Vinculación de Ciempozuelos (Madrid) con sus aguas subterráneas

VILLARROYA, F.; SENDEROS, A. J. y ALCÁZAR, Mª

Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas.
Universidad Complutense 28040 Madrid.
ferminv@geo.ucm.es

Recibido: 2 de Febrero de 2009
Aceptado:28 de Septiembre de 2009

RESUMEN

Ciempozuelos pertenece a la Comunidad de Madrid y se encuentra a unos 35 km al sur de la capital. Desde tiempos antiguos (siglo XIV o anteriormente) el abastecimiento en agua se efectuaba principalmente mediante una serie de galerías horizontales excavadas a "pico y pala" (denominadas en la localidad "minas de agua"). De esta forma se abastecían las fuentes públicas.

La facilidad de excavación en el sustrato yesífero y la robustez de las cavidades sin necesidad de revestimiento, hizo proliferar tanto la construcción de "minas" como cuevas en los bajos de las viviendas con objeto de almacenaje de diversos productos. El resultado fue una encrucijada de pozos, galerías, huecos, cuevas y "minas" que se extienden por el subsuelo, y que posiblemente diese lugar al nombre del emplazamiento: Ciempozuelos.

En la actualidad este rico patrimonio hidráulico está prácticamente abandonado y en fase de deterioro debido a su destrucción parcial a medida que progresa la urbanización del casco urbano. El Ayuntamiento ha emprendido estudios arqueológicos e hidrogeológicos para, en primer lugar, conocer la naturaleza y singularidades de estas infraestructuras y posteriormente gestionarlas con criterio.

El estudio hidrogeológico efectuado ha distinguido claramente entre las denominadas "minas" y otros tipos de oquedades construidas bajo el subsuelo urbano.

Se han inventariado 46 puntos de agua, se ha confeccionado el mapa de isopiezas bajo el subsuelo del casco urbano que ha determinado que el flujo de las aguas subterráneas es principalmente de sudoeste a nordeste. Se han efectuado 35 análisis químicos y 13 bacteriológicos de muestras de agua que han servido para confirmar la facies bicarbonatada cálcica con alta conductividad (1.700 mS/cm) de las aguas y la inadecuada calidad bacteriológica, de cara a su posible uso en abastecimiento.

Se propone el uso del agua para fines ornamentales y baldeo de calles y cultural como recuerdo del singular abastecimiento que durante siglos ha persistido en la población.

Palabras clave: Ciempozuelos, "minas" de agua, cuenca de Madrid, aguas subterráneas.

Linking of Ciempozuelos (Madrid) with their Groundwater

ABSTRACT

Ciempozuelos is located 35 km to the south of Madrid on the Miocene gypsum formations characteristic of the centre of Madrid basin. From old times (XIV century or former) the water supply was made mainly by means of a galleries dug by pick and shovel (denominated in the town "mines" of water). By this way, the public fountains were supplied. Given the easiness of excavation of the galleries in gypsum materials and the robustness of they without lining necessity, made proliferate the "mines" and also the excavation of caves in the basements of the housings with object of storage wines and other products. Finally it was a crossroad of galleries, holes, caves, mines… that extend for the underground of Ciempozuelos. The historians speculates, with foundation, that Spanish name of the city mentions this proliferation of wells and mines.

Actually this rich hydraulic patrimony is abandoned and in phase of deterioration due to its partial destruction as the urbanization of the urban city progresses. The Town Hall has undertaken archaeological and hydrogeological studies in order to improve the knowledgement of the nature and singularities of these infrastructures and later to management them properly. The hydrogeological study made, has distinguished clearly among those denominated "mines" and other types of built hollows under the urban underground. Forty six wells have been inventoried. The equipotential lines map show that the direction of the groundwater flow in Ciempozuelos city is mainly from the southwest toward the northeast. Thirty five chemical analysis and fifteen bacteriological samples have been made and they confirm the calcium bicarbonate facies with high conductivity (1.700 ìS/cm) and the inadequate bacteriological quality in order to possible use in urban water supply. We recommend their use for ornamental uses, irrigation of streets, and cultural memory of the singular water supply that has persisted in the city during centuries.

Key words: Ciempozuelos, "mines" of water, groundwater, Madrid basin.

1. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

El Ayuntamiento de Ciempozuelos está llevando a cabo estudios sobre el patrimonio arqueológico y cultural del municipio. Para complementar esta información se ha efectuado durante el año 2007 un estudio hidrogeológico del término municipal haciendo especial énfasis en las minas de agua existentes en buena parte del casco urbano. El estudio ha sido realizado por los firmantes de este documento pertenecientes al Departamento de Geodinámica de la Facultad de CC. Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (Villarroya et al, 2007).

El trabajo realizado puede considerarse complementario al que durante tres años ha llevado a cabo Investigaciones Arqueológicas, S. L. (Núñez y Murillo, 2004; Núñez, 2005 y 2006), relativo al conocimiento y puesta en valor del antiguo sistema de abastecimiento hidráulico del que estaba provista la población. Los trabajos de Núñez y colaboradores, ha supuesto la inspección "in situ" de numerosos tramos de galerías no exentos de riesgo personal. Proponen levar a cabo una adecuación de una de las minas con objeto de instalar un Centro de Información e Interpretación a fin de que este interesante patrimonio sea mejor conocido.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la realización del estudio hidrogeológico de Ciempozuelos se han llevado a cabo los siguientes trabajos:

- Recopilación de antecedentes bibliográficos.
- Consulta de archivos en IGME (Instituto Geológico y Minero de España), Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Medio Ambiente (Confederación Hidrográfica del Tajo), Consejería de Medio Ambiente de la CM.
- Recorridos de campo para el estudio geológico.
- Recorridos de campo para el inventario de puntos de agua.
- Toma de muestras de agua para análisis químicos y bacteriológicos.
- Labor de gabinete para elaborar la memoria y figuras.

La labor de inventario de puntos de agua se ha llevado a cabo durante la primavera de 2007 e inicios del verano. Las muestras de agua recogidas fueron llevadas a dos laboratorios especializados: *Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Biología de la UCM* para el análisis microbiológico y al *laboratorio de la Unidad de Apoyo de la Investigación de la Universidad Autónoma* de Madrid para el análisis de los componentes mayoritarios de las aguas. La toma de las muestras y el inventario de puntos de agua ha sido efectuado por María Alcázar.

3. MARCO GEOGRÁFICO Y FISIOGRÁFICO

El término municipal de Ciempozuelos se encuentra situado en el sur de la Comunidad de Madrid, limitado al norte por los términos de Valdemoro y San Martín de la Vega, al sur por los de Aranjuez y Seseña (perteneciente, este último, a la provincia de Toledo), al este por los de Titulcia y Chinchón y nuevamente por el de Valdemoro al oeste. El núcleo del pueblo se encuentra a unos 35 km al sur de Madrid capital, limitado por la carretera M-404 y la línea férrea Madrid-Alicante. (Figs. 1 y 2).

La extensión superficial del término es de 49,6 km2, de los cuales 34,5 pertenecen al Parque Regional de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama, coloquialmente llamado Parque Regional del Sureste. Este Parque fue declarado en 1994 con la intención de proteger el entorno de los ríos Jarama y Manzanares a su paso por las áreas yesíferas y calcáreas de su cuenca media-baja. El Parque alberga zonas de alto valor ecológico, paleontológico y arqueológico. Se encuentra sometido a importantes amenazas tales como; la actividad extractiva, la inadecuada protección de sus recursos y una serie de factores derivados de su carácter periurbano.

El río más importante es el Jarama, que surca el término municipal por su parte oriental. Las terrazas fluviales del Jarama, sufrieron a lo largo y ancho de los terrenos del Parque Regional del Sureste una amplia explotación a partir de mediados de los años 70 del pasado siglo dando origen a numerosas lagunas que en su mayor parte quedaron abandonadas. Con el paso de los años, estas lagunas se naturalizaron, apareciendo una vegetación palustre y una fauna variada que actualmente son

objeto de protección por su gran valor ecológico. En total se han censado en el Parque 123 humedales, perteneciendo 11 de ellos al término municipal de Ciempozuelos.

La parte occidental del término, está conformada por cerros y llanuras de menor valor ecológico al tratarse de un terreno yermo debido a la presencia mayoritaria de yeso en el suelo.

El núcleo de Ciempozuelos se encuentra situado en una suave ladera al borde del valle del Jarama, frente al Cerro Castillejo, y su caserío se extiende básicamente en las direcciones sur y oeste. Dos son las infraestructuras que han acotado su crecimiento (Figs. 1 y 2):

- por una parte la Carretera M-404, que anteriormente cruzaba el pueblo y ahora lo bordea por el norte y este,
- y por otra, la vía férrea Madrid-Alicante, que discurre por el límite oriental del casco impidiendo, junto a las cercanas terrazas del valle, el desarrollo de esta zona.

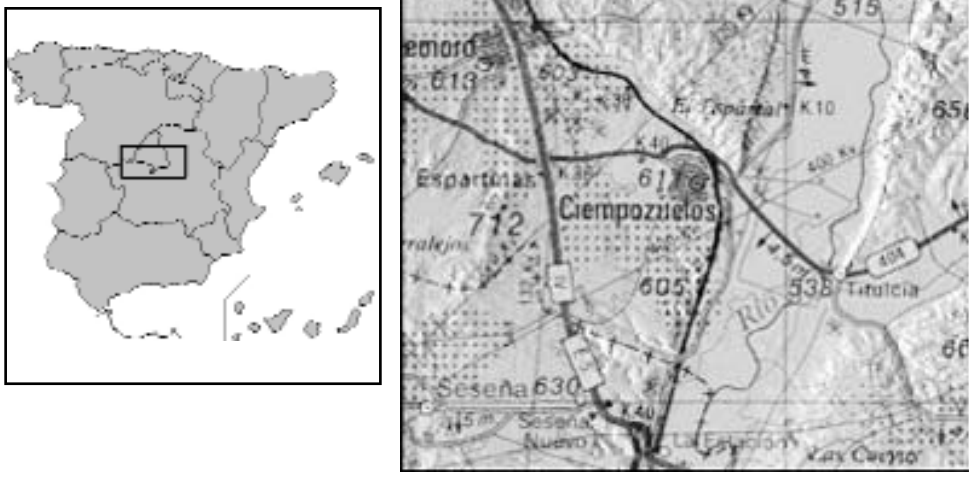

Figura 1: Mapa de situación de la zona de estudio.

Respecto al origen del topónimo, algunas fuentes consultadas señalan el paraje conocido como Buzanca, a unos 2 km al norte del núcleo urbano; aquí se iniciaba un canal que, en el pasado, surtía de agua a la fuente de la plaza del pueblo. Como el manantial no era abundante, se construyeron numerosos pozos que proporcionaron, además del suficiente caudal, el nombre a la localidad.

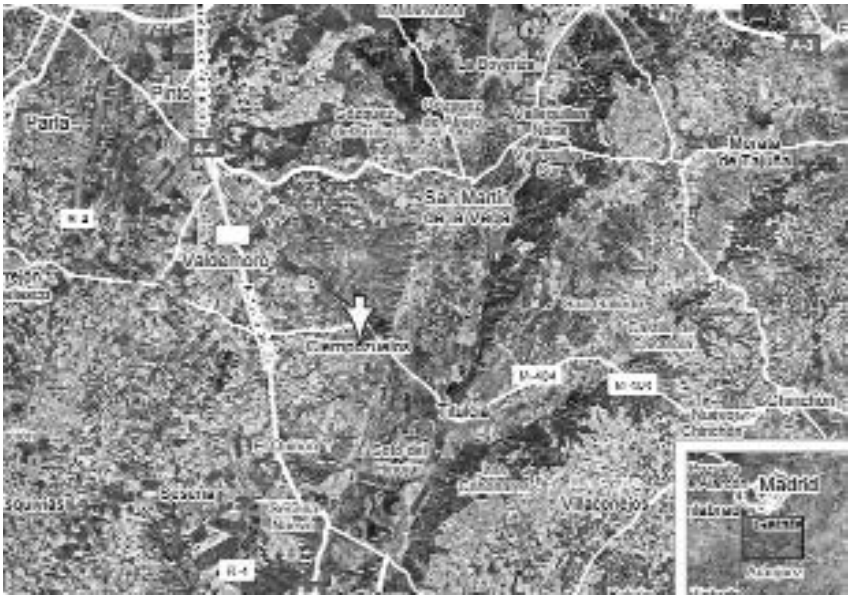

Figura 2: Imagen desde satélite de Ciempozuelos y alrededores.

