al resto de los elementos únicamente cabría señalar al Li por aparecer en concentraciones tímidamente superiores al límite de sensibilidad de la técnica analítica utilizada (200 $\mu\text{g/l}$) en las aguas de los cuatro pozos muestreados y para la misma campaña de análisis, la correspondiente al 6/10/84; al no existir en la RTS(1982) ningún tipo de pronunciamiento limitante en cuanto al Li, los valores obtenidos no pueden ser utilizados para definir el estado sanitario de las aguas respecto a este elemento.

El Mn aparece con una concentración 10 $\mu\text{g/l}$ superior a la máxima tolerada en la RTS (1982) únicamente en el punto 8 y para la campaña del 24/7/84.

5.1.2 UNIDAD VILLAMALEA

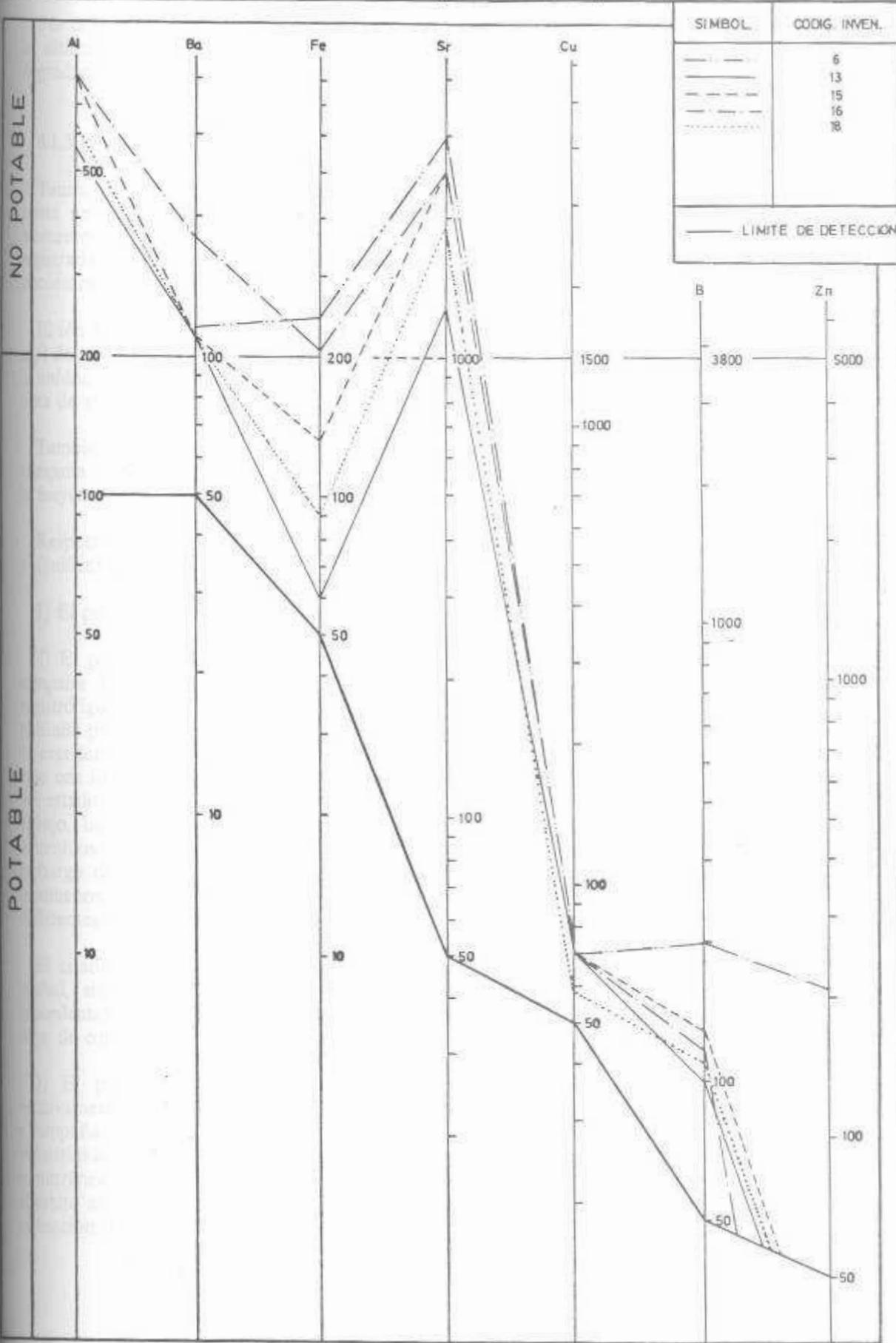
En general se repiten las líneas básicas apuntadas en la unidad Bañuelos: altas concentraciones en Al, Ba y Sr, dispersión de los valores registrados en Fe y Zn y la aparición más o menos significativa del Li en la última campaña de análisis.

En la figura 14, no obstante, se observa un contenido medio en Ba sensiblemente menor y, aunque dispersas, las concentraciones en Fe y Zn también son inferiores a las registradas en la UB. Destacan por ejemplo los 60 $\mu\text{g/l}$ de Fe del punto 13 que corresponden al valor más bajo. En cuanto al Zn resulta significativo que solo uno de los puntos de la unidad (nº 6, viaje del Carmen) halla registrado en más de una campaña valores superiores al límite de sensibilidad analítica.

Entre las anomalías observadas en esta unidad destacan los 500 $\mu\text{g/l}$ de Hg obtenidos en el punto 6 y en la campaña del 24/7/84. La RTS(1982) solo tolera en aguas potables hasta 1 $\mu\text{g/l}$ de Hg. El hecho de que este valor solo se halla registrado en una campaña no significa que las aguas en este punto no soporten sistemáticamente la contaminación por algún tipo de vertidos ya que 500 $\mu\text{g/l}$ representa igualmente el límite de detección de la técnica analítica. El punto 6, además, corresponde al viaje de agua del Carmen, obra de captación especialmente vulnerable a la contaminación ya que al abandonarse como sistema de abastecimiento a las fuentes de la ciudad muchos de sus registros quedaron descubiertos constituyendo lugares idóneos para el vertido ilegal e indiscriminado.

