

## INFLUENCIA DEL BASURERO MUNICIPAL EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE DURANGO, MÉXICO

María E. PÉREZ LÓPEZ<sup>1</sup>, María G. VICENCIO DE LA ROSA<sup>1</sup>, María T. ALARCÓN HERRERA<sup>2</sup> y Mabel VACA MIER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Dgo. (CIIDIR-IPN, Unidad Dgo.) Programa Ambiental. Sigma s/n, Frac 20 de Nov., Durango 34220 Dgo., México; fax: 018142091, correo electrónico: maelena0359@yahoo.com

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Materiales Avanzados CIMA, Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua 31109 Chih., México

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Departamento de Energía, Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa-Tamaulipas 02080 D. F., México

*(Recibido abril 2001, aceptado mayo 2002)*

Palabras clave: contaminación del acuífero, desechos sólidos municipales, nitratos

### RESUMEN

En un basurero municipal de la ciudad de Durango se han depositado alrededor de 400 ton de desechos sólidos/día por más de 15 años. Considerando esto como una fuente potencial de contaminación hacia el acuífero, se determinaron las calidades físicoquímica y microbiológica del agua de 20 pozos alrededor del basurero en un radio de 5 km, en periodos trimestrales a lo largo de un año. El agua de 35 % de los pozos excede los límites de la normatividad vigente (NOM-127-SSA1-1994) para coliformes fecales y la de 15 % de ellos en lo que respecta a nitratos, pero esto no es directamente imputable al basurero. El resto de los parámetros a excepción de dureza están dentro de lo que marca la Norma Oficial Mexicana. Los valores promedio de dureza, cloruros y conductividad son marcadamente más altos en pozos cercanos al basurero, en donde en un lapso de 18 años, se han incrementado de 85 mg/L, 6.9 mg/L y 250  $\mu$ S/cm, respectivamente, a 334 mg/L, 149 mg/L y 1039  $\mu$ S/cm, indicando que la calidad del acuífero se ha modificado y la causa probable es la infiltración de lixiviados del basurero.

Key words: aquifer pollution, municipal solid wastes, dump site, nitrates

### ABSTRACT

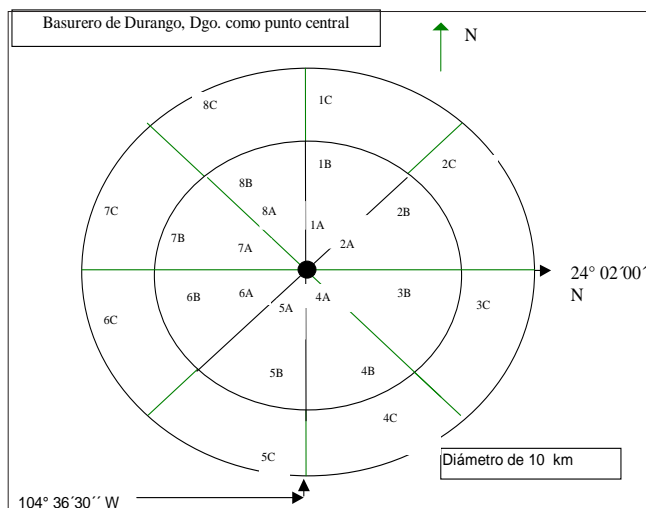
In the city of Durango, for more than 15 years, a daily average of 400 ton of garbage has been disposed in a place that does not have the required infrastructure for sanitary landfill operation, with the consequent risk of migration of pollutants to the nearby aquifer. The quality of the water of 20 wells located around the dump site, within a radius of 5 km, was determined. The parameters were measured quarterly for a one-year period. The results show that 35 % of the wells exceed the limits set for fecal coliforms and 15 % of them exceed the recommended value for nitrate contents (NOM-127-SSA1-1994). On the other hand, the contents of hardness, chlorides and conductivity are markedly higher in the wells nearest to the dump site, where in an 18 year-old lapse they have increased from 85 mg/L, 6.9 mg/L and 250  $\mu$ S/cm, to 334 mg/L, 149 mg/L and 1039  $\mu$ S/cm, respectively. This indicates that the quality of the aquifer has been modified and the probable cause is the infiltration of the dump site leachates.

