

Microcontaminantes orgánicos en las aguas subterráneas de la Comunidad de Madrid en relación con las distintas unidades geológicas

Organic micropollutants evaluation in Madrid groundwater

C. Gómez Artola (*), I. De Bustamante (**) y M.T. Gómez Pérez (**)

(*) Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid
 (**) Dpto. Geología. Fac. Ciencias. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares, Madrid

ABSTRACT

As a part of a study on "Organic micropollutants in Madrid groundwater", a global characterization and evaluation of the detected pollutants are presented. From the analytical data and attending to the hydrogeological units where water samples are placed, we can assess that the highest global organic pollutants values are found in the Upper detrital tertiary hydrogeological unit; meanwhile, the lowest contents occur in the Paleozoic hydrogeological unit. An assessment of the overall detected organic compounds show the greatest quantities for phenols, carboxylic acids and esters.

Key words: groundwater pollution, organic compounds, water quality.

Geogaceta, 20 (6) (1996), 1291-1294
 ISSN:0212683X

Introducción

En este artículo se presentan algunos resultados de un proyecto de investigación sobre el contenido, origen y evolución de microcontaminantes orgánicos en las aguas subterráneas de la Comunidad de Madrid. Estos resultados se refieren a la evaluación y caracterización por unidades hidrogeológicas de dicha contaminación.

Como punto de partida se analizó el contenido en compuestos orgánicos (hidrocarburos, derivados halogenados, ácidos carboxílicos, aldehídos, cetonas, compuestos nitrogenados, ésteres, alcoholes, fenoles y otros), en 48 muestras de agua subterránea procedentes de pozos y manantiales destinados a diversos usos (Gómez *et al.* 1994). Partiendo de éste estudio global se estimó en una primera aproximación su origen en relación con los usos del suelo y posibles fuentes de contaminación (Gómez *et al.* 1995).

Hidrogeológicamente se han definido una serie de unidades, en función de la litología, pudiendo diferenciar (figura 1): Unidad de Rocas Igneas y Metamórficas del Paleozoico, Unidad Carbonatada del Mesozoico, Unidad Terciaria Evaporítica, Unidad Terciaria de Transición, Unidad Terciaria Detrítica Inferior, Unidad Terciaria Detrítica Superior, Unidad Terciaria

del Páramo y Unidad Cuaternaria (Gómez *et al.*, 1994).

Aunque los materiales de la Unidad de Rocas Igneas y Metamórficas se consideran impermeables, pueden constituir acuíferos por fracturación y/o alteración, con calidades de agua muy buenas, pero con un alto grado de vulnerabilidad. En cuanto a los materiales mesozoicos, los realmente importantes como acuífero, son las unidades carbonatadas (de hecho, el Canal de Isabel II, extrae agua de esta unidad para el abastecimiento de Madrid).

El Terciario es el acuífero de mayor entidad en la Comunidad de Madrid, con una calidad del agua que varía de NW a SE, a medida que se pasa de las unidades detríticas a las químicas.

La Unidad Evaporítica, situada en la parte suroriental de la Comunidad, está representada por yesos masivos con un alto grado de recristalización y por una alternancia de arcillas y bancos de yesos tableados. En tránsito lateral hacia el norte aumenta el material arcilloso y el contenido en yesos va disminuyendo. Los primeros metros de los materiales evaporíticos presentan grados de alteración altos y carstificación, por lo que es transmisiva.

La Unidad de Transición está formada fundamentalmente por materiales arcillosos y carbonatados; agrupa dos unidades litoestratigráficas en equivalencia la-

teral: carbonatos tableados y arcillas con sílex, y arcillas verdes con carbonatos. Su límite es por cambio lateral de facies con la Unidad detrítica inferior. Por sus características litológicas no constituye un acuífero de interés, pero en los metros más superficiales es transmisiva, haciéndose prácticamente impermeable en profundidad.

Las unidades detríticas corresponden a diferentes facies (Proximales, intermedias y en algún caso distales) de desarrollo de abanicos aluviales que han aportado los detritus a partir de la erosión de los relieves del borde de la cuenca, rellenando la fosa de Madrid. Su característica fundamental es la presencia de variaciones granulométricas (y consecuentemente hidrogeológicas) de un área a otra y en la vertical, debido al proceso de deposición de los materiales. De forma general se puede establecer que según se avanza hacia el sur, disminuye el tamaño de grano de los materiales y aumenta la potencia y continuidad de los materiales arcillosos.

