

HIDROGEOLOGÍA REGIONAL DE LA DEPRESIÓN DEL CAMPO ARAÑUELO *

R. VICENTE LAPUENTE **

RESUMEN

En este trabajo se resumen las principales características del Campo Arañuelo desde el punto de vista hidrogeológico e hidrogeoquímico. Así, se analiza la distribución espacial del potencial hidráulico y se dan valores de distintos parámetros hidráulicos. Se estudian las características físico-químicas de las aguas subterráneas mediante diversos índices y relaciones iónicas, observando la evolución química del agua por sectores. Por otra parte, se establece el estado de saturación global de las aguas subterráneas y se realiza un tratamiento estadístico tanto de los datos físico-químicos como de los índices de saturación de distintas especies minerales, estudiando la distribución espacial de los distintos factores obtenidos mediante superficies de tendencias. Finalmente, se analizan las características de cuatro muestras salobres relacionadas con el zócalo de la depresión y se propone un modelo hidrogeoquímico global para el agua subterránea del Campo Arañuelo.

PALABRAS CLAVE

Hidrogeología. Parámetros hidráulicos. Hidrogeoquímica. Aguas salobres.

ABSTRACT

The principal characteristics of Campo Arañuelo from a hydrogeological and hydrogeochemical point of view are summarized in this paper. Thus, spatial distribution of hydraulic potential is analyzed and values of several hydraulic parameters are provided. The physical-chemical characteristics of groundwater are studied through several indices and ionic ratios, giving the chemical evolution of water by sectors. On the other hand, the global state of saturation of the groundwater is found and a statistical treatment of physical-chemical data and the indices of saturation of several minerals is given. The spatial distribution of different factors is shown, based on trend surface analysis. Finally, the characteristics are analyzed of four brackish samples related with the basement and one hydrogeochemical global model is proposed for the groundwater of Campo Arañuelo.

KEY WORDS

Hydrogeology. Hydraulic parameters. Hydrogeochemistry. Brackish waters.

* Resumen de la Tesis Doctoral «Hidrogeología Regional de la depresión del Campo Arañuelo», realizada bajo la dirección del Dr. A. Sastre Merlín, presentada en la Universidad de Alcalá de Henares en julio de 1986.

** Departamento de Geología. Universidad de Alcalá.

SITUACIÓN Y LÍMITE

El Campo Arañuelo es una comarca natural situada en el extremo noroccidental de la provincia de Toledo y el nororiental de la de Cáceres (fig. 1). Constituye el límite occidental de la Fosa del Tajo, estando limitada por los ríos Tiétar y Guadyerbas y las estribaciones del Sistema Central, al Norte; y por el río Tajo y los Montes de Toledo, al Sur. El límite occidental queda configurado por la confluencia de los ríos Tajo y Tiétar, que coincide con el entronque natural del Sistema Central y los Montes de Toledo. Por el Este, el límite lo constituye el «estrecho» que el zócalo forma al aproximarse el lomo granítico de Velada, por el Norte, y el afloramiento de Oropesa por el Sur. Próxima al Campo Arañuelo por su lado oriental se encuentra la Cuenca de Madrid, quedando entre ambas regiones un área que no pertenece a la comarca de estudio y que nunca ha sido incluida en los trabajos sobre la Cuenca de Madrid, ya que el límite occidental de esta Cuenca se ha situado tradicionalmente en las inmediaciones de la confluencia Alberche-Tajo. Esta zona intermedia tiene características geológicas e hidrogeológicas que la diferencian del Campo Arañuelo, sin embargo, se ha incluido en este estudio a fin de dar continuidad lateral a los trabajos realizados en la mencionada Cuenca. Por ello, el límite oriental de la región aquí considerada queda configurado por el río Tajo a su paso por Talavera de la Reina, al oeste de la confluencia Alberche-Tajo. En adelante, por extensión, se denominará Campo Arañuelo a todo el territorio que abarca este estudio.

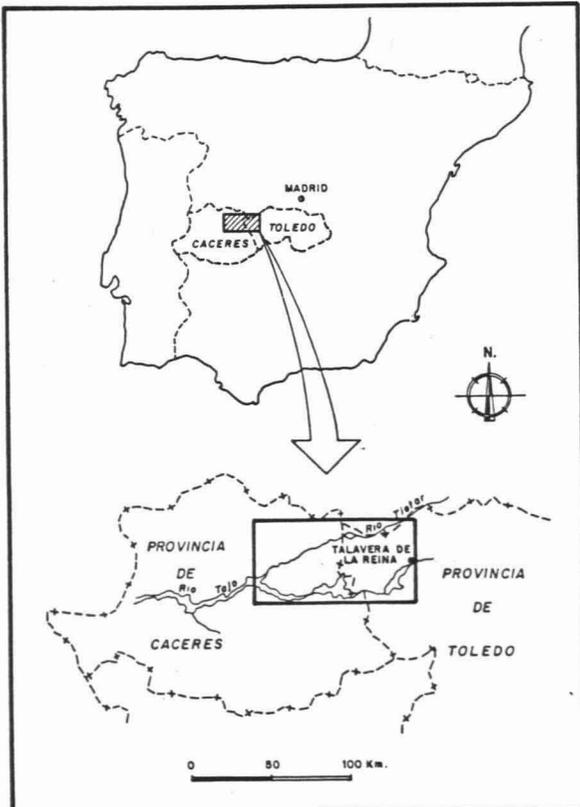


Fig. 1 Situación del Campo Arañuelo.
Geographic position of Campo Arañuelo.

ANTECEDENTES

El número de trabajos sobre el Campo Arañuelo es bastante reducido, ya que, si bien forma parte de la Fosa del Tajo, su disposición a modo de apéndice anexionado al extremo occidental de la Cuenca de Madrid ha condicionado que generalmente se le excluyese de los estudios regionales que se han ido realizando sobre el conjunto de dicha Cuenca.

Entre los primeros trabajos, y uno de los más interesantes sobre el Campo Arañuelo, se encuentra el de F. HERNANDEZ-PACHECO (1950), en el que se establece la evolución geomorfológica de esta comarca y del Valle del Tiétar, así como de la región de la Vera y del Macizo de Gredos, sus límites por el Norte. También de gran interés es la Tesis Doctoral de J. CORCHON GARCIA (1963), que estudia la geografía del Campo Arañuelo exponiendo tanto sus aspectos fisiográficos como humanos. Ya en tiempos más recientes, L. MUÑOZ MILLANES (1979) realiza un estudio dinámico y litológico de la depresión y la J.E.N. (1980) lleva a cabo un informe sobre los materiales sedimentarios de la cuenca del Tiétar desde el punto de vista de la prospección de uranio, aportando, entre otros, la cartografía geológica a escala 1:50.000 de buena parte de la depresión del Campo Arañuelo, un mapa de áreas isopacas y un estudio sedimentológico de la cuenca.

Respecto a los antecedentes hidrogeológicos, cabe citar a M. ALVAREZ ARAVACA (1909), que describe los pozos y manantiales del sector oriental de la zona. En este trabajo se referencia el manantial de agua salobre «El Salmuero», de interés relevante en este estudio. Por otra parte, el S.G.O.P. realiza dos informes [S.G.O.P. (1976) y S.G.O.P. (1980)] en los que se estudian las características hidrogeológicas de los sectores suroccidental y oriental de la depresión, respectivamente, estimando la posibilidad de abastecimiento de agua a partir del acuífero constituido por los materiales sedimentarios. Ya en 1981, el I.G.M.E. realiza un informe que abarca la práctica totalidad del Campo Arañuelo. En él se describen, de una manera general, las características hidrogeológicas de los acuíferos de los materiales cuaternarios y terciarios, y se elaboran datos climatológicos, hidrológicos y de aprovechamiento del agua.

CARACTERÍSTICAS DEL SUSTRATO

La fosa tectónica del Campo Arañuelo que limitan los horst de la Sierra de Gredos y los Montes de Toledo, fue colmatada por materiales detríticos depositados en régimen de abanicos aluviales, durante la etapa arcósica [PEDRAZA (1978)].

La casi totalidad del Campo Arañuelo y especialmente su parte central, se comporta como una única unidad frente al régimen de las aguas subterráneas. Esta unidad presenta un alto contenido en arcillas, según se deduce de las descripciones litológicas de 66 sondeos y 12 pozos perforados. El análisis estadístico realizado en base a dichas columnas muestra que la permeabilidad vertical de las arcosas es uniforme en la práctica totalidad de la región. No obs-

tante, en el sector suroriental, precisamente en el área que une el Campo Arañuelo s.s. con la Cuenca de Madrid existen evidencias de dos posibles unidades litológicas de características hidráulicas distintas, siendo la superior de mayor contenido arenoso y la inferior, más arcillosa, de características similares a las del resto de la depresión. Sin embargo, no existen suficientes datos para confirmar esta hipótesis.

La superficie actual de la depresión es de poco más de 2.000 km². Su forma, tanto en planta como en vertical, es muy irregular. El fondo de la fosa está formado por una serie de umbrales y cubetas de distinta profundidad con mayor subsidencia hacia el norte, lo que es congruente con lo observado en la contigua Cuenca de Madrid. El espesor máximo, actual, de sedimentos no sobrepasa los 650 m. Los aportes de material se realizaron desde Gredos, excepto para el sector suroriental, donde parece que también tuvieron importancia los aportes procedentes de los Montes de Toledo. Los sedimentos se depositaron fundamentalmente por medio de flujos de barro, lo que unido al alto contenido en lutita que presentan los detritos procedentes de Gredos, hace pensar que los materiales tendrán una permeabilidad muy baja. En el sector correspondiente al extremo suroriental, donde una fracción importante de los aportes probablemente proceda de los Montes de Toledo, el contenido en lutita es menor, y por tanto, seguramente presentarán una mayor permeabilidad.

