

# Variación en los parámetros del sistema calcocarbónico del agua subterránea por infiltración del lixiviado del vertedero de La Mina (Málaga)

*Variation in the groundwater calcocarbonic system parameters by the infiltration of La Mina landfill leachate (Malaga)*

I. Vadillo Pérez<sup>(\*)</sup>, F. Carrasco Cantos<sup>(\*)</sup>, B. Andreo Navarro<sup>(\*)</sup>, A. García de Torres<sup>(\*\*)</sup> y C. Bosch Ojeda<sup>(\*\*)</sup>

(\*) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

(\*\*) Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

## ABSTRACT

The leachate produced in La Mina landfill has affected the groundwater quality in its surroundings. The chemical composition of the waters from two wells points and the main spring of the aquifer have been controlled. Great amounts of calcium, magnesium and inorganic carbon have been detected in the water samples of the affected points. A hydrochemistry computer code has been used to calculate the  $P_{CO_2}$  and the saturation indexes of calcite, aragonite and dolomite. The  $P_{CO_2}$  values are higher than the calculated in the aquifer in natural conditions, because it comes from the  $CO_2$  produced in the landfill.  $P_{CO_2}$  is the main parameter that controls the dolomitic marbles dissolution and the amount in calcium, magnesium and inorganic carbon in the water samples. All these concentrations produce an increase in the saturation indexes.

**Key words:** landfill, carbonate aquifer,  $P_{CO_2}$ , saturation indexes.

*Geogaceta*, 25 (1999), 199-201

ISSN: 0213683X

## Introducción

El vertedero de residuos sólidos urbanos de La Mina (Fig. 1) se encuentra a 2 km al Norte de la ciudad de Marbella (Málaga) y está enclavado en el sistema acuífero de Marbella (Andreo 1997), formado por una sucesión de mármoles dolomíticos a la base y calizas a techo. No existe impermeabilización entre los residuos y los mármoles por lo que una parte de los lixiviados se infiltran en el acuífero (Vadillo *et al.*, 1998). La base del vertedero se encuentra a unos 130 metros por encima del nivel piezométrico local. La materia orgánica es un constituyente mayoritario en los residuos de vertederos urbanos, donde se descompone por metabolismo de las bacterias anaerobias (Appelo y Postma, 1996). Este proceso genera ácidos orgánicos,  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $H_2O$  (Fetter, 1993). El objetivo del presente trabajo es mostrar los cambios que se producen en el sistema calcocarbónico de las aguas por el  $CO_2$  generado en la descomposición de la basura.

Entre noviembre de 1995 y marzo de 1998 se ha analizado, con periodicidad

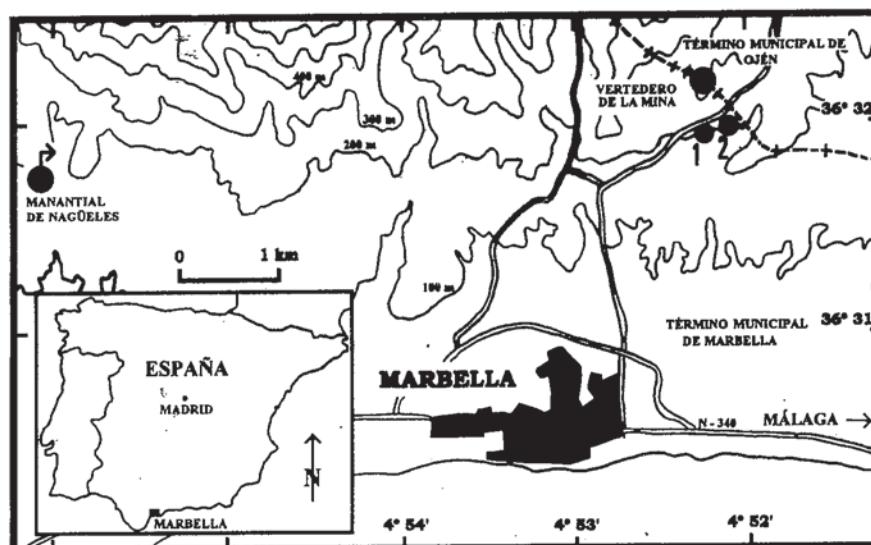


Fig. 1.- Esquema de situación del vertedero de La Mina y de los puntos de control.

