

Contaminación de un acuífero por metales pesados de origen geogénico: importancia del control geológico e hidrogeológico de los sondeos de captación de aguas

Aquifer pollution with heavy metals of geogenic origin: importance of geological and hydrogeological control of boreholes for groundwater supply

B. González-Fernández¹, E. Rodríguez-Valdés² y J.R. Gallego²

¹ Departamento de Explotación y Prospección de Minas. C/Independencia, 13, 33004, Oviedo. mbeagf@uniovi.es, ecasares@uniovi.es

² INDUROT y Grupo de Tecnología Ambiental, Biotecnología y Geoquímica de la Universidad de Oviedo. C/Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, 33600 Mieres, Asturias, rodriguezreduardo@uniovi.es, jgallego@uniovi.es

ABSTRACT

This paper presents a problem of domestic water supply contamination. The water comes from drilled holes in a terrigenous aquifer located above a marly and carbonate formation, with black shale levels. Water contains an abnormally high quantity of suspended solids whose chemical composition is characterized by high concentrations of heavy metals. The water also presents some dissolved metals with concentrations slightly higher than the maximum admissible for drinking water. Since the boreholes, drilled without hydrogeological criteria, crossed not only the aquifer formation but also part of the underlying one, it is suggested that the materials in suspension in the water have their origin in the black shale levels. Therefore, in addition to the particles in suspension, samples of the black shales outcropping in nearby areas were analyzed, as well as the cuttings from one of the wells. The analytical results show a very similar pattern in the composition of all solid materials although the concentration of metals in the material in suspension is much higher than in the other samples.

Key-words: domestic water supply, suspended solids, black shales, heavy metals.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un problema de contaminación del agua de abastecimiento doméstico procedente de sondeos que captan un acuífero terrígeno situado sobre una formación margosa y carbonatada, con niveles de margas bituminosas. El agua contiene una cantidad anormalmente elevada de sólidos en suspensión de tonalidades negruzcas cuya composición química se caracteriza por altas concentraciones de metales pesados. El agua presenta también algunos metales con concentraciones ligeramente superiores a las máximas admisibles para agua potable. Dado que los sondeos de abastecimiento, perforados sin criterio hidrogeológico, atravesaron no solo la formación acuífera sino también parte de la subyacente, se planteó la hipótesis de que los materiales en suspensión presentes en el agua tuvieran su origen en los niveles de margas bituminosas. Por ello se analizaron, además de las partículas en suspensión, muestras de los tramos de margas bituminosas aflorantes en zonas cercanas, así como de los ripios de uno de los sondeos. Los resultados analíticos muestran un patrón muy similar en la composición de todos los materiales sólidos aunque la concentración de metales en el material en suspensión es mucho más elevada que en el resto de muestras.

Palabras clave: agua de abastecimiento doméstico, sólidos en suspensión, margas bituminosas, metales pesados.

Geogaceta, 64 (2018), 59-62
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 14 de febrero de 2018
Revisión: 11 de abril de 2018
Aceptación: 25 de abril de 2018

Introducción

La Organización Mundial de la Salud establece una serie de recomendaciones sobre la calidad de las aguas de consumo humano en las que se basan las Administraciones públicas sanitarias para orientar sus actuaciones y fijar los criterios básicos dirigidos a controlar los sistemas de abastecimiento. Estos criterios están incorporados al ordenamiento jurídico mediante leyes y decretos que recogen, entre otros aspectos,

los parámetros y valores paramétricos que deben cumplir todas aquellas aguas que, independientemente de su origen y del tratamiento de potabilización que reciban, se utilicen en la industria alimentaria o se suministren a través de redes de distribución públicas o privadas, depósitos o cisternas (Real Decreto 140/2003). Así mismo, con el objetivo de asegurar un alto nivel de protección de la salud de la población ha de aplicarse, en determinados casos, el principio de precaución. En el caso de las aguas

subterráneas el diseño de los sondeos de captación de las mismas puede ser crucial para preservar y proteger su calidad.