La depresión probablemente se formó durante el Oligoceno, continuando la sedimentación hasta el Plioceno, época en que tendrían lugar los últimos reajustes de bloques que marcaron el inicio de la etapa postarcósica [PEDRAZA (1978)].

CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

A partir de las precipitaciones medias de las trece estaciones pluviométricas existentes en el área de estudio, se ha evaluado la cantidad de agua precipitada sobre el Campo Arañuelo utilizando el método de las isoyetas y el de los polígonos de Thiessen. El volumen de agua obtenido por ambos métodos es muy similar, resultando una precipitación media anual de 1.524 Hm³, lo que supone una precipitación media anual de 762 mm.

La evapotranspiración potencial calculada según el método de Thornwaite oscila entre 805 y 942 mm. anuales [ELIAS CASTILLO y RUIZ BELTRAN (1977 y 1981)] para las cinco estaciones termopluviométricas existentes en la zona, siendo la evapotranspiración potencial anual de 858 mm.

Para el cálculo de la evapotranspiración real se ha considerado que la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos de la región que nos ocupa, oscila entre 25 y 100 mm. Según los cálculos realizados, el volumen de agua que se evapotranspira en la zona estudiada varía entre 369 y 451 mm., según que la reserva de agua sea de 25 ó 100 mm., respec-

tivamente, siendo la evapotranspiración real de 410 mm., lo que supone el 54 por 100 de la precipitación.

HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El Campo Arañuelo se encuentra comprendido entre los ríos Tajo —el principal de los que discurren por la zona—, su afluente el Tiétar —el de mayor relevancia— y el Guadyerbas afluente del Tiétar y también límite norte de la región de estudio.

La red hidrográfica mejor definida es la que corresponde a la superficie del Campo Arañuelo, vertiente al Tiétar. El basculamiento de la depresión hacia el NO ha condicionado que los talweg se dispongan según la dirección SE-NO, adoptando la divisoria hidrográfica Tajo-Tiétar una posición notablemente asimétrica por su marcada aproximación al primero de los ríos. Por ello, los arroyos que drenan el Campo Arañuelo hacia el Tajo realizan un corto recorrido y adquieren un exiguo caudal, mientras que los que se dirigen hacia el Tiétar —Alcañizo, Parrilla, Fresnedosa y Santa María— alcanzan un mayor significado hidrológico.

El cálculo de la escorrentía en esta comarca se hace prolijo debido a la presencia de embalses (Azután, Valdecañas y Torrejón I, en el Tajo; Rosarito y Torrejón II en el Tiétar, y Navalcán en el Guadyerbas) y canales de regadío (Canal del Rosarito y extremo final del Canal Bajo del Alberche), que apartan el régimen de los ríos de sus características naturales, por lo que únicamente se estimarán unas cifras generales a título indicativo.

Para establecer la escorrentía total de la zona se han considerado los cálculos teóricos realizados para determinar la evapotranspiración real, calculando el exceso de agua o escorrentía como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real. La escorrentía anual media, basada en los datos de evapotranspiración real, varía de 357 a 275 mm., según que la reserva de agua sea de 25 ó 100 mm., respectivamente, lo que supone una escorrentía media del 41 por 100 de la precipitación.

Por lo que respecta a la escorrentía subterránea, y puesto que no puede separarse la escorrentía superficial del flujo base, debido a la importante extracción de agua que tiene lugar en los embalses existentes y a la aportación artificial de los canales de regadío, se han considerado los valores de escorrentía subterránea de la Cuenca de Madrid, ya que se trata de un acuífero de características relativamente similares al estudiado. Dicho valor, que se estima en un 10 por 100 de la precipitación [L. REBOLLO (1977)], permite realizar una aproximación a dicho parámetro.

Así, si la precipitación en la región estudiada es de 1.524 Hm³ al año, la escorrentía subterránea será del orden de 152 Hm³, lo que equivale a 76 mm./año, cifra que, dadas las condiciones de permeabilidad de la zona, posiblemente expresa un cierto exceso sobre la realidad. De estos 152 Hm³, 109 se supone vierten a la cuenca del Tiétar y 43 a la del Tajo.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL POTENCIAL HIDRÁULICO

La tendencia que el flujo subterráneo sigue en el Campo Arañuelo se ha estudiado a partir del mapa del límite superior de la zona saturada. Dicho mapa se ha elaborado con los datos de nivel de agua medidos en una serie de pozos hipodérmicos, y del potencial hidráulico inferido de la posición de manantiales que, por su carácter permanente, se han considerado situados en la zona saturada regional.

Examinando la superficie piezométrica obtenida (fig. 2) se observa cómo la divisoria hidrográfica Tiétar-Tajo coincide «grosso modo» con la divisoria de las aguas subterráneas, lo que pone de manifiesto que la componente de flujo subterráneo hacia el Tiétar es más importante que la del Tajo.

Al norte de la divisoria hidrográfica, la dirección del flujo comienza siendo E-O en la parte oriental de la zona, pasando paulatinamente a la dirección SE-NO y una vez rebasada la carretera de Navalmoral de la Mata a Talayuela vuelve a irse aproximando a la primitiva posición E-O.

Al sur de la divisoria hidrográfica, las direcciones del flujo presentan mayor complejidad, ya que la superficie topográfica está interrumpida por diversos afloramientos del zócalo. En las subcuencas limitadas por estos afloramientos, las líneas de flujo presentan direcciones E-O, NE-SO, NO-SE y O-E.

El examen de la configuración de la topografía del límite superior de la zona saturada permite distinguir diversos subdominios en la región de estudio.

Tales subdominios están constituidos por sectores limitados por los ríos Tiétar y Tajo, su divisoria hidrográfica y el contacto en superficie y profundidad con los macizos de Gredos y los Montes de Toledo, todos ellos considerados impermeables.

Tres de estos subdominios se sitúan en la subcuenca del Tajo, siendo el más importante el que ocupa el sector suroriental (zona Puente del Arzobispo-Talavera de la Reina), precisamente el sector que une el Campo Arañuelo s.s. y la Cuenca de Madrid. Los otros dos subdominios tienen una importancia menor en este estudio, debido tanto a su pequeña extensión como a la escasez de datos existentes.

En la subcuenca del Tiétar se han considerado dos subdominios separados, aproximadamente, por la línea que une Navalmoral de la Mata con Talayuela. La separación de estos dos subdominios no cumple la condición de impermeabilidad anteriormente expresada; sin embargo, la desviación hacia el NO que presentan las líneas de flujo en las proximidades del afloramiento de Navalmoral en dirección a Talayuela, provoca una pequeña cresta en las isopiezas, lo que, unido a la escasa potencia de sedimentos en la parte occidental de la depresión (200 m. como máximo), hace prácticamente imposible que los tubos de flujo que parten del sector oriental del subdominio del Tiétar puedan llegar a la zona occidental, por lo cual también se consideran dos sectores. De ellos el oriental (sector Talayuela-Velada) es el de mayor entidad, formando con el suroriental el cuerpo fundamental del estudio, tanto por extensión como por su mayor abundancia de datos.

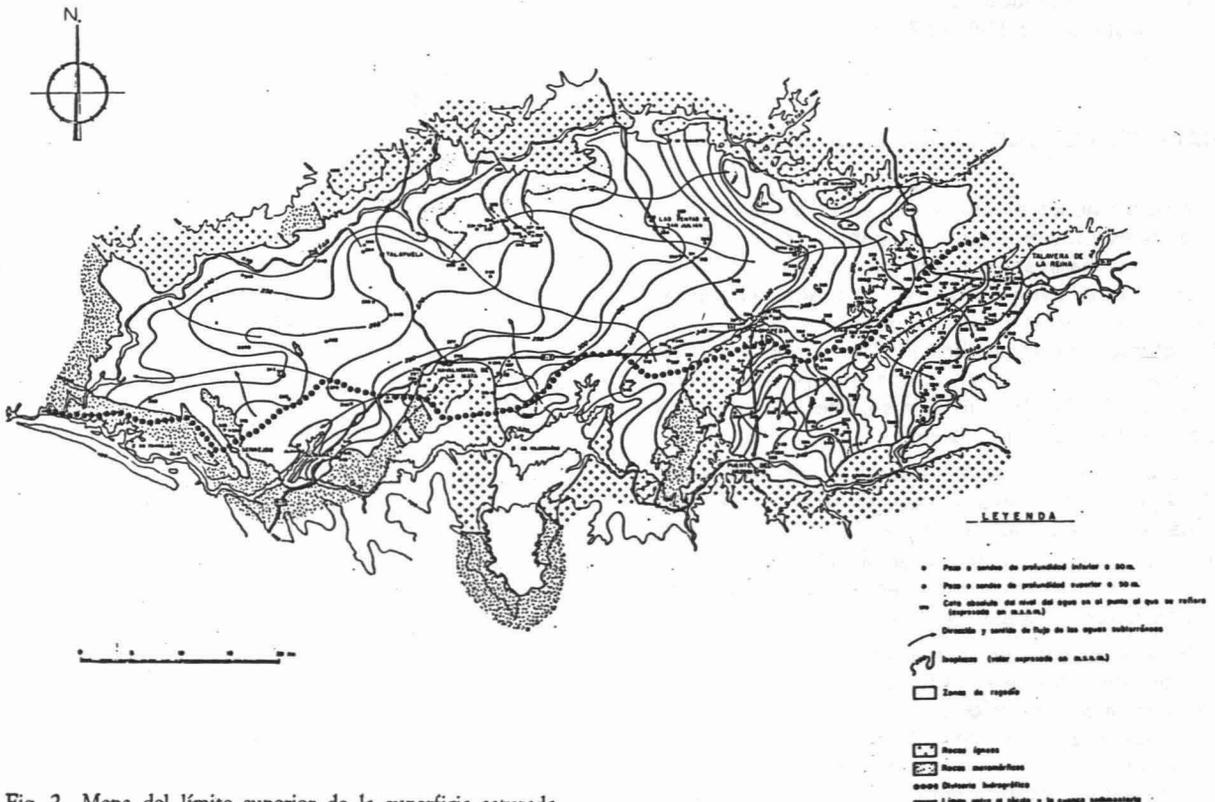


Fig. 2 Mapa del límite superior de la superficie saturada. *Saturated surface upper limit.*

Los gradientes de flujo oscilan entre 1,25 y 20 por 1.000, siendo el valor más frecuente el situado en torno a 3 por 1.000. Los valores más altos corresponden al sector suroriental con gradientes medios del 10 por 1.000. Los valores mínimos se sitúan en el sector occidental, al norte de la divisoria hidrográfica, con gradientes medios del orden de 1,25 por 1.000 y los valores medios 3,3-2,5 por 1.000 se localizan también al norte de la mencionada divisoria hidrográfica en su zona oriental.