## INTRODUCCIÓN

La atención deficiente de los sistemas operadores municipales encargados del manejo de residuos sólidos (basura) y los efectos de deterioro ambiental que produce su disposición inadecuada, han hecho que en la República Mexicana y en otras partes del mundo la basura sea abandonada en terrenos baldíos y tiraderos a cielo abierto. En casos como el basurero de Durango, durante más de 15 años se han depositado alrededor de 400 ton/día de residuos, en una extensión de 35 ha, localizada a 1.8 km al oeste de esta ciudad, con un suelo constituido de arena y grava, en el que el nivel del manto freático está a 15 m de la superficie y donde el origen de los residuos sólidos son las industrias, las unidades prestadoras de servicios como hospitales, clínicas, talleres y las casas-habitación de la población en general. Se han realizado operaciones adicionales en los últimos 8 años en el basurero, con la idea de apearse limitadamente a lo que sería un relleno sanitario, esto es, recubrir la basura con tierra y nivelar el terreno. Técnicamente no se ha resuelto el problema ya que, dadas las características del terreno, hay una posibilidad elevada de que los lixiviados puedan llegar hasta las corrientes subterráneas y ser lentamente distribuidos en el acuífero. Por ello y debido a que en la ciudad de Durango el agua para uso y consumo humano es abastecida en su totalidad del subsuelo y considerando al basurero municipal como fuente potencial de contaminación, se propuso desarrollar este estudio, cuyo objetivo fue evaluar su influencia sobre la calidad del agua del acuífero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo toda la información pertinente sobre la topografía, la geología, la hidrología y el clima del sitio; además se investigaron antecedentes históricos de la calidad de las aguas de los pozos de la región de estudio en el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, la Comisión Nacional del Agua y el Sistema Descentralizado Agua Potable y Alcantarillado. Considerando la generación de lixiviados como un problema potencialmente impactante en el agua subterránea, se diseñó el siguiente plan de muestreo, para conocer la posible distribución de contaminantes en una superficie aproximada de 78.5 km<sup>2</sup>, ésta se dividió en 24 áreas ubicadas alrededor del basurero, teniendo en cuenta a los 8 puntos cardinales y distancias aproximadas de 1.6, 3.2 y 5 km. de radio (**Figura 1**). Se consideró al azar un pozo en cada área y se hicieron 5 muestreos trimestrales, antes de la cloración, en los pozos que la tenían. A cada muestra se le determinó el contenido de coliformes fecales (NMX-AA-42), la temperatura (NMX-AA-008), la conductividad (Greenberg *et al.* 1992), el pH (NMX-AA-007),



**Fig. 1.** Gráfica de muestreo teniendo como punto central al basurero de la Ciudad de Durango, Dgo. y con los sitios en tres zonas concéntricas (A, B, C) y 8 puntos cardinales

la dureza (NMX-AA-072), los nitratos (Greenberg *et al.* 1992), los cloruros (NMX-AA-073), los sólidos totales y los sólidos volátiles (NMX-AA-034).

Como prueba de calidad se utilizaron testigos positivos y negativos y otros para el caso de los análisis microbiológicos; para los físico-químicos se establecieron pruebas de recuperación de estándares para verificar el buen rendimiento de las técnicas. Con la información de cada pozo se procedió a establecer la existencia de diferencias significativas entre ellos con ayuda de ANAVAR (Análisis de Varianza), donde las fechas de muestreo se tomaron como bloques y a los sitios como tratamientos; de esta manera se determinaron diferencias entre pozos, así como entre estaciones de estiaje y de lluvias. A partir de la información anterior, se usaron los promedios de nitratos, conductividad y cloruros, para elaborar mapas de isolíneas con ayuda del programa WINSURF versión 5.01.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Valle del Guadiana, donde se localiza la ciudad de Durango, se encuentra a una altura de 1880 m sobre el nivel del mar; el acuífero (**Figura 2**) es del tipo libre; los niveles freáticos fluctúan entre 3 y 30 m y la profundidad de los pozos entre 7 y 150 m dentro de la zona de estudio; el flujo subterráneo ocurre en tres direcciones: del oeste al noreste, del norte al sur y del oeste al sur; el clima se considera semidesértico con una evaporación promedio anual de 2783 mm y una precipitación promedio anual de 560 mm, en donde el tiempo de lluvias es marcado, por lo que el 80 % de la precipitación ocurre en los meses de junio, julio, agosto y septiembre; los vientos

