



Calidad del agua subterránea en Linares, Nuevo León, México

LILIANA LIZÁRRAGA MENDIOLA*, HÉCTOR DE LEÓN GÓMEZ*,
FRANCISCO MEDINA BARRERA*, JESÚS NÁVAR*



La evaluación de los recursos del agua, su disponibilidad para cubrir las demandas de la población y su calidad son imperativos en el manejo actual y futuro de los recursos hidráulicos.¹⁴

En la región de Linares, Nuevo León, México, existen diversas fuentes que facilitan la infiltración de contaminantes hacia el agua subterránea:⁵ 1) el flujo del río Pablillo tiene una dirección SW-NE, constituyendo una conexión hidráulica entre el acuífero de fracturas y el acuífero de gravas. Sobre su cauce se descargan aguas residuales de origen doméstico, municipal e industrial. El sistema de flujo subterráneo es de tipo local y su dirección general es semiparalela al crecimiento de la población. 2) En el tiradero municipal localizado a 1 km hacia el Este de Linares se depositaron, desde 1980 a 2001, alrededor de 300,000 ton de residuos sólidos de origen doméstico, municipal e

industrial (figura 1). Los residuos fueron depositados en un lomerío en contacto directo con el macizo rocoso, compuesto por lutitas de la Formación Méndez del Cretácico superior, es una estructura geológica de tipo braquianticlinal bifurcado; carece de una geomembrana que los aisle del contacto con las aguas subterráneas.



Fig. 1. Tiradero municipal.

□ El presente artículo está basado en la investigación “Análisis y evaluación del agua subterránea del área del tiradero municipal y La Petaca, Linares, N.L., México”, galardonada con el Premio de Investigación UANL 2006 en la categoría de Ingeniería y Tecnología, otorgado en sesión solemne del Consejo Universitario de la UANL, en septiembre de 2006.

* Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Carretera a Cerro Prieto Km. 8, Exhacienda de Guadalupe. Apartado Postal 104, C.P. 67700, Linares, N.L., México. Tels. 0052 (821) 214-2010, 214-2020, 214-2030. lililga@gmx.net, hdeleon@ccr.dsi.uanl.mx

zona industrial donde se procesa el mineral barita traído desde sus yacimientos en la Sierra Madre Oriental, el cual se encuentra depositado a la intemperie, permitiendo la infiltración de lixiviados a través de las fracturas del macizo rocoso hacia el acuífero de fracturas, cuya profundidad del agua subterránea es de 17 m en promedio. 4) A 150 m al NE de este sitio se localizan granjas porcícolas que carecen de medidas sanitarias. 5) A 800 m al Norte se ubica la colonia La Petaca, en donde el principal sistema de drenaje consiste en fosas sépticas y letrinas que descargan las aguas residuales hacia el acuífero de gravas, cuya profundidad promedio es de 15 m. En esta zona, los habitantes extraen agua para su consumo y uso doméstico de pozos y norias que en ocasiones se encuentran a escasos metros de las fosas sépticas y letrinas (figura 2, en anexo).

Metodología

La metodología consistió en delimitar los dos acuíferos existentes conforme a su litología y condiciones geológico-estructurales. En el acuífero de grietas, los sistemas de fracturamiento predominantes presentan una orientación general hacia el SW-NE, con aperturas entre fracturas que varían entre 5 y 50 mm; el acuífero de gravas está compuesto por gravas, arenas y limos. Se identificaron las distintas fuentes de contaminación que existen en el área, así como la información necesaria para realizar un análisis del grado de vulnerabilidad que presenta el agua subterránea a la contaminación (calidad del agua, uso de suelo, uso del agua, fuentes de contaminación y su distancia a los aprovechamientos hidráulicos, así como la profundidad del nivel freático).

Se realizaron análisis en laboratorio para medir la calidad del agua (figura 3). Para ello fue necesaria la revisión de normas ambientales que determinan los límites máximos permisibles (LMP) establecidos para agua potable por la Norma Mexicana (NOM-127 SSa1-1994), la Norma de la Comunidad Económica Europea (EEC-2000), la Norma de la Organización Mundial de la Salud (NOM-WHO-2000), así como la Norma de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (NOM-US

EPA-2001; tabla I).



Fig. 3. Toma de muestras de agua en distintos aprovechamientos hidráulicos y análisis en campo y laboratorio.

La evaluación de la calidad del agua subterránea indica que existe contaminación por sólidos totales, sólidos suspendidos, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, sulfatos, mercurio y bario, que ponen en riesgo la salud del consumidor (tabla II, en anexo). Conforme al análisis de vulnerabilidad realizado, las principales fuentes de contaminación fueron en orden de importancia: el tiradero municipal, depósitos de barita, descargas de aguas residuales a través de fosas sépticas y letrinas y los residuos generados por los animales en las granjas porcícolas. Se observó que existe una relación directa entre la infiltración de los contaminantes a través de fracturas (cuya orientación principal es NE-SW) y gravas en la misma dirección del flujo del agua subterránea, es decir, principalmente hacia el NE, dirección en que se observa el crecimiento de la población.

