# Contaminación del acuífero yucateco por lixiviado de residuos municipales

# ROGER GONZÁLEZ HERRERA<sup>1</sup> & RAMIRO RODRÍGUEZ CASTILLO<sup>2</sup>

- 1 Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, Apartado Postal 150, Administración de Correos Urbana 10, Cordemex 97111 Mérida, Yucatán, México gherrera@uady.mx
- 2 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica 1, Departamento de Recursos Naturales, Ciudad Universitaria, Circuito Investigación, México, 04510 D.F.

Resumen Mérida, Yucatán, es el principal centro poblacional del sureste mexicano. Las características del subsuelo originan que el manejo y disposición de los desechos representen un potencial de contaminación del acuífero, principal fuente de abastecimiento para la población. El mayor componente de la basura son los residuos alimenticios y un alto contenido de materia orgánica que incrementan su porcentaje biodegradable. El clima cálido prevaleciente en la región y la humedad aumentan la velocidad de putrefacción de los desechos, haciendo que antes de 24 horas de generados se encuentren en la etapa acidogénica, que son substratos adecuados para la proliferación de agentes transmisores de enfermedades. Los resultados indican que el agua subterránea subyacente al basurero es la más contaminada. Las concentraciones de los parámetros estudiados se incrementaron considerablemente en la época de lluvias, debido a la generación de lixiviados, que adquieren sales disueltas de los desechos, que al infiltrarse llegan al acuífero.

Palabras claves acuífero cárstico; contaminación de aguas subterráneas; lixiviado; basureros; Yucatán

## Contamination of the Yucatan aquifer by leachate from municipal waste

Abstract Merida, Yucatan is the main urban centre of southeast Mexico. The ground characteristics and the waste management and disposal practices there result in a potential for contamination of the aquifer that is the main source for water supply purposes. The waste is composed primarily of food residues and a high content of organic matter which increase its biodegradable proportion. The hot climate prevailing in the area, and the humidity, increase the rate of putrefaction of wastes in such a way that within 24 hours of disposal they undergo an acidogenic phase, becoming adequate substrates for vectors that transmit diseases. Results indicate that groundwater underlying the waste disposal site is the most contaminated. The concentrations of studied contaminants increased considerably during the rain season because of leachate generation, dissolving salts from wastes and infiltrating down to the aquifer.

Key words karstic aquifer; groundwater contamination; waste disposal site; leachate; Yucatan

## INTRODUCCION

La ciudad de Mérida se encuentra enclavada en una plataforma calcárea con una superficie cárstica que presenta hoyos, hendiduras, agujeros y cavidades y una casi total ausencia de suelo. Como los suelos son muy delgados y a veces inexistentes, la característica cárstica regional impide la formación de cauces, permitiendo que la lluvia encuentre fácilmente conductos para su infiltración directa al subsuelo cuyo nivel freático se encuentra a 5 m de profundidad aproximadamente.

Hasta abril de 1998, la disposición final de residuos recolectados en la ciudad de Mérida, Yucatán, México, se realizó en el tiradero municipal (Fig. 1). En este sitio se conformaron los residuos sólidos implementando el método de área. Los desechos se depositaron en el área sin impermeabilización en el fondo y sin colectores de lixiviado y muchas veces sin cubierta superficial por largo tiempo. Después de cinco años de actividad, el sitio se encuentra actualmente cerrado pero aún no se elabora un plan para su remediación y clausura definitiva, el cual está contemplado en el Plan de Desarrollo Municipal 2004–2007 (Ayuntamiento de Mérida, 2004).

Se sabe que la basura sufre un proceso de descomposición y fermentación después de depositarla en un sitio de disposición final. Sin embargo, es muy dificil predecir tal descomposición debido a la heterogeneidad del material y al poco conocimiento que existe sobre los mecanismos de descomposición que operan en la basura. Estudios realizados en México (Esquinca *et al.*, 1997; Gaxiola, 1997; CNA, 1997; SEDESOL, 1994) indican que la materia orgánica domina en porcentaje en la composición de los desechos.

Como consecuencia de la descomposición de los desechos sólidos se producen líquidos percolados o lixiviados y gases que después de atravesar las celdas de basura pasan a los suelos afectándolos de manera nociva (Trejo, 1996). Esta es una de las razones por lo que en la actualidad dichos lixiviados son objeto de estudio.

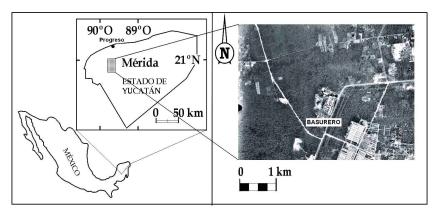


Fig. 1 Ubicación del basurero municipal de Mérida, Yucatán.