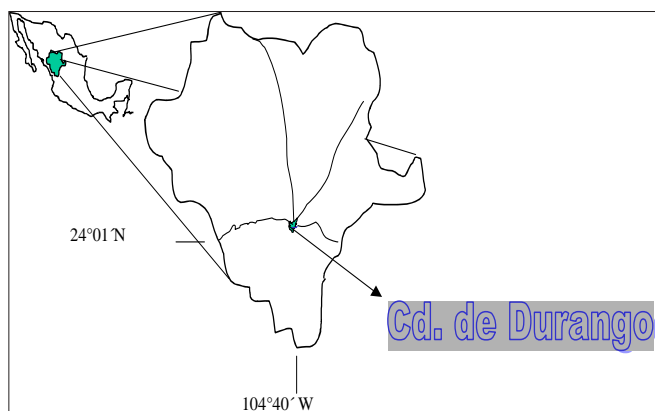


Fig. 2. Ubicación geográfica del sitio estudiado

dominantes son hacia el suroeste, preferentemente en los meses secos. Esto último es importante porque significa que los contaminantes del aire son dirigidos hacia fuera de la ciudad y aunque las depositaciones atmosféricas podrían representar una fuente significativa de contaminantes potenciales del acuífero, en particular de aquellos que por su solubilidad podrían lixiviar a través del suelo, como los nitratos (Puckett 1995), es poco probable que alcancen al acuífero. Además, los suelos están constituidos principalmente por grava y arena de alta permeabilidad (con conductividad hidráulica promedio de  $1.3 \times 10^{-3}$  m/s y porosidad de 30 %), típicos de las condiciones semidesérticas de Durango. Estas propiedades implican en principio, un gran potencial de infiltración directa de corrientes contaminantes, en especial los lixiviados del tiradero, hacia el subsuelo y la vulnerabilidad del acuífero. Durante el proceso de percolación pueden presentarse procesos físicos (advección, dispersión, dilución, mezclado), químicos (sorción, oxidación, hidrólisis, reacciones redox) o biológicos (degradación o reducción) que influyan en el destino final de los contaminantes del acuífero (Mackay *et al.* 1985, Barber *et al.* 1988). Sin embargo, habrá un sinnúmero de sustancias de naturaleza recalcitrante que persistan a través de la infiltración y cuya atenuación sea mínima por los procesos descritos.

### Coliformes fecales

Con respecto a estos microorganismos, los resultados indicaron que el 35 % de los pozos estudiados se encuentra fuera de norma (0 NMP/100 mL de agua para uso doméstico, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994), registrándose niveles hasta de 47 NMP/100 mL. Sin embargo, los pozos contaminados bacteriológicamente no corresponden a zonas cercanas al basurero. Además se observaron diferencias entre las épocas de estiaje y de lluvias, precisamente en pozos cercanos a asentamientos que carecen de drenaje o al tramo que no está entubado del canal colector de aguas residuales. Al respecto, es

muy probable que la recarga pluvial del acuífero se mezcle con corrientes de aguas residuales en estos sectores (Bitton y Harvey 1992). En efecto, los sistemas sépticos y las fugas en drenajes han sido identificados como fuentes importantes de contaminación de acuíferos, en especial por su aporte de nutrientes y microorganismos patógenos (Nolan y Stoner 2000). Hay que considerar que las muestras fueron tomadas antes de la cloración que se tiene instrumentada en los pozos, por lo tanto la presencia de microorganismos no debería implicar problemas de carácter infeccioso a la salud de la población, si la desinfección se lleva a cabo adecuadamente.

En el pozo 5A, situado en las cercanías del basurero, no hubo presencia de coliformes fecales, lo que implicaría por una parte, que no hay contaminación debida al basurero, pero también puede ocurrir que, como los lixiviados contengan sustancias tóxicas que posiblemente inhiban la proliferación de este tipo de microorganismos (Keswick 1984, Lipták 1991, Tchobanoglous *et al.* 1993) y dadas otras características fisicoquímicas encontradas, que se discuten posteriormente, esta hipótesis se presenta como la más factible.