Fig. 14

ESTUDIO :
 ACUIFERO : Unidad Villamalea
 FECHA : OBSERV. :



Por otro lado, en el punto nº 18 (viaje de Villamalea) aparecen 160 µg/l de Mn en la última campaña, lo que está en consonancia con el carácter eventual de la degradación de la calidad química de las aguas en estas captaciones.

5.1.3 UNIDAD ALUVIAL HENARES-CAMARMILLA-TOROTE

También en las aguas de esta unidad y respecto a su contenido en iones menores existe una gran semejanza con las unidades Bañuelos y Villamalea; en general los elementos Al, Ba, Sr y Fe aparecen en concentraciones elevadas contrastando con las registradas para los iones Cu, B y Zn cuyo contenido en la mayoría de los casos se encuentra próximo al límite de detección analítica (ver figuras 15a y 15b).

El ión Fe presenta concentraciones muy variables destacando el punto nº5 con 640 µg/l de valor medio; la presencia aleatoria de este elemento, también en los pozos de la unidad AHCT, parece defender el origen del mismo en circunstancias propias de la obra de captación.

También, como en el resto de las unidades, las muestras recogidas en la última campaña han registrado valores en Li superiores al límite de detección analítica para la mayoría de los puntos analizados (no fue el caso de los puntos 3, 17 y 20).

Respecto a las anomalías encontradas en los análisis aparecen aquí en mayor número y significación:

- 1) El punto 3, GAYOSO WELLCOME, posee contaminación en Cr.
- 2) El punto 5, CASAS DE LA RINCONADA, registró 60 µg/l en Mn para la campaña del 24/7/84 superando en 10 µg/l al límite impuesto por la RTS (1982); registró igualmente 70 µg/l en Pb para la última campaña estando en 50 µg/l de plomo el límite para aguas potables establecido por la citada reglamentación. Ambos valores no exceden de forma notable a sus respectivos límites de detección, coincidentes en este caso con los de potabilidad; esta circunstancia resta precisión en la definición puntual del estado sanitario de las aguas respecto a estos elementos ya que aun estando por debajo, las aguas pueden aproximarse al límite de detección incluso con valores sostenidos, lo que sería significativo de una degradación continua de su calidad. Sin embargo debe señalarse, una vez más, que los resultados pueden relacionarse con fenómenos de contaminación aislados comunes en obras de captación en mal estado y deficientes condiciones sanitarias.

El citado punto 5 se encuentra aguas abajo del área de influencia urbana de la ciudad, siendo por tanto un pozo susceptible de recoger aguas contaminadas procedentes de aquella. Pese a encontrarse lejos de los núcleos industriales este punto debe de considerarse de alto riesgo.

- 3) El punto 21, AEROQUIP SA, ha registrado de forma sostenida valores relativamente altos en Mn: campaña del 27/3/84, 130 µg/l; campaña 24/7/84, 50 µg/l y campaña 16/10/84, 160 µg/l. El pozo se encuentra situado en una importante zona industrial al este de la ciudad, por lo que es alto el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Por otro lado, las condiciones en las que se encuentra este pozo son de absoluto abandono debido a que, con anterioridad a la recogida de las muestras, la utilización de sus aguas quedó desechada por la empresa para los distintos usos a que

Fig.15 a

ESTUDIO :
 ACUIFERO: Unidad Aluvial Henares - Camarmilla
 FECHA : OBSERV. :