La trayectoria del flujo subterráneo en profundidad se estudió a partir de cinco perfiles hidrogeológicos en los que se construyó la red de flujo. Dichos perfiles se elaboraron procurando que su dirección fuese lo más perpendicular posible al trazado de las isopiezas y que se dispusiesen entre límites de flujo subterráneo.

Estos perfiles muestran el estrecho control que el zócalo ejerce en la trayectoria, en profundidad, de las líneas de corriente, lo que condiciona que en numerosas ocasiones estas líneas sigan un itinerario sinuoso.

La recarga general del acuífero se sitúa en el entorno de la divisoria hidrográfica Tiétar-Tajo y en el extremo oriental de la depresión. Las áreas de descarga general se sitúan en las inmediaciones de los ríos Tajo y Tiétar, existiendo, además, áreas de recarga y descarga de carácter local. La disposición de las líneas de corriente bajo las zonas de recarga local, parece indicar la existencia de zonas de estancamiento. Asimismo el examen del mapa de la superficie saturada (fig. 2) y del perfil «río Tajo—Arroyo de San Julián—río Tiétar» parece indicar la imposibilidad de conexión hidráulica entre el Campo Arañuelo y la Cuenca de Madrid.

A fin de observar las variaciones del nivel de agua en el acuífero se estableció una red piezométrica de siete pozos, adoptándose una periodicidad mensual para las observaciones, que se realizaron a lo largo de treinta y cuatro meses.

El análisis de las fluctuaciones del nivel piezométrico en áreas de recarga indica que existe correspondencia entre máximos y mínimos pluviométricos y piezométricos, si bien entre ellos se produce un determinado desfase, ya que el agua de las precipitaciones necesita cierto tiempo para llegar desde la superficie topográfica hasta la zona saturada.

En las áreas de flujo horizontal, la relación entre los dos parámetros estudiados (pluviometría y nivel piezométrico) es menos evidente, y la separación entre máximos y mínimos es mucho mayor.

Las observaciones realizadas en zonas de bombeo de agua subterránea muestran la existencia de mínimos muy acusados durante los meses de primavera-verano, en los que se llevan a cabo los regadíos y en los que tiene lugar la extracción de agua subterránea. Los niveles se recuperan prácticamente durante el otoño-invierno, antes del comienzo de los nuevos bombeos.

En las zonas de regadíos con aguas superficiales los niveles piezométricos son siempre ascendentes, lo que supone una recarga adicional del acuífero. Ahora bien, como los regadíos existentes se encuentran situados en áreas de descarga o próximos a

ellas, constituyen únicamente un aporte local cuyos efectos se limitan a una extensión restringida del acuífero; por tanto, no pueden considerarse recarga general del mismo.

PARÁMETROS HIDRÁULICOS

La influencia global del sustrato en el rendimiento de las captaciones de agua subterránea se ha puesto de manifiesto a partir de la distribución espacial de los valores de los caudales específicos (figura 3). Este parámetro, del que se dispone de 65 datos, oscila entre valores inferiores a 0,001 y 0,47 l/seg/m, que se han agrupado en base a los valores umbrales de 0,2 y 0,1 l/seg/m.

Los valores inferiores a 0,1 l/seg/m se localizan siguiendo una banda de dirección más o menos paralela a los bordes aflorantes del zócalo, siendo la anchura de dicha franja mucho mayor en el límite con la Sierra de Gredos que en el límite con los Montes de Toledo. Ocupan, además, el sector occidental de la depresión.

Los caudales específicos mayores de 0,2 l/seg/m se encuentran únicamente en el sector suroriental (zona Puente del Arzobispo-Talavera de la Reina).

Los valores intermedios se sitúan, fundamentalmente, en las zonas central y nororiental del Campo Arañuelo, en el sector Talayuela-Velada, así como orlando las áreas cerradas de valor superior a 0,2 l/seg/m del sector suroriental ya citado.

La realización de dos ensayos de bombeo en los que se dispuso de pozos de observación próximos que actuaron como piezómetros, ha permitido el cálculo de valores de transmisividad y del coeficiente de almacenamiento en los materiales arcósicos. Asimismo, se contó con los datos del ensayo de bombeo de un tercer pozo y de valores de transmisividad en otros tres puntos, lo que supone un total de ocho valores de transmisividad. Dichos valores oscilan entre 2 m²/día y 50 m²/día, si bien la mayoría de los datos no superan los 10 m²/día. Los ensayos realizados en el estudio se interpretaron según el método de Hantush, ya que el acuífero se comporta como semiconfinado.

La medición efectuada en pozos de observación en los dos ensayos citados permitió acotar el valor del coeficiente de almacenamiento entre 10⁻³ y 10⁻⁴; valores que concuerdan con los datos de la Cuenca de Madrid.

Respecto a los depósitos aluviales, se dispone de seis datos de transmisividad y tres de coeficiente de almacenamiento en el aluvial del Tajo, correspondientes a cuatro ensayos de bombeo con piezómetro, realizados por el S.G.O.P. (S.G.O.P. (1980) e interpretados en este estudio. Los valores de transmisividad oscilan entre 200 m²/día y 5.500 m²/día, habiéndose interpretado los descensos, generalmente, por el método de Prickett y la recuperación por el método de los descensos residuales. Los valores del coeficiente de almacenamiento están comprendidos entre 0,3 y 0,6 · 10⁻². En el aluvial del Tiétar sólo se dispone de un dato de permeabilidad correspondiente a 0,2 : 10⁴ cm/seg.

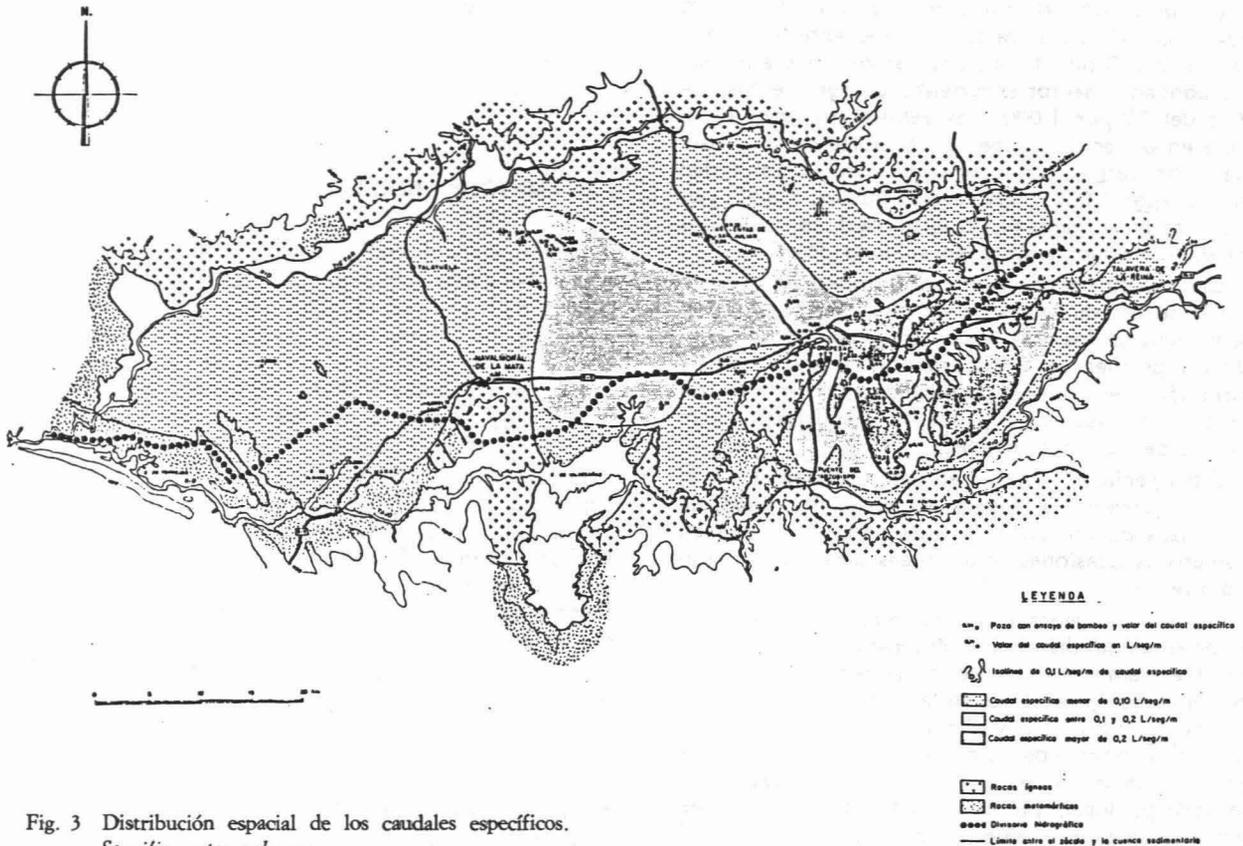


Fig. 3 Distribución espacial de los caudales específicos.
Specific water volumes.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La evolución geoquímica de las aguas subterráneas del Campo Arañuelo desde las zonas de recarga a las de descarga, se ha estudiado en base a 74 análisis físico-químicos completos.