La Unidad Detrítica Inferior está constituida por arcillas que alternan con arcillas y limos y representa materiales correspondientes a facies proximales y medias de abanicos aluviales, disminuyendo su granulometría hacia el sur y aumentando el porcentaje de fangos en la misma dirección. Supone el tránsito late-

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	PUNTOS DE MUESTREO
A: Cuaternario sobre Terciario D1	21, 22, 23, 25, 26, 27, 30, 38. TOTAL: 8
B: Terciario Detrítico D1	8, 9, 16, 19, 20. TOTAL: 5
C: Terciario Detrítico D2	2, 3, 4, 6, 7, 11, 12, 15, 17, 18, 29, 32, 35, 36, 37, 43, 44. TOTAL: 17
D: Terciario de transición	24, 31, 39, 45, 46, 47. TOTAL: 6
E: Terciario caliza del Páramo	14, 40, 41, 42, 48. TOTAL: 5
F: Calizas del Cretácico	5. TOTAL: 1
G: Paleozoico	1, 10, 13, 28, 33, 34. TOTAL: 6

Tabla I.- Situación de los puntos de agua muestreados en las Unidades Hidrogeológicas.

Table I.- Location of groundwater sampling points in the hydrogeological units.

ral de las unidades detríticas con la Unidad de transición, siendo parcialmente extensiva sobre ésta. Esta unidad, constituye en conjunto un acuífero heterogéneo y anisótropo en el que los niveles más permeables están separados por niveles arcillosos de permeabilidad inferior.

La Unidad Detrítica Superior agrupa distintas unidades litoestratigráficas: arcosas masivas con niveles de limos y cantos, arcosas de grano fino y arcillas pardas y arcosas gruesas con niveles de cantos.

La Unidad del Páramo no puede considerársela como un acuífero continuo sino compartimentado.

Los depósitos cuaternarios con mayor importancia hidrogeológica van a ser los correspondientes al aluvial de fondo de valle y las terrazas, siendo éstos los que se han diferenciado como Unidad Cuaternaria.

En la Tabla I se relacionan los puntos de agua analizados en las distintas unidades hidrogeológicas de la Comunidad de Madrid y en la figura 1 aparece la situación de dichos puntos de agua.

El análisis de las muestras se realizó en el Servicio Interdepartamental de la Universidad Autónoma de Madrid, por Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas de alta resolución. Utilizando como método de extracción Líquido-Líquido. Los grupos de compuestos orgánicos determinados, han sido: ácidos; hidrocarburos alifáticos; hidrocarburos aromáticos; ésteres; derivados halogenados; aldehidos y cetonas; compuestos nitrogenados; alcoholes; fenoles; otros y fosfato de tributilo, expresándose los re-

sultados en nanogramos por litro.

Se ha realizado un tratamiento estadístico de los resultados globales de microcontaminantes orgánicos en cada punto de muestreo, considerando la distribución de los pozos en las distintas unidades hidrogeológicas, evaluándose los valores mínimos, máximos y medios, así como los totales por punto de agua en cada unidad.

Discusión de los Resultados

En general los compuestos orgánicos se caracterizan por la baja solubilidad que presentan en el medio acuoso en relación con los compuestos inorgánicos. Sin embargo aunque algunos de ellos son muy poco polares como es el caso de los hidrocarburos y derivados halogenados, lo cierto es que en su conjunto todos se disuelven algo en agua y por tanto hay que considerar, sea cuál sea su carácter polar, su relación con la salinidad de la misma. Hay que decir, que los valores máximos encontrados en las aguas analizadas coinciden con los de la bibliografía (Gómez Artola *et al.*, 1984; Kim and Stone, 1980).

La figura 2, es un reflejo de la distribución hidrogeológica de las concentraciones de compuestos orgánicos. Para su realización, se han considerado los valores máximos, medios y mínimos de los contenidos totales por grupos de éstos compuestos en cada unidad hidrogeológica (2.1 a 2.7), representándose en ordenadas los distintos grupos analizados y en abscisas los contenidos en nanogramos por litro. Los distintos grupos vie-

nen representados como: (a) ácidos; (b) hidrocarburos alifáticos; (c) hidrocarburos aromáticos; (d) ésteres; (e) derivados halogenados; (f) aldehidos y cetonas; (g) compuestos nitrogenados; (h) alcoholes; (i) fenoles; (j) otros; (k) fosfato de tributilo. En el gráfico 2.8 aparecen los contenidos globales para cada unidad hidrogeológica.