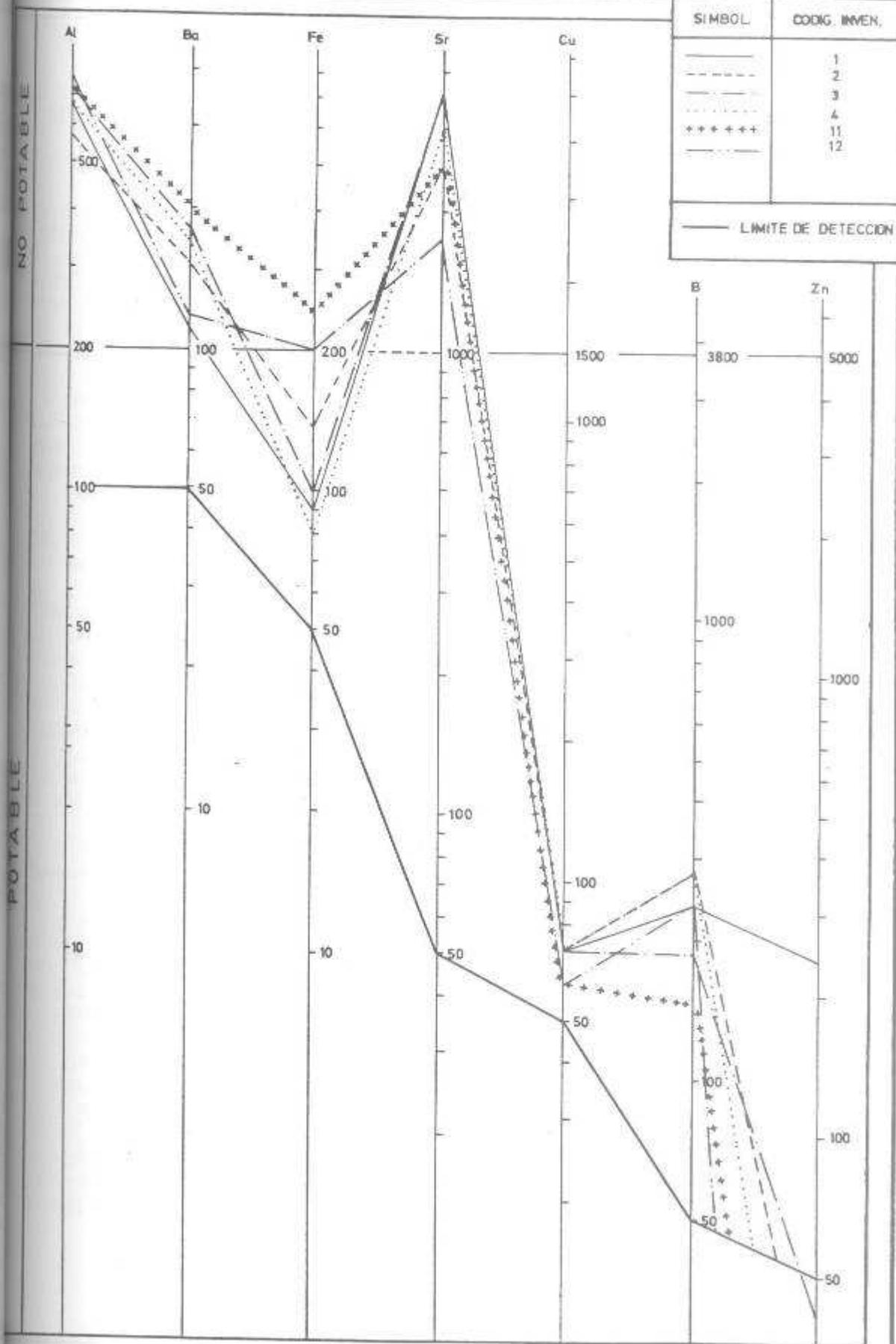
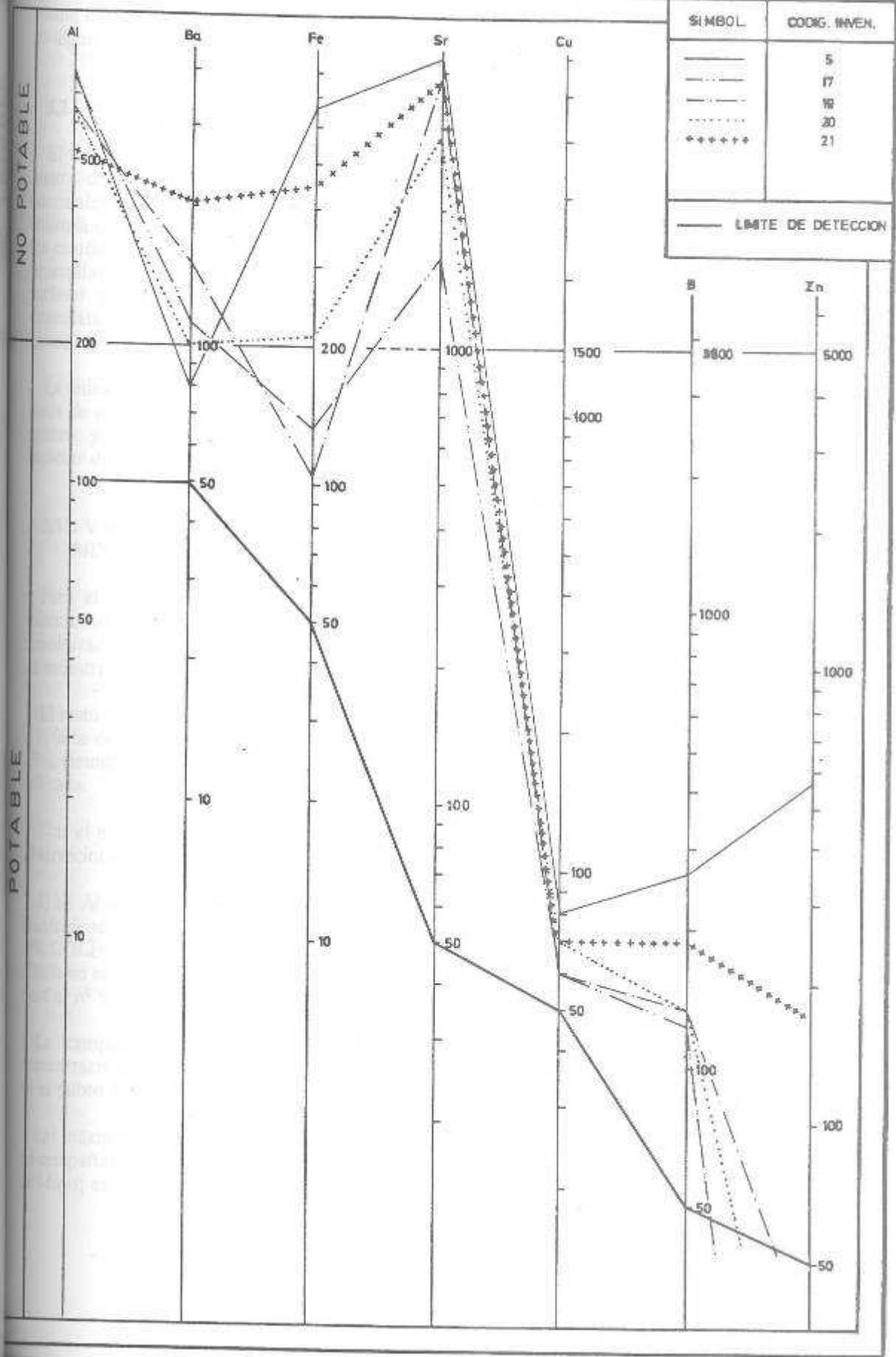


Fig.15 b

ESTUDIO: ACUIFERO : Unidad Aluvial Henares-Camarmilla
 FECHA : OBSERV. :



estaba destinada. Ya se indicó que fue aquí donde se alcanzaron los valores más altos en alguno de los elementos mayoritarios (Na^+ , Cl^- y CO_3 , H^+).