En este trabajo se expone el caso concreto de la red de abastecimiento humano del pueblo de Lue (Colunga, Asturias, Fig. 1) cuyas aguas proceden de un acuífero captado mediante dos sondeos. El agua que recibe la población presenta una cantidad anormalmente alta de sólidos en suspensión de tonalidad negruzca y granulometría fina. Estudios previos realizados por el Instituto

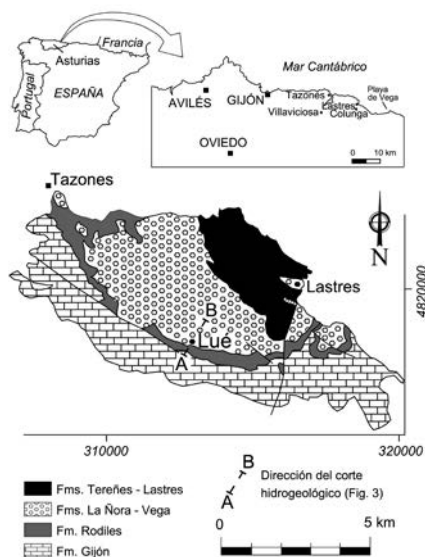


Fig. 1.- Situación geográfica y geológica de la zona de estudio.

Fig. 1.- Geographical and geological setting of the study area

Nacional del Carbón (INCAR, CSIC) confirmaron que el residuo sólido no contiene carbón y mediante microscopía electrónica se detectó una concentración elevada de manganeso. Teniendo en cuenta que este acuífero es ampliamente utilizado para el abastecimiento de numerosos pueblos del entorno, aunque no existe constancia de otros casos similares, es de interés general investigar el origen del problema.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el material que permanece en suspensión en el agua, determinar su procedencia y su influencia en la composición del agua y proponer una solución que permita preservar la calidad natural del agua en la red de abastecimiento.

Contexto geológico e hidrogeológico

La zona de estudio se sitúa dentro de la cobertera mesozoico-cenozoica, sobre materiales del Jurásico (ver Fig. 1) el cual está constituido por dos secuencias sedimentarias superpuestas, separadas por una disconformidad. La secuencia inferior, carbonatada y margosa, incluye las formaciones Gijón y Rodiles. La secuencia superior, fundamentalmente terrígena, aunque con algunas intercalaciones carbonatadas, está constituida por las formaciones La Ñora, Vega, Tereñes y Lastres (Valenzuela *et al.*, 1986).

Desde el punto de vista hidrogeológico, en el Jurásico asturiano se diferencian dos

acuíferos carbonatados y dos acuíferos terrígenos (Menéndez-Casares *et al.*, 2004), independizados entre sí por el acuífudo representado por la Fm. Rodiles, de naturaleza carbonatada y margosa (Fig. 2). Los acuíferos carbonatados están representados por los miembros inferior y superior de la Fm. Gijón, separados por un acuitardo que es el miembro medio de dicha formación. Los acuíferos terrígenos corresponden a las formaciones La Ñora y Vega, que forman el acuífero terrígeno inferior, y la Fm. Lastres del acuífero terrígeno superior; ambos están separados por la Fm. Tereñes que actúa de acuífudo.