4. MARCO CLIMATOLÓGICO

4.1. CLIMA

Atendiendo a las clasificaciones climáticas más utilizadas en la actualidad, tanto la clasificación clásica como la de *Köppen*, Ciempozuelos se incluye en el denominado **clima mediterráneo**, caracterizado por los veranos secos y cálidos e inviernos relativamente suaves. Aunque la precipitación en invierno es mayor que en verano, ésta se concentra, principalmente, en primavera y otoño.

La zona tiene unas características propias que particularizan en algunos puntos la definición general del clima mediterráneo. Éstas son:

- Continentalidad: por su situación en la Península Ibérica. La continentalidad añade un rango más amplio de variación térmica, por lo que los veranos son especialmente calurosos y secos, siendo los inviernos frescos y no excesivamente húmedos.
- Su situación altitudinal, de "tierras medias", refuerza el ascenso térmico en verano haciendo, a la vez, que en invierno la temperatura no baje en exceso, aunque sí lo suficiente para que las heladas sean frecuentes.

Por todo lo anteriormente expuesto, podemos concluir que el clima de Ciempozuelos es de tipo mediterráneo continentalizado de tierras medias, con todo lo que ello implica.

Las principales características climatológicas de Ciempozuelos se han obtenido utilizado los datos de la estación meteorológica más próxima, que es la de Getafe. De

estos datos, dada la variabilidad que de un año a otro se produce por los efectos de la dinámica climatológica general, se ha hecho la media de los 10 últimos años para cada mes del año.

	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Total
Tª (ºC)	5.8	7.2	9.6	11.9	16.0	21.0	24.9	24.5	20.9	15.0	9.3	6.1	14.4
P (mm)	40.0	41.0	32.0	50.0	37.0	28.0	11.0	12.0	27.0	35.0	55.0	48.0	416
ETP (mm)	26.3	37.91	71.6	97.0	129.4	177.1	200.1	172.7	120.6	68.8	35.2	23.7	1160
ETR (mm)	21.4	29.2	50.8	55.3	61.2	32.4	7.4	8.2	13.6	30.4	24.9	18.7	353

Tabla 1: Valores medios, por mes, de temperatura (T), precipitación (P) y evapotranspiración (ETP, ETR, potencial y real). Los valores corresponden a la media de cada mes de los últimos 10 años (datos de la Estación Meteorológica de Getafe).

4.2. PRECIPITACIONES

Tal como se dijo anteriormente, las precipitaciones se ajustan bastante bien al tipo de clima mediterráneo, teniendo como máximos de precipitación los meses de abril y noviembre. El verano podemos considerarlo como época de sequía por la escasez de precipitaciones unido al exceso de evaporación. La precipitación media anual es de 416 mm (Tabla 1 y Fig.3).

4.3. TEMPERATURAS

La diferencia térmica a lo largo del año se sitúa en 19,1ºC, teniendo en cuenta que se refiere a las medias diarias. Aunque son tres los meses en que las temperaturas bajan de 7,5ºC (diciembre, enero y febrero), es enero el mes de verdadero invierno (temperatura media inferior a 6ºC). Por el contrario, son seis los meses con temperaturas medias superiores a los 15ºC (mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre). Primavera y otoño son, por tanto, estaciones realmente cortas. La temperatura media anual es de 14,4ºC (Tabla 1 y Fig. 3).

Otros valores obtenidos son:

- Tª media de la mínima anual: 8,4ºC
- Tª media de la máxima anual: 20,3ºC
- Tª media del mes más cálido: 24,9ºC
- Tª media del mes más frío: 5,8ºC

4.4. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Llamamos **evapotranspiración potencial** (ETP), a la cantidad de agua que evaporaría su hubiese disponibilidad suficiente (es función del tipo de vegetación, temperatura media, régimen de vientos, etc.) y **evapotranspiración real** (ETR) a la cantidad realmente evaporada. Cuando ambos valores son iguales es que no ha habido déficit de agua, mientras que si ETP es mayor que ETR, esa diferencia es el déficit de disponibilidad de agua para la vegetación.

Los datos indican que todos los meses hay un cierto déficit de agua, siendo especialmente notable en los meses de verano (Tabla 1 y Fig. 4). El déficit medio anual es de 1160 mm. La ETP es de 744 mm/año, mientras que la ETR es de unos 353 mm/año.

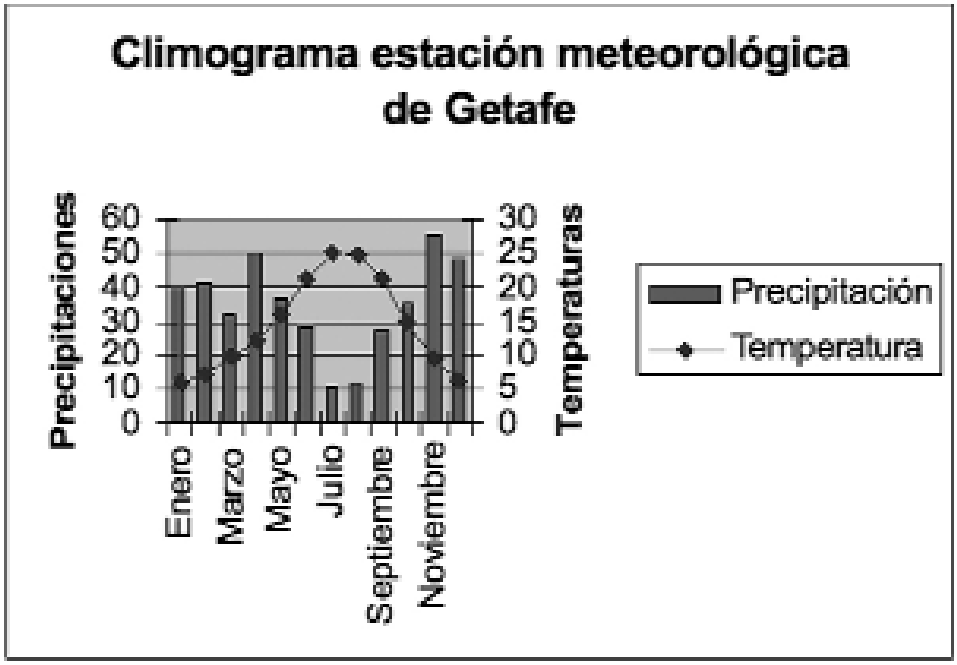

Fig. 3: Climograma.– El climograma muestra la aridez del verano, así como el hecho de que los dos meses más lluviosos son abril y noviembre, típico del clima mediterráneo. Por otro lado las temperaturas tienen un rango amplio de oscilación entre verano e invierno consecuencia de la continentalidad.

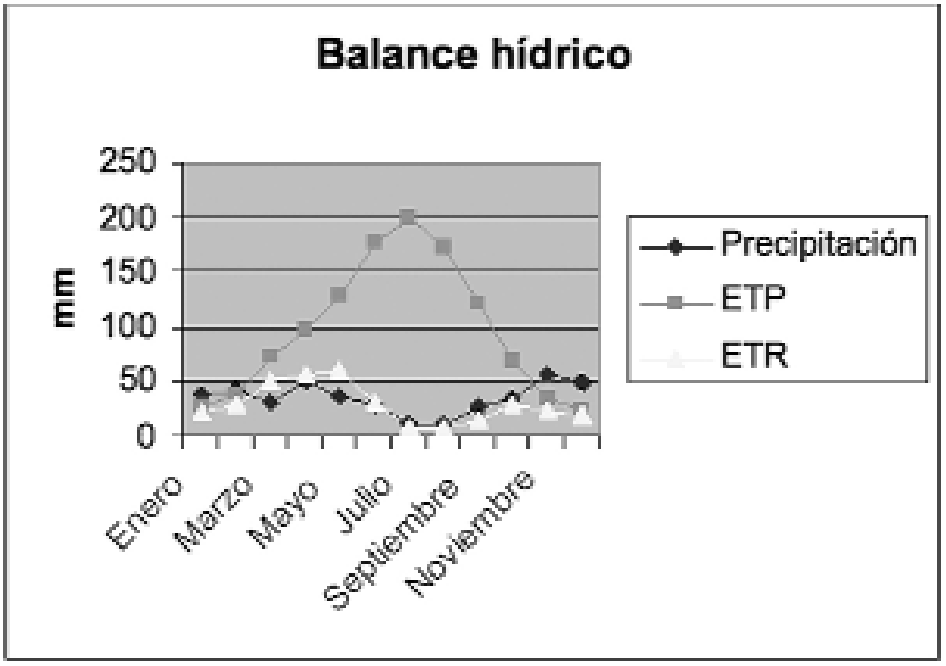

Fig. 4: Balance hídrico.– Obsérvese la gran diferencia entre la ETP y la ETR, lo que indica un déficit hídrico importante. El paralelismo entre las curvas de precipitación y evapotranspiración real, indica que prácticamente la totalidad del agua de precipitación es empleada por la vegetación. Únicamente en los meses de noviembre, diciembre y enero hay un ligero exceso de agua que servirá para la recarga subterránea. Entre marzo y mayo el valor superior de ETR con respecto a la precipitación es indicativo de que la vegetación está empleando la reserva de agua del subsuelo.

5. NATURALEZA GEOLÓGICA DE LOS TERRENOS

5.1. SITUACIÓN

Ciempozuelos se sitúa en lo que podríamos denominar **sector centro meridional de la Cuenca Terciaria de Madrid**. Esta cuenca forma una parte sustancial de la Cuenca del Tajo que junto con las del Duero y Ebro constituyen tres grandes cuencas terciarias de la Península Ibérica (Fig. 5).

La Sierra de Altomira compartimenta de este a oeste la Cuenca del Tajo, pudiéndose distinguir, de esta forma, la Cuenca de Madrid, con más de 10.000 km2 de extensión, al oeste, y la Depresión Intermedia o de Loranca, mucho menor, al este (Fig. 5).