La representación de los análisis de agua en diagramas de Stiff y el estudio de su distribución geográfica muestra la existencia de diversos tipos de agua y su relación con las áreas fundamentales del acuífero.

Así, las aguas cuyos iones mayoritarios son el bicarbonato y el calcio (de las que existen 20 muestras), se sitúan normalmente en las proximidades de la divisoria hidrográfica de los ríos Tajo y Tiétar.

Las aguas en las que predominan los iones bicarbonato y sodio se localizan en áreas de descarga y en zonas de flujo intermedio. Son las más abundantes del acuífero, existiendo 32 representantes de este tipo.

Las aguas cuyos iones mayoritarios son el cloro y el sodio (se dispone de ocho muestras) se encuentran situadas, fundamentalmente, en el área general de descarga, es decir, en el entorno del arroyo Santa María (sector Velada-Talayuela), así como en algunos pozos ubicados en la zona de transición. Además, existen otras cuatro muestras de estas características, distribuidas en sectores muy diversos de la depresión, pero siempre relacionadas directa o indirectamente con los granitos del zócalo. Estas muestras tienen un contenido iónico del orden de

diez veces superior al resto de los análisis y son las que en este trabajo se han denominado «muestras salobres». A ellas se hacen continuas referencias en los párrafos siguientes y se tratan exhaustivamente en un apartado posterior.

Las muestras de aguas con otros iones mayoritarios se encuentran en una proporción mucho menor: existen cinco muestras de agua en las que los iones predominantes son el bicarbonato y el magnesio, que se sitúan principalmente en zonas de transición; dos muestras en las que son más abundantes los iones sulfato y sodio; y una muestra en la que dominan los iones cloruro y calcio.

Asimismo es de destacar el bajo contenido en sulfatos que presentan la mayoría de las muestras analizadas.

Por otra parte, se han estudiado las relaciones existentes entre diversos índices, a fin de establecer la posible evolución química del agua del acuífero detrítico.

La representación del índice catiónico (IC) versus el índice de cambio de bases (ICB) señala la existencia de fenómenos de intercambio catiónico en el acuífero. En las zonas de recarga las muestras tienen un mayor contenido en Ca^{++} y Mg^{++} y valores de ICB próximos a cero, mientras que en las zonas de descarga predomina el Na^+ y K^+ sobre el Ca^{++} y Mg^{++} , siendo los valores de ICB menores y en general negativos.

El análisis de la variación del índice aniónico con respecto a la conductividad muestra la existencia de fenómenos de concentración de sales: el contenido

en Cl^- y SO_4^{2-} con respecto al CO_3H^- aumenta en el sentido del flujo subterráneo.

El estudio de la relación entre los índices catiónico (IC) y aniónico (IA) indica, en primer lugar, que los procesos de cambio de bases son más intensos que los de concentración de sales. Por otra parte, estos índices muestran una relación compleja, ya que se distinguen dos tendencias dentro de la evolución global del acuífero: una de ellas corresponde a un incremento rápido del índice catiónico, sin que apenas varíe el índice aniónico y refleja el cambio de bases; la segunda indica una variación menor del intercambio catiónico y una mayor concentración salina. Las tendencias que muestra este diagrama son similares a las que presenta la Cuenca del Alberche [A. SASTRE (1978)], lo que parece indicar que los fenómenos que se producen en ambas zonas tienen un origen semejante.

Las cuatro muestras salobres relacionadas con el Campo Arañuelo presentan distinta posición en las relaciones anteriormente referidas. Mientras la muestra denominada «El Borbollón» y sobre todo la correspondiente al manantial de la «Charca de la Guarra» se separan claramente de la nube de puntos que forman el resto de las aguas del acuífero; las denominadas «Valdepalacios Alto» y «El Salmuero» se sitúan en distintas posiciones, entre la nube de puntos y las dos muestras salobres primeramente citadas.

Una vez considerada la evolución geoquímica global del acuífero, se ha pasado a estudiar dicha evolución en los distintos sectores o subdominios en los que se ha dividido el acuífero (fig. 4). Dichos sectores se corresponden, en líneas generales, con los definidos al tratar la distribución del potencial hidráulico. Allí se establecían tres sectores fundamentales: el suroriental (sector Puente del Arzobispo-Talavera de la Reina), el sector Talayuela-Velada y el occidental. A fin de darles homogeneidad en cuanto a extensión, el sector Talayuela-Velada se ha dividido en dos, a los que denominaremos central (sector Talayuela-Ventas de San Julián) y nororiental (sector Ventas de San Julián-Velada). Los otros dos subdominios situados en el área vertiente al Tajo entre afloramientos graníticos, que tienen una ex-

tensión menor y en los que apenas existen datos, se han incluido en el sector correspondiente al norte de la divisoria hidrográfica.

En cada uno de estos sectores los análisis correspondientes a las muestras de agua subterránea se han representado en diagramas de Schöeller, a fin de delimitar el contenido iónico de cada elemento, y en diagramas de Piper-Hill-Langelier para analizar la evolución iónica del agua subterránea y así estudiar con mayor detalle las acciones modificadoras de las mismas.

En el sector suroriental la evolución química del agua se produce básicamente conservando el contenido en los iones carbonato y bicarbonato y sustituyendo el Ca^{++} y el Mg^{++} por Na^+ y K^+ . En un número inferior de muestras se manifiesta una tendencia a incrementar el contenido en SO_4^{2-} .

La mayoría de las muestras del sector nororiental corresponden a aguas de recarga, como era de esperar, dada la relación del sector con las líneas de flujo. En este sector se observa cierta evolución que se manifiesta en dos tendencias. Una de ellas señala enriquecimiento en Na^+ y K^+ , sin que los aniones desempeñen un papel significativo. La otra presenta el mismo incremento catiónico y una ligera tendencia al aumento de los cloruros, mientras que apenas varía el contenido en sulfatos.

En el sector central la mayoría de las muestras pertenecen a aguas de descarga. En general, estas muestras parecen corresponder a la descarga —y subsiguiente evolución— del agua infiltrada en el sector anterior. Todas ellas muestran enriquecimiento en Na^+ y K^+ . La evolución aniónica presenta dos tendencias: una de ellas en el sentido de aumentar el contenido en cloruros; la otra muestra incremento en sulfatos y cloruros.

En el sector occidental existen pocas muestras, lo que no permite una interpretación rigurosa. A partir de los análisis disponibles se aprecia cierta similitud con la evolución conjunta de los sectores central y nororiental, si bien con mayor dispersión.

Las muestras salobres se separan significativamente del resto de los tipos de agua, lo que parece indicar que el agua salobre no supone una evolución geoquímica del agua del acuífero arcóxico.

Finalmente, para conocer el estado de saturación del agua subterránea en diversas especies minerales, se ha aplicado al análisis físico-químico de dichas aguas un programa de ordenador denominado Wateqf [L. N. PLUMMER, et al. (1976)]. Este programa calcula las especies existentes en la solución, las actividades y coeficientes de actividad de las especies disueltas y el estado de saturación de la solución con respecto a una serie de fases sólidas.

En la tabla I se observa que el agua subterránea del Campo Arañuelo se encuentra saturada en minerales de tipo carbonatado, bien sean cálcicos, magnésicos o cálcico-magnésicos, lo cual es lógico debido al bajo producto de solubilidad que presentan estos compuestos.

Según la evolución iónica que el agua experimenta en un acuífero se puede considerar que en las zonas de recarga, y dependiendo de la composición litológica del sustrato, el agua se encontrará enriquecida en iones bicarbonato y calcio. Por tanto,

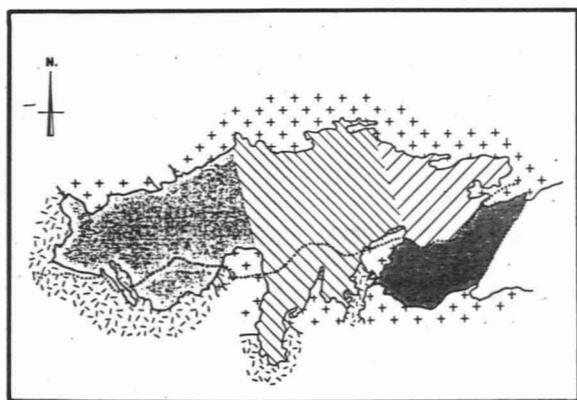


Fig. 4 Sectores en que se ha dividido el Campo Arañuelo para el estudio de las características físico-químicas de las aguas subterráneas.