5.2.-VARIACION ESPACIAL DEL CONTENIDO EN IONES MINORITARIOS

El análisis de los resultados obtenidos no refleja la posibilidad de agrupar a los puntos de muestreo en zonas de acuífero más o menos contaminadas. Los valores anormales encontrados en Al o Sr se deben más a causas naturales por influencia de la litología que a la acción contaminante de vertidos urbanos o industriales; por otro lado, sus estudio en profundidad no es el objetivo principal de nuestro trabajo. El resto de las anomalías encontradas, que sí se derivan de una contaminación de las aguas, poseen carácter aislado, apareciendo en un solo punto sin posibilidad de relación con los inmediatamente adyacentes o con aquellos posiblemente relacionados respecto a las direcciones preferentes del flujo subterráneo.

La única relación espacial que se puede establecer es la que de hecho existe entre las áreas de mayor riesgo potencial por la densidad de industrias o actividad agrícola y/o urbana, y los puntos donde se han registrado anomalías, independientemente del carácter de las mismas.

5.3.- VARIACION ESTACIONAL DEL CONTENIDO EN IONES MINORITARIOS Y OLIGOELEMENTOS.

Para el estudio de la variación estacional del contenido en las aguas de iones minoritarios se han representado en diagramas lineales y para cada punto de la red, las concentraciones en los metales Al, B, Be, Cu, Fe, Sr y Zn correspondientes a cada fecha de muestreo y análisis. Dichos diagramas aparecen en el anejo 4.

El resto de los iones analizados no han sido objeto de representación gráfica debido a la falta de precisión respecto a la variación de las concentraciones de la mayoría de ellos, siempre o casi siempre por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada.

Tras el análisis global de las gráficas representadas se pueden señalar las siguientes observaciones:

1) El Al aparece en todos los puntos siempre en concentraciones variables aunque manteniendo un mismo orden de magnitud. Los puntos nº16, FINCA DEL SUEÑO, y nº9, COLEGIO SAN GABRIEL, mantienen en todas las campañas a excepción de la última un estrecho margen de variación (1100-800 $\mu\text{g}/\text{l}$ para el punto 16 y 1200-880 $\mu\text{g}/\text{l}$ para el nº 9).

La campaña de Octubre es la que ha registrado en todos los puntos las concentraciones más bajas, comprendidas entre 160 $\mu\text{g}/\text{l}$ en el punto nº 16 y 320 $\mu\text{g}/\text{l}$ en el punto nº 20.

Las máximas concentraciones en Al aparecen en forma más variable con respecto a las campañas de muestreo. En los puntos 15, 19, 18 y 10 correspondieron a la campaña de Mayo; en los puntos 12, 17, 4, 8 y 9 a la de Febrero, mientras que para los puntos

13, 20, 1, 2, 5, 6 y 11 correspondieron indistintamente a las campañas de Marzo y los puntos 21 y 7 a la de Julio. La mayor concentración de Al corresponde a 1400 $\mu\text{g/l}$ registrada en el punto nº 4 para la campaña de Febrero. Como se ve los mínimos corresponden al otoño y los máximos a invierno y principios de primavera; teniendo en cuenta las escasas variaciones existentes entre los valores medios y máximos, resultaría muy comprometido establecer relaciones entre los períodos de mayor o menor actividad extractiva en los pozos y los resultados obtenidos, más teniendo en cuenta la escasa homogeneidad de los mismos y el hecho de ser los meses de Febrero y Marzo aquellos en los que las aguas analizadas registraron las concentraciones inmediatamente por encima de la más baja, allí donde no correspondían a las más altas.

2) El B aparece en todos los puntos con valores escasamente dispersos. El punto donde se ha registrado mayor variación es el nº 2, ROBERT BOSCH, estando esta comprendida entre 360 $\mu\text{g/l}$ correspondiente a la campaña de Octubre y 210 $\mu\text{g/l}$ correspondiente a la de Mayo.

De los 20 puntos muestreados, 11 -números 2, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 9 y 10- presentan las concentraciones más bajas en el mes de Mayo, seis en el de Marzo -números 13, 3, 4, 6, 7 y 11- y los dos restantes, puntos 5 y 8, en el mes de Febrero y Octubre respectivamente.

En cuanto a las concentraciones más altas se registraron en los meses de Octubre para los puntos 15, 16, 18, 19, 20, 21 y 2 Marzo en los puntos 12, 17, 1 y 10, Julio en los puntos 13, 3, 4, 5, 6 y 11 y Febrero en los puntos 8, 7 y 9.

Debido al ya comentado escaso rango de variación estacional que presenta el B en todos los puntos, nos es muy difícil relacionar los valores máximos y mínimos con fenómenos naturales o actividades antrópicas que lo justifiquen. El hecho de que se presenten en el mes de Mayo las concentraciones más bajas en el 50% de los puntos de muestreo, no se adapta al ciclo biológico natural, que, de alguna forma, podría explicar la presencia del B en relación con la mayor abundancia de materia orgánica; mientras se desconozca el origen del B en las aguas de estos acuíferos no se podrán explicar las variaciones de su concentración.

3) El Ba mantiene el mismo orden de magnitud de concentración en todos los puntos y en todas las muestras efectuadas a lo largo del año a excepción de la realizada en el mes de Octubre que, salvo en el caso del punto 3, registra sistemáticamente las concentraciones más bajas en este elemento, inferiores incluso en los puntos 13, 15, 20, 1, 5 y 8 al límite de detección analítica.

4) El Cu aparece también muy constante a lo largo de todo el año en la mayoría de los puntos muestreados, oscilando entre los 100 y los 50 $\mu\text{g/l}$. Solo en los puntos 7 y 9 se registraron valores relativamente anómalos, alcanzándose para el primero 320 $\mu\text{g/l}$ en el mes de Mayo y 220 $\mu\text{g/l}$ en Julio para el segundo, encontrándose el resto del año para ambos, concentraciones un orden de magnitud inferior.

Como se ve, estas variaciones solo pueden ser producto de fenómenos contaminantes de escasa importancia y de carácter aislado.