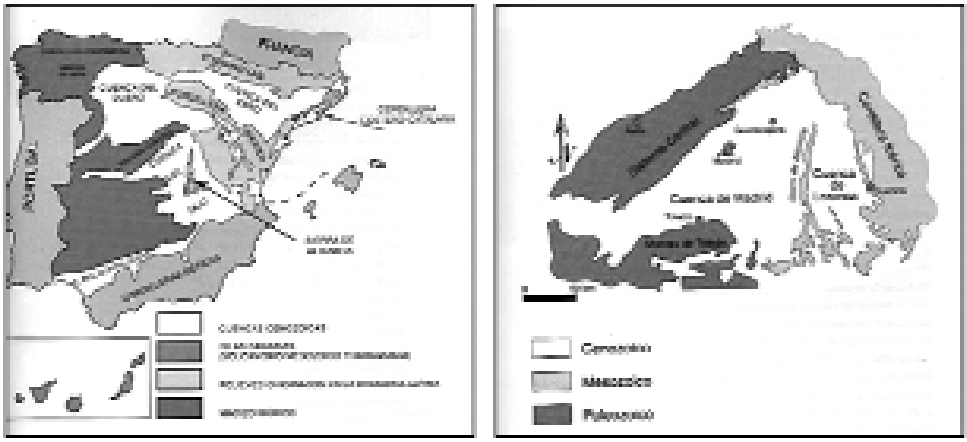

Fig. 5.– Mapa geológico simplificado de la Península Ibérica y detalle de la Cuenca Central del Tajo, formada por las cuencas de Madrid y de Loranca (Meléndez Hevia, I., 2004)

5.2.SEDIMENTACIÓN NEÓGENO-CUATERNARIO EN LA CUENCA DE MADRID

Consideramos interesante mencionar las condiciones paleoclimáticas existentes en la Cuenca de Madrid durante el Mioceno, dado que es el origen de los materiales que conforman la mayor parte del término. Criterios principalmente paleontológicos (López-Martínez et al., 1987) sugieren condiciones climáticas secas y cálidas para la mayor parte del Mioceno inferior y medio, con un sesgo hacia clima más húmedo y frío durante el Mioceno superior. Durante los últimos tiempos geológicos del Mioceno, predominan facies lacustres de agua dulce, sugiriendo la existencia de condiciones climáticas relativamente húmedas, hecho que, sin embargo, contrasta con el carácter cálido y seco indicado para el clima de la Península durante este periodo (Fig. 6).

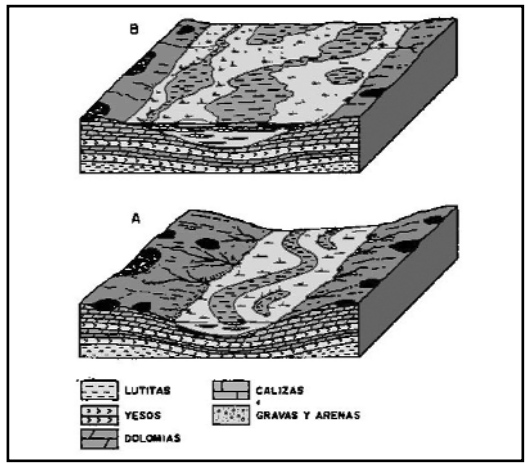

Fig. 6.- Esquema idealizado de la distribución de facies y su control paleomorfológico durante el depósito de la Unidad Superior del Mioceno (Calvo, et al., 1989)

El relleno mioceno de la cuenca se dispone esencialmente horizontal y ha sido dividido en tres grandes unidades tectonosedimentarias: Inferior, Intermedia y Superior (Junco y Calvo, 1983). Los materiales correspondientes a las unidades Inferior e Intermedia se distribuyen según un esquema clásico de **cuenca continental endorreica**. Así se diferencian unas *facies de borde* formadas por sedimentos detríticos derivados de la erosión de los relieves próximos y que se depositaron mediante sistemas de abanicos aluviales. Estas facies pasan lateralmente a *facies intermedias o de transición*, compuestas por sedimentos lutíticos y de precipitación química, las cuales enlazan, hacia el interior de la cuenca, con **depósitos lacustres evaportíticos y carbonáticos** que se corresponden con las facies centrales (Rodríguez-Aranda y Calvo, 1997). A estos últimos pertenecen los materiales margo yesíferos que se encuentran en Ciempozuelos.

Durante el intervalo de tiempo correspondiente al depósito de la Unidad Superior del Mioceno el esquema paleogeográfico se modifica y la sedimentación se realiza en un contexto **fluviolacustre detrítico-carbonático** (Megías et al., 1983). Finalmente, en el Plioceno, se establece un complejo sedimentario fluvial, desarrollándose la evolución de la cuenca bajo condiciones exorreicas y quedando los últimos depósitos neógenos fosilizados por una unidad de costras calcáreas de carácter edáfico (Pérez González, 1982).

En cuanto a los materiales cuaternarios, éstos quedan restringidos al trazado de los valles, principalmente del Jarama y sus tributarios (Manzanares, Tajuña, Henares), así como del propio Tajo (Roquero et al., 1996).

5.3. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

En Ciempozuelos y su entorno predominan las facies químicas centrales, que son las de yesos cristalinos masivos, yesos tableados, margas yesíferas, intercalaciones de yesos y arcillas y niveles de calizas con nódulos de sílex, laminitas y diatomitas. Estos últimos niveles situados a techo de la unidad Intermedia y más resistentes a la erosión, dan lugar al desarrollo de pequeñas mesas estructurales y cerros testigos (Fig. 7) que se sitúan fundamentalmente en la divisoria que separa el Valle del Jarama del sistema Manzanares-Guatén, como son los cerros de Almodóvar, Los Ángeles, Batallones, Telégrafo, Sarnosa y las pequeñas **mesas estructurales de Espartinas y Esquivias** (Roquero et al., 1996).

Es a comienzos del Cuaternario cuando se instalan en la Cuenca los valles de los ríos más importantes, constituyendo el sistema Henares-Jarama-Tajo la arteria fluvial axial de la cuenca, a favor de la cual tuvieron lugar los procesos de disección más importantes. Actualmente el patrón de drenaje y los valles fluviales son sensiblemente diferentes al existente durante el inicio del Cuaternario. Éste fue modificado por importantes fenómenos de captura por erosión remontante motivados por la actividad neotectónica y por la efectividad de las divisorias (superficies de erosión-sedimentación y relieves estructurales) cuando el nivel de base de todos estos sistemas fluviales se situaba unos 80 m por encima del actual (Silva et al., 1988).

Fig. 7.- Cerro Castillejo, ejemplo de "cerro testigo", con la unidad intermedia a techo del mismo

El factor litoestructural ha influido en la evolución geomorfológica de la Cuenca de Madrid. Aparte del desarrollo, por erosión diferencial, de los pequeños relieves estructurales mencionados anteriormente, el predominio de facies yesíferas ha provocado el desarrollo de importantes procesos de karstificación y halocinesis.

Los escarpes en yesos que enmarcan los valles fluviales coinciden con discontinuidades tectónicas detectadas en el basamento de la cuenca por gravimetría y pueden definirse como modestos frentes montañosos de falla con desniveles que llegan a superar los 30 m de altura (Silva et al., 1988). En la actualidad su morfología original está enmascarada por procesos de ladera, presentando importantes acumulaciones de derrubios a su pie. Sólo en aquellos lugares donde la erosión lateral de los cauces fluviales ha removilizado parcialmente las acumulaciones de derrubios, como en La Marañosa y **Titulcia**, se pueden observar los antiguos escarpes originales aunque modificados por la acción fluvial. En cualquier caso, formas tectónicas tales como Facetas Triangulares, **Valles Colgados** (Fig. 8), Valles en Cuello de Botella, etc., asociados a estos escarpes en yesos, delatan su origen tectónico (Roquero et al., 1996).

Fig. 8.- Valles colgados en Ciempozuelos, efecto de la neotectónica

5.4. MINERALES DE INTERÉS EN CIEMPOZUELOS

De especial interés son las sales sódicas, ya que fueron descubiertas a la Ciencia precisamente en la Cuenca del Tajo: la **glauberita**, citada por primera vez por Dumeril en 1807 y descrita en 1808 por Brogniart (cit. Galván, 1959). A mediados del siglo XIX, Rafael de Roda (cit. García del Cura, 1979) citó por primera vez la **thenardita**, que descubrió, precisamente en **Espartinas (Ciempozuelos)**.

Son importantes las explotaciones de Villarrubia de Santiago, de **thenardita** y **glauberita**. En el término de **Ciempozuelos**, la Mina Vicente que en 1968 produjo 50 t de mineral con una ley del 97 % de Na2SO4, con un espesor de **glauberita** de 10-12 m (Hernández-Pacheco, 1926, cit. García del Cura, 1979) y la *Mina Consuelo*, con un nivel de **thenardita** de más de 1 m de espesor y **glauberita yesificada** (Fig. 9) junto a bloedita, cuarzo, calcita y yeso (García del Cura, 1979). Igualmente en la Mina Consuelo se encontró un mineral de fórmula Na6 Ca (SO4)4 citada por Areitio (1873) -R. Soc. Española Hist. Nat., Anales: 2: 393- y acuñado con el nombre de **Ciempozuelita**.

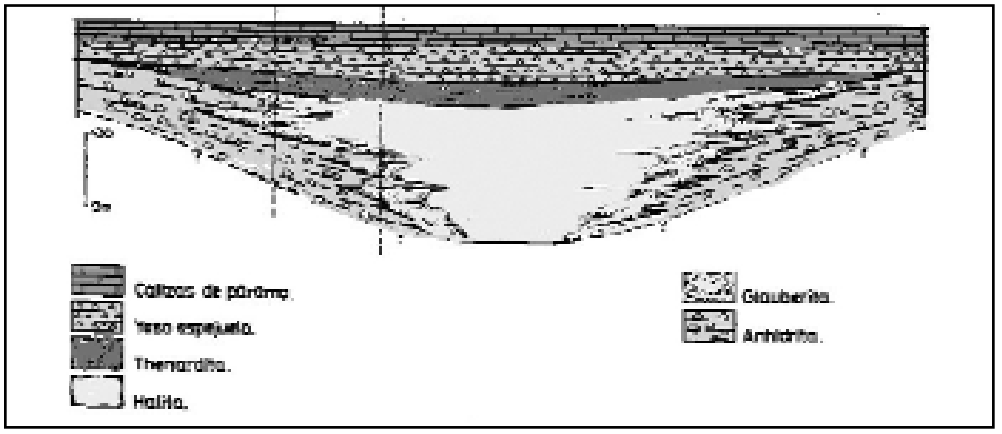

Fig. 9.- Esquema hipotético de distribución de litofacies salinas. La línea de trazos vertical a la izquierda se correspondería con la secuencia "tipo Mina del Consuelo", la de la derecha con la secuencia "tipo El Castellar". Sin escala horizontal (Ortí et al., 1979).

La explotación de sales sódicas en **Espartinas** se realizaba a partir de las aguas de lixiviación que disuelven los minerales sulfatados. En invierno, a partir de dichas aguas se precipita sulfato sódico, mientras que en verano se obtiene, por evaporación, cloruro sódico. Por el mismo sistema se obtiene sulfato sódico en las Salinas de Carcaballana (Villamanrique de Tajo).

Otros indicios de sales sódicas en el entorno son las eflorescencias saladas que, en época seca, aparecen en San Martín de la Vega y en Tielmes, cuya composición fundamental suele ser **mirabilita** junto con **bloedita, halita** e indicios de **yeso, epsomita y loweita.**

5.5. INTERÉS GEOLÓGICO DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE CIEMPOZUELOS

Visto lo anterior, podemos justificar la importancia que el término tiene desde el punto de vista geológico para su aprovechamiento tanto científico, como pedagógico o cultural (Senderos et al., 1999). Resumiremos los puntos principales de interés:

- **Mineralógico**. Ha quedado de manifiesto la importancia en sales sódicas de la antigua explotación de Espartinas, así como de sulfatos en general. En este enclave se definieron la **thenardita** y el curioso mineral denominado **ciempozuelita**.
- **Geomorfológico**. La presencia de los **valles colgados** característicos de esta zona de la Cuenca de Madrid. Estos valles son una "curiosidad" morfológica al tratarse de valles fluviales en vez de glaciares. Por más abundantes, no menos espectaculares, son las formaciones de **terrazas fluviales** asimétricas que el río Jarama presenta en esta zona. Por otro lado los **testigos** morfológicos (*mesa de Espartinas* o Cerro Castillejo, por ejemplo), nos "hablan" del registro de los cambios climáticos del Cuaternario en el relieve.
- **Estratigráfico**. El registro estratigráfico Neógeno–Cuaternario presenta en la zona estructuras de indudable interés, como son las de halocinesis o la karstificación.

6. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE CIEMPOZUELOS

Los terrenos del término de Ciempozuelos pertenecen básicamente a dos tipos de formaciones geológicas: margas y yesos del Mioceno y depósitos cuaternarios, como se acaba de describir en el apartado anterior. Estas dos grandes unidades sirven también para su análisis como acuíferos, esto es, "como formaciones geológicas capaces de contener agua y poder ser utilizada por el hombre".

6.2. MARGAS Y YESOS DEL MIOCENO

Engloba los sedimentos del terciario de origen químico dominando los yesos, margas y arcillas.

Se trata de una formación geológica muy extensa que abarca buena parte del Sur de la Comunidad de Madrid. Se extiende a ambos lados del curso del Jarama a partir de la desembocadura del Henares, y es el soporte de los valles del Tajo y Tajuña. Aflora en unos 1.300 km2, pero alcanza hasta 2.300 km2 al disponerse por debajo de otras unidades. El espesor de estos depósitos es de 500 m de media; pero al tratarse de rocas solubles, la circulación del agua sólo es posible a través de la disolución en zonas superficiales meteorizadas o en las zonas karstificadas, que alcanzan generalmente los metros más superficiales. Por otra parte, la karstificación es un proceso muy variable y, comúnmente, no existe una conexión hidráulica para todo el conjunto, sino que se originan diferentes compartimentos dentro del acuífero. Buena parte del término municipal de Ciempozuelos así como el núcleo urbano se asienta en esta formación. La única excepción es el valle fluvial del Jarama donde se encuentran depósitos cuaternarios.

A pesar de la mala calidad natural de sus aguas, existen numerosos pozos en el casco urbano excavados en este tipo de materiales. Se trata de pozos de gran diámetro y de poca profundidad (normalmente entre 5 y 7 m).

6.3. ACUÍFERO CUATERNARIO

Se engloban en esta unidad los depósitos ligados a la red de drenaje principal (el río Jarama) y conectados hidráulicamente con ella. A escala regional los podemos encontrar formando el sistema de terrazas del río Jarama constituido por cuatro niveles situados a +3-5 m, +6-7 m, +11-13 m, y + 80-85 m, más el cauce actual con su llanura de inundación.

Litológicamente corresponden a materiales depositados por la dinámica fluvial, por lo que están compuestos por limos, arcillas, gravas cuarcíticas y carbonáticas, arenas, y fragmentos de yesos y margas.

Potencialmente constituyen, con diferencia, los mejores acuíferos con que cuenta el término de Ciempozuelos, si bien su calidad es inadecuada para el abastecimiento doméstico debido a la cercana presencia de yesos, lo que les dota de un alto contenido en sales disueltas, y al hecho de producirse regadíos tradicionales con el Canal del Jarama desde hace décadas. En buena parte puede afirmarse que el agua que distribuye el mencionado canal son las aguas residuales tratadas de Madrid capital. Esta agua tras infiltrarse en el acuífero cuaternario empobrece la calidad química.

Presentan siempre el nivel freático alto (es decir cerca de la superficie del terreno), con oscilaciones en función de la explotación, del grado de conexión con el cauce del Jarama y de la recarga inducida por los regadíos.

Espesor del acuífero cuaternario

Puede ser puntualmente superior a 60 m en algunas zonas del cauce del río Jarama. Así ocurre por ejemplo en el polígono industrial de Arganda (López Vera 1977).También, de forma muy excepcional, el Servicio Geológico de Obras Públicas (organismo que ya no existe hoy día) encontró más de 70 m de aluviones en el valle del Manzanares, próximo a su desembocadura (citado por Rebollo, 1973). Para conocer con detalle el espesor de las formaciones cuaternarias en Ciempozuelos, hemos obtenido valiosa información a partir de la revisión de estudios de evaluación de impacto ambiental en la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. Así el espesor controlado por sondeos de reconocimiento practicados con motivo de las graveras existentes es de unos 20 m. Se encuentran fuertemente trastocados por las actividades extractivas de áridos a cielo abierto.

6.4. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Una de las principales labores en los trabajos de exploración de aguas subterráneas lo constituye el inventario de puntos de agua. Simultáneamente a las labores de inventario, el hidrogeólogo debe reconocer las características litológicas del terreno para discernir el tipo de acuífero de que se trata. Con todo esta información se percibe claramente las características y singularidades de los acuíferos.

Origen del inventario

El origen del inventario ha sido el siguiente:

- Se consultó previamente bibliografía y antecedentes sobre la zona. Entre ellos destaca los trabajos de Núñez Herrero repetidamente citados en este estudio.

- Se contó con el listado de puntos de agua que obra en la CHT (Confederación Hidrográfica del Tajo).
- Finalmente durante la primavera y verano de 2007 se visitó la zona y se inventariaron un total de 46 puntos de agua.

Características del inventario

De los 46 puntos inventariados, 42 pertenecen al Mioceno y 4 al Cuaternario. Teniendo en cuenta que el estudio se centra en el casco urbano, que se encuentra sobre los materiales miocenos, los puntos del Cuaternario se han tomado a modo de comparación básicamente. La figura 10 muestra su localización geográfica.

- La naturaleza de los puntos inventariados es la siguiente:
- 1 manantial (concretamente el de "El Palomero")
- 6 pozos perforados mecánicamente
- 39 pozos excavados a "pico y pala".

La profundidad mayor la tienen los pozos que explotan el cuaternario (entre 15 y 20 m de profundidad) mientras que los pozos excavados en el casco urbano de Ciempozuelos tienen entre 5 y 7 m. Algunos de estos pozos son antiguas norias, otros son simples pozos y muchos de ellos disponen de galerías laterales para aumentar su productividad.

Dado que para el Ayuntamiento el interés principal recae en las "minas" de agua que recorren subterráneamente el casco urbano, es por lo que hemos centrado nuestro estudio en ellas.

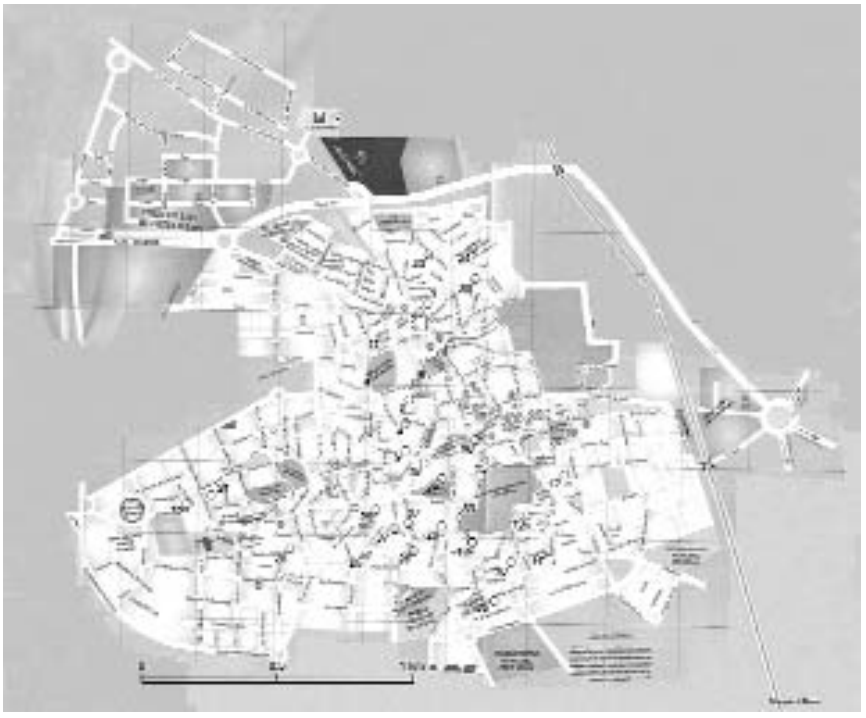

Figura 10. Inventario de puntos de agua en el casco urbano de Ciempozuelos

6.5. LAS "MINAS" DE AGUA DE CIEMPOZUELOS: GALERÍAS, POZOS, CUEVAS, Y BODEGAS

El inventario de puntos de agua realizado en este estudio junto con los trabajos de Nuñez Herrero y su equipo de los años 2004, 2005 y 2006, permite aclarar y diferenciar todo el conjunto de infraestructuras que constituyen el rico patrimonio hidráulico subterráneo de Ciempozuelos.

La necesidad de almacenar y conservar productos (especialmente vinos) supuso que bajo el casco urbano de Ciempozuelos, se abriese una intrincada red de galerías y cuevas que sirvieron como almacenes y bodegas. En la actualidad la mayoría de ellas se encuentran fuera de servicio. Como ha puesto de manifiesto el estudio llevado a cabo por Investigaciones Arqueológicas, S. L. para el Ayuntamiento, algunas de estas cavidades han sido objeto de vertidos de aguas residuales provocando la contaminación de las aguas subterráneas.

Por otro lado la necesidad de encontrar agua y acopiarla llevó en el pasado a construir abundantes "minas" y captaciones dada la relativa facilidad de excavación que ofrecen estos materiales (margas y yesos).

El estudio de Núñez Herrero (2006) describe las "minas" así:

"Las minas de Ciempozuelos son un conjunto de galerías subterráneas que recorren el subsuelo de la población. Con unas dimensiones aproximadas de 0,50x1,80m, permiten, por lo general sin muchas dificultades, la circulación por las mismas de una persona a pie. Se encuentran excavadas y talladas en las margas y terrenos yesíferos que configuran la estratigrafía geológica del sustrato más inmediato sobre el que se ubica el actual asentamiento, no contando con ningún tipo de revestimiento añadido.

Su construcción, al margen de los propios tramos de galerías, se caracteriza por una serie de elementos claramente identificables: pozos rectangulares de 0,60x1,20m, encuentros entre tramos, captaciones o lugares de origen del abastecimiento de agua a través de filtración del nivel freático o de manantiales, y las denominadas salidas o desembocaduras que, volcando el agua en depósitos a modo de estanques, aljibes o pilones, permitirían su redistribución a huertas o campos de cultivo a través de norias o canalizaciones de superficie (acequias, etc.)"

Por lo tanto básicamente hay dos tipos de infraestructuras diferentes (figura 11):

a.- unas vinculadas al almacenamiento de enseres, víveres y vinos (que constituyen las cuevas y bodegas, excavadas en los sótanos de los edificios), y

b.- otras relacionadas con la búsqueda y explotación de las aguas subterráneas que son las "minas" propiamente dichas y los pozos excavados. La función de las minas es actuar como galerías drenantes para fomentar la alimentación de los pozos.

Los pozos excavados que captan aguas subterráneas son, lógicamente, más profundos (5–7 m de profundidad) que las cuevas y bodegas (2 a 4 m) tal como se muestra esquemáticamente en la figura 11.

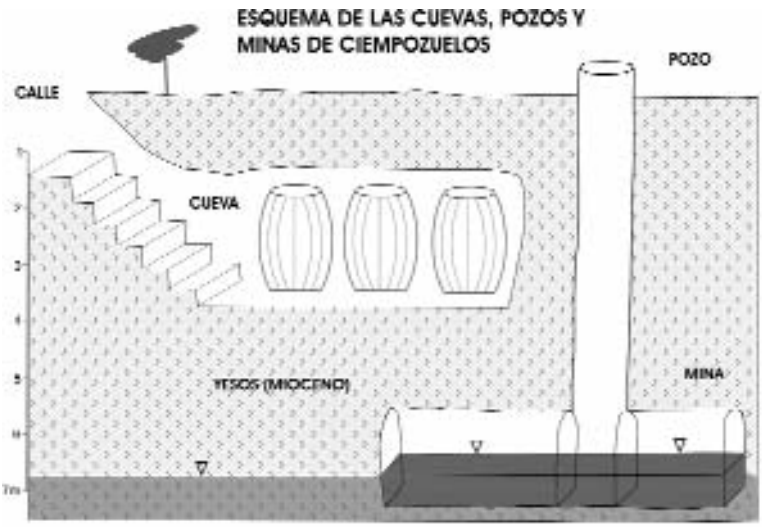

Figura 11. Minas de agua y cuevas de Ciempozuelos

El presente estudio se centra exclusivamente en el acuífero y sus captaciones de aguas subterráneas, mientras que los estudios que llevó a cabo el equipo de Núñez abordó el estudio tanto de las cuevas (bodegas) como de las "minas".