Campo Arañuelo. Sectorial chart for ground water composition determination study.

se encontrará saturada o próxima a la saturación en minerales de tipo carbonato cálcico (aragonito y calcita). A medida que el agua va evolucionando, aumenta el contenido en Mg^{++} ; por tanto, podrán ir saturando minerales de tipo carbonato o bicarbonato cálcico-magnésico (dolomita y huntita), y ya en zonas de transición o próximas a ellas aumentará el estado de saturación de los bicarbonatos o carbonatos magnésicos (artinita, hidromagnesita, nesquehonita y magnesita), llegando incluso a la saturación en el caso de este último mineral. El bajo producto de solubilidad de la mayoría de estas sustancias determina que la saturación se lleve a cabo con relativa facilidad.

A medida que se realiza el intercambio catiónico y aumenta el contenido en Na^+ , aumentará el estado de saturación del agua en bicarbonatos y carbo-

atos sódicos (nahcolita, trona, natrón y thermonatrita). Finalmente, cuando comienzan a producirse procesos de concentración salina, aumentará el estado de saturación en sulfatos sódicos (mirabilita y thenardita) y en cloruro sódico (halita). El alto producto de solubilidad de estas sustancias da lugar a que la saturación no llegue a producirse.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS FÍSICO-QUÍMICOS

A los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de agua subterránea, así como a los datos proporcionados por el Wateqf, se les dio un tratamiento estadístico, a fin de estudiar la dis-

T A B L A 1

Estado máximo y mínimo de saturación del agua subterránea en las distintas especies minerales

Mineral	Estado de saturación expresado en log IAP/KT		Disociación iónica de los minerales
	máx.	mín.	
Calcita	0,8	- 1,5	$CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{-2}$
Aragonito	0,9	- 1,7	$CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{-2}$
Magnesita	0,9	- 22,1	$MgCO_3 = Mg^{2+} + CO_3^{-2}$
Dolomita	2,3	- 3,3	$CaMg(CO_3)_2 = Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2CO_3^{-2}$
Huntita	1,1	- 10	$CaMg_3(CO_3)_4 = 3Mg^{2+} + Ca^{2+} + 4CO_3^{-2}$
Anhidrita	- 1,5	- 4,3	$CaSO_4 = Ca^{2+} + SO_4^{-2}$
Yeso	- 1,2	- 4	$CaSO_4 \cdot 2H_2O = Ca^{2+} + SO_4^{-2} + 2H_2O$
Mirabilita	- 1,8	- 10,3	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O = 2Na^+ + SO_4^{-2} + 10H_2O$
Fluorita	- 2,3	- 4,3	$CaF_2 = Ca^{2+} + 2F^-$
Halita	- 2,9	- 8,7	$NaCl = Na^+ + Cl^-$
Nesquehonita	- 3,5	- 10,5	$MgCO_3 \cdot 3H_2O = Mg^{2+} + CO_3^{-2} + 3H_2O$
Brucita	- 3,5	- 7,9	$Mg(OH)_2 = Mg^{2+} + 2OH^-$
Nahcolita	- 3,3	- 8,7	$NaHCO_3 = Na^+ + HCO_3^-$
Artinita	- 3,7	- 11,2	$Mg_2(OH)_2CO_3 \cdot 3H_2O = 2Mg^{2+} + CO_3^{-2} + 2OH^- + 3H_2O$
Natron	- 4,6	- 11,6	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O = 2Na^+ + CO_3^{-2} + 10H_2O$
Thenardita	- 4,9	- 11,6	$Na_2SO_4 = 2Na^+ + SO_4^{-2}$
Hydromagnesita	- 6,4	- 22,9	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O = 5Mg^{2+} + 4CO_3^{-2} + 2OH^- + 4H_2O$
Thermonatrita	- 8,1	- 13,5	$Na_2CO_3 \cdot H_2O = 2Na^+ + CO_3^{-2} + H_2O$
Trona	- 8,1	- 18	$NaHCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot 2H_2O = 3Na^+ + HCO_3^- + CO_3^{-2} + 2H_2O$

tribución espacial de estos valores. Para ello se realizó un análisis factorial tanto de los datos físico-químicos como de los resultados del Wateqf para asociar las variables según su significado, estudiando así, no la variación individual de cada una, sino su comportamiento en la evolución de los procesos químicos. Se obtuvieron tres variables o factores para el primer caso y cuatro para el segundo.

Al valor de cada uno de los factores para las distintas muestras de agua analizadas, se les aplicó un programa de análisis de superficies de tendencia (TSA), a fin de obtener su distribución espacial.

El análisis factorial es una de las técnicas más ampliamente utilizadas de análisis estadístico multivariable. Se trata de una variedad de métodos que permiten reducir un número elevado de variables en un número mucho más pequeño de dimensiones o factores, que explican una parte significativa de la variación observada en las variables originales. En un análisis factorial todas las variables se consideran dependientes de algún conjunto de factores hipotéticos, subyacentes, que a su vez pueden tener una interpretación real, en algunos casos muy clara. Para este estudio se ha utilizado el método de los coeficientes principales con rotación «varimax», que es el más usado comúnmente.

El programa de análisis de las superficies de tendencia es una extensión de los métodos de regresión múltiple en el que se toman como variables independientes las coordenadas geográficas. En este caso se analiza una variable (cada uno de los factores obtenidos en los análisis factoriales) respecto a la longitud y latitud. El objetivo del programa es descomponer la variación de una variable en dos componentes, una de naturaleza regional (tendencia) y una fluctuación local (anomalía o residual). Este método evita la subjetividad en la separación de la variación regional y las desviaciones locales. En este trabajo se analiza únicamente la tendencia de cada una de las variables o factores.

El análisis factorial de los datos físico-químicos correspondientes a los análisis de 62 muestras de agua pertenecientes al acuífero arcóxico del Campo Arañuelo, muestra la existencia de tres factores fundamentales que rigen el comportamiento químico del agua. El primero de ellos —y más significativo—, el factor I, relaciona el comportamiento de los iones Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} y la conductividad, siendo, por tanto, el factor que rige la progresiva mineralización del agua en su trayectoria a través del acuífero.

El segundo factor (factor II) relaciona el comportamiento de los iones Mg^{++} , CO_3H^- y Ca^{++} ; por consiguiente, rige la carbonatación del agua y el enriquecimiento en Ca^{++} y Mg^{++} , procesos que tienen lugar en las primeras etapas de circulación del agua en el acuífero.

El factor III relaciona los iones CO_3^{2-} con el pH, fenómeno evidente, ya que los carbonatos sólo tienen existencia en el agua subterránea en condiciones de pH superior a 8,3. Es, por tanto, una relación local de menor interés.

Para cada uno de los factores considerados se han obtenido superficies de tendencia de grado 1 a 7. La superficie de tendencia que mejor explica la

distribución del factor I es la de orden 3 (fig. 5 a). En ella se aprecia la correspondencia existente entre máximos y zonas de descarga y mínimos y zonas de recarga, lo que pone de manifiesto la evolución química del agua en el sentido de flujo.

La superficie de tendencia del factor II no presenta máximos y mínimos, sino una evolución de los valores de las isolinéas del factor (fig. 5 b). Los valores máximos se encuentran próximos a la divisoria de aguas y en el extremo nororiental de la depresión, es decir, en las áreas de recarga; coincidiendo el valor mínimo con la zona general de descarga del Campo Arañuelo s.s., por tanto, también en este caso existe una correspondencia entre el modelo de flujo y el modelo hidrogeoquímico del acuífero.

La superficie de tendencia del factor III es similar a la del factor I, lo que es lógico, ya que el factor III viene condicionado por el incremento del pH y éste aumenta a medida que se verifica el intercambio catiónico, es decir, aumenta desde las zonas de recarga a las de descarga, sentido en el que se produce la evolución del factor I.

El análisis factorial de los datos del Wateqf dio como resultado cuatro factores que engloban las distintas variables. El primer factor relaciona los carbonatos cálcicos o cálcico-magnésicos y los bicarbonatos magnésicos más o menos hidratados, además de la brucita, es decir, relaciona las sustancias en las que se enriquece el agua en los primeros estadios de su circulación.

El segundo factor relaciona los distintos compuestos del sodio, rigiendo el factor, por consiguiente, tanto fenómenos de intercambio catiónico como de concentración de sales; por tanto, este factor corresponde a la mineralización predominante en las áreas de descarga.

El tercer factor relaciona los bicarbonatos magnésicos y el bicarbonato sódico, por lo que se puede interpretar como el factor que rige los procesos de las áreas de transición.

Finalmente, el cuarto factor relaciona únicamente la anhidrita y el yeso. Este factor, mucho menos importante, se refiere a fenómenos locales y no a procesos generales dentro del sistema de flujo, determinando la disolución del posible yeso existente entre los minerales de la región.

La superficie de tendencia que mejor se ajusta al factor I de los datos del Wateqf es la de orden 4 (figura 6 a). Los valores son en general altos y su variación no es muy acentuada. Esto es debido a que el agua se satura en minerales de tipo carbonatado desde su introducción en el acuífero e incluso ya en la zona no saturada, por tanto, el valor del factor es alto en las áreas de recarga y varía mínimamente a lo largo del sistema de flujo.

Respecto a la superficie de tendencia del factor II de los datos del Wateqf (fig. 6 b), el mínimo coincide a «grosso modo» con la divisoria de aguas, aumentando los valores desde dicha divisoria hasta la zona principal de descarga. Esta evolución es congruente con su interpretación como factor que rige el estado de saturación predominante en las áreas de descarga, confirmando así el modelo de flujo propuesto.

