

Diagnóstico del estado de las aguas subterráneas de Monterrey/México, aplicando hidrogeología urbana

Héctor de León-Gómez, René Alberto Dávila Pórcel, Luis Manuel Aranda Maltez

Facultad de Ingeniería Civil/Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL); Av. Universidad S/N, Ciudad Universitaria; 66451 San Nicolás de los Garza, N.L., México.

Mail de contacto: hector.deleongm@uanl.edu.mx

RESUMEN

El presente trabajo se basa en el diagnóstico ambiental de la ciudad de Monterrey y la problemática del suministro del agua potable aplicando el concepto de "Hidrogeología Urbana"; ciudad con casi 4.0 millones de habitantes y con actividades principalmente industriales, caracterizada por un crecimiento demográfico acelerado, climas extremos y sequías prolongadas. La explotación excesiva y contaminación de los acuíferos de poros y grietas de la zona urbana como resultado de las actividades domésticas, municipales e industriales, afectan el almacenamiento del agua subterránea para el deficiente sistema de abastecimiento de agua potable. El se compone de fuentes superficiales y subterráneas de la región. Actualmente existe un déficit de suministro de agua potable de más de 5 m³/s. En conclusión se resaltan directrices y modelos urbanos desarrollados en la 1^a. etapa diagnóstica, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud pública de los habitantes, a través de un análisis integral con parámetros geoambientales.

Palabras clave: Hidrogeología Urbana, contaminación, acuífero

ABSTRACT

This work is based on the environmental assessment of Monterrey city and the drinking water supply challenge using "Urban Hydrogeology"; city with almost 4.0 million inhabitants and predominantly industrial activities characterized by quick population growth, extreme weather condition and long droughts. Over-exploitation and pollution of pore and fractured aquifers in the urban area is a result of domestic, municipal and industrial activities, affects groundwater storage for the water supply system which is composed by surface and ground sources of water. Currently there is a shortage of drinking water supply of more than 5 m³ / s. In conclusion, groundwater sustainable management guidelines, at initial diagnostic phase, are highlight, with the aim of protects the environment and public health of the inhabitants.

Keywords: urban Hydrogeology, pollution, aquifer

Introducción

La conservación, protección y gestión del agua subterránea (AS) son necesidades importantes en la mayoría de las ciudades del mundo (Shanahan, 2009), motivo por el cual la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (International Association of Hydrogeologists, IAH (2008) creó la Comisión de Aguas Subterráneas en Áreas Urbanas en el año 1993 (Vázquez-Suñé et al., 2005), con el objetivo de investigar el comportamiento y la problemática del AS en las ciudades que inició en la década de los ochenta, época en la que se realizaron muchos estudios del impacto del medio urbano

sobre la calidad y la cantidad de AS (Morris et al. 2006; Wolf et al., 2007).

En la actualidad, la tendencia mundial es que la población rural disminuya, permitiendo el rápido crecimiento de las áreas urbanas originado en la espectacular concentración poblacional en megaciudades (Custodio, 2004).

La Hidrogeología Urbana (HU) investiga las condiciones hidrodinámicas del AS, la recarga, el uso y calidad del agua, así como el manejo, preservación y repercusiones de los acuíferos de áreas urbanizadas y en sus alrededores, orientada al abastecimiento de la población y sus áreas urbanas, industriales, comerciales, de riego intensivos, de recreo y parques públicos (Custodio, 2004). La HU juega un rol

preponderante en la solución de los problemas de demanda de agua potable, de contaminación, de subsidencia y colapso del terreno, de interacción del AS con la infraestructura urbana, de inestabilidad de taludes y encharcamientos persistentes (Llamas et al., 2003).

Actualmente, los estudios de HU están motivados por la importante interacción entre las aguas subterráneas (AS) y el desarrollo socioeconómico de las ciudades. A futuro, la HU desempeñará un papel importante en la provisión de agua, al desarrollar sistemas separados que permitan la reutilización directa y generalizada, creando así recursos hídricos propios y aliviando la enorme presión depredadora realizada por las grandes urbes sobre el territorio y sus recursos (Custodio, 2004).

Los objetivos del presente estudio, el cual se encuentra en la 1ª. etapa de reconocimiento de la problemática del estado del agua subterránea de la ciudad de Monterrey y su zona conurbada, son las de diagnosticar los procesos, factores y avances preponderantes de la Hidrogeología Urbana (HU) que determinan las relaciones e interacciones entre la hidrología, los materiales geológicos, la urbanización, la recarga, el flujo subterráneo, la extracción, la calidad hidrogeoquímica, el uso y los efectos que produce el agua subterránea en la infraestructura urbana. Todos ellos serían impactados y alterados por las actividades domésticas, municipales e industriales de los casi 4 millones de habitantes de la ciudad de Monterrey.

Geología e Hidrogeología de Monterrey

El área de estudio se localiza en el noreste de México, considerando como caso estudio la ciudad regiomontana de Monterrey, localizada en el estado de Nuevo León a 200 km de la frontera con los Estados Unidos de América y 250 del Golfo de México (Figura 1).