#### **METODOLOGIA**

En el afán de obtener muestras representativas del lixiviado que percola del basurero se implementó un dispositivo que permitiera la interceptación del mismo, para su posterior análisis (González & Kú, 2002). Con la recolecta semanal de muestras de lixiviado se realizaron las pruebas físicas, químicas y sanitarias del mismo.

Se implementó una red de monitoreo de agua subterránea tomando en consideración lo siguiente: (a) el desplazamiento de los contaminantes tiene la misma dirección hacia la cual fluye el agua subterránea local; (b) la ubicación de pozos alrededor del tiradero municipal, el cual se considera como la fuente de contaminación del sistema, permitió detectar la pluma de contaminación y su desarrollo con el tiempo; (c) los pozos de monitoreo dentro del tiradero municipal dieron la pauta en cuanto a la calidad del agua subterránea en la porción acuífera por debajo del mismo. Esto tuvo como finalidad definir los parámetros que caracterizan a la contaminación. La toma de muestras de agua subterránea fue a nivel freático, trimestralmente, durante los meses de enero, abril, julio y octubre. La periodicidad de los muestreos se determinó considerando, dentro del ciclo hidrológico, las épocas de sequía y lluvias en la zona, y en base a la experiencia de estudios previos sobre calidad del agua subterránea en el Estado de Yucatán (Frías & Gómez, 1985).

En el campo se realizaron determinaciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y Eh, introduciendo una sonda multiparamétrica; asimismo, se determinó la alcalinidad inmediatamente antes de colectar las muestras en el pozo en cuestión. Se preservaron las muestras para la determinación posterior de iones principales, parámetros sanitarios y metales, en el laboratorio.

Entre los parámetros físicos medidos en el laboratorio, se tomaron en cuenta la temperatura, salinidad, conductividad y también se midió el pH. Los elementos químicos que se analizaron en el laboratorio son los que por su concentración juegan un papel importante en la caracterización de la calidad del agua subterránea de la región. Se determinaron los iones calcio (Ca<sup>++</sup>), magnesio (Mg<sup>++</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), cloruros (Cl<sup>-</sup>), carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) y nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). También se determinaron los compuestos químicos como la alcalinidad total, la dureza carbonatada de calcio y magnesio y la dureza total. Al igual que para el lixiviado, las técnicas de análisis empleadas son las publicadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.*, 1992).

## RESULTADOS

Al comparar los valores de los parámetros analizados con resultados de lixiviado de rellenos sanitarios reportados en la literatura, estos caen dentro del rango de las características químicas del lixiviado de un relleno sanitario de mayor antigüedad (Robinson, 1986) poniendo de manifiesto una mayor rapidez de descomposición de basura y generación de lixiviado en la zona. Se obtuvieron los siguientes valores promedios; pH entre 7 y 8, temperatura 30°C y la conductividad eléctrica (CE) entre 10 000 a 25 000 μmhos cm<sup>-1</sup>.

En los pozos que circundan al basurero municipal se encontraron aguas que corresponden al tipo bicarbonatada cálcica el cual predomina en la región (Coronado *et al.*, 1997; Frías & Pacheco, 1997). Por el contrario, el agua que se encuentra en los pozos ubicados en y muy próximos al basurero es, en general, del tipo mixta con tendencia a clorurada sódica. Esto confirma una vez más lo establecido por Canul (1996) quien reportó que dichos puntos de muestreo son los más afectados por la contaminación que producen los lixiviados del basurero provenientes de los desechos de origen doméstico ya que se encuentran en sitios en donde éstos les llegan de manera importante (ver Fig. 2). En estos pozos se observaron las máximas concentraciones de cloruros, el cual es un ión aportado principalmente por los desechos de tipo doméstico. Las concentraciones de cloruros excedieron el límite máximo permisible para uso y consumo humano, de 250 mg L<sup>-1</sup> (DOF, 1995); las más altas sobrepasan por un amplío margen el rango establecido para aguas naturales, hasta un máximo de más de 4500 mg L<sup>-1</sup>.

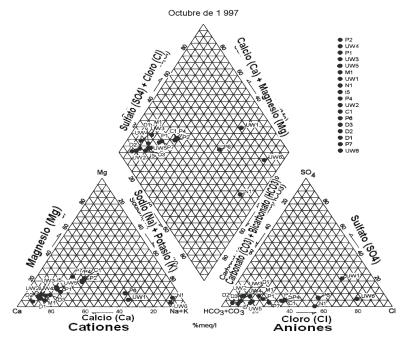


Fig. 2 Clasificación del agua subterránea en la zona de estudio, según el diagrama de Piper.