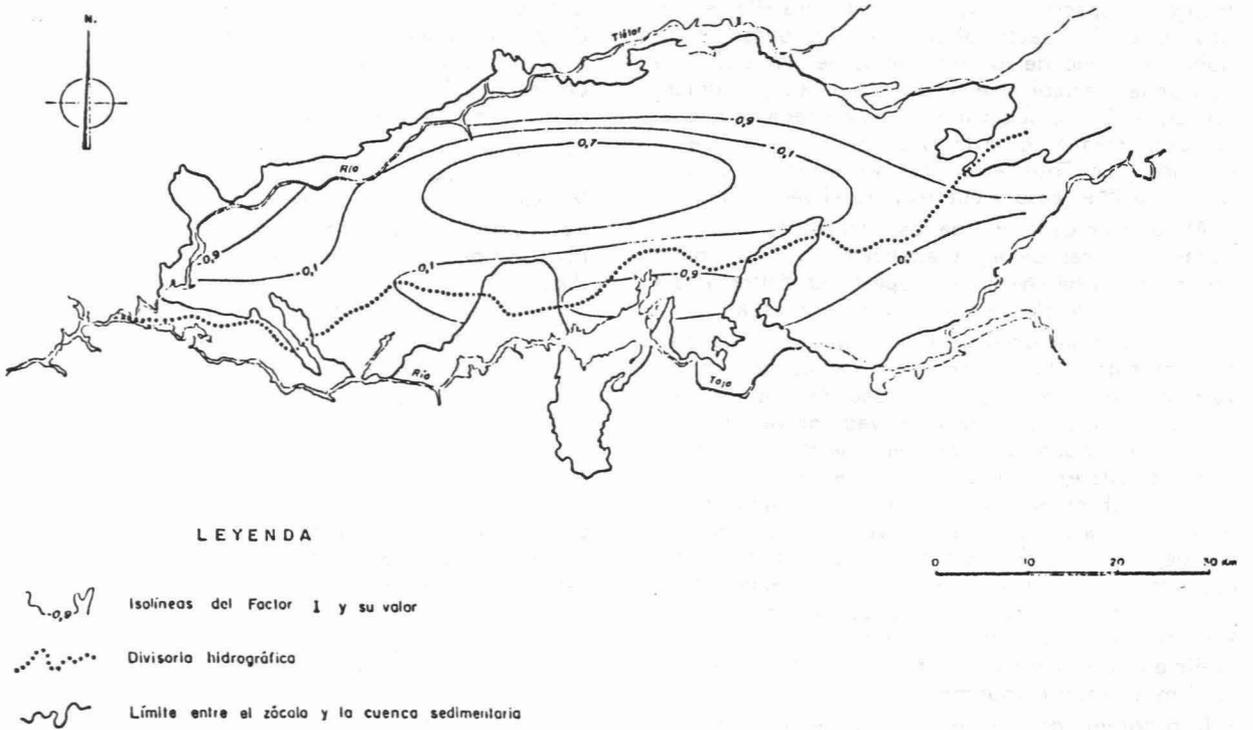


Fig. 5a Representación espacial del Factor I del análisis factorial de los datos físico-químicos. Superficie de tendencias de orden 3. *Factor I. Physical-chemical data. Tendency surface 3.*

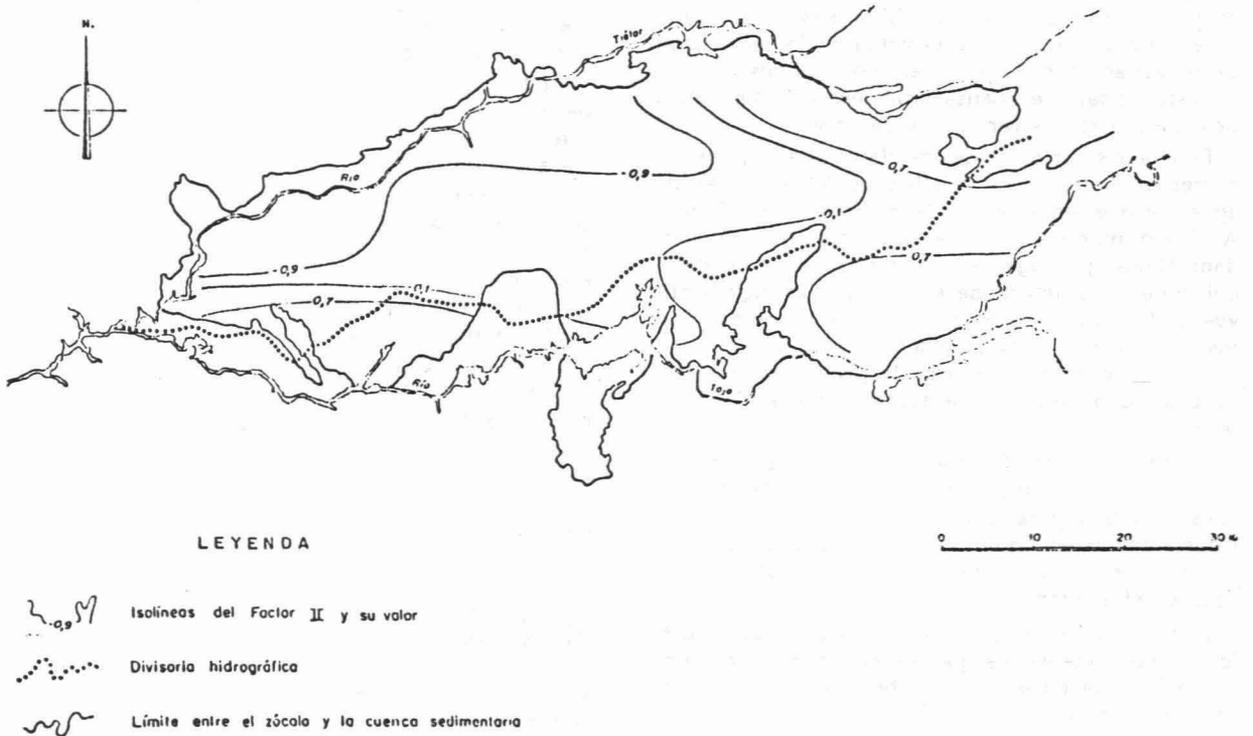
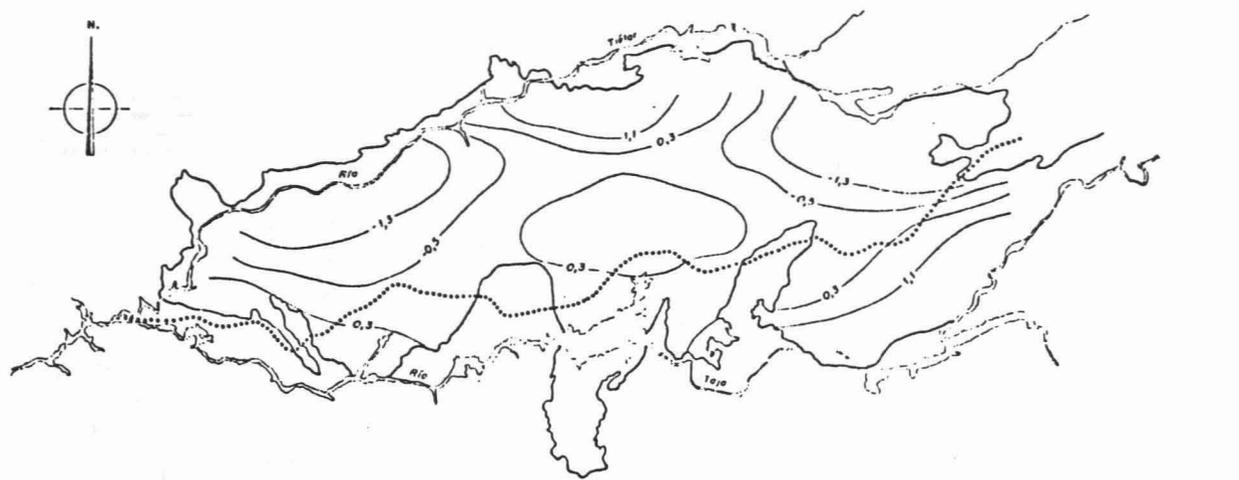


Fig. 5b Representación espacial del Factor II del análisis factorial de los datos físico-químicos. Superficie de tendencia de orden 4. *Factor II. Tendency surface 4.*

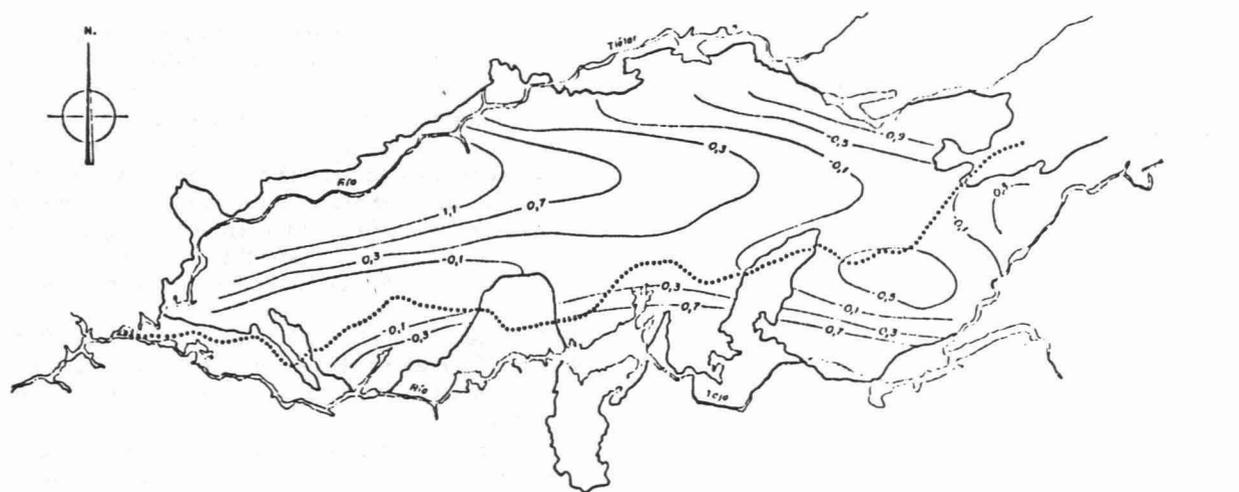


LEYENDA

-  Isoleínas del Factor I y su valor
-  Divisoria hidrográfica
-  Límite entre el zócalo y la cuenca sedimentaria



Fig. 6a Representación espacial del Factor I del análisis factorial del estado de saturación del agua en los distintos minerales. Superficie de tendencias de orden 4.
Factor I. Minerals water saturation. Order 4.