### Pruebas físico-químicas

De manera general los resultados de estas pruebas no mostraron variación entre las épocas de lluvia y de estiaje, lo que podría explicarse con las altas tasas de evaporación de la zona, que originan una recarga pluvial más bien escasa. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre pozos, como se detalla más adelante, a pesar de que está establecido que el acuífero es el mismo. Los resultados promedio de los cinco muestreos para cada pozo se muestran en la **Tabla I**. La temperatura de las muestras de agua obtenidas de los pozos, superior en todos los casos a 20 °C, característica de las condiciones ambientales de una zona cálida, corresponde a la propuesta de que la temperatura de un acuífero desde 10 m hasta 100 m de profundidad sea cercana a la temperatura ambiental promedio anual de una región y puede resultar en un factor que favorezca diferentes procesos tanto químicos como biológicos (Lee *et al.* 1988), e influya sin duda en la proliferación de microorganismos descrita anteriormente. Los valores del pH se encuentran dentro de un intervalo ligeramente alcalino. En general en un acuífero ideal se esperaría un valor de pH cercano a 7.0 (Chapelle 1993), pero la presencia natural de diferentes sales establece condiciones alcalinas y muy probablemente le confiere al acuífero una capacidad suficiente para amortiguar la presencia de contaminantes ácidos, como aquellos que provengan de los lixiviados del basurero. Por ello, este parámetro no acusa una relación directa con la presencia de contaminantes en el acuífero.

La dureza obtenida va de moderada a alta, 143 mg/L en promedio, con un máximo de 334 mg/L. Desde el punto

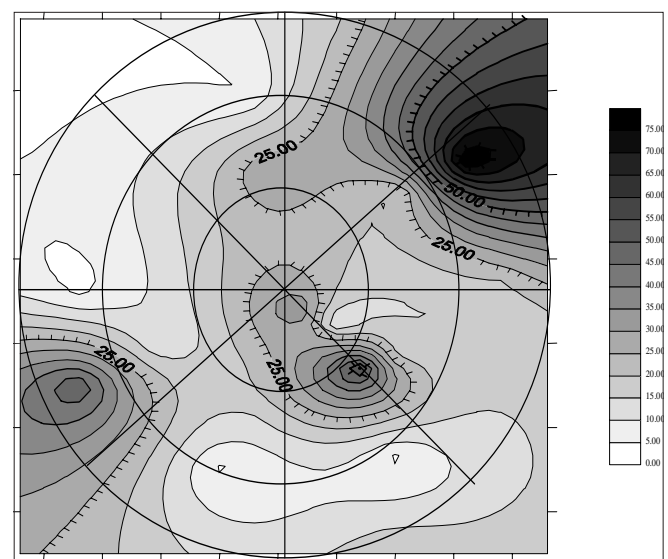
**TABLA I.** VALORES PROMEDIO DE CINCO MUESTREOS PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

Pozo	Temperatura °C	pH	Dureza mg/L	Nitratos mg/L	Conductividad µs/cm	Cloruros mg/L	Sólidos volátiles mg/L
1B	23.36	7.87	121	20	426	10	31
1C	21.6	7.82	262	80	752	36	64
2B	21.1	7.54	220	20	712	36	49
2C	24.8	8.14	71	20	506	11	64
3B	23.8	7.89	108	30	472	10	53
3C	23.9	8.09	79	5	316	13	14
4B	24	7.79	98	4	394	14	30
4C	24.3	7.9	89	9	396	7	36
5 A	22.8	7.52	334	35	1039	149	65
5B	21.4	7.64	115	10	429	8	38
5C	22.5	7.52	219	50	535	28	28
6 A	23.2	7.41	153	21	555	18	39
6B	21.3	7.81	88	15	365	13	25
6C	30.3	7.77	59	4	321	21	24
7A	22.5	7.91	224	56	729	24	52
7B	30.4	8.22	64	4	280	10	26
7C	29.1	8.34	77	20	313	13	32
8 A	24.94	7.87	69	9	301	10	41
8B	23.8	7.96	103	20	381	8	22
8C	22.9	7.82	137	20	463	11	31
Promedio	24.3	7.84	134	23	484	22	38
Norma		6.5-8.5	300	44	100-2000	250	
Máximo	30.4	8.34	334	80	1039	149	65
Mínimo	21.1	7.41	59	4	280	7	14

de vista de salud pública las aguas duras no originan daños a la salud, sólo generan problemas considerados como estéticos ya que inhiben la formación de la espuma de jabón. No obstante, constituyen un primer indicador de la contaminación del acuífero, porque representan hasta 4 veces la concentración de 85 mg/L reportada en un estudio de hace más de 18 años (CNA 1983).