5) El Fe junto con el Al es el elemento que presenta mayor dispersión a lo largo del año y de forma más o menos generalizada en todos los puntos.

Esta dispersión es especialmente significativa en los puntos 12, 20, 7 y 10; la mayor corresponde al nº 7, polígono industrial Bañuelos, donde el máximo se registró en Julio con 720 $\mu\text{g/l}$ de concentración y el mínimo en la segunda campaña de Marzo con una concentración inferior a los 50 $\mu\text{g/l}$ (valor también límite de sensibilidad).

Los valores máximos se alcanzaron en el mes de Julio para los puntos 3, 6, 7, 8, 18, 19 y 20; en Marzo (una u otra campaña) para los puntos 1, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 16 y 17; en Octubre para los puntos 21 y 13 y en Mayo para los puntos 4 y 2. Mientras, los mínimos se registraron en los puntos 7, 9, 17, 18, 19, 20, 2, 3, 4 y 6 en el mes de Marzo, en los puntos 11, 12, 16 y 21 en Julio en los puntos 8 y 1 en Octubre en los puntos 5, 13 y 15 en Febrero y el punto 10 en Mayo.

6) El Sr mantiene en todos los puntos sus concentraciones a lo largo del año variando únicamente en un estrecho rango de valores y dentro del mismo orden de magnitud.

7) El Zn aparece en muchas muestras en concentraciones inferiores al límite de sensibilidad analítica, por lo que, en la mayoría de los puntos de muestreo, no se puede precisar respecto a la variación estacional de este elemento. Únicamente en las muestras recogidas de los pozos 5, 7, 9 y 10, el Zn registró sistemáticamente valores iguales o superiores al límite de detección. En estos 4 pozos el Zn varía dentro de un amplio rango de valores, entre 50 y 1000 $\mu\text{g/l}$, a excepción del punto 7 en el que se superó este último valor en la campaña de Febrero (1400 $\mu\text{g/l}$) y especialmente en la primera de Marzo (3600 $\mu\text{g/l}$) tratándose pues de valores anómalos.

Respecto al resto de los iones determinados, sólo de forma aislada se han recogido concentraciones superiores al límite de sensibilidad en Mn -puntos nº 5, mes de Julio; nº 8, mes de Julio; nº 18, Octubre y nº 21 en Marzo, Julio y Octubre- y Hg-punto nº 6 mes de Julio- circunstancia explicada suficientemente en los capítulos anteriores; el Cr apareció en concentraciones altas en el punto 3 y para todas las muestras recogidas y el Li únicamente en el mes de Octubre apareció en concentraciones moderadamente superiores al límite de detección.

VI.- CONTENIDO BACTERIANO EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES.

VI.- CONTENIDO BACTERIANO EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LOS ACUIFEROS ALUVIALES

Siendo el objetivo general del proyecto el evaluar el estado sanitario de los acuíferos aluviales, se incluyó, para la especificación completa del mismo, un estudio de la calidad bacteriológica de las aguas habida cuenta de la existencia en el área de estudio de focos probables de contaminación fecal - pozos negros y/o vertederos incontrolados -.

Se ha determinado para cada muestra el contenido en Coliformes totales, *Streptococcus* fecales y *Clostridium* sulfito reductores, representándose en los planos 4 - colimetría-, 5 - estreptometría - y 6 - clostridiometría - los resultados obtenidos para todas las campañas excepto para la primera - 17/03/84 - ya que el volumen de muestra sembrado en aquella ocasión resultó insuficiente para la realización de las determinaciones. La representación de los resultados sobre estos planos se basa en una figura estrellada para cada punto de la red, en cuyos brazos, situados proporcionalmente a las estaciones del año, se pueden marcar las fechas de muestreo y los valores obtenidos superponiendo sobre los mismos un segmento más grueso adaptado a una escala logarítmica. En cada estrella se han señalado con un polígono octogonal, los contenidos máximos admitidos en la R.T.S. (1982), de manera que el espacio externo al mismo corresponde a aguas no potables.

Este tipo de representación ha sido diseñada para permitir realizar en un solo plano una lectura rápida de los resultados a la vez que una visión general de la variación estacional y espacial de los parámetros bacteriológicos seleccionados.

Las determinaciones de Coliformes y *Streptococcus* se realizaron mediante la técnica de filtración a través de membrana, mientras que los ensayos de Clostridiometría fueron realizados por recuento de esporas en medio sólido.

El contenido encontrado en Coliformes (ver plano 4) ha sido en general alto, registrándose sistemáticamente valores superiores al tolerado para aguas potables. La presencia de *Streptococcus* fecales (ver plano 5) es, sin embargo, mucho menor, no superando en general unas pocas decenas de colonias por cada 100 ml de muestra; además, la mayor parte de los puntos muestreados, presentan una o varias campañas en las que no se encontró ningún estreptococo. A diferencia del grupo Coliforme, los *Streptococcus* fecales sí son exclusivos de contaminación fecal, encontrándose esta, de forma continua, en los puntos 5, 17, 12 y 9, mientras que para el resto de los puntos de la red la contaminación posee un carácter marcadamente eventual, lo que debe estar en relación con las condiciones sanitarias y de protección de las diferentes obras de captación.

Los *Clostridium* sulfito reductores (ver plano 6) aparecen en cantidades más variables, por lo general bajas, aunque siempre en número superior a las 2 colonias por 20 ml de muestra sembrada que la R.T.S. (1982) tolera como máximo en las aguas potables. Su presencia confirma la contaminación fecal puesta en evidencia por los otros grupos de bacterias. En aquellos puntos donde aparece en exclusividad frente al resto muestra que la contaminación no es reciente ya que son las bacterias indicadoras más resistentes.