El agua contaminada se dispersa en el agua subterránea produciendo un efecto de mezcla que ocasiona una dilución de los contaminantes y por consiguiente una disminución en las concentraciones a medida que aumenta la distancia de los pozos de muestreo con respecto al basurero (Fig. 3). La Fig. 4 muestra que el incremento de la relación Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> es proporcional a la conductividad eléctrica demostrando la mineralización del agua al convertirse al tipo clorurada con el tiempo; esto es, el agua subterránea está afectada por el lixiviado que se produce en el basurero. La tendencia, en incremento, de la curva indica el avance de la contaminación en dirección N–NW que concuerda con el movimiento natural del flujo del agua subterránea en la zona.

En el caso del basurero el diagrama de Wilcox (Fig. 5) indica que el agua de los pozos que circundan al mismo es del tipo  $C_3S_1$ ; es decir, tiene un alto contenido salino y un bajo contenido en sodio. En tanto que los pozos del interior son del tipo  $C_4S_2$ ; o sea, tienen una cantidad de sales disueltas muy alta y un alto contenido de sodio.

## **CONCLUSIONES**

El clima cálido que prevalece en la zona incrementa la velocidad de putrefacción de los desechos generando lixiviados los cuales rápidamente entran a la etapa acidogénica. El lixiviado producido se encuentra en el rango de la composición de líquidos lixiviados de basuras domésticas en otras partes del mundo, con características químicas del lixiviado de un relleno sanitario de mayor antigüedad.

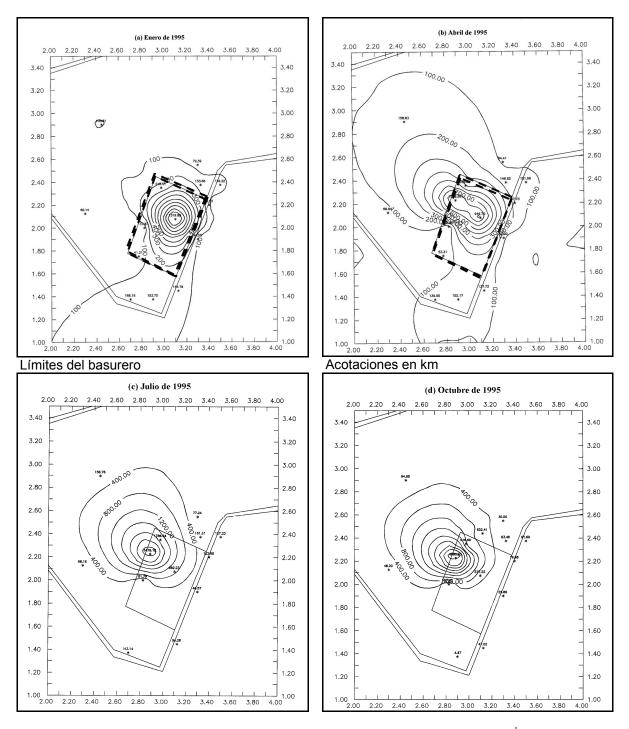


Fig. 3 Mapa de isoconcentraciones de cloruros en el agua subterránea a nivel freático (mg L<sup>-1</sup>).

Los pozos de monitoreo más próximos al basurero fueron los que presentaron las máximas concentraciones para todos los parámetros analizados. El elevado contenido de cloruros encontrado en éstos, pone de manifiesto que son los más afectados por la contaminación por desechos de tipo doméstico.

La mayoría de los pozos excedió los límites establecidos para considerar que el agua es de buena calidad; por lo que esta no puede ser empleada como agua de consumo, especialmente la de los pozos más próximos al tiradero.

La disminución de las concentraciones de los parámetros estudiados pudo ser causada por un proceso de dilución de las mismas ya que el agua contaminada se mueve siguiendo el flujo de agua subterránea y al entrar en contacto con la que proviene de la precipitación pluvial se mezclan

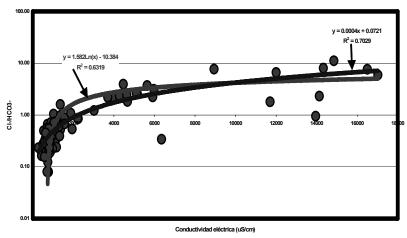


Fig. 4 Relación del índice Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub> con la conductividad eléctrica del agua subterránea del área de estudio.