El análisis del gráfico 2.8 muestra que los valores más altos se sitúan en la Unidad Terciaria Detrítica Superior (D2) y los más bajos en la Unidad de Rocas Ígneas y Metamórficas del Paleozoico. Este hecho es razonable dado que éstas dos unidades tienen muy poco en común en todas aquellas características que condicionan la existencia de éstos compuestos, como son: usos del suelo, litología e hidroquímica.

Del análisis de los gráficos 2.1 a 2.7 se deduce que los hidrocarburos aromáticos (c) son prácticamente inexistentes, hecho que puede deberse a la escasa solubilidad de éstos compuestos, por lo que sólo aparezcan en áreas concretas de gran actividad industrial. Cabe destacar que en la Unidad Paleozoica, pese a ser la de menor incidencia orgánica en su conjunto, como apuntábamos anteriormente, obtenemos valores de hidrocarburos alifáticos sensiblemente mayores que en el resto de las Unidades Hidrogeológicas. Esto puede ser debido a la existencia de un foco contaminante de origen urbano en el entorno, ya que la mayoría de los hidrocarburos que aparecen son de cadenas largas, de más de 18 átomos de carbono, procedentes de lubricantes, aceites y grasas; a diferencia de los hidrocarburos procedentes de gasolinas o gasóleos son de cadenas cortas. (Pine *et al.* 1982).

Los ácidos (a) y ésteres (d) son los más abundantes en todos los casos. Esta abundancia del grupo de los ácidos carboxílicos se debe a la solubilidad en agua de sus sales y a su fácil transformación en otros compuestos orgánicos. Muchos ácidos carboxílicos existen en los medios naturales no como ácidos libres sino combinados como alcoholes en forma de ésteres (la mayor parte de las grasas naturales son ésteres de la glicerina con ácidos carboxílicos alifáticos). Los ésteres encontrados son poco diversos, pero sus concentraciones son muy altas, y derivan generalmente de los ácidos carboxílicos. Dado que en el proceso analítico seguido los ácidos carboxílicos fueron transformados en sus correspondientes ésteres metílicos (más volátiles), no ha sido posible determinar qué proporción de ésteres metílicos se encontraron como tales en las muestras originales antes de su manipula-

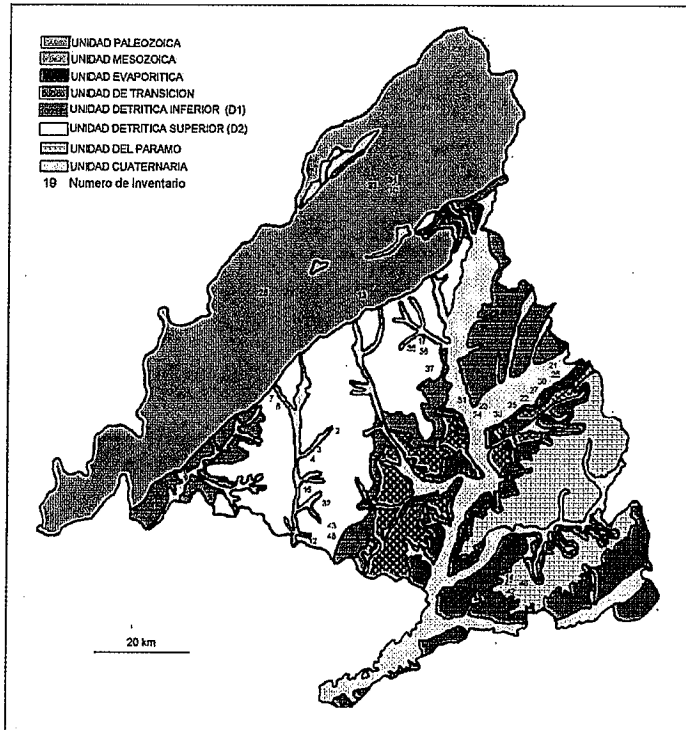


Fig. 1.- Esquema Hidrogeológico de la Comunidad de Madrid.