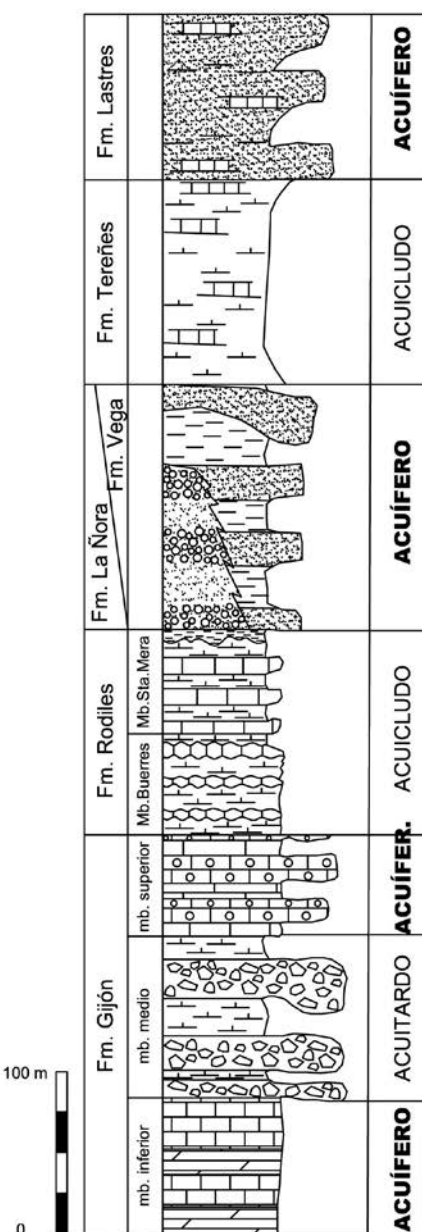


Fig. 2.- Columna hidroestratigráfica del Jurásico asturiano.

Fig. 2.- Hydrostratigraphic section of the Asturian Jurassic.

El sustrato geológico de la zona estudiada corresponde a la Fm. Vega la cual representa un cambio lateral de facies hacia el Este de los materiales de la Fm. La Ñora. Consta fundamentalmente de areniscas y lutitas con intercalaciones de conglomerados silíceos, limolitas, caliches y calizas micríticas. Es de especial interés, por sus implicaciones en el problema que se estudia, describir las características del acuífudo subyacente, la Fm. Rodiles, que es una sucesión rítmica margo-calcareo compuesta por dos miembros: el inferior (miembro Buerres) de predominio calcáreo y el superior (miembro Santa Mera) en el que dominan las margas. En este miembro superior se pueden distinguir, a su vez, dos subunidades, la inferior (Pliensbachense-Toarciense) que contiene varias capas de margas bituminosas o *black-shales* muy ricas en materia orgánica, y la subunidad superior que se diferencia de la anterior por no presentar dichas facies bituminosas.

En el corte hidrogeológico de la figura 3 se muestra la disposición de las formaciones Vega y Rodiles en la zona de estudio; se debe señalar que por falta de control hidrogeológico en la ubicación y diseño de los dos sondeos de captación de agua, éstos atraviesan, especialmente el S-1, además del acuífero (Fm. Vega), parte del acuífudo (Fm. Rodiles) situado a muro del primero.

Hay que tener en cuenta que el contacto entre las formaciones Vega y Rodiles es disconforme por lo que existe entre ambas una superficie de erosión muy irregular que hace que la formación superior se apoye sobre diferentes niveles de la inferior.

Materiales y métodos

En estudios previos se había constatado que en el sólido en suspensión que aparece en el agua existe un claro predominio del manganeso (exceptuando el calcio cuya alta concentración procede del carbonato de la marga) pero también concentraciones elevadas de otros elementos tales como Ba, Cu, Zn, Cd y, en menor medida, As. Las características litológicas de la Fm. Vega no apuntan a que sea el propio acuífero el origen de ese residuo. Tampoco existen en el entorno actividades antrópicas (vertidos, emisiones) que pudieran justificar la presencia de dicho residuo en las aguas o suelos de la zona.

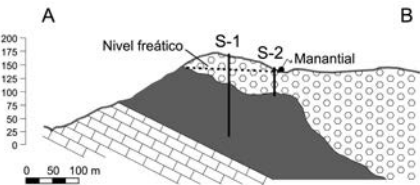


Fig. 3.- Corte hidrogeológico de la zona estudiada en el que se han situado los sondeos de abastecimiento. Leyenda en figura 1.

Fig. 3.- Hydrogeological cross section of the studied area showing the supply boreholes. Legend in figure 1.

Sin embargo, los niveles de margas bituminosas intercalados en la Fm Rodiles, situada a muro del acuífero, sí pueden ser fuente de manganeso y otros metales (Lipinski *et al.*, 2003; Mongelli *et al.*, 2010; Kashif *et al.*, 2011; Kuscú *et al.*, 2016). Diversos trabajos han constatado los riesgos ambientales que suponen la alteración de estas rocas y la consiguiente liberación al medio hídrico de los metales contenidos en ellas (Coveney, 2001; Ogendi *et al.*, 2004; Paikarav, 2012). Bajo estas premisas se plantea la hipótesis de que el residuo sólido provenga de uno de los niveles de margas bituminosas que pudieron haber sido atravesados por los sondeos de captación del acuífero.