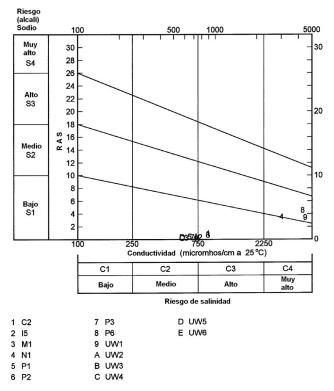


Fig. 5 Clasificación del agua subterránea, en la zona de estudio, para riego.

produciéndose este proceso hidroquímico. La pluma de contaminación se movió durante casi todo el ciclo anual en dirección N–NW.

El tipo de agua de los pozos que circundan al basurero municipal de la ciudad de Mérida pertenece al tipo bicarbonatada cálcica que es el tipo de agua que predomina en la región, en tanto que la de los pozos que están dentro y muy próximos a él, pertenecen al tipo mixto con tendencia al tipo clorurada sódica.

Las conductividades eléctricas permiten concluir que el acuífero contiene una gran cantidad de iones en disolución; este parámetro es proporcional a la relación Cl<sup>-</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. La tendencia, en incremento, indica el avance de la contaminación en dirección natural del flujo de agua subterránea en la zona.

El agua que subyace al basurero municipal no puede ser empleada como agua de riego a menos que se seleccionen plantas que sean tolerantes a un alto contenido de sales disueltas. Se podría utilizar para regar cualquier tipo de suelo, incluyendo al del propio basurero; sin embargo, no es recomendable hacerlo ya que las concentraciones de sodio se incrementan en la época de recarga.

De llegar a concretarse la clausura definitiva del actual basurero municipal, no se puede garantizar que las concentraciones de sodio tenderán a disminuir, puesto que los contaminantes seguirán infiltrándose al medio subterráneo por tiempo indefinido ocurriendo el fenómeno citado en la época de lluvias.

**Agradecimientos** Los autores agradecen el apoyo brindado para la realización de los proyectos 1864-T9212 y 32489-T por el CONACYT y el YUC-2002-C01-8724 por los Fondos Mixtos del CONACYT y el Gobierno del Estado de Yucatán.

#### REFERENCIAS

- APHA et al. (1992) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (18th edn) (ed. by A. E. Greenberg, L. S. Clesceri & A.D. Eaton). APHA, AWWA & WEF (American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation), USA.
- Ayuntamiento de Mérida (2004) Plan de Desarrollo Municipal 2004 2007. Mérida, Yucatán, México.
- Canul, J. L. (1996) *Hidrogeoquímica del Basurero Municipal de Mérida y su Zona Circundante*. Tesis de Licenciatura en Química Industrial. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) (1997) *Diagnóstico de la Región XII. Península de Yucatán*. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de programación. Gerencia de Planeación Hidráulica. Gerencia Regional de la Península de Yucatán. Subgerencia de Programación. México, D.F.
- Coronado, V. M., Pacheco, J. G. & Cabrera, S. A. (1997) Calidad del agua subterránea al norte de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*. *Universidad Autónoma de Yucatán* 1(1), 69–79.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1995) NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. 30 de noviembre de 1995.
- Esquinca, C. F., Escobar, J. L., Hernández, L. A., Sánchez, L. G., & Suárez, H. D. (1997) Estudio de la caracterización y generación de residuos sólidos municipales en 5 localidades de la costa del estado de Chiapas. En: *Memorias Técnicas. XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales* (Zacatecas, Zac., México. Del 4 al 7 de noviembre de 1997), tomo II, 436–446.
- Frías, J. & Gómez, J. A. (1985) Diseño de una Red de Monitoreo para el Control de la Calidad del Agua. Tesis de Licenciatura en Química Industrial. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Frías, J. & Pacheco, J. G. (1997) Evolución y fenómenos modificadores de la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. *Ingeniería. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán* 1(1), 45–55.
- Gaxiola, C. E. (1997) El sistema de Manejo de desechos sólidos municipales en Culiacán Sinaloa. En: *Memorias Técnicas. XI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales* (Zacatecas, Zac., México. Del 4 al 7 de noviembre de 1997), tomo II, 448–496.
- González, R. A. & Kú, L. H. (2002) Muestrador de lixiviados para SDFDS que no cuentan con sistemas de recolección. XVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. "Gestión Inteligente de los Recursos Naturales" Desarrollo y Salud! Cancún, Quintana Roo, México. Octubre 27 a Noviembre 1°. Anales del Congeso. En CD.
- Robinson, W. (1986) The Solid Waste Handbook: A Practical Guide. John Wiley and Sons Inc., New York, USA.
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) (1994) Dirección General de Infraestructura y Equipamiento. Subsecretaría de Desarrollo Urbano. México, D.F.
- Trejo, R. (1996) Procesamiento de la Basura México. Editorial Trillas. México, D.F.