Pudo observarse que las actividades antropogénicas ejercen una influencia negativa sobre la calidad del agua subterránea, principalmente la que se extrae para consumo humano.

Para controlar o detener la entrada de contaminantes a los acuíferos es necesario crear un plan integrado que considere el monitoreo de las variaciones del nivel freático y de las variaciones de calidad del agua, así como la propuesta de medidas de remediación a corto, mediano y largo plazo.

Tabla I. Límites máximos permisibles (LMP) establecidos por normas ambientales para agua potable.

Parámetro	NOM-127 S5a1-1994	NOM-US EPA-2001	NOM-WHO-2000	EEC-2000
	Consumo humano			
Temperatura (°C)	*	*	*	*
Potencial de hidrógeno (pH)	6.5-8.5	*	6.5-8.5	6.5-8.5
Sólidos totales (mg/L)	*	*	*	*
Sólidos suspendidos (mg/L)	*	*	*	25
Sólidos disueltos (mg/L)	1000	*	1000	
Cloruros (mgCl ⁻ /L)	250	*	*	200
Sulfatos (mgSO ₄ ²⁻ /L)	400	*	*	150
Nitratos (mgNO ₃ ⁻ /L)	10	10	10	25
Coliformes totales (NMP/100 ml)	0	*	0	50
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	0	*	0	20
Metales pesados				
Arsénico (mgAs ³⁺ /L)	0.025	0.05	0.05	0.01

Para el presente trabajo de investigación, y tomando en cuenta los resultados obtenidos hasta el momento, se propusieron las siguientes medidas de remediación que pueden ser llevadas a cabo en un plazo de tiempo inmediato: *a)* cubrir con material impermeable los residuos sólidos del tiradero municipal y reforestar la zona, lo cual proporcionará una barrera natural contra la erosión e infiltración de contaminantes, e impedirá su contacto con las precipitaciones. Esta cubierta deberá rehabilitarse periódicamente, para evitar su erosión y degradación; *b)* tomar las medidas sanitarias requeridas en las granjas porcícolas, que impidan la proliferación de virus y bacterias generados por los residuos que producen los animales; *c)* reubicar los depósitos de barita en instalaciones adecuadas para tal fin, evitando que éstos estén en contacto con las precipitaciones y escurrimientos superficiales. El conocimiento del comportamiento del agua subterránea y su dirección de movimiento a través del área de estudio permitieron identificar cuáles zonas se ven más afectadas y cuáles fuentes de contaminación afectan mayormente la calidad del agua subterránea y que requieren mayor atención, para facilitar así la tarea de realizar programas de remediación que satisfagan la necesidad de controlar la contaminación en el área.

Resumen

En el área de estudio se han identificado distintas

fuentes de contaminación puntual (tiradero municipal, granjas porcícolas, depósitos de barita) y contaminación no puntual (descargas de aguas residuales a través de fosas sépticas y letrinas), localizadas en una zona donde el nivel del agua subterránea es somero (6 a 40 m de profundidad) y distribuidas a través de dos acuíferos hidráulicamente interconectados: un acuífero de gravas muy permeable y un acuífero de fracturas, cuya permeabilidad

secundaria es alta. Estas fuentes de contaminación han sido generadas por las actividades de la población de Linares, que contribuyen a la alteración de la calidad del agua subterránea, misma que se extrae para consumo humano a través de pozos y norias. Análisis realizados en muestras de agua indican altas concentraciones de sólidos totales, sólidos suspendidos, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, sulfatos, mercurio y bario, que exceden los límites máximos permisibles (LMP) establecidos para agua potable por la norma mexicana (NOM-127 S5a1-1994), la Norma de la Comunidad Económica Europea (EEC-2000), la Norma de la Organización Mundial de la Salud (NOM-WHO-2000), así como la Norma de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (NOM-US EPA-2001). Se realizó un análisis de la vulnerabilidad que presenta el agua subterránea a las distintas fuentes de contaminación estudiadas.

Palabras clave: Fuentes de contaminación, Calidad del agua, Consumo humano, Vulnerabilidad del agua subterránea.