6.6. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS DE LOS ACUÍFEROS

Los parámetros hidráulicos principales son la porosidad, permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Para un buen análisis de estos parámetros es necesario disponer de ensayos de bombeo y posterior interpretación de la evolución de los niveles. No hemos podido disponer de estos datos dadas las propias características del estudio. Lo que sigue a continuación es una recopilación extraída de zonas próximas con terrenos similares (Rebollo,1973, López-Vera 1977, ITGE 1991).

Acuífero mioceno

La porosidad de la formación miocena pensamos que sufre un notable descenso en profundidad. Los yesos tienden a alterarse por disolución (karstificarse en la jerga científica) en superficie y estos procesos menguan rápidamente con la profundidad. La porosidad en los primeros metros puede estar comprendida entre 2 y 10 %.

La permeabilidad o conductividad hidráulica en este tipo de materiales puede estimarse según datos bibliográficos (Custodio y Llamas, 1983) del orden de 1-10 m/día.

El espesor saturado puede estimarse en unos 10 m por lo que la transmisividad sería del orden de 10 a 100 m2/día. Potencialmente, en lugares concretos con mayor karstificación, puede cuadruplicarse o más los valores indicados.

Al tratarse de un acuífero libre la porosidad coincide en valor con el coeficiente de almacenamiento.

Acuífero cuaternario

Por datos de trabajos anteriores en zonas similares a ésta (Peláez et al, 1971; Rebollo, 1973; López Vera, 1977; Himi, 2001) podemos concluir lo siguiente:

- La porosidad puede variar entre 5 y 25%.
- El espesor saturado medio puede estimarse en 5-10m.
- La permeabilidad o conductividad hidráulica entre 25-75 m/día.
- La transmisividad media entre 125 y 750 m2/día.

Dicho de otra forma, los pozos del cuaternario son mucho más productivos que los del acuífero mioceno.

6.7. ORIGEN Y FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO MIOCENO

Se ha elaborado, a partir del inventario de puntos de agua, el mapa de isopiezas para el acuífero mioceno en el sector del casco urbano, que muestra la figura 12.

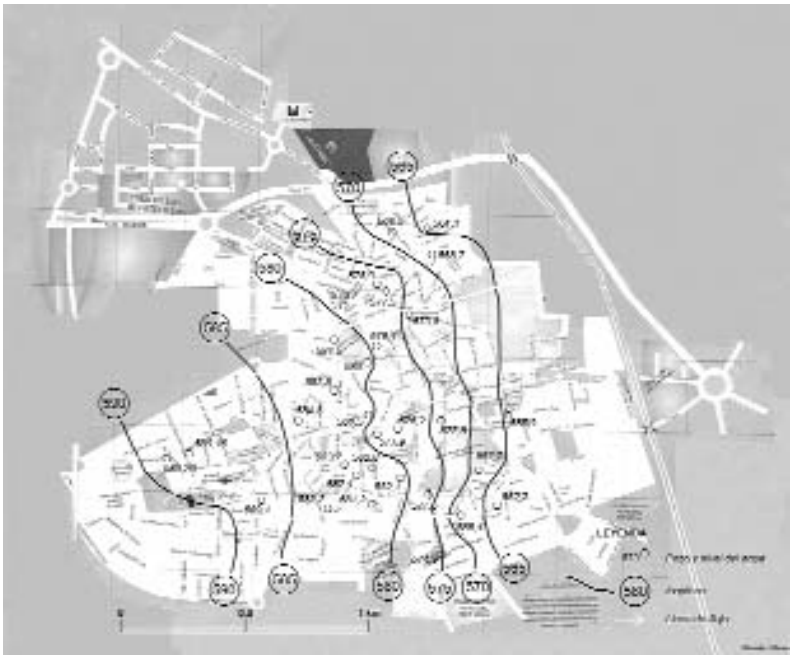

Figura 12. Mapa de isopiezas del acuífero mioceno en Ciempozuelos

A partir de él se puede afirmar que el origen principal de las aguas subterráneas que recorren el casco urbano desde el oeste hacia el este provienen fundamentalmente de la infiltración del agua de lluvia. Esta agua se aloja en el sustrato margo-yesífero del Mioceno y se desplaza paulatinamente hacia el punto de descarga que es el barranco de La Cañada. A su paso por debajo del casco urbano, el acuífero aumenta su recarga por infiltración de las aguas residuales y escapes difusos que en toda red de abastecimiento y saneamiento se producen. Son muy elocuentes a este respecto las observaciones efectuadas en los estudios de Núñez Herrera de cómo las aguas

residuales en parte han invadido las antiguas bodegas y "minas". Pensamos que estas margas yesíferas pierden porosidad y permeabilidad en profundidad por lo que se trata de un acuífero local supeditado básicamente a los primeros metros de la formación geológica. Es un acuífero de los denominados libres o freáticos que no da lugar a fenómenos de artesianismo. Se han elaborado los perfiles hidrogeológicos (Figs. 13 y 14) que ilustran y aclaran el funcionamiento del acuífero mioceno.

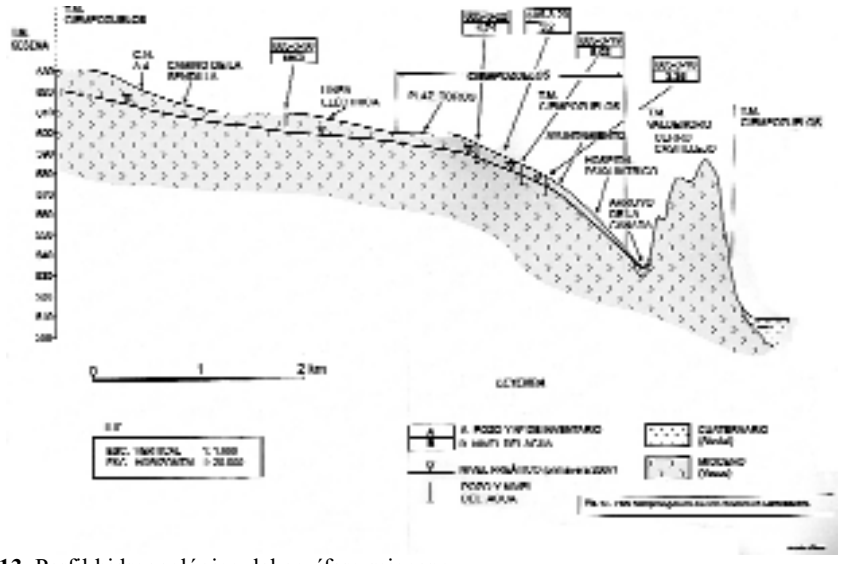

Figura 13. Perfil hidrogeológico del acuífero mioceno

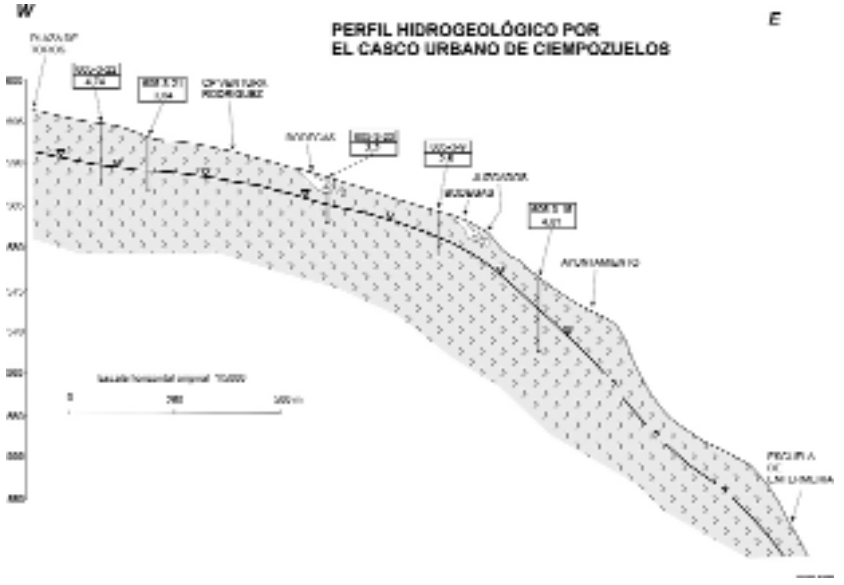

Figura 14. Perfil de detalle del acuífero mioceno en Ciempozuelos

Las principales conclusiones que se obtienen del análisis del mapa y de los mencionados perfiles son las siguientes (Figs. 12 a 14):

- Las aguas fluyen subterráneamente desde el oeste del casco urbano de Ciempozuelos hacia el este. Estos flujos subterráneos buscan la confluencia en el valle del Jarama del arroyo de La Cañada, para descargar allí sus aguas.
- El gradiente medio de la superficie freática es de 1,8%. Como se ve en el mapa, el nivel freático desciende desde unos 590 m.s.n.m. en el sector próximo a la Plaza de Toros (oeste de Ciempozuelos) a unos 565 m.s.n.m. en la zona de la Plaza Mayor (este del casco urbano).
- La velocidad a la que se mueven las aguas subterráneas no ha podido ser medida directamente. Si suponemos una permeabilidad de unos 2-10 m/día y una porosidad eficaz de 3-8% nos daría un rango de velocidades entre 0,5 y 6 m/día.

La velocidad a la que circulan las aguas subterráneas es importante conocerla en el caso de que se produzca un evento de contaminación y poder así prevenir tiempos de afección a emplazamientos que pudieren ser objetos de interés.

La recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia o a través de los materiales que lo recubren, mientras que la descarga se realiza por manantiales y por drenaje hacia los fondos de valle donde se encuentran los materiales cuaternarios. En la actualidad se pueden considerar de poca importancia las extracciones que mediante pozos se realiza en el acuífero mioceno.

6.8. ORIGEN Y FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO CUATERNARIO

El acuífero cuaternario es un acuífero libre, heterogéneo y anisótropo. Libre porque el agua se limita a ocupar libremente los huecos existentes en el esqueleto litológico de la formación acuífera. La superficie freática se encuentra sometida a la presión atmosférica. Heterogéneo porque la naturaleza litológica varía con la situación espacial donde nos emplacemos y anisótropo porque la permeabilidad (parámetro hidrogeológico que expresa la facilidad con la que se transmite el agua) varía según lo haga la dirección que elijamos. Se trata de un acuífero sencillo en su funcionamiento y de muy limitada explotación (en la zona prácticamente nula) debido a que su uso potencial (agua para uso agrícola) ha permanecido siempre en estado latente debido a que el regadío se ha realizado tradicionalmente con aguas del canal del Jarama.

El comportamiento del acuífero cuaternario tiene particularidades muy diferentes al del acuífero mioceno. Para una mayor compresión se han elaborado los perfiles de las figuras 15 y 16. La recarga se debe a varias procedencias:

- Por un lado se recarga por la lluvia (en líneas generales esta recarga suele ser próxima al 10% del valor de la precipitación).
- Recibe también recarga lateral a partir de la infiltración de los arroyos y barrancos que desembocan en la vega fluvial (Arroyo de la Cañada, Arroyo de Palomero y Barranco de Valdelachica por la margen derecha del Jarama).
- Un papel importante lo juega la infiltración inducida por los retornos de riego y por filtraciones a partir de aguas superficiales del Canal del Jarama.
- Finalmente, los yesos infrayacentes también recargan al acuífero cuaternario.