Fig. 1.- Geohydrogeological scheme of Madrid region

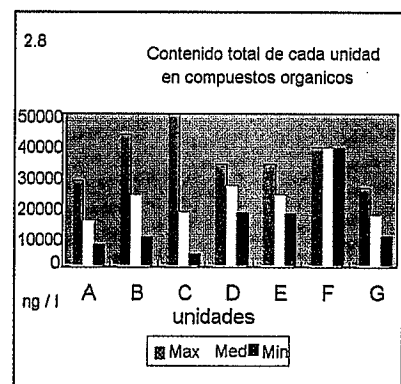
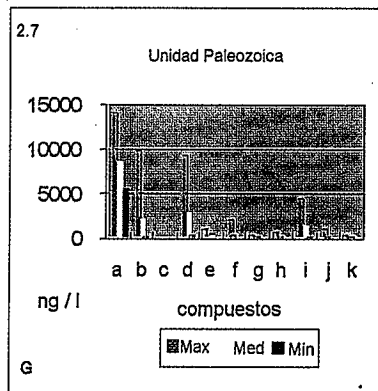
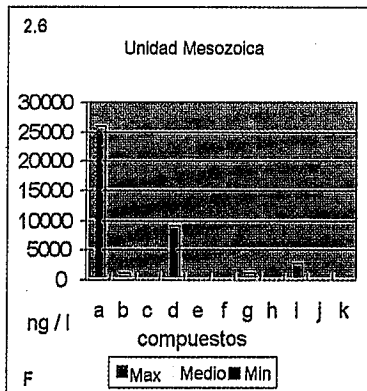
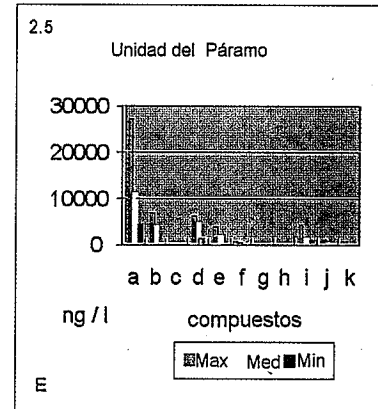
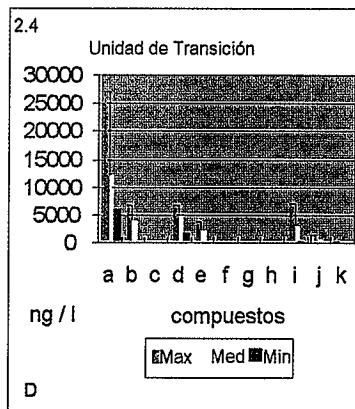
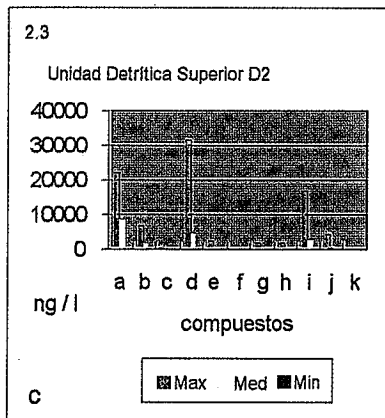
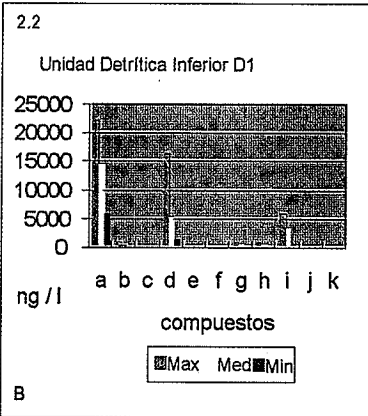
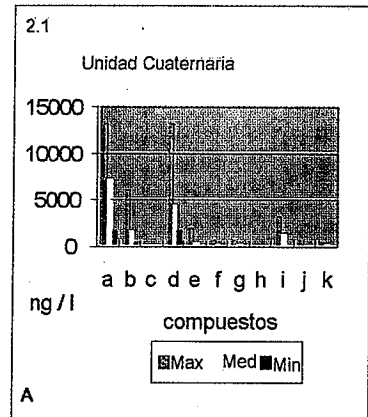


Fig. 2.- Distribución de concentraciones de microcontaminantes orgánicos en las Unidades Hidrogeológicas.

fig. 2.- Concentration range-organic micropollutants type diagram in the different hydrogeological units.

ción. La existencia de valores altos de ácidos, puede atribuirse a tiempos de permanencia largos en el acuífero o a la existencia de sales en el agua (como es el caso de los bicarbonatos y carbonatos), que podrían reaccionar con los ácidos orgánicos para transformarse en sus sales, que son muy solubles. Las menores concentraciones de ésteres en relación con los ácidos pueden atribuirse a que éstas se han hidrolizado dando lugar a los ácidos.