Los valores de nitratos rebasan la norma NOM-127-SSA1-1994, con respecto al agua para consumo humano y alcanzan concentraciones hasta de 80 mg/L, que representan un riesgo toxicológico severo para la población (Cañas *et al.* 1992). Las zonas más afectadas se encuentran en el cuadrante que abarca los pozos 1 y 2, es decir, cerca de 10 km hacia la porción noreste del basurero, como se observa en el mapa de isolíneas de este parámetro (**Figura 3**). En el cuadrante de los pozos 5 y 6 en la dirección suroeste del pozo, también se observa lo que se interpretaría como un foco de contaminación y que podría estar asociado a la infiltración de aguas residuales de esa zona. En apariencia, los lixiviados del basurero podrían no estar infiltrándose al acuífero, no obstante, los nitratos representan el nutriente que más comúnmente contamina a los acuíferos, porque son solubles en agua, pueden lixiviarse con facilidad a través del suelo y persisten por décadas en las aguas subterráneas poco profundas (Nolan 2001). La concentración de nitratos en agua subterránea que no ha sido contaminada por las actividades humanas es menor de 2 mg/L (Mueller y Hesel 1996). Evidentemente este pozo se encuentra

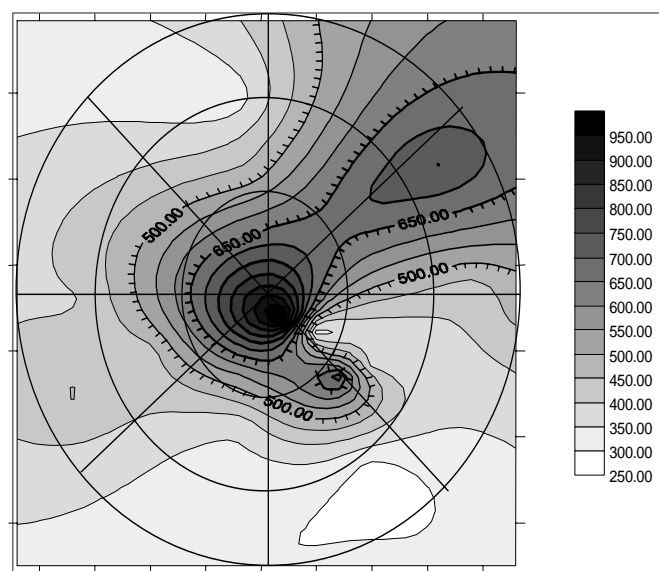
fuertemente contaminado con nitratos, pues la concentración mínima encontrada en la zona, aún en los pozos alejados, es de 4 mg/L. Los excesos en nitratos pueden originarse en varios factores, como la descomposición de materia orgánica presente en los lixiviados de los residuos sólidos y los abonos agrícolas (Custodio y Llamas



**Fig. 3.** Mapa de isolíneas para nitratos donde las zonas oscuras marcan la mayor cantidad de  $\text{NO}_3$ , el punto central representa el basurero

1983). El comportamiento del contaminante en las aguas subterráneas es muy complejo y diversos factores, tales como carga, clima, conductividad hidráulica, vulnerabilidad y condiciones geoquímicas del acuífero interactúan para influir en la presencia y en la distribución de los nitratos (Nolan 2001). También se ha demostrado que los nitratos, entre otros contaminantes que llegan hasta un acuífero, pueden transportarse a través de distancias considerables ( $> 10$  km) y hasta pueden persistir por largos periodos de tiempo ( $> 50$  años) (Leenheer *et al.* 2001) y entonces no sería excepcional que el foco de nitratos asociados con lixiviados del basurero se hubieran desplazado y dispersado por una amplia zona, como se observa en el mapa de isoconcentraciones.