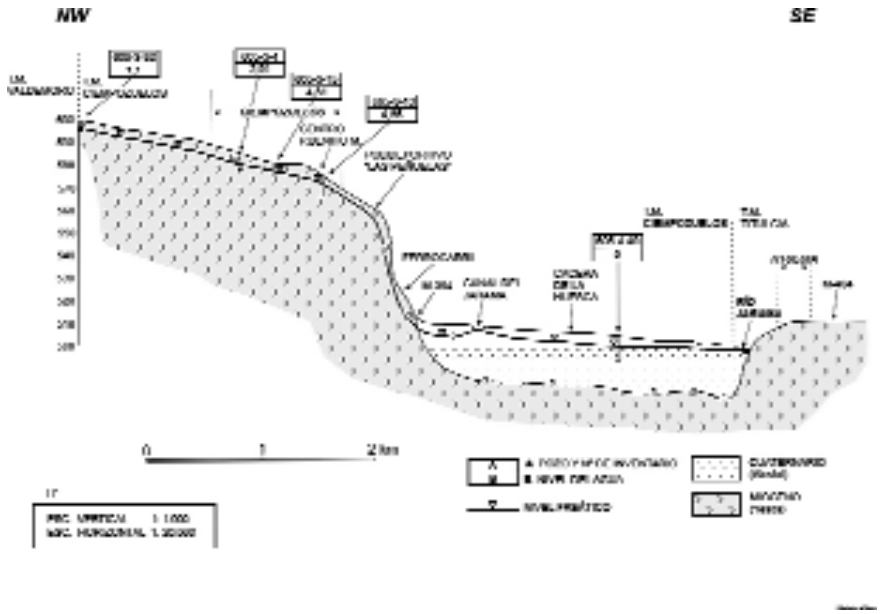

Figura 15. Perfil hidrogeológico del Mioceno y Cuaternario

En cuanto a la descarga del acuífero, en condiciones de no alteración por parte del hombre, se producía espontáneamente por escorrentía subterránea hacia el río Jarama. Los mapas de isopiezas de las tesis de López Vera (1977) y Himi (2001) muestran como los flujos originales en régimen no perturbado por las explotaciones de graveras, se dirigían del acuífero hacia el cauce del río Jarama que funcionaba como un gran colector o dren que evacuaba el agua del acuífero. Hoy día, además de esta posibilidad, se produce una descarga a partir de la evaporación y evapotranspiración en las lagunas producidas como consecuencia de las industrias extractivas de gravas. Otra parte es imputable a los bombeos que se producen en los pozos existentes si bien cuantitativamente no supone una gran cantidad, dado el escaso número de pozos que bombean desde este acuífero, según hemos podido constatar durante las labores de inventario.

Esta relación de conexión entre el acuífero y el cauce del río se conoce con el nombre de "efluencia" y todavía sigue funcionando como tal en los sectores de acuífero no afectados por las explotaciones mineras.

Estimación de la recarga

La infiltración a partir del agua de lluvia la estimamos en un 10% de la precipitación por lo tanto suponemos que es de unos 45 litros por m2 y año. La recarga a partir de los retornos de riego la estimamos de la siguiente forma: la dotación normal de regadío estimada es del orden de 9.000 m3/ha/año, los retornos que tradicionalmente se estiman son del 20% (o si se prefiere decir al revés, las plantas utilizan el 80% del total del agua aplicada al terreno). Por lo tanto la recarga anual por hectárea

debida al riego es de 1.800 m3, lo que hace una recarga de 180 litros por m2 debido al riego. En suma el cuádruplo que la recarga estimada a partir de la lluvia. Por lo tanto la recarga total estimada en el aluvial cuaternario es de unos 225 l/m2 al cabo del año hidrológico.

La evaporación sobre la lámina de agua que se genera en las lagunas formadas como consecuencia de las extracciones de áridos puede cifrarse en aproximadamente 1 m lo que hace un volumen de unos 100.000 m3/año por cada laguna de una hectárea de extensión. Debido al prácticamente nulo uso del acuífero, esta cifra la consideramos poco significativa sobre la dinámica general del acuífero y su funcionamiento.

El canal introduce una anomalía o si se quiere una paradoja en el funcionamiento del acuífero: durante la época de regadíos que coincide con los meses de menor precipitación los niveles del agua en el acuífero están más cerca de la superficie del terreno que durante el otoño o invierno.

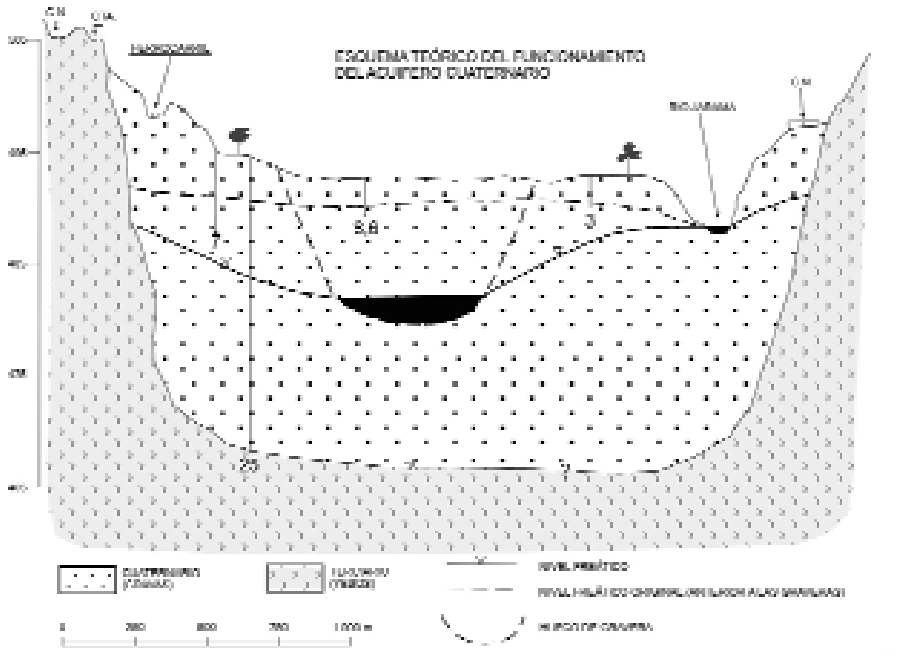

Figura 16. Perfil de detalle del acuífero cuaternario

El perfil de detalle elaborado (Fig. 16), muestra claramente el comportamiento y funcionamiento del acuífero cuaternario. Se trata de un perfil elaborado en el sector de una gravera próxima en Seseña, en donde hemos podido disponer de datos, pero que refleja con fidelidad el comportamiento del acuífero cuaternario en toda esta zona de la vega baja del Jarama. El perfil señala por un lado la recarga a partir del Canal del Jarama. Indica igualmente cómo el nivel freático original queda alterado por las industrias extractivas de gravas que modifican la dirección del flujo de las aguas subterráneas. Las lagunas generadas no son otra cosa que el afloramiento

gigantesco de las aguas subterráneas del acuífero. A partir de estas lagunas se produce una intensa evaporación directa del agua subterránea.

Finalmente el perfil muestra la situación original que suponía una relación hidráulica de las denominadas de efluencia. Es decir el agua subterránea del acuífero cuaternario se dirigía al cauce fluvial alimentando así la escorrentía del río. En la tesis de Himi (2001) se muestra este hecho.

6.9. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOQUÍMICAS Y CALIDAD DEL AGUA

Datos de partida

Con objeto de conocer las características hidrogeoquímicas de los acuíferos así como su calidad o adecuación a distintos usos se ha procedido a:

- Toma de 35 muestras para el posterior análisis en laboratorio de sus componentes mayoritarios. Estos análisis se han efectuado en el Centro de Apoyo a la Investigación de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Simultáneamente se han tomado 13 muestras en envases inertes y previamente esterilizados para analizar el contenido microbiológico (tabla 2). La analítica se ha efectuado en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Biología de la UCM, a cargo del Prof. Dr. Fernando de Castro.
- Finalmente se han tomado una serie de parámetros inestables y que por lo tanto se han medido "*in situ*" en 36 captaciones. Se trata de la temperatura, pH, conductividad y alcalinidad.

6.10. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Características hidroquímicas de las aguas:

Las figuras 17 y 18 muestran el diagrama de Piper-Hill-Langelier, elaborado a partir de las expresiones de concentraciones en forma de miliequivalentes. La facies hidrogeoquímica dominante es, como era de esperar, claramente sulfatada cálcica, como reflejo inequívoco de la presencia de yesos en ambos tipos de acuíferos. Por lo tanto este diagrama refleja con rotundidad la impronta que comporta el medio geológico sobre la calidad natural de las aguas subterráneas de los dos acuíferos (mioceno y cuaternario).

Parámetros físico-químicos inestables:

La **conductividad** es un reflejo del contenido total en sales disueltas. Básicamente 1mS/cm de conductividad equivale a 1 mg/L. Del inventario se deduce que la conductividad media del acuífero mioceno es muy alta, del orden de 2280 mS/cm lo que supone unos 2,2 g/L de sólidos disueltos. Para el acuífero cuaternario, según la analítica de cuatro muestras, es del orden de 1700 mS/cm. La normativa de la Unión Europea, aplicada en España a través del Real Decreto 140/2003 (RD, 2003) recomienda (no lo establece como obligatorio) un límite de potabilidad en los 2500 mS/cm, por lo que a los solos efectos de este parámetro estaríamos dentro del limite de la potabilidad. Los más de 500 mS/cm que separan las aguas del

acuífero mioceno del cuaternario se deben claramente a la presencia de los yesos. Para que sirva de referencia se hace constar que las aguas del Terciario Detrítico de Madrid presentan una conductividad en la parte somera del acuífero de tan solo unos 300 mS/cm.

La **temperatura** media de las aguas subterráneas someras –como es el caso de ambos acuíferos- suele ser ligeramente superior a la temperatura media del lugar. Por consiguiente los valores medios 16,3 ºC para el acuífero mioceno y de 17,8 ºC para el acuífero cuaternario son coherentes con los valores esperados. Además estos valores suelen ser bastante constantes a lo largo del año: de ahí la engañosa apariencia de que las aguas subterráneas en verano son frescas y templadas en invierno.

El **pH** de las aguas subterráneas está comprendido usualmente entre 5,5 y 7,5. En este sentido los valores 7,16 y 6,93 respectivamente para los acuíferos mioceno y cuaternario denotan valores dentro de lo esperado (el límite de potabilidad para el pH queda establecido entre 6,5 y 9,5).

La **alcalinidad** de las aguas viene condicionada por la presencia de bicarbonatos y no debe ser confundido con la acidez o basicidad vinculado al pH. Los valores medios de alcalinidad 240 ppm (expresada como ppm de CaCO3) presentes en las aguas subterráneas de Ciempozuelos son los normales en estos tipos de acuífero.