Abstract

In the studied area, different sources from point contamination (municipal landfill, porcine farms, barite deposits) and non point contamination (residual water unloadings through septic tanks and latrines) have been identified, located in a zone

Anexo

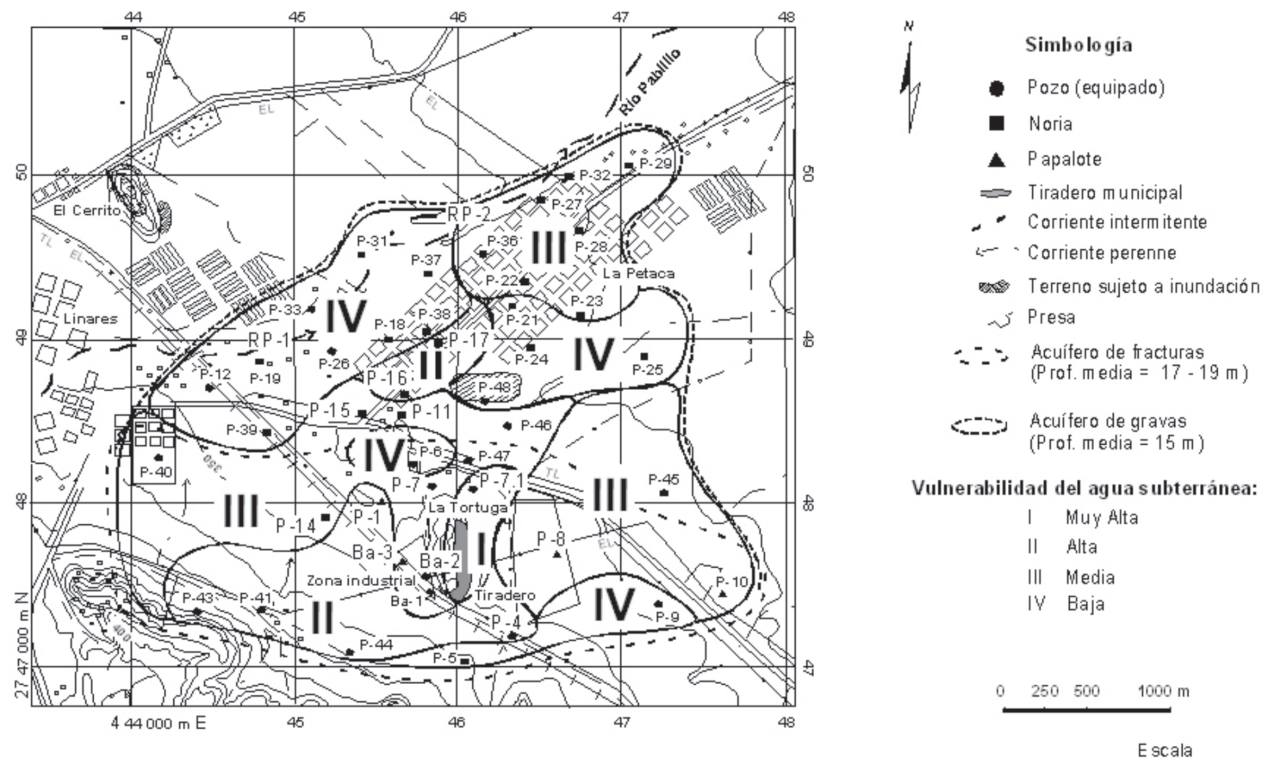


Fig. 2. Localización del área de estudio y fuentes de contaminación evaluadas.