Los fenoles (i) pese a que presentan solubilidades relativamente altas, son biodegradables y su concentración resulta ser menor que la de los grupos anteriores.

Los contenidos mínimos se sitúan en general en los aldehídos-cetonas (f), compuestos nitrogenados (g), alcoholes (h) y fosfato de tributilo (k).

Los aldehídos y cetonas tan solo aparecen en la unidad cuaternaria, en las calizas del Páramo y en los materiales paleozoicos y en concentraciones muy bajas. Los compuestos nitrogenados presentan concentraciones bajas y su origen está relacionado con usos agrícolas (no hay que olvidar que éstos compuestos son volátiles y que muchos nitrilos pueden transformarse en ácidos carboxílicos). Los alcoholes aunque son solubles en el medio acuoso, son menos densos que el agua y biodegradables, por eso se encuentran en concentraciones moderadas.

El fosfato de tributilo se ha incluido como un grupo aparte, al tratarse de un éster de un ácido inorgánico. Puede atribuirse su origen a actividades urbanas e industriales, generalmente a la degrada-

ción de tensoactivos. Al ser un triéster (fosfotriéster), el enlace covalente que presenta es muy fuerte, por lo que la molécula es difícil de romper y su movilidad es menor que los mono o biésteres, lo que implica su escasa concentración en las aguas subterráneas.

Por último, la existencia de derivados halogenados (e), puede atribuirse a focos de contaminación en el entorno, tanto de origen industrial como agrícola. Estos compuestos son muy problemáticos dado su carácter persistente, tóxico, acumulativo y poco biodegradable, pudiéndose transformar en metabolitos que en ocasiones son más peligrosos que el producto inicial. Son poco solubles, más densos que el agua y aparecen en concentraciones bajas (posiblemente debido a su baja solubilidad).

Conclusiones

A partir de los datos obtenidos parece ser que la existencia de compuestos orgánicos en las aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid, está relacionada, con el uso del suelo, con la litología y con el tiempo de permanencia del agua en los acuíferos.

De acuerdo con los contenidos globales en cada unidad hidrogeológica, los valores más altos se sitúan en el Terciario Detrítico Superior (D2), debido a que es sobre ésta unidad donde se instalan las densidades mayores de actividad humana, situándose los contenidos más bajos en la Unidad Paleozoica.

En relación con los contenidos máxi-

mos y mínimos por grupo de compuestos orgánicos en cada unidad hidrogeológica, se comprueba que los hidrocarburos aromáticos son prácticamente inexistentes, los valores máximos se sitúan en los ácidos y ésteres en todos los casos y los mínimos en aldehídos, compuestos nitrogenados y alcoholes. Por último, cabe destacar la existencia de derivados halogenados que pueden atribuirse a focos de contaminación de origen industrial y/o agrícola.

Agradecimientos

Este trabajo está enmarcado en el Proyecto AMB92-876 financiado por la CI-CYT

Referencias

- Gómez Artola, C.; Suquillo, J.; Toves Argüello, D. (1984): *I Congreso de Geología*, Segovia: 139-150.
- Gómez M.; Fernández I.; De Bustamante, I., Gómez Artola, C. (1994): *Jor. Análisis y Evolución de la Contaminación de las aguas subterráneas*, Madrid, 105-114.
- Gómez M.; De Bustamante, I.; Gómez, C. (1995): *International Symposium on Waster Reclamation and Reuse*, Crete: 629-636.
- Kim, N.; Stone, D. (1980) *Organic Chemicals and Drinking Water*. Mc Graw Hill.
- Pine, S.; Hendrickson, J. ; Cram, D.; Hammond, G. (1982) *Química Orgánica*. Mc Graw Hill.