*Fig. 1.- Location of La Mina landfill and controls points.*

mensual, la composición química del agua en dos sondeos de explotación situados al sur del vertedero, sondeo 1 y 2, situados a 350 y 400 m de distancia, respectivamente (Fig.1). El sondeo 1 se

construyó durante el último trimestre del año 1988 y comenzó a funcionar en diciembre de ese mismo año. El sondeo 2 se perforó y entró en funcionamiento en el mes de septiembre de 1996. También

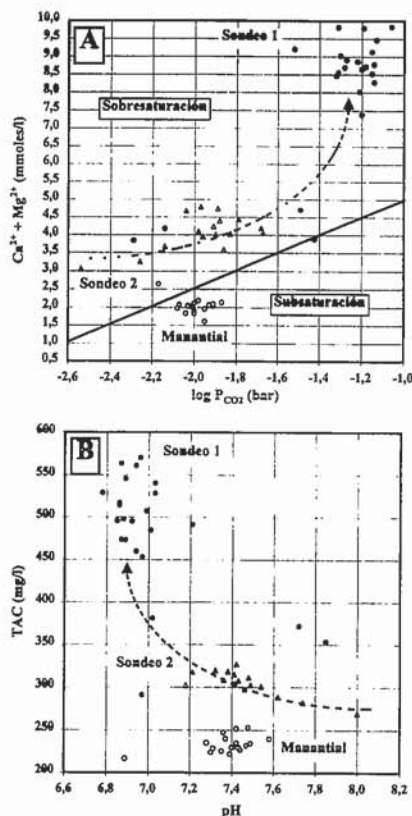


Fig. 2.- A: Representación de los valores de log P<sub>CO2</sub> frente a la suma de los contenidos de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> de las aguas. B: Representación de los valores de pH frente a la TAC

Fig.2.- A: Log P<sub>CO2</sub> - Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> plot of the water samples. B: pH-TAC plot of the water samples.

se han recogido muestras de agua del manantial de Nagüeles, el más importante en el sistema de Marbella, para caracterizar la composición química de las aguas en condiciones naturales. El manantial dreña mármoles calizos mientras que los sondeos explotan agua de los mármoles dolomíticos.

Los datos del quimismo de las aguas se han introducido en el programa de cálculo hidrogeoquímico PHREEQC (Parkhurst, 1995) para calcular los valores de P<sub>CO2</sub> y los índices de saturación (SI) en los principales minerales carbonatados.

**P<sub>CO2</sub> y procesos de disolución de los mármoles**

La P<sub>CO2</sub> calculada a partir de los datos del manantial de Nagüeles (Tab.1) presenta valores de 10<sup>-2.00</sup> bares, similares a los obtenidos en estudios anteriores (Andreo, 1997). En los sondeos 1 y 2 el valor medio es de 10<sup>-1.33</sup> y 10<sup>-1.96</sup> bares, respectivamente (Tab. 1 y Fig. 2A). En el caso del sondeo 1 la P<sub>CO2</sub> se

incrementa casi un orden de magnitud con respecto al manantial de Nagüeles. En el sondeo 2 el valor medio de P<sub>CO2</sub> es similar al del manantial de Nagüeles aunque existe una tendencia creciente en la P<sub>CO2</sub> a partir de su puesta en explotación, desde 10<sup>-2.54</sup> hasta 10<sup>-1.70</sup> bares. Al aumentar la P<sub>CO2</sub> aumenta el contenido en calcio, magnesio (Fig. 2A) y carbono inorgánico (TAC) y disminuye el pH (Fig. 2B). Este hecho se constata claramente al comparar los datos de los parámetros anteriores en las aguas del sondeo 1 con los valores de los mismos parámetros en el manantial (Tabla 1). En el agua del sondeo 2 la TAC es el único parámetro claramente superior a las aguas del manantial, 304 mg/l frente a 233 mg/l, aunque existe una tendencia del resto de parámetros hacia los valores del sondeo 1, como se observa en las figuras 2A y 2B.