La metodología seguida consistió en recopilar información acerca de las características constructivas de los sondeos (solo se pudo conocer su profundidad; la información sobre tramos ranurados, tipo de filtros o empaque de grava no fue facilitada) y datos de cartografía geológica, tomar muestras para análisis del material sólido presente en el agua, de los diferentes niveles de margas bituminosas, de una fracción de los ripios extraídos durante la perforación de uno de los sondeos destinado al abastecimiento (S-1) y de la propia agua. El residuo sólido muestreado procede de la decantación (IC) de un volumen de agua obtenida directamente del grifo de una vivienda particular. Los niveles de margas bituminosas se muestrearon en las playas de Vega y Lastres (ver Fig. 1); en la primera se tomaron muestras correspondientes a las zonas Jamesoni, Ibex y Margaritatus (Fig. 4), y en la segunda los niveles de edad Toarciense. Los ripios del sondeo, perforado a rotoperCUSión, corresponden a la zona más profunda del mismo en la que se cortó la Fm. Rodiles.

Las muestras de agua se tomaron directamente de los dos sondeos de abaste-

cimiento. En el agua se analizaron metales (B, Al, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb y U), por ICP-MS y aniones y cationes mayoritarios (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} y HCO_3^{-}) por Cromatografía Iónica. Las muestras para el análisis de metales y metaloides fueron filtradas mediante membrana de 0,45 μm , y acidificadas con HNO_3 a pH inferior a 2.

En el material sólido se determinó la concentración de 28 elementos (B, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Tl, Pb y U) mediante digestión en agua regia + ICP-MS, así como el contenido en carbono total (TC), carbono inorgánico (IC), y carbono orgánico (TOC).

Todas las determinaciones analíticas se realizaron en los laboratorios de los Servicios Científico Técnicos de la Universidad de Oviedo.

Muestra	Ibex		Jamesoni		Margaritatus		Toarciense		Sól.Susp.		Rip. S-1	
TC	9,0	8,8	9,4	9,0	12,5	12,8	5,3	5,2	6,7	6,9	7,1	7,7
IC	4,4	4,7	4,9	4,4	7,7	7,3	2,1	2,0	5,9	6,1	6,3	6,7
TOC	4,6	4,0	4,5	4,5	4,8	5,5	3,2	3,3	0,8	0,8	0,8	1,0
IC/TOC	1,0	1,2	1,1	1,0	1,6	1,3	0,7	0,6	7,5	8,0	7,7	6,5

Tabla I.- Contenido en Carbono: TC (carbono total), IC (carbono inorgánico), TOC (carbono orgánico). Cada par de valores corresponde a dos réplicas sobre una misma muestra.

Table I.- Carbon content: TC (total carbon), IC (inorganic carbon), TOC (organic carbon). Value pairs corresponding to two replicas on the same sample.

Resultados y discusión

Los resultados analíticos de las muestras sólidas indican que la composición química de las partículas en suspensión presentes en el agua muestra un patrón muy similar a la de los niveles de margas bituminosas y los ripios del sondeo (Fig. 5), aunque la concentración de varios elementos, (especialmente el Mn) es notablemente más elevada en el sólido en suspensión del agua que en el resto de materiales. Esta diferencia puede ser el resultado de la precipitación de metales debido a cambios en el estado Redox del agua cuando se almacena en el depósito una vez bombeada de los sondeos. También puede interpretarse como una consecuencia de la acumulación de las partículas sólidas más densas en el depósito. Con el tiempo el residuo se va acumulando en el fondo y la concentración de determinados metales aumenta. En cuanto a los valores de carbono orgánico (TOC) e inorgánico (IC), se observa que la relación IC/TOC oscila entre 0,6 y 1,6 en las muestras de margas bituminosas,



Fig. 4.- Aspecto de la Fm Rodiles en la playa de Vega con indicación de los niveles de margas bituminosas muestreados.