Nº inventario	Coliformes	Estreptococos fecales	Clostridium perfringens
21	incont.	9,00	12,00
22	incont.	neg	neg
23	incont.	1,00	1,00
24	incont.	neg	neg
25	incont.	neg	2,00
28	incont.	neg	neg
33	incont.	10,00	neg
35	incont.	neg	neg
36	incont.	neg	neg
37FM	incont.	4,00	4,00
38	incont.	neg	3,00
39	incont.	neg	neg
45	incont.	neg	neg
			incont. = incontables
			neg = negativo
			Los valores son en 100 ml de agua
			Se ha utilizado la técnica de filtración

Tabla 2. Análisis microbiológico de algunas de las muestras donde se observa que la contaminación fecal afecta a la totalidad de ellas

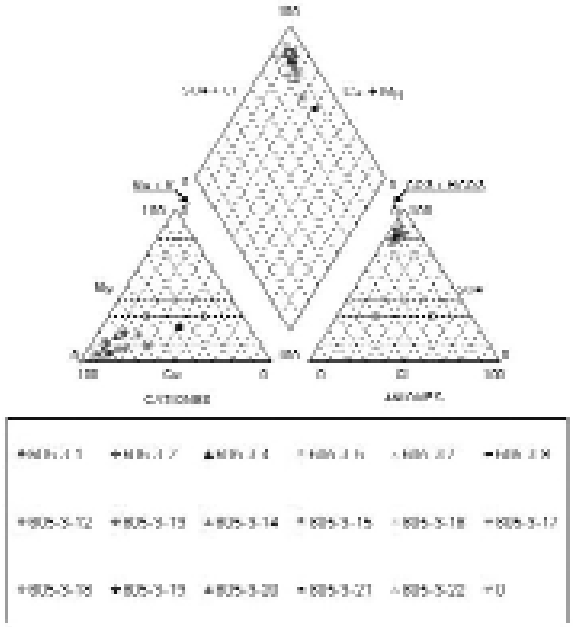

Fig. 17.- Diagrama de Piper para las 17 primeras muestras. El predominio químico es claramente de aguas sulfatadas cálcicas.

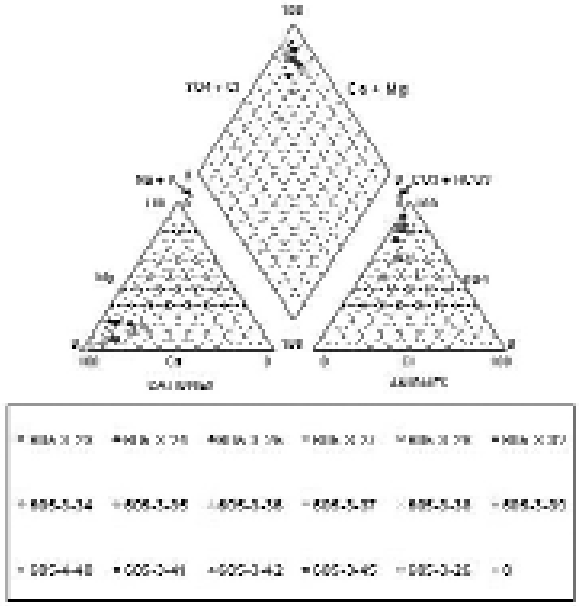

Fig. 18.- Diagrama de Piper para las 17 muestras siguientes. El predominio químico es, de nuevo, de aguas sulfatadas cálcicas.

6.11. CONTENIDO BACTERIOLÓGICO

Se han tomado 13 muestras en envases inertes y previamente esterilizados para analizar el contenido microbiológico, en diversos puntos del casco urbano, así como en el área recreativa de El Abrevadero. La tabla 2 muestra los pozos inventariados y los resultados obtenidos. La analítica como queda dicho se ha efectuado en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Biología de la UCM.

Los resultados indican que todas las muestras presentan contaminación microbiológica. La norma del RD (2003), precisa que todos los parámetros indicadores (coliformes, enterococos y *Clostridium perfringens*) deben valer "cero", sin embargo la tabla muestra que todos los puntos analizados están afectados. Esto es lo esperado debido al descuido y abandono de muchas de las captaciones y a las fugas, cuando no vertidos directos, de aguas residuales. Durante las labores de inventario pudimos constatar que ningún usuario está utilizando las aguas de sus pozos para abastecimiento doméstico.

6.12. CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS

Calidad para abastecimiento doméstico.

La normativa actualmente vigente es la contemplada en el Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE nº 45 de 21 de febrero de 2003). En esta normativa se establece que un agua potable no debe rebasar los valores paramétricos que se recogen en los apartados A, B y D del Anexo I de dicho R.D.

- El apartado A del anexo I de dicho RD, establece los parámetros microbiológicos que deben todos ellos tener cero UFC en 100 ml tanto de *Escherichia coli*, como de *enterococos y Clostridium perfringens* (incluidas las esporas). Las trece muestras microbiológicas analizadas superan ese límite y por lo tanto son aguas no aptas para el consumo (Art. 17, 4 RD 140).
- En el apartado B del Real Decreto 140/2003 se contemplan diversas especies químicas entre ellas el **nitrato** (limite de 50 mg/L). Tan solo 8 de las 45 muestras están por debajo de ese límite dándose casos de más de 150 mg/L como ocurre con las muestras 605-3-2 y 605-3-35.
- En cuanto a los valores paramétricos que aparecen en el apartado C del Anexo 1, el Art. 27, 7 establece que "*en el caso de incumplimiento de parámetros del anexo I parte C, la autoridad sanitaria valorará la calificación del agua como apta o no apta para el consumo humano en función del riesgo para la salud".*
- Los **cloruros** se encuentran claramente por debajo del límite de 250 mg/L de la norma.
- En cuanto a la **conductividad**, 13 de las 45 muestras analizadas rebasan el limite establecido, y otras 12 no lo alcanzan por diferencias del entorno del 1%. En definitiva son aguas dotadas de alta conductividad indicadora de un alto contenido en sólidos disueltos.
- Dos muestras (65-3-15 y 605-3-16) rebasan los 250 mg/L establecidos como convenientes para el **sodio**.

- Por lo que respecta al contenido en **sulfato** todas las muestras sextuplican como mínimo el límite de 250 mg/L establecido por la norma.

Tal como se ha dicho previamente ninguno de los dos acuíferos (el mioceno y el cuaternario) reúnen las condiciones adecuadas para servir como abastecimiento en agua doméstica. En ambos casos, entre otros parámetros, debido a la presencia de altos contenidos en sulfatos como consecuencia de la presencia de yesos y por lo tanto en "salinidad". La presencia de contenido microbiológico la atribuimos en el caso del acuífero mioceno a vertidos de aguas residuales y lixiviados del casco urbano y en el caso del cuaternario a abonos debido a prácticas agrícolas, amén de la infiltración de las aguas del Canal del Jarama que vienen contaminadas. Ambos acuíferos pueden servir no obstante para riegos y usos ornamentales.

En la tesis doctoral de Himi (2001) que versaba sobre la hidrología y contaminación acuática en el Parque Regional del Sureste de la CM, se llegaba a la conclusión de que el 40% de las muestras analizadas para el acuífero aluvial cuaternario presentaban un contenido superior a los 50 mg/L establecidos por la legislación para el nitrato. Concluye Himi afirmando que "*las aguas del acuífero aluvial del Parque Regional del Sureste no son aptas para el consumo humano*".

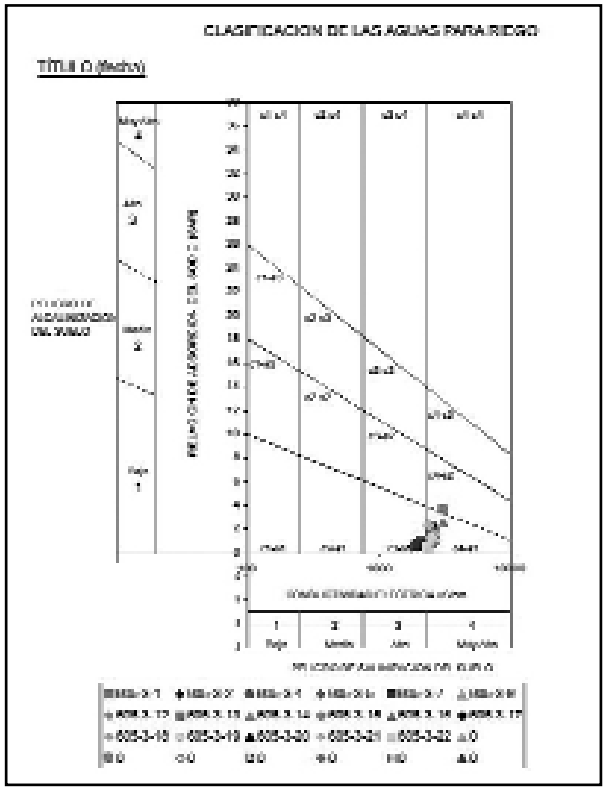

Fig. 19.- Diagrama S.A.R. de calidad de aguas para regadío para las 14 primeras muestras. Nótese que, aunque el riesgo de alcalinización es bajo, el de salinización es alto.

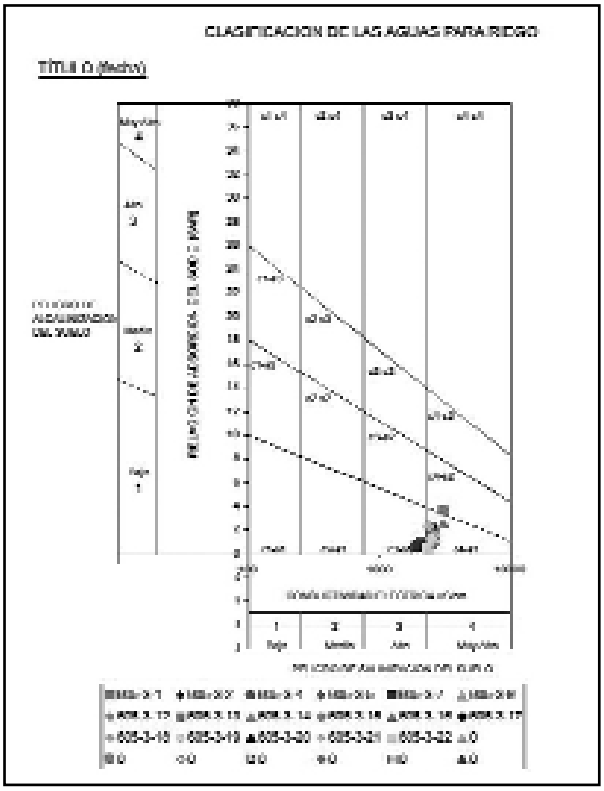

Fig. 20.- Diagrama S.A.R. para las 14 muestras siguientes. Las características de cara al regadío no varían con respecto a las anteriores.

Calidad para aplicación en regadío.

El índice más frecuentemente utilizado para conocer las posibilidades teóricas que ofrecen las aguas de cara a su uso en agricultura es el índice SAR establecido por el US Salinty Laboratory Staff (Custodio y Llamas, 1983, pág 1891). Según este índice las aguas de Ciempozuelos entran dentro del área denominada C3-S1 y C4-S1 (figuras 19 y 20) lo cual indica que es un agua muy baja en sodio y por lo tanto bajo peligro de alcalinización del suelo, pero por el contrario la alta conductividad eléctrica les confiere un alto-muy alto peligro de salinización. Se requieren suelos agrícolas con buen drenaje como ocurre en la vega fluvial y selección de cosechas tolerantes a las sales. El índice norteamericano concluye diciendo que no son aptas para el regadío. Esto debe entenderse a escala regional en donde se puede optar por instalar regadíos en zonas apropiadas.

7. FOCOS DE CONTAMINACIÓN

7.1. ACUÍFERO MIOCENO

El principal foco de contaminación lo produce el propio asentamiento urbano de Ciempozuelos y su población. Las aguas subterráneas reciben vertidos a partir de las aguas residuales, baldeo de calles, vertidos no autorizados, etc. Igualmente los talleres, gasolineras, y establecimientos similares constituyen focos puntuales de contaminación.

Hay que recordar que aun en ausencia de contaminación, la calidad natural de las aguas de Ciempozuelos no son las más adecuadas para abastecimiento.

Es muy importante destacar que durante las labores de inventario se encontraron pozos que estaban contaminados por presencia de hidrocarburos flotando sobre la capa freática. El origen de esta contaminación lo desconocemos con exactitud pero probablemente sea debido a vertidos bien accidentales, bien voluntarios, de aceites y derivados del petróleo. Sería muy conveniente proceder a un estudio de detalle del origen y comportamiento de esta contaminación.