Según Langmuir (1997) en sistemas naturales donde predomina la disolución de minerales carbonatados, la concentración del ion calcio es aproximadamente proporcional a la raíz cúbica de los valores de P<sub>CO2</sub>:

$$Ca^{2+} \text{ (mmoles/l)} = 9.057 \times (P_{CO2})^{0.3615} \quad [1]$$

Los valores medios de P<sub>CO2</sub> obtenidos para las aguas de los puntos de control se han introducido en la ecuación [1] y los contenidos teóricos en Ca<sup>2+</sup> se muestran en la tabla 1. En el manantial y el sondeo 2 los valores de Ca<sup>2+</sup> determinados analíticamente y calculados muestran diferencias inferiores a 8 mg/l por lo que en ambos puntos se cumple satisfactoriamente la relación [1], mientras que en el sondeo 1, la diferencia es de 37 mg/l. Esto se debe a que el aumento de la P<sub>CO2</sub> da lugar al aumento de la concentración en ciertos pares iónicos que no se consideran en la expresión [1]. Entre dichos pares iónicos cabe destacar el CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> cuya concentración es mayor en las aguas del sondeo 1, constituyendo el 15 % del calcio total del agua (Tabla 1). Todo ello corrobora la influencia del CO<sub>2</sub> del vertedero en el agua.

El hecho de que la P<sub>CO2</sub> se mantenga entre los valores anteriormente citados (Tab. 1 y Fig. 2A) y que no disminuya durante los procesos de disolución de los minerales carbonatados pone de manifiesto que las reacciones en este ambiente se desarrollan bajo condiciones de sistema abierto (Appelo y Postma, 1996; Kehew y Passero, 1990), porque existe un aporte continuo de CO<sub>2</sub> procedente del vertedero.

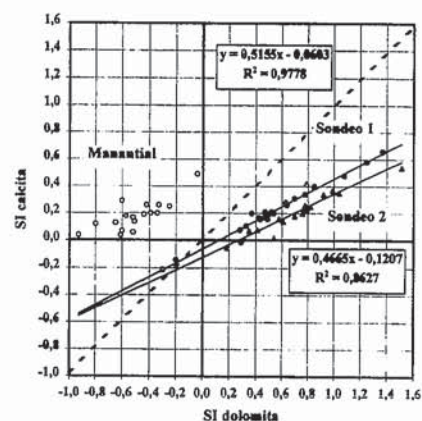


Fig. 3.- Relación entre los índices de saturación para la calcita y dolomita en las muestras analizadas.

Fig.3.- Graph showing the relation between the saturation indices of calcite and dolomite in the water samples.

**Índices de saturación de los principales minerales carbonatados**

Como consecuencia de la mezcla del lixiviado cargado en CO<sub>2</sub> proveniente del vertedero con el agua del acuífero, la capacidad tampón del sistema calcocarbónico provoca la disolución de minerales carbonatados, con el consiguiente incremento en calcio, magnesio y bicarbonatos (TAC) y, por lo tanto, de los índices de saturación en calcita, aragonito y dolomita. Estos índices son mayores de cero, por lo que las aguas se encuentran sobresaturadas en los principales minerales carbonatados (Tab. 1 y Fig. 3).

Los índices de saturación en calcita (SI=0.22) y aragonito (SI=0.07) son iguales en las aguas de ambos sondeos y superiores a los valores obtenidos para las aguas del manantial. Los valores del índice de saturación en dolomita son mucho más elevados en las aguas de los sondeos que en las del manantial, debido a que el agua cargada en CO<sub>2</sub> circula por mármoles de composición dolomítica.