LEYENDA

-  Isoleínas del Factor II y su valor
-  Divisoria hidrográfica
-  Límite entre el zócalo y la cuenca sedimentaria



Fig. 6b Representación espacial del Factor II del análisis factorial del estado de saturación del agua en los distintos minerales. Superficies de tendencias de orden 4.
Factor II. Minerals water saturation. Order 4.

En la superficie de tendencia del factor III de los datos del Wateqf, los valores aumentan desde las áreas de recarga a las de descarga, si bien este incremento se detiene a partir de un determinado momento, manteniéndose después constante en el sentido de evolución del flujo, manifestando por tanto su variación en las situaciones que podemos considerar de transición, lo que resulta coherente con la interpretación dada al factor.

Respecto a la variación del factor IV, tanto los valores máximos como los mínimos se localizan, indistintamente, en áreas de recarga y descarga, pudiendo el factor aumentar o disminuir en el sentido de flujo. Esta distribución confirma la consideración realizada sobre el factor, que se estima independiente del sentido del flujo.

LAS AGUAS SALOBRES DEL CAMPO ARAÑUELO

Las manifestaciones de agua salobre del Campo Arañuelo se ubican en los bordes de la depresión y/o en las proximidades del zócalo; reciben la denominación del lugar en que se encuentran y por el que son conocidas popularmente: «Valdepalacios Alto», «El Salmuero», «El Borbollón» y «La Charca de la Guarra».

«Valdepalacios Alto» se encuentra en el sector suroriental de la depresión, próximo a la fachada oriental del afloramiento granítico de Oropesa. Se trata de un pozo de carácter surgente, perforado en los materiales arcóscicos, que cortó al granito a los 25 m.

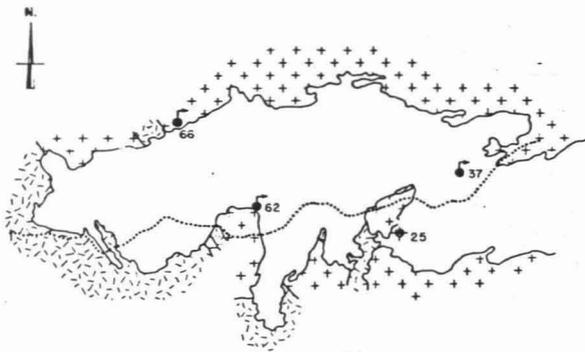
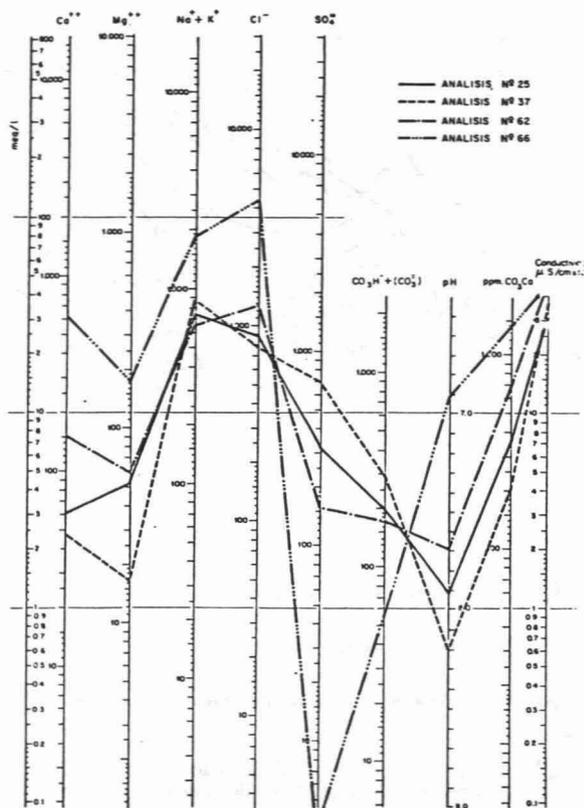


Fig. 7 Representación en el diagrama Schoeller-Berkaloff de los análisis del pozo y manantiales de la región de estudio.

Saline pit and spring analysis according to Schoeller-Berkaloff diagram.

El manantial de «El Salmuero» se encuentra situado en el sector nororiental, en un afloramiento granítico de carácter puntual que emerge prácticamente equidistante de los bordes de la depresión, aquí constituidos por los afloramientos del zócalo de Velada y Oropesa y sobre la línea virtual que los une.

El manantial de «El Borbollón» se halla en el sector central de la depresión, muy próximo al afloramiento granítico de Navalmoral de la Mata.



«La Charca de la Guarra» se localiza en los granitos del límite norte del sector occidental de la depresión, en la margen derecha del Tiétar.

Las muestras salobres presentan un contenido iónico del orden de diez veces superior al resto de las aguas del Campo Arañuelo. La representación del contenido iónico de dichas muestras en un diagrama de Schöeller (fig. 7) permite apreciar la gradación existente entre ellas y la estrecha relación que guardan los análisis de «El Borbollón» (análisis número 62), «Valdepalacios Alto» (análisis núm. 25) y «El Salmuero» (análisis núm. 37) y como «La Charca de la Guarra» (análisis núm. 66), si bien presenta características similares a las demás, se aleja del conjunto.

La representación de los análisis de estas muestras, tanto en los diagramas bidimensionales de relaciones iónicas como en los de Piper—Hill—Langelier, indica que la mineralización de las muestras no corresponde a la evolución geoquímica de las aguas del acuífero detrítico, ya que no existen gradaciones entre unas y otras.

Los caracteres químicos más significativos de estas aguas son, junto a su elevada mineralización, al ión bicarbonato, al ión cloruro, característica que las diferencia de las aguas de los acuíferos detríticos en las que todo el calcio está asociado al ión bicarbonato.

La asociación del Ca^{++} con el Cl^{-} en las muestras de «La Charca de la Guarra» y «El Borbollón» se puso de manifiesto al aplicar a los análisis de agua

un programa de ordenador denominado SNORM [BODINE y JONES (1986)], que trata de determinar la composición del conjunto de sales normativas de las muestras de agua.

Comparando los análisis de las muestras salobres del Campo Arañuelo, en particular de «La Charca de la Guarra», con los análisis de las muestras de agua de los granitos de Atikokan [DICKIN et al. (1984)], se comprueba que estas aguas presentan características similares. Esto, unido a su situación en los granitos o relacionadas con ellos, y a la ausencia de relación hidrológica con el acuífero detrítico puesta de manifiesto al construir la red de flujo, sugiere la posibilidad de que el origen de estas aguas se encuentra directamente relacionado con los granitos y no con los materiales arcósicos como se pensaba hasta ahora.

Las muestras correspondientes a «El Salmuero» y a «Valdepalacios Alto» no manifiestan carácter cálcico; sin embargo, la similitud existente entre sus características físico-químicas y las de «El Borbollón», ya comentada, unido a la situación del manantial de «El Salmuero» en el granito y a la estrecha relación del pozo de «Valdepalacios Alto» con el alto contenido en Ca^{++} que presentan las muestras correspondientes a «La Charca de la Guarra» y en menor medida a «El Borbollón». Este alto contenido en Ca^{++} da al agua un carácter clorurado-sódico-cálcico, estando el Ca^{++} asociado, además de el zócalo, sugiere la posibilidad de que las cuatro

muestras tengan el mismo origen: agua subterránea procedente del granito, aun cuando cada una haya podido sufrir variaciones en su evolución posterior. El hecho de que las muestras correspondientes a «El Salmuero» y «Valdepalacios Alto» no manifiesten el carácter cálcico posiblemente sea debido a procesos de mezcla con el agua del acuífero detrítico, hecho que probablemente también suceda, si bien en menor medida, en el manantial de «El Borbollón».

En base a las consideraciones anteriores se propone un modelo de evolución hidrogeoquímica global para la depresión del Campo Arañuelo.

El agua subterránea de los materiales tradicionalmente «impermeables» del zócalo —tanto Gredos como Montes de Toledo— fluirán hacia la depresión del Campo Arañuelo, debido a la diferencia del potencial hidráulico existente (fig. 8).