En muchos casos, la naturaleza y características del punto de muestreo ha jugado un papel importante en el resultado final de las determinaciones; así, por ejemplo, el punto 6, correspondiente a uno de los ya mencionados "viajes" de agua, destaca por presentar sistemáticamente los valores más bajos de contenido bacteriano, lo que es consecuencia a nuestro juicio del constante fluir de las aguas a través de la galería; el hecho de que los resultados obtenidos en la otra galería considerada (punto 18) no reflejen esta circunstancia es debido a que se tomaron las muestras directamente de su antiguo depósito colector, aguas por lo tanto estancadas y con menos posibilidades de degradación bacteriana. Otro ejemplo lo constituyen los puntos 4 y 20, donde se registran igualmente valores bajos, lo que demuestra su menor susceptibilidad ante procesos contaminantes aislados. Frente a estos, se encuentran el resto de los puntos de la red, todos ellos pozos excavados, en muy diferente estado de conservación y mantenimiento.

6.1 .-CONTENIDO BACTERIANO DE LAS MUESTRAS

6.1.1 COLIMETRIA

Basándonos en el plano 4, donde quedan recogidos gráficamente los ensayos de colimetría, podemos observar que, en general, los puntos seleccionados presentan un contenido alto en coliformes. Teniendo en cuenta que la RTS (1982) admite hasta un total de 10 colonias de coliformes por cada 100 ml. de muestra sembrada en las aguas sanitariamente permisibles, podemos afirmar que el estado de las muestras recogidas respecto a este parámetro es, cuando menos, deficiente: solo en los puntos 20, 4 (manantiales naturales) y 6 (viaje de agua) se ha registrado en alguna campaña un número de coliformes totales inferior a 10 colonias; además en un gran número de puntos se ha encontrado crecimiento confluyente de los coliformes.

Los resultados obtenidos, salvo en casos muy específicos, no se pueden relacionar con vertidos de aguas negras próximos a los pozos. Una vez más debe pensarse que la contaminación de las aguas se efectúa desde el propio punto de recogida y que, al menos para este tipo de parámetros, en algunas captaciones las condiciones de muestreo no fueron las más adecuadas.

A partir de la forma y tamaño de las figuras representadas en el plano 4 se pueden realizar las siguientes observaciones:

1) Los brazos de las figuras guardan en general una notable regularidad implicando un contenido en coliformes más o menos uniforme a lo largo de las sucesivas campañas de muestreo. Sin embargo existe una tendencia a manifestar un mayor recuento en las campañas 4 y 5, correspondientes a finales de primavera y verano. Carecemos de datos de temperatura que en primera aproximación se pudieran relacionar con el mayor o menor contenido en este tipo de microorganismos; en cualquier caso estas variaciones deben entenderse como una manifestación del ciclo biológico natural.

2) No existen variaciones significativas en la forma y tamaño de las figuras representadas entre los grupos de puntos pertenecientes a las distintas unidades hidrogeológicas definidas. Existe por tanto una notable homogeneidad espacial del contenido en coliformes.

6.1.2. ESTREPTOMETRIA.

A la vista del plano 5, donde se representan los ensayos de estreptometría, se puede observar cómo el contenido en estos microorganismos es mucho menor que el registrado para los coliformes; en general no se superan unas pocas decenas de colonias por cada 100 ml de muestra.

En los puntos 4 y 6 no se ha observado presencia de estreptococos en ninguna de las campañas de muestreo mientras que en los pozos 1 y 3 ningún recuento ha superado las 10 colonias por cada 100 ml de muestra sembrada que la RTS(1982) tolera como máximo en aguas sanitariamente permisibles. Este límite solo ha sido superado sistemáticamente - en todas las campañas de muestreo - en las aguas de los pozos 5 y 17 - de forma notable en el segundo - mientras que en los 11 puntos restantes se ha superado aquél en alguna de las campañas.

Siendo los estreptococos microorganismos exclusivos de contaminación fecal, se puede concluir que, a excepción de los puntos 4 y 6, todas las obras de captación muestreadas sufren de forma variable algún proceso de degradación bacteriana. Por otro lado, la irregular aparición de los estreptococos en las aguas debe entenderse asociada a fenómenos eventuales y aislados de contaminación, salvo en los puntos 5 y 17 donde se detectó esta de forma sistemática.

Timidamente se pueden asociar los recuentos más numerosos con las campañas de primavera y verano, entroncando este fenómeno con la mayor aparición de materia orgánica asociada al ciclo biológico estacional.

En cuanto al comportamiento de las distintas unidades hidrogeológicas, ocurre algo semejante a lo comentado para los coliformes, no existiendo ninguna tendencia diferenciadora entre las mismas. El único hecho a destacar, en relación con la distribución espacial de estos microorganismos, es la evidencia generalizada de un mayor contenido de los mismos en aquellos puntos ubicados sobre la mitad norte del área de estudio - puntos 7, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 - circunstancia que pudiera estar en relación con la actividad agropecuaria desarrollada en este sector.

La ausencia de contaminación fecal en los puntos 4 - FUENTE "LA SALUD"- y 6 - VIAJE DEL CARMEN - ya fue comentada en el epígrafe inicial de este capítulo; los manantiales naturales son menos vulnerables a la contaminación que los pozos pues estos suponen lugares idóneos para la realización de vertidos, con escasa capacidad de aireación. Por otro lado, las aguas que drenan los manantiales han superado un trayecto más o menos largo a través de la zona no saturada donde los contaminantes pueden sufrir procesos de degradación, amén de los propios acaecidos durante la infiltración. El hecho de que la Fuente del Tío Cañamon (Punto nº21) registre contaminación en dos de las campañas efectuadas se debe sin duda al lavado e incorporación a las aguas subterráneas de los residuos derivados de la actividad agropecuaria de las fincas colindantes.

6.1.3 CLOSTRIDIOMETRIA.

Atendiendo a la configuración y entidad de los diagramas representados en el plano respecto a los análisis de clostridiometría, observamos cómo el contenido en este grupo es en general bajo. Podemos señalar la existencia de varios puntos en los que algunas campañas carecen de clostridios; sin embargo esta situación es mucho menos frecuente en comparación con los resultados obtenidos en la estreptometría. Esta circunstancia puede encontrar su explicación en la mayor supervivencia de los clostridios gracias a su capacidad esporulante. Es por este motivo por lo que su presencia puede ser índice de contaminación fecal no reciente (CUSTODIO Y LLAMAS, 1977, CATALAN, 1981).