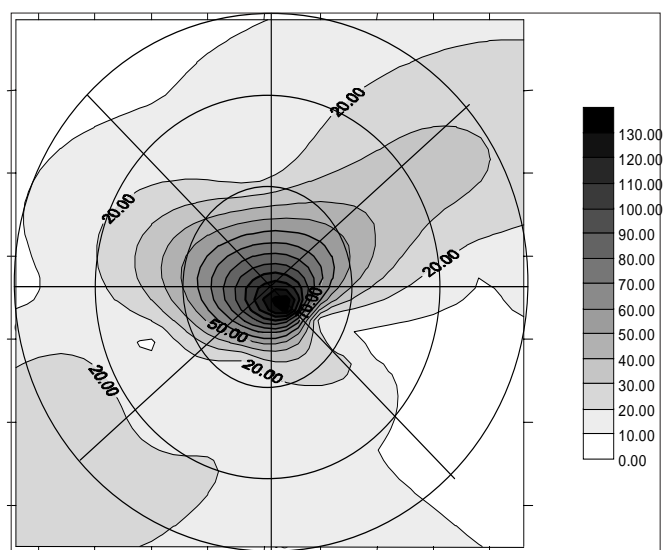
Los valores de la conductividad, en promedio (480 mg/L), representan los de agua moderadamente salina que aún es apta para consumo humano. Sin embargo, en los pozos más cercanos al basurero, este parámetro se incrementa a más del doble del promedio y hasta 4 veces (1039  $\mu$ S/cm) aquellos reportados hace 18 años para el mismo (CNA 1983). De nueva forma, como se aprecia en la **Figura 4**, precisamente en el basurero se localiza la principal fuente de este parámetro y se puede inferir un patrón dominante de flujo hacia la región noreste, si se considera que el grueso de las sales sufre pocas transformaciones a su paso por el acuífero.



**Fig. 4.** Mapa de Isolíneas de conductividad. Las zonas más oscuras marcan las cimas (en el punto central se ubica el basurero de Durango)

Los contenidos de cloruros en ningún caso rebasaron los límites señalados en la norma para agua potable, no obstante el pozo 5A, de los más cercanos al basurero, presentó una concentración 7 veces arriba del promedio

(22 mg/L) y de manera análoga pero más acentuada que la dureza y la conductividad, un incremento en 18 años de 6.9 mg/L a 149 mg/L. Según se observa en el mapa de isoconcentraciones (**Fig. 5**), se confirma que el basurero es un foco de este contaminante y también que su transporte está asociado con las corrientes dominantes, que como ya se mencionó se dirigen hacia el noreste.



**Fig. 5.** Mapa de isocloruros. Las zonas más oscuras marcan las cimas (en el punto central se ubica el basurero de Durango)

Por otra parte se encontró una alta correlación ( $> 0.90$ ) entre los valores de dureza, conductividad, cloruros y sólidos totales. Las concentraciones más altas se determinaron en el pozo 5A que es el más cercano al basurero. De acuerdo con análisis previos del mismo pozo (CNA 1983), se pudieron apreciar incrementos notables de estos parámetros en los últimos 17 años, tales como 4 veces el valor en dureza (85 a 334 mg/L), 4 veces la conductividad (de 250 a 1039  $\mu$ S/cm) y 20 veces los contenidos de cloruros (de 6.9 a 149 mg/L); lo que indica que la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango se ha modificado y la causa más probable es la presencia del basurero.

## CONCLUSIONES

El agua del 15 % de los pozos estudiados, no es potable debido a sus altos contenidos en nitratos. La dureza del agua se encontró fuera de norma sólo para el pozo cercano al basurero (5A), mientras que hace 17 años se reportó con una concentración 4 veces menor. Los incrementos observados en la conductividad, la dureza y los cloruros en el pozo 5A, muestran indicios de conta-

minación de lixiviados generados por el basurero.

En siete de los pozos analizados (aproximadamente 35 %), el agua no es potable desde el punto de vista microbiológico, durante la temporada de lluvias, por la presencia de coliformes fecales. De acuerdo con los resultados obtenidos, es muy probable que los contenidos microbianos y los valores de nitratos, fuera de norma no sean debidos a la presencia de lixiviados producidos por el basurero, sino a factores tales como carencia de drenaje en la zona y cercanía del canal colector de aguas residuales municipales, cuyo cauce no está impermeabilizado o entubado.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a SIVILLA CONACyT por su apoyo en el financiamiento de este trabajo, así como a la M. en C. Elizabeth Medina, por su colaboración en la realización del mismo.