Ubicación	P - 1	P - 4	P - 7	P - 7.1	P - 8	P - 11	P - 14	P - 15	P - 16	P - 17	RP - 1	RP - 2	Ba - 2	Ba - 3
Temperatura (°C)	21.6	19	27	27	19.4	22	21.8	22.8	23	23.2	17.8	16	*	*
Conductividad a 25°C (μ S/cm)	1035	1003	1445	2010	1024	1219	1010	1093	1031	800	756	765	*	*
Potencial de hidrógeno (pH)	6.94	7.12	6.81	6.68	6.94	7.04	7.16	7.2	7.03	7.12	8.01	7.89	*	*
Sólidos totales (mg/L)	778	695	964	1400	843	898	691	742	906	701	629	673	*	*
Sólidos disueltos (mg/L)	636	586	897	1327	678	758	573	742	701	564	538	528	*	*
Sólidos suspendidos (mg/L)	142	109	67	73	165	140	118	0	205	137	91	145	*	*
Alcalinidad total (mgCaCO ₃ /L)	390.7	443.8	412.1	420.6	466.3	363.5	381.4	302.2	253.9	187.6	170.8	171.3	*	*
Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	411.4	311.4	474.1	641.9	302.1	426.3	344.7	478.1	448.5	366.9	344.7	348.4	*	*
Dureza parcial (mgCaCO ₃ /L)	264.8	197.3	290.8	412.3	201.4	308.1	231.6	380.6	360.4	336.3	302	314.1	*	*
Calcio (mgCa ²⁺ /L)	106	79	116.4	165.1	80.6	123.4	92.7	152.4	144.3	134.7	120.9	125.8	*	*
Magnesio (mgMg ²⁺ /L)	35.6	27.7	44.5	55.8	24.5	28.7	27.5	23.7	21.4	7.4	10.4	8.3	*	*
Sodio + potasio (mgNa ⁺ + K ⁺ /L)	66.9	126.9	98.9	166.6	155.2	114.5	99.7	66.4	54	44.1	60.1	47	*	*
Bicarbonatos (mgHCO ₃ ⁻ /L)	476.6	541.3	502.8	513.2	568.4	443.3	465.3	368.7	309.7	228.9	208.3	209	*	*
Cloruros (mgCl ⁻ /L)	67.9	48.2	151.8	281.2	102.4	114.9	77.4	99.9	79.4	36.7	49.9	32	*	*
Sulfatos (mgSO ₄ ²⁻ /L)	67.1	72.4	120.2	218.1	27.6	143.6	67.9	172	191.8	214.4	224.7	224.7	*	*
Nitratos (mgNO ₃ ⁻ /L)	50	11.6	47.9	44	2.7	44	30.6	28.5	46.9	11.5	5.5	5.5	*	*
Coliformes totales (NMP/100 ml)	258	210	0	0	156	88	130	110	96	86	116	95	*	*
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	30	12	0	0	15	10	8	10	12	10	15	12	*	*
Bario (mgBa ²⁺ /L)	**	**	*	*	**	*	**	*	*	*	*	*	8.7	2.7
Arsénico (mgAs ³ /L)	0.0013	**	*	*	0.0031	*	**	*	*	*	*	*	**	0.0013
Mercurio (mgHg ²⁺ /L)	0.0013	0.04	*	*	0.0012	*	0.0021	*	*	*	*	*	**	**
Selenio (mgSe ²⁻ /L)	**	0.0012	*	*	**	*	0.0011	*	*	*	*	*	**	**

Tabla II. Resultados obtenidos de los análisis realizados en laboratorio (marzo de 2002).

** Concentraciones no detectadas. * No se realizaron mediciones.

where the level of ground water is shallow (6 to 40 m depth) and distributed through two hydraulically interconnected aquifers: a porous aquifer with high permeability, and a fractured aquifer whose secondary permeability is considerable. These sources of contamination have been generated by the activities of the population of Linares, which contribute to the affectation of the ground water quality, which is extracted for human consumption through wells (equipped and manual). Water analyses were done in samples that showed high concentrations of total solids, suspended solids, total coliform, faecal coliform, nitrates, sulphates, mercury, and barium, that exceed the permissible maximum limits (PML) established for human consumption by the Mexican Norm (NOM-127 SSa1-1994), the European Economic Community Norm (EEC-2000), the World Health Organization Norm (NOM-WHO-2000), as well as the US Environmental Protection Agency Norm (NOM-US EPA-2001). The level of ground water vulnerability to the different pollution sources was evaluated.

Keywords: Pollution sources, Water quality, Human consumption, Ground water vulnerability.

Referencias

1. Van den Brink C., Zaadnoordijk, W. J. (1995). Evaluation of ground water contamination from nonpoint sources: a case of study. *Ground Water*, 33 (3): 356-365.
2. Howard F.K., Eyles N.; Livingstone, (1996). S. Municipal landfilling practice and its impact on groundwater resources in and around urban Toronto, Canada. *J. Hydrogeol.* 4 (1): 64-79.
3. Soliman M.M., LaMoreaux P.E., Memon B.A. (1998). *Environmental Hydrogeology*. USA. (Ed. Lewis Publishers). 386 pp.
4. Abu-Rukah Y., Al-Kofahi O. (2001). The assessment of the effect of landfill leachate on ground-water quality -a case study. El-Akader landfill site north Jordan. *J. arid Environments*, 49: 615-630.
5. Lizárraga-Mendiola L.G., De León-Gómez H., Medina-Barrera F., Návar-Cháidez J. (2004). Evaluation of the aquifer impacted by the landfill of Linares, México. *N. Jb. Geol.. Paläont. Abh. Germany*. Vol. 236: 1-2, pp. 225-244.
6. NOM-127 SSa1-1994 Norma que establece los límites máximos permisibles para la calidad del agua para uso potable. Secretaría Salubridad y Asist., México. Editor: www.semarnat.gob.mx. (1999).
7. NOM-EEC-2000 Guidelines for drinking water quality.- Editor: www.europa.eu.int. (2000).
8. US EPA-2001 Guidelines for drinking water quality. Editor: www.usepa.gov (2001)
9. WHO-2000 Guidelines for drinking water quality.-Editor: www.who.int/en/ (2000)

*Recibido: 7 de septiembre de 2006
Aceptado: 15 de septiembre de 2006*