Así, por ejemplo, en 9 de los puntos mostrados - 1, 13, 14, 8, 11, 16, 19, 3 y 9 - se han obtenido, en algunas campañas, recuentos positivos en clostridios a la vez que no se registraban indicios de estreptococos; es evidente que la contaminación fecal puesta de manifiesto en estos puntos por la presencia de clostridios, se produjo con relativa anterioridad a las fechas de recogida de las muestras.

Pese a lo expuesto, y respecto a la potabilidad, de las aguas, debe tenerse en cuenta que en los puntos 21, 15, 3, 7, 17, 9 y 12 se han superado sistemáticamente las 2 colonias por 20 ml de muestra sembrada admitidos en la RTS(1982).

Los puntos donde se ha registrado menor número de colonias, teniendo en cuenta el conjunto de las campañas de muestreo, son el nº 20 - FUENTE DEL TIO CAÑAMON-, el nº 6 - VIAJE DEL CARMEN- (ambos con recuentos siempre inferiores a 1), el nº 4 - FUENTE LA SALUD - el nº 13 - FUENTE ROCLAINE - (con una sola campaña de recuento positivo) y el nº 1 - PARQUE MUNICIPAL -. Como vemos, a excepción del punto 1, se trata de manantiales y de galerías de captación, repitiéndose por tanto esta circunstancia respecto al resto de los parámetros bacteriológicos considerados.

En cuanto al comportamiento de las unidades hidrogeológicas frente a este grupo bacteriano, coincide con el ya observado en los grupos anteriores: no parecen existir variaciones aparentes entre los mismos. El único dato a destacar, referido a la distribución espacial, es la presencia de Clostridios en aquellos puntos donde fueron detectados fenómenos continuos de contaminación fecal por la aparición sistemática de estreptococos en las aguas - puntos 5 y 17 - lo que confirma la degradación de su calidad bacteriológica por acciones recientes y pretéritas.

VII.- SINTESIS Y CONCLUSIONES

VII.- SINTESIS Y CONCLUSIONES

Como síntesis de las argumentaciones presentadas en esta memoria respecto al análisis de los datos obtenidos, se pueden concretar las siguientes observaciones:

1.- En cuanto a la presencia de iones mayoritarios es el bicarbonato el anión dominante seguido en importancia por los cloruros. Respecto a los cationes domina el Mg^{++} sobre el Ca^{++} y sobre el Na^+ . Por el ión dominante se puede concluir que las aguas de los acuíferos aluviales estudiados son de tipo Bicarbonatado Magnésico y Clorurado Magnésico.

Considerando a la totalidad de los parámetros determinados en los análisis físico-químicos convencionales, las aguas en su mayoría son muy duras (valores superiores a 300 ppm de CO_3Ca) y poseen un alto contenido en sales (conductividades entre 687 $\mu S/cm$ y 2340 $\mu S/cm$) creciente, moderadamente, hacia el río Henares.

No se aprecian diferencias notables en iones mayoritarios entre las unidades hidrogeológicas discretizadas.

Se han registrado valores anómalos en determinados parámetros en pozos próximos a áreas industriales: el punto 21, AEROQUIP SA, registra los valores más altos en Na^+ (entre 260 mg/l y 500 mg/l) y en CO_3H^+ (entre 692 mg/l y 1175 mg/l), máximo para la última campaña, y los puntos 2, 3 y 4 sobresalen del resto por su concentración en Mg^{++} (entre 81 mg/l de valor medio para el 2 y 155 mg/l para el 3) y Cl^- (entre 254 mg/l para el 2 y 546 mg/l para el 3).

Los NO_3^- aparecen en concentraciones comparables a la de los iones mayoritarios.

Las oscilaciones por campaña en estos iones no son suficientemente significativas.

Atendiendo a su clasificación sanitaria, las aguas de la mayoría de las captaciones muestreadas registran sistemáticamente una concentración en Mg^{++} algo superior al máximo tolerable por la RTS(1982), los puntos 3, 10, 9 y 19 sobrepasan moderadamente los índices admisibles para los nitratos, mientras que en el punto 3 se observa lo mismo para los cloruros.

2.- En cuanto a los iones minoritarios y oligoelementos determinados en las aguas analizadas, los más abundantes son Al, Ba, Fe, Sr, Cu, B, y Zn, por presentarse sistemáticamente en concentraciones superiores al límite de detección de la técnica analítica utilizada. En cuanto al resto de los iones, alguno de ellos aparece en concentraciones significativas en un reducido número de muestras.

Las aguas estudiadas tienen altas concentraciones en Al^{+++} (entre 520 $\mu g/l$ y 840 $\mu g/l$) y Sr (superiores a los 1000 $\mu g/l$) lo que se relaciona con la litología del sustrato cenozoico.

También aparecen altas concentraciones en Fe (entre 60 $\mu g/l$ y 650 $\mu g/l$) y Ba (superiores a 100 $\mu g/l$).

Las anomalías registradas en iones minoritarios son las siguientes:

Punto nº 3, GAYOSO WELLCOME; recibe aguas contaminadas en Cr: en todas las campañas se han obtenido valores superiores a los 1400 $\mu\text{g/l}$ en este elemento (límite RTS, 1982: 50 $\mu\text{g/l}$).

Punto nº 5, CASAS DE LA RINCONADA; registró en la campaña de Octubre una concentración en Pb superior al resto de los puntos de la red de muestreo, también superando, aunque discretamente, al máximo admitido por la RTS(1982).

Punto nº 21, AEROQUIP SA; recibe aguas contaminadas en Mn, sin alcanzar niveles preocupantes: 160 $\mu\text{g/l}$ en Octubre como valor máximo.