7.2. ACUÍFERO CUATERNARIO

Originalmente era el mejor acuífero que disponía Ciempozuelos por espesor y por la naturaleza litológica y por su vinculación al río Jarama. Pero todo eso se refiere a los condiciones prístinas de hace uno o dos siglos y no a la actualidad. Los principales focos de contaminación antrópica lo constituyen el riego con aguas residuales que es lo que aporta el canal del Jarama. El uso de pesticidas, abonos y plaguicidas en las labores agrícolas es otra fuente importante de contaminación. La calidad natural de las aguas del acuífero cuaternario con ser notablemente mejores que las del mioceno, también reflejan la presencia cercana de los yesos por lo que resultan aguas con alto contenido en sólidos disueltos. Finalmente cabe señalar que las industrias extractivas de gravas, al hacer aflorar las aguas subterráneas las exponen a un claro riesgo por contaminación directa a partir de vertidos incontrolados.

8. ASPECTOS LEGALES RELACIONADOS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Según la ley de Aguas de 1985, la competencia sobre las aguas subterráneas es de la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT). Aquellos usuarios de aguas subterráneas que dispongan de captaciones que extraigan menos de 7.000 m3/año (Art. 54.4 del texto refundido de la Ley de Aguas) pueden disponer de dicho volumen sin necesidad de solicitar una concesión administrativa, únicamente vienen obligados a declarar tal situación. Para volúmenes mayores es necesario solicitar la correspondiente concesión. La administración está obligada a dar una respuesta motivada a tal solicitud. En el caso de Ciempozuelos tal concesión, en caso de ser solicitada, se nos antoja muy viable tanto para el acuífero mioceno como para el cuaternario.

En el caso de los pozos del acuífero alojado en el casco urbano puede surgir el problema de afección entre captaciones. En numerosos casos están dentro del perí-

metro de 100 m que marca la ley y en este caso hay que demostrar la no afección a captaciones preexistentes que estén legalizadas previamente en la Confederación.

La mayor parte de los pozos del casco urbano de Ciempozuelos no están registrados en la CHT. Los pozos legalizados correctamente cuentan con la defensa de la propia Administración ante posibles afecciones tal como se recoge en la ley de Aguas. Tanto los pozos con concesión como los legales de volumen inferior a 7.000 m3/año pueden utilizarse sin necesidad de satisfacer ningún tipo de canon o impuesto.

9. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

En Ciempozuelos se encuentran dos tipos de acuíferos distintos. En el casco urbano se encuentra el acuífero instalado en los yesos y margas del Terciario (Mioceno). Las minas de agua y galerías se han excavado en estos terrenos. El otro acuífero se refiere al acuífero detrítico del aluvial del Jarama. En el pasado se explotaron ampliamente para abastecimiento y usos agrícolas ambos acuíferos. En la actualidad se les dedica un uso muy marginal.

Ambos acuíferos se comportan de forma aislada y apenas existen relación entre ellos salvo la descarga difusa del acuífero mioceno en el cuaternario.

El estudio llevado a cabo ha distinguido las "minas" por un lado y las bodegas, cuevas y cavernas por otro. En el primer caso se trata de infraestructuras relacionadas con la captación de las aguas subterráneas y en el segundo se trata de ampliación de sótanos por medio de galerías, estancias y cavernas subterráneas para permitir el almacén de vinos y enseres. Las bodegas y cuevas se encuentran topográficamente a un nivel superior que las "minas".

La calidad química natural de sus aguas los hace inservibles para abastecimiento en agua de consumo humano a tenor de la normativa vigente. Se ha detectado contaminación por hidrocarburos en varios pozos de la zona central del casco urbano de Ciempozuelos. Se recomienda emprender un estudio para conocer en profundidad este episodio de contaminación. Por otro lado la calidad microbiológica no es la adecuada para su uso doméstico.

Ciempozuelos siempre ha estado vinculado a las aguas subterráneas y el propio nombre de Ciempozuelos obedece a las captaciones en búsqueda de ellas. Este rico patrimonio hidráulico se ha visto en buena parte abandonado a medida que el abastecimiento en agua de la población se ha ido buscando fuera de los límites del término hasta llegar al actual abastecimiento a partir de aguas suministradas por el Canal de Isabel II. Unido a este hecho se produce el práctico abandono de las labores agrícolas y consiguiente abandono igualmente de las norias y captaciones de que se servían. Realmente el uso que tienen las aguas subterráneas en la actualidad es meramente testimonial e histórico, si bien podría pensarse en el uso de las mismas para jardines, fuentes en rotondas, baldeos de calles, etc. Se desaconseja su uso para abastecimiento doméstico.

En Ciempozuelos concurre el hecho notable y singular de la existencia de una nutrida red subterránea de cavidades, galerías y bodegas junto con la existencia de

captaciones (pozos) y galerías (minas) para captación de aguas. El conjunto constituye un rico patrimonio "oculto", por ser subterráneo.

Las aguas subterráneas y sus captaciones –aljibes, pozos excavados con o sin galerías, norias, manantiales– también deben ser conocidos y puestos en valor, al igual de lo que se pretende hacer con las antiguas bodegas. Se recomienda resguardar este rico patrimonio por ser un caso -si no excepcional- sí singular de la historia hidráulica de los abastecimientos a las poblaciones.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALVO, J. P.; ORDÓÑEZ, S.; GARCÍA DEL CURA, M. A.; HOYOS, M.; ALONSO-ZARZA, A.M.; SANZ, E.; RODRÍGUEZ-ARANDA, J. P. (1989). Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. Acta Geológica Hispánica, V. 24, nº 3-4, pp. 281-298.

GALVÁN, J. (1959). *Minerales esteparios*. Tesis doctoral. 251 pp.

GARCÍA DEL CURA (1979). *Las sales sódicas, calcosódicas y magnésicas de la Cuenca del Tajo*. Fundación Juan March–Serie Universitaria, Vol. 109, 39 pp.

HERNÁNDEZ-PACHECO, E.; HERNÁNDEZ-PACHECO, F. (1926). *Aranjuez y el territorio al sur de Madrid*. XIV Congreso Internacional de Geología. Guía de excursión B-3, 101 pp.

HIMI, Y. (2001). *Hidrología y contaminación acuática en el Parque Regional del Sureste de la Comunidad Autónoma de Madrid*. Tesis Doctoral. Dpto. Geodinámica. Fac., CC. Geológicas. UCM. 304 pp. (inédita).

ITGE (1991) "Mapa hidrogeológico de España. Escala 1/200.000 "Hoja 45 Madrid memoria de 30 pp +plano Ed Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

JUNCO, F.; CALVO, J. P. (1983). *Cuenca de Madrid*. Libro Jubilar J. M. Ríos. Instituto Geológico Minero de España. Vol. 2, pp: 534-543.

LÓPEZ VERA, C. F. (1977) Hidrogeología regional de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid memorias del IGME nº 91 226 pp + planos

LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.; AGUSTÍ, J.; CABRERA, L.; CALVO, J. P.; CIVIS, J.; CORROCHANO, A.; DAAMS, R.; DÍAZ, M.; ELIZAGA, E.; HOYOS, M.; MARTÍNEZ, J., MORALES, J.; PORTERO, M.; ROBLES, F.; SANTISTEBAN, C.; TORRES, T. (1987). *Approach to the Spanish continental neogene. Synthesis and palaeoclimatic interpretation*. Ann. Inst. Geol. Publ. Hungarici, 70, pp. 383-391.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, R (1983). "Hidrología subterránea" Dos tomos 2347 pp. Ed. Omega, Barcelona.

MEGÍAS, A .G.; ORDÓÑEZ, S.; CALVO, J. P.; (1983). *Nuevas aportaciones al conocimiento geológico de la Cuenca de Madrid*. Revista de Materiales y Procesos Geológicos, 1, pp: 163-193.

MELÉNDEZ HEVIA, I., *Geología de España, una historia de seiscientos millones de años*. Ed. Rueda. Madrid. 277 pp.

NÚÑEZ HERRERO, M. y MURILLO FRAGERO, J. I., 2004: *Estudio y catalogación del antiguo sistema de abastecimiento hidráulico de Ciempozuelos (Madrid). Origen y transformación delas minas o galerías subterráneas. Fase I*.

Memoria inédita depositada en la Concejalía de Cultura del Ilustrísimo Ayuntamiento de Ciempozuelos.

NÚÑEZ HERRERO, M., 2005: *Estudio y catalogación del antiguo sistema de abastecimiento hidráulico de Ciempozuelos (Madrid). Origen y transformación de las minas o galerías subterráneas. Fase II* (2005). Memoria inédita depositada en la Concejalía de Cultura del Ilustrísimo Ayuntamiento de Ciempozuelos.

NÚÑEZ HERRERO, M., 2006: *Estudio y catalogación del antiguo sistema de abastecimiento hidráulico de Ciempozuelos (Madrid). Origen y transformación de las minas o galerías subterráneas. Fase III* (2006). Memoria inédita depositada en la Concejalía de Cultura del Ilustrísimo Ayuntamiento de Ciempozuelos. Investigaciones Arqueológicas S.L.

ORTÍ, F.; PUEYO, J. J.; SAN MIGUEL, A. (1979). *Petrogénesis del yacimiento de sales sódicas de Villarrubia de Santiago*, Toledo (*Terciario continental de la Cuenca del Tajo*). Boletín Geológico y Minero. XC-IV, pp: 347-373.

PELÁEZ, J. R.; PÉREZ- GONZÁ LEZ, A.; VILAS, L. Y ÁGUEDA, J. A. (1971) "Características hidrogeológicas del cuaternario del río Jarama" I CHILAGE E-3-50 pp 513-526 Sec 3-TII Madrid.

PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1982). *Neógeno y Cuaternario de la Llanura Manchega y sus relaciones con la Cuenca del Tajo*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 787 pp.

REAL DECRETO (2003) Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por los que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de agua de consumo humano BOE 21 febrero de 2003 pp 7228-7245.

REBOLLO FERREIRO, L. F. (1973) Estudio hidrogeológico del cuaternario de la cuenca del río Jarama. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas Universidad Complutense (inédita).

RODRÍGUEZ-ARANDA, J. P.; CALVO, J. P. (1997). *Desarrollo de Paleokarstificación en facies yesíferas del Mioceno de la Cuenca de Madrid. Implicaciones en el análisis evolutivo de sucesiones lacustres evaporíticas*. Boletín Geológico y Minero, Vol. 108-4, pp: 377-392.

ROQUERO, E.; SILVA, P. G.; BARDAJÍ, T. (1996). *Evolución Goemorfológica de los Valles del Sector Centro-Meridional de la Cuenca de Madrid*. Itinerarios Geológicos desde Alcalá. pp: 99-119.

SENDEROS, A.; MEDINA, J.; TOVAR, A. (1999). *The Geological Heritage of the Southeast of the Community of Madrid. A pedagogic Resource*. Towards the balanced management and conservation of the Geological Heritage in the new millenium (Eds. D. Barettino, M. Vallejo & E. Gallego. pp: 339-342.

SILVA, P. G.; GOY, J. L.; ZAZO, C. (1988), *Neotectónica del Sector Centro-Meridional de la Cuenca de Madrid*. Estudios Geológicos, 44, pp: 415-427.

SIMÓN, A. y NÚÑEZ HERRERO, M., 2006: *Trascripción de la documentación del Fondo Antiguo del Archivo Municipal de Ciempozuelos. Fase I (2006)*. Memoria inédita depositada en la Concejalía de Cultura del Ilustrísimo Ayuntamiento de Ciempozuelos.

VILLARROYA, F.; SENDEROS, A.; ALCÁZAR, Mª. (2007). *Estudio hidrogeológico de Ciempozuelos y de sus minas de agua*. Universidad Complutense de Madrid-Ayuntamiento de Ciempozuelos. Estudio inédito 53 pp + tres anexos