### REFERENCIAS

- Barber L. B., Thurman E. M. y Schroeder M. P. (1988), Long-term fate of organic micropollutants in sewage-contaminated groundwater *Environ. Sci. Technol.* 22, 2015-211.
- Bitton G. y Harvey R.W. (1992). Transport of pathogens through soils and aquifers. En: *Environmental microbiology* (R. Mitchell, Ed.) Wiley-Liss, Nueva York, pp. 103-125.
- Cañas P. R., Larios L. O., Sardiñas P. O., Escalante A., Suárez A. y Argote R. T. (1992). Evaluación del riesgo de metahemoglobinemia en lactantes por exposición a nitratos a través del agua de consumo. En: *Serie Salud Ambiental*, Tomo 3, Agua y Salud. I.N.H.E.M. de Cuba, Editorial Ciencias Médicas. México.
- CNA (1983) *Informe anual de la calidad e agua de los pozos de Durango*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Custodio E. y Llamas M. R. (1983). *Hidrología subterránea*, Ediciones Omega, Barcelona, pp. 1884-1889.
- Chapelle F.H. (1993). *Groundwater microbiology and biochemistry*, Wiley, Nueva York.
- Greenberg A. E., Clesceri L. S. y Eaton A. D. (1992). *Standard methods for the examination of water and waste water*, 18<sup>th</sup> Edition. APHA-AWWA-WEF.
- Keswicks B.H. (1984). *Sources of groundwater pollution*; En: *Groundwater Pollution Microbiology* (G. Bitton y C.P. Geba, Eds.) Krieger, Malabar, Florida, 39-64.
- Lee M.D., Thomas J.M., Borden R.C., Bedient P.B., Ward C.H. y Wilson J.T. (1988). Bioremediation of aquifers contaminated with organic compounds. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*; CRC, 1, 29-89.
- Leenheer J. A., Rostad C. E., Barber L. B., Schroeder R. A., Anders R. y Davidson M. L. (2001). Nature and chlorine reactivity of organic constituents from reclaimed water in groundwater, Los Angeles County, California, *Environ. Sci. Technol.* 35, 3869-3876.
- Lipták B.G. (1991). *Municipal waste disposal in the 1990's*. Chilton, Radnor, Pennsylvania, pp. 23-43
- Mackay D.M., Roberts P.V. y Cherry J. A. (1985). Transport of organic contaminants in groundwater, *Environ. Sci. Technol.* 19, 384-392.
- Mueller D.K. y Helsel D.R. (1996) Nutrients in the nation's waters-too much of a good thing? U. S Geological Survey Circular 1136.
- NMX-AA-007 (1980). Norma mexicana calidad del agua-determinación de temperatura. Diario Oficial de la Federación, México, 23 de julio.
- NMX-AA-008 (1980). Norma mexicana calidad del agua-determinación del pH. Diario Oficial de la Federación, México, 23 de julio.
- NMX-AA-034 (1982). Norma mexicana calidad del agua-determinación de sólidos. Diario Oficial de la Federación, México, 21 de febrero.
- NMX-AA-42-1987, (1987). Norma mexicana calidad del agua-determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (Termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. Diario Oficial de la Federación, México, 22 de junio.
- NMX-AA-072 (1982). Norma mexicana calidad del agua-determinación de dureza. Diario Oficial de la Federación, México, 21 de febrero.
- NMX-AA-073 (1982). Norma mexicana calidad del agua-determinación de cloruros. Diario Oficial de la Federación, México, 21 de febrero.
- Nolan B.T. y Stoner J. D. (2000). Nutrients in groundwaters of the contiguous United States 1992-1995. *Environ. Sci. Technol.* 34, 1156-1165.
- Nolan B.T. (2001). Relating nitrogen sources and aquifer susceptibility to nitrate in shallow ground waters of the United States. *Ground Water* 39, 290-299.
- NOM-127-SSA1 (1994). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. 19 de enero de 1996.
- Puckett L. J. (1995). Identifying the major sources of nutrient water pollution. *Environ. Sci. Technol.* 29, 408-414.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S. L. A. (1993). *Integrated solid waste management*. Mc-Graw Hill Nueva York, pp. 361-538.