Estos datos muestran, una vez más, la influencia del lixiviado del vertedero en las aguas subterráneas del entorno, tal como se ha puesto de manifiesto en trabajos anteriores (Carrasco y Andreo, 1995; Vadillo et al. 1998).

**Conclusiones**

El vertedero de residuos sólidos de La Mina se encuentra directamente encima de unos mármoles dolomíticos, permea-

	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	TAC	LogP <sub>CO2</sub>	SI cal	SI dol	SI ara	Ca <sup>2+</sup> teórico	CaHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
<b>MANANTIAL</b>										
n	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
m	7,38	72,3	5,4	233,5	-2,00	0,18	-0,50	0,04	68,7	6,0
V (%)	1,98	11,6	27,8	4,4	3,71	61,55	41,31	308,62	-	-
<b>SONDEO 1</b>										
n	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
m	7,01	157,5	99,8	482,6	-1,33	0,22	0,54	0,07	120,0	23,3
V (%)	3,70	25,1	24,5	14,8	22,69	90,60	70,22	273,67	-	-
<b>SONDEO 2</b>										
n	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
m	7,47	63,4	60,7	304,5	-1,96	0,22	0,74	0,07	71,0	5,3
V (%)	2,65	24,5	13,2	4,9	11,05	70,18	42,26	211,74	-	-

Tabla 1.- Tabla estadística de los parámetros analizados en el estudio. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> y TAC en mg/l y log P<sub>CO2</sub> en bares. n (número de muestras), m (media aritmética) y V (coeficiente de variación).

Table 1.- Statistical table of the analyzed parameters in this study. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> and TAC in mg/l and log P<sub>CO2</sub> in bars. n (number of samples), m (arithmetic average) and V (variation coefficient).

bles por fisuración y karstificación, sin que exista impermeabilización.

La degradación de la materia orgánica del vertedero da lugar, entre otros productos, a CO<sub>2</sub> que es puesto en disolución en el lixiviado. La mezcla de este lixiviado, con alta P<sub>CO2</sub>, y el agua del acuífero produce una disminución del pH, un aumento de la solubilidad de los mármoles dolomíticos y, por tanto, un aumento de la alcalinidad (carbono inorgánico) y de los contenidos en Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> en disueltos en agua. Como consecuencia de ello, se produce un aumento de los índices de saturación en los minerales carbonatados, especialmente en dolomita, dada la composición de los mármoles. Se constata el incremento en la concentración de pares iónicos, como CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>, debido al aumento de la P<sub>CO2</sub>, en el sondeo más afectado por el lixiviado.

#### Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto IGCP-379 de la UNESCO y ha sido realizado gracias al proyecto de la DGICYT PB94-1495 y al Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía RNM-0126.

#### Referencias

- Andreo, B. (1997): *Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas, Cordillera Bética, sur de España*. Universidad de Málaga-CHS, 489 p.
- Appelo, C.A.J. y Postma, D. (1996): *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema Ed., 536 p.
- Carrasco, F. y Andreo, B. (1994): *Cong.*

*sobre análisis y evolución de la contaminación de aguas subterráneas*, 2: 25-38.

- Fetter, C.W. (1993): *Contaminant hydrogeology*. Prentice-Hall Ed., 458 p.
- Kehew, A.E. y Passero, R.N. (1990): *Groundwater*, 28: 728-737.
- Langmuir, D. (1997): *Aqueous environmental geochemistry*. Prentice-Hall Ed., 600 p.
- Parkhurst, D.L. (1995): *User's guide to Phreeqc. Water Resources Investigation Report 95-4227*, USGS. Wat. Res. Inv. Rep. 95-4227.
- Vadillo, I, Carrasco, F., Andreo, B., García de Torres, A y Bosch, C. (1998): *Jornadas contaminación de aguas subterráneas*, Valencia.
- Vadillo, I, Carrasco, F., Andreo, B., García de Torres, A y Bosch, C. (1998): *Env. Geol.* (en prensa).