Punto nº 6, VIAJE DEL CARMEN; registró 500 $\mu\text{g/l}$ en Hg en la campaña de Octubre.

Respecto a su clasificación sanitaria, se puede concluir que las aguas de los acuíferos aluviales son impotables por sus altas concentraciones en Al y Fe, aunque respecto a este último no en todos los puntos y campañas efectuadas se superaron los límites admisibles para las aguas potables impuesto por la RTS (1982).

Por supuesto, en torno a GAYOSO WELLCOME, debe considerarse un área de acuífero contaminado en Cr y de extensión desconocida.

El resto de las anomalías aducen procesos de contaminación de desarrollo limitado.

3.- Respecto a las determinaciones bacteriológicas, salvo en los puntos 4 y 6 y en menor medida en los puntos 21 y 15 existen evidencias de contaminación fecal difícilmente relacionables con vertidos sistemáticos de aguas negras.

Estos resultados ponen de manifiesto la deficiente protección sanitaria en la que se encuentran la mayoría de las obras de captación muestreadas.

Como conclusión general del estudio se puede decir que la incidencia contaminante de las industrias y de la actividad urbana y agrícola en general sobre las aguas de los acuíferos aluviales estudiados es bastante menor de lo que en un principio se intuía a tenor del elevado número de vertidos indiscriminados de residuos en el área de estudio.

Si bien, en la práctica totalidad de los casos, las aguas muestreadas no pueden clasificarse como aptas para el consumo humano, esto se debe en gran medida al alto índice de mineralización natural que presentan y a las circunstancias propias de la obra de captación. La mayoría de los valores anómalos registrados deben entenderse como producto de un fenómeno de contaminación aislado y de extensión limitada. Sin embargo se pueden delimitar áreas con mayor número de anomalías, sobre todo en lo referente a metales pesados, y que coinciden con las zonas industriales más próximas a la ciudad de Alcalá, lo que las cataloga como de alto riesgo.

Como reflexión final debe señalarse la inoperatividad de la metodología empleada para la definición del grado de difusión y dispersión de los contaminantes a través de la zona saturada en estos acuíferos, debiéndose trazar una red de muestreo mucho más densa o en su defecto, ajustada a focos de vertido controlados y siguiendo una disposición lógica respecto a las direcciones preferentes del flujo subterráneo. En este sentido y de cara a las futuras investigaciones la red diseñada es potencialmente operativa por cuanto en ella se localizan una serie de anomalías que deben ser controladas espacialmente.

A partir de los trabajos realizados y hasta aquí expuestos se concretan las pautas a seguir en la nueva configuración de la red de muestreo, que debe ajustarse a las siguientes consideraciones:

- Estado del saneamiento de las industrias. Conocimiento preciso del trazado de los colectores principales y derivaciones al mismo.
- Ubicación de los vertederos controlados y no controlados de residuos urbanos, agrícolas e industriales.
- Conocimiento preciso de la superficie freática, y localización y señalización de las áreas más susceptibles a la contaminación de las aguas subterráneas.

En cuanto a los parámetros a determinar en posteriores trabajos, deben conocerse en la medida de lo posible, las características químicas de los vertidos industriales derivándose de ellas nuevos enfoques analíticos; se prestará especial interés en aquellos iones que en el actual estudio han aparecido en concentraciones significativas y/o anómalas, - Al, Fe, Sr, Cr, Zn, Ba, Hg, Li, Mn, - y, por supuesto, se deberán acometer los análisis de cada uno de los parámetros que la reglamentación, en su momento vigente, dicte como necesarios para clasificar y definir el estado sanitario de las aguas.

BIBLIOGRAFIA:

- AHDMAD, T. (1978) - "Contribución al estudio espectrofotométrico por absorción atómica de algunos elementos químicos". Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares.
- CADAVID, S. (1977) - "Mapa estructural del techo del basamento del borde meridional de la sierra de Guadarrama". Boletín Geológico y minero. T. LXXXVIII -VI, pg 494-496. 1977.
- CATALAN LAFUENTE, J. (1981) - "Química del agua". Ed. Blume. Madrid - Barcelona.
- C.E.E. (1975) - J.O. Communautés Europeenes 18/9/75.
- CUSTODIO, E Y LLAMAS, M. R. (1983) - "Hidrología subterránea". Vols II y II. Ed Omega. Barcelona.
- GALLARDO, J. PEREZ GONZALEZ, A. BENAYAS, J. HERRERA, M^a J. (1985) - "Secuencia de suelos en las formaciones Cuaternarias del sistema fluvial Jarama-Henares". Excursión científica. Asamblea de la sociedad española de ciencia del suelo.
- IGME-A (Inédito) - Mapa Geológico Nacional. Escala 1:50.000; hoja nº 560: Alcalá de Henares.
- IGME-B (Inédito) - Mapa Geológico Nacional. Escala 1:50.000; hoja nº 535: Algete.
- LOPEZ VERA, F. (1973) - "Evaluación preliminar de los recursos hídricos de las terrazas medias del río Henares (Madrid)". Primera reunión nacional del grupo de trabajo del Cuaternario. Trabajos sobre Neógeno - Cuaternario Inst. Lucas Mallada, C. S. I. C.
- LOPEZ VERA, F; MARIÑO AGUIAR, M; MORENO DE GUERRA GIRON, R. (1979) - "Ambiente hidrogeoquímico del acuífero cuaternario de l río Henares". Simposio nacional de hidrogeología. Vol. IV pp 673-689.
- R.T.S. (1982) - "Reglamentación técnico - sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público". CAE, Boletín Oficial del Estado del 29 de Junio.
- S.G.O.P.(1980) - "Informe sobre los recursos hídricos del subsuelo de Alcalá de Henares". Servicio Geológico de Obras Públicas. Inf. 07/80.
- VILLARROYA GIL, F. (1977) - "Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y Cuaternario de la cuenca del río Henares". Tesis doctoral. Ed. Universidad Complutense de Madrid, 1983.