Fig. 4.- View of the Rodiles Fm on the Vega beach with indication of the sampled black-shales levels.

mientras que en los sólidos en suspensión y en los ripios del sondeo esta relación es mucho mayor, alcanzando valores de 6,5 a 8 (Tabla I); esto se explica por la oxidación de la materia orgánica en estas últimas muestras, lo que hace disminuir notablemente la concentración de carbono orgánico.

Respecto a la composición y calidad del agua, ésta presenta facies bicarbonatada cálcica y las concentraciones de metales (Tabla II) están dentro de los límites que marca la normativa vigente (Real Decreto 140/2003), salvo para el manganeso. Esta normativa sobre criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano en España no considera la composición de los sólidos en suspensión por lo que para tener un valor de referencia en cuanto al significado de las concentraciones medidas en el sólido en suspensión, y a título meramente estimativo, se han comparado los valores de dichas concentraciones con los Niveles Genéricos de Referencia (NGRs) establecidos por la legislación española (BOPA nº 91) para suelos de uso residencial y otros usos, ya que son los más restrictivos. La comparación muestra que son varios los metales que superan ampliamente esos valores en las partículas en suspensión en el agua. No es así en las muestras de margas bituminosas ni en las de los ripios del sondeo.

ppb	S-1	S-2	CMA (ppb)
B	77	20	1000
Al	4,52	5,81	200
Cr	-	0,10	50
Mn	43	73	50
Fe	22	29	200
Co	0,21	-	*
Ni	1,95	0,24	20
Cu	2,33	2,68	2000
Zn	22	8,65	*
As	1,79	1,41	10
Sr	2841	460	*
Mo	59	0,36	*
Sb	4,93	-	5
Ba	255	248	*
Pb	0,80	0,30	10
U	2,53	0,68	15

Tabla II.- Concentraciones de metales en el agua de los sondeos. *No existe valor de referencia.

Table II.- Concentrations of metals in the water of the boreholes. *There is no reference value.

Conclusiones

El material en suspensión presente en el agua de la red de abastecimiento contiene concentraciones elevadas de metales pesados, principalmente manganeso. Estas partículas proceden de los niveles de margas bituminosas que fueron atravesados por los sondeos de abastecimiento, debido a una inadecuada ubicación e incorrecto diseño de los mismos que provoca un problema de arrastre de material en el interior de dichos sondeos. De este modo cuando el agua es bombeada, el material se moviliza, es arrastrado y permanece en suspensión hasta ser almacenado en el depósito donde, por decantación, se va acumulando en el fondo, incorporándose al agua cuando ésta es conducida por la red hasta los hogares.

Aunque en el agua la concentración de metales disueltos es baja, salvo la de manganeso, el cual supera la concentración máxima admisible para aguas de consumo humano, hay que tener en cuenta que las partículas sólidas

pueden estar siendo ingeridas por la población, con el consiguiente riesgo para la salud, ya que estas partículas contienen elevadas concentraciones de metales.

Dado que la Fm. Rodiles es un acuícludo y por lo tanto no proporciona agua, no es necesario ni conveniente que sea perforada por los sondeos de abastecimiento. La solución más adecuada a largo plazo debe consistir en impedir el contacto del agua con las rocas de dicha formación aislando el tramo correspondiente a esos materiales. A corto plazo es urgente la instalación de filtros a la entrada del depósito para evitar que las partículas sólidas pasen al agua.

Si en el futuro se perforan nuevos sondeos de abastecimiento, es fundamental hacer un seguimiento y control hidrogeológicos con el objetivo de que el acuífero de la Fm.Vega no se vea afectado por la presencia de material procedente de la Fm. Rodiles.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Proyecto de Investigación CN-14036. Agradecemos las revisiones del manuscrito original que han contribuido a su mejora.

Referencias

Coveney, R.M. (2001). En: *GSA Annual Meeting*. Paper nº 77-0.

Kashif, N., Wasim, Y., Tariq, M.B. y Bashir, M. (2011). *Chinese Journal of Geochemistry*. 30, 217–219.

Kuscu, M., Özsoy, R., Özçelik, O. y Altunsoy, M. (2016). In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44 042012.