Si el agua de estos macizos es interceptada por fallas se encauzará por ellas debido a su mayor permeabilidad, pudiendo suceder que estas fallas terminen en la superficie topográfica o en el fondo de la depresión. En el primer caso se formará en superficie un manantial cuyas aguas tendrán unas características muy similares a las que circulan por los granitos —en este caso clorurado-sódico-cálcicas— y su mayor o menor contenido en TDS dependerá de la magnitud del recorrido que tales aguas hayan tenido. Por otro lado, hay que tener en cuenta en la composición y evolución de estas aguas la

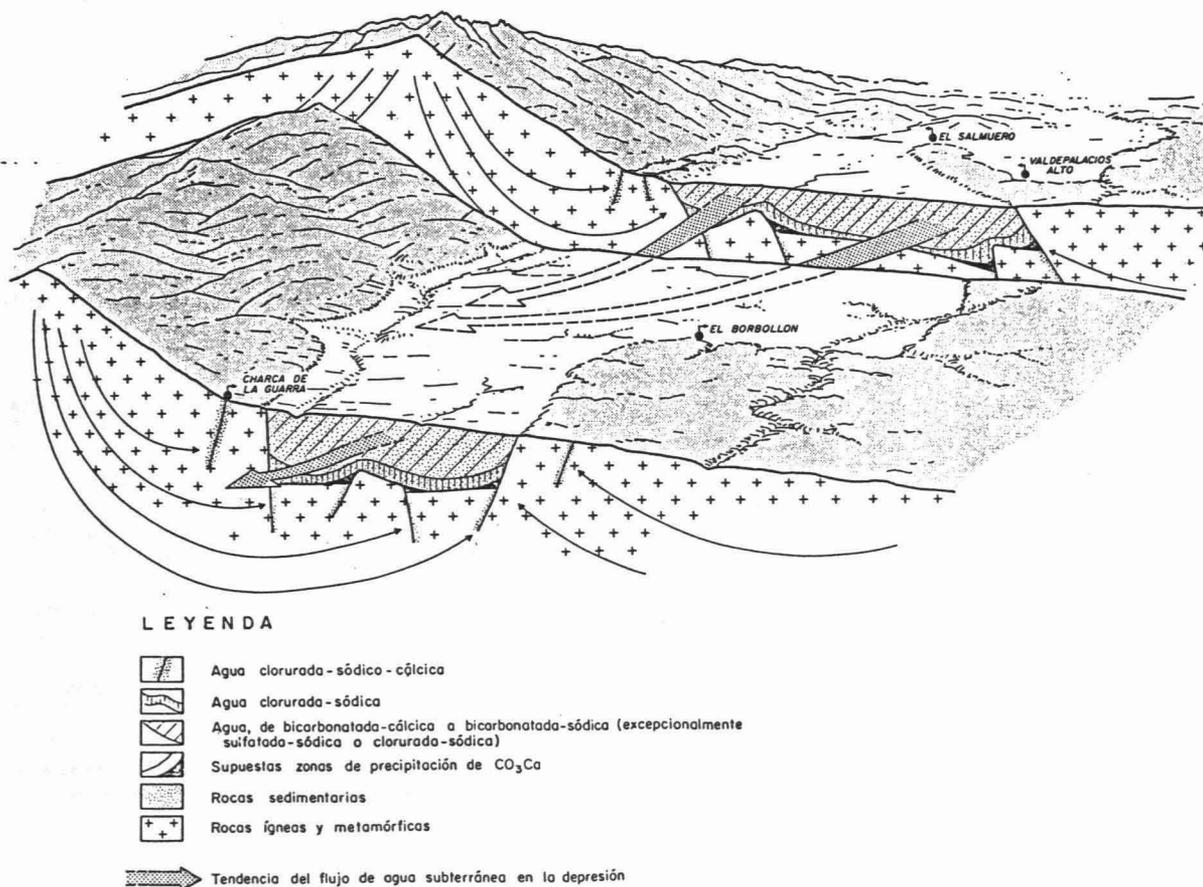
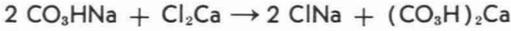


Fig. 8 Modelo de la evolución hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la Depresión de Campo Arañuelo (vista hacia el NE). *Hydrogeochemical evolution of the groundwater in Campo Arañuelo depression (NE oriented view).*

posible disolución de minerales secundarios existentes en el plano de falla y la precipitación de nuevos minerales en los que el agua esté saturada.

Si las fallas terminan en el fondo de la depresión, el agua procedente del granito se mezclará con el agua del acuífero arcósico y teniendo en cuenta que este agua es fundamentalmente bicarbonatada sódica y que se encuentra saturada o próxima la saturación en calcita y aragonito, precipitarán carbonatos y bicarbonatos cálcicos que se acumularán en las proximidades de la intersección de dichas fallas con el fondo de la depresión, ya que su producto de solubilidad es bajo



Esta precipitación determina que el agua resultante de la reacción sea, en general, clorurado sódica; por tanto, en el fondo de la depresión existirá una zona de aguas de estas características. Ahora bien, como el caudal de agua procedente de los granitos es muy bajo, al mezclarse con el agua propia de la depresión su composición se irá desvirtuando paulatinamente, mientras que el resto de las aguas del acuífero sigue su evolución normal. Sólo los pozos de gran profundidad, las áreas de poco espesor de zona saturada y las áreas de bombeo intensivo presentarán indicios de esta salinidad que será mayor cuantos más próximos se encuentren el fondo de la depresión.

Respecto a la precipitación de calcita en el fondo de la depresión, existen evidencias en los sondeos

realizados en el extremo oriental de la cuenca (S.G.O.P., 1980), donde se encontraron en la base de la serie terciaria unas calizas silíceas, así como en el sector occidental (S.G.O.P., 1976), en el que se describen unos «conglomerados de cantos de caliza y cemento calcomargoso muy cementados» en la base de la formación, no siendo observables en superficie.

La posible existencia de la zona de agua clorurada sódica se pone de manifiesto en los análisis del agua de un pozo (625-1-2), del que se dispone de dos análisis físico-químicos realizados después de uno y seis meses de bombeo intensivo. Ambas muestras son de carácter clorurado sódico, pero la analizada con posterioridad a los seis meses de bombeo tiene un contenido casi un 50 por 100 superior en Cl^- y Na^+ respecto a la analizada después de un mes de bombeo, mientras que el resto de los componentes permanece constante. La captación de la que se extrajo la muestra se encuentra próxima a una falla en el fondo del zócalo.

Finalmente es de destacar que además de los enclaves salinos ya mencionados, en el Campo Arañuelo existen otros indicios de agua salobre, especialmente en el sector occidental, donde el escaso espesor de sedimentos permite, con mayor facilidad, el afloramiento de agua salobre a la superficie. Sin embargo, estos indicios se reducen a indicaciones de tipo vegetal y toponímicos, ya que los manantiales no han podido ser analizados al encontrarse en el fondo de charcas artificiales, construidas a modo de pequeños embalses.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ ARAVACA, M. (1909): "Estudios hidro-geológicos. Cuenca del Tajo. Zona de este río, del Alberche y del Tiétar, en la provincia de Toledo", *Bol. Com. Mapa Geol. de España*, t. XXX (t. X, 2.ª serie), pp. 103-127. Madrid.
- BODINE (Jr.), M. W., y JONES, B. F. (1986): "The SALT NORM: A Quantitative Chemical-Mineralogical Characterization of Natural Waters", *U.S.G.S. Water Resources Report*, 86-408c, pp. 1-130. Reston, Virginia.
- CORCHON GARCIA, J. (1963): "El Campo Arañuelo". Publicaciones de la Dirección General de Enseñanza Media, núm. 335, pp. 428. Madrid.
- DICKIN, R. C.; FRAPE, S. K.; FRITZ, P.; LEECH, R. E. J., y PEARSON, R. (1984): "Groundwater chemistry to depths of 1.000 m in low permeability granitic rocks of the Canadian Shield", *B.G.S. Hydrogeology Research Group. Wallingford U.K.*, pp. 357-371. I.A.H.S. Montreal.
- ELIAS CASTILLO, F., y RUIZ BELTRAN, L. (1977): "Agroclimatología de España". Instituto Español de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- ELIAS CASTILLO, F., y RUIZ BELTRAN, L. (1981): "Estudio agroclimático de la región Castilla-La Mancha". Departamento de Agricultura de la Junta de Comunidades Castilla-La Mancha.
- HERNANDEZ-PACHECO, F. (1950): "Rasgos fisiográficos y geológicos de la Vera, del tramo medio del Valle del Tiétar y del Campo Arañuelo", *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XLVIII, pp. 217-245. Madrid.
- I.G.M.E. (1981): "Hidrogeología, climatología, hidrología y demandas de agua en el sistema acuífero núm. 14, aguas abajo de Talavera". Informe técnico P4/81. I.G.M.E. Madrid.
- J.E.N. (1980): "Proyecto 0116. Cuenca del Tiétar". J.E.N. M.I.E. Madrid.
- MUNOZ MILLANES, L. (1979): "Aportación al estudio de la depresión de Campo Arañuelo, límite occidental de la Fosa del Tajo", *Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.)*, 77: pp. 239-246.
- PEDRAZA GILSANZ, J. (1978): "Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las Sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central español)". Tesis doctoral. Fac. de Ciencias Geológicas. U.C.M.
- PLUMMER, L. N.; JONES, B. F., y TRUESDELL, A. M. (1976): "Wateqf: a Fortran IV Version of Wateq, a Computer Program for Calculating Chemical Equilibrium of Natural Waters". U.S.G.S. Water Resour. Reston, Virginia.
- REBOLLO FERREIRO, L. F. (1977): "Estudio hidrogeológico regional de la cuenca media y baja del río Guadarrama". Tesis doctoral. Fac. C. Geológicas. U.C.M.
- SASTRE MERLIN, A. (1978): "Hidrogeología regional de la cuenca terciaria del río Alberche". Tesis doctoral. Fac. de Ciencias Geológicas. U.C.M.
- S.G.O.P. (1976): "Estudio hidrogeológico 10/76. Captación de aguas para abastecimiento de Almaraz y Saucedilla (Cáceres)", S.G.O.P. M.O.P. Madrid.
- S.G.O.P. (1980): "Informe sobre el reconocimiento hidrogeológico para el abastecimiento con aguas subterráneas del polígono industrial de Torrehermo en Talavera de la Reina (Toledo)". S.G.O.P. M.O.P. Madrid.