Lipinski, M., Warning, B. y Brumsack, H.J. (2003). *Palaeo* 190, 459-475.

Menéndez-Casares, E., González-Fernández, B., Gutiérrez Claverol, M. y García-Ramos, J.C. (2004). *Trabajos de Geología* 24, 119–126.

Mongelli, G., Critelli, S., Dinelli, E., Paternoster, M. y Perri, F. (2010). *Geochemical Journal* 44, 211-223.

Ogendi, G.M., Hannigan, R.E., Farris, J.L. y Smith, D. (2004). *Journal of the Arkansas Academy of Science* 58, 84-90.

Paikarav, S. (2012). *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 11, 289-303.

Valenzuela, M., García-Ramos, J.C. y Suárez de Centi, C. (1986). *Trabajos de Geología* 16, 121-132.

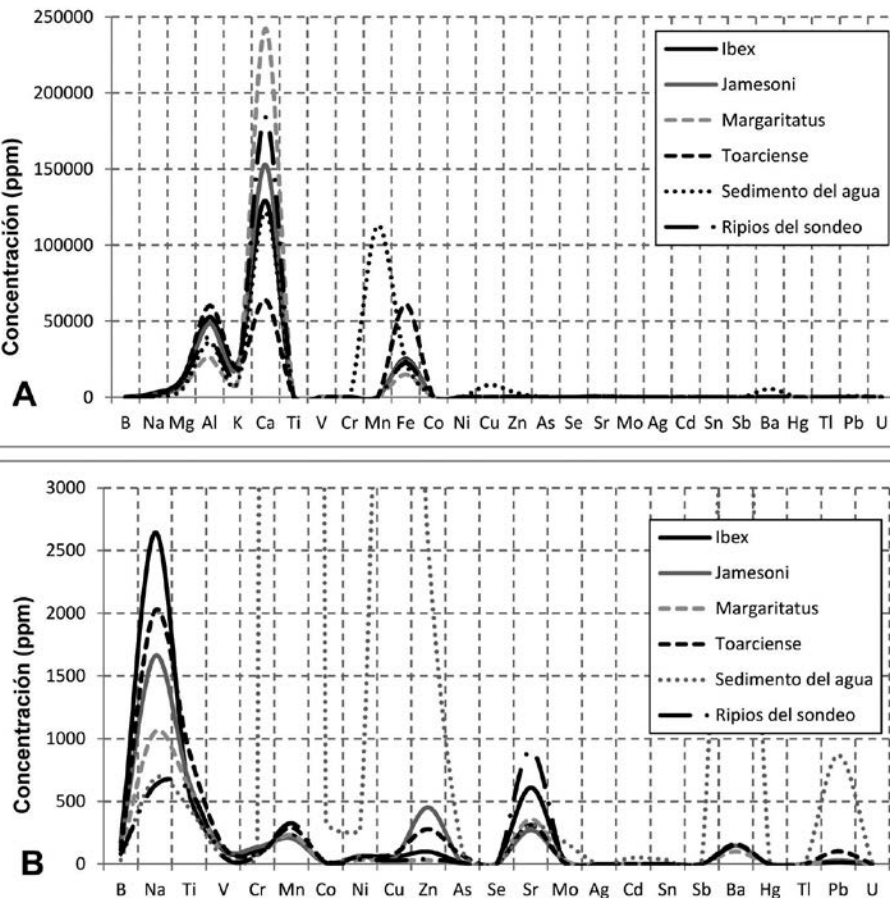


Fig. 5.- Representación gráfica de las concentraciones de metales en los diferentes materiales sólidos. A) Todos los metales analizados. B) Detalle de la gráfica anterior en la que se han eliminado algunos de los elementos con mayor concentración (Mg, Al, K, Ca y Fe) para ver con más claridad el comportamiento del resto.

Fig. 5.- Graphical representation of the concentrations of metals in the different solid materials. A) All metals analyzed. B) Detail of the previous graph. To better appreciate the behavior of most elements, those with highest concentrations (Mg, Al, K, Ca and Fe) have been eliminated.