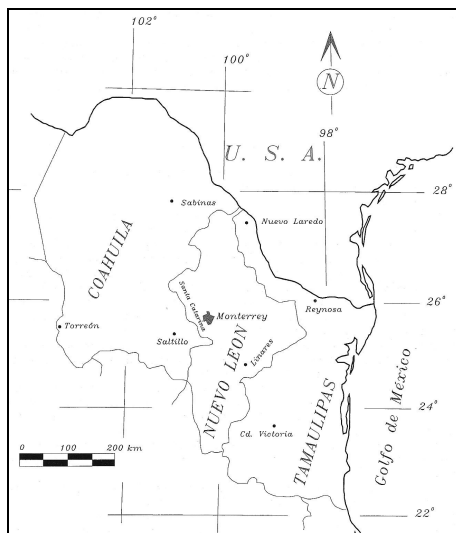


Figura 1. Área de estudio de Monterrey

El valle de Monterrey se conforma en su base por una serie de rocas sedimentarias del tipo lutítico-carbonatado de edades Jurásicas y Cretácicas, en su techo por un valle aluvial relleno de sedimentos cuaternarios, aluviones y conglomerados pertenecientes a las terrazas del río Santa Catarina, el cual nace en la cuenca alta en la región de la Huasteca del mismo río, remarcándose una pendiente considerable con un alto gradiente hidráulico, el cual ha generado la zona de inundación de Monterrey.

La estructura geológica principal de Monterrey es la de un geosinclinal plegado y fracturado, con fallas en la zona de la sierra de Loma Larga y plegamientos internos (Padilla y Sánchez, 1985; Ibarra, 2007), (Figura 2).

El sistema hidrogeológico de Monterrey se compone de tres acuíferos principales: kárstico (profundo), grietas (sub-superficial) y poros (somero), en el área de Monterrey, cuya conexión hidráulica condiciona el comportamiento del flujo de las aguas subterráneas, cuyas direcciones generales van de Oeste a Este con gradientes piezométricos altos, debido a la morfología de la cuenca del río Santa Catarina, cuyos flujos superficiales y subterráneos descargan finalmente en la presa El Cuchillo, no sin antes haber fluido por el valle de Monterrey, en donde recibe una gran contaminación por las actividades domésticas, municipales e industriales de la misma ciudad.

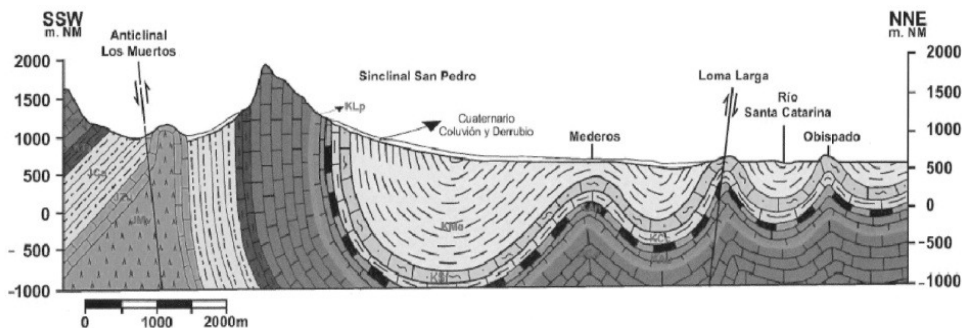


Figura 2. Geología del área de Monterrey. (Ibarra, 2007)

Hidrogeología Urbana de Monterrey

Introducción

El suministro de agua, saneamiento y drenaje son servicios claves en el proceso de urbanización, en el desarrollo económico y en la salud pública de los habitantes urbanos (Foster et al., 2001; Al-Sefry et al., 2006; Shen, 2008). En el medio urbano las AS son casi siempre el primer recurso que se utiliza con fines de abastecimiento de agua, porque poseen los siguientes beneficios: a) son de excelente calidad natural; b) son más seguras como fuente de abastecimiento en época de sequías; c) pueden utilizarse para el abastecimiento público y la utilización privada independientemente; y d) son atractivas en términos de inversiones de capital.

Los países en desarrollo son los que presentan el mayor índice de crecimiento demográfico del mundo, sus tasas de crecimiento urbano y poblacional no tienen comparación en la historia humana. El surgimiento de asentamientos informales situados en tierras marginales o en distritos periurbanos crea una rápida expansión física. La proporción de personas de bajos recursos económicos oscila entre el 30 % y el 60 % del total de la población urbana, donde el AS es un factor especialmente importante para el desarrollo urbano (Foster et al., 2001; Takizawa, 2008b). La evolución del proceso de urbanización en las ciudades contempla cuatro importantes etapas, propuestas por Foster et al, 2001 y analizadas por Lerner 2004; Shen, 2008 y Shanahan, 2009:

a) Ciudad preindustrial – usando AS locales: Los residentes perforan pozos poco profundos

para autoabastecerse de agua. Las aguas residuales se desechan en pozos negros y tanques sépticos en cada una de las residencias.

b) Ciudad industrial – disminución de los niveles de agua: Esta fase coincide con el desarrollo industrial y la demanda de agua crece. Paralelamente, la infraestructura de extracción de agua se consolida, los sistemas de suministro de agua potable y de alcantarillado son implementados. Posteriormente, este desarrollo provoca que los acuíferos experimenten importantes descensos del nivel freático (NF) hasta que los acuíferos deben ser controlados e intervenidos. Si los efectos de este descenso del NF debajo de la ciudad industrial son numerosos pueden ocasionar subsidencia de terreno (ST), la profundización de pozos debido al abatimiento del agua, el incremento en los costos de bombeo, la intrusión de agua salina, en el caso de ciudades costeras, y cambios en la capacidad portante de los suelos que afectan las cimentaciones de los edificios (Downing, 1993). Por estos efectos la ciudad se vuelve dependiente de fuentes distantes y la infraestructura de transporte de agua debe ser ampliada desde las afueras de la ciudad para proveer el líquido vital a sus habitantes.

c) Ciudad postindustrial – elevación del nivel del AS: En esta fase, se recuperan los niveles naturales del AS, se produce una transición a una economía postindustrial, se pierde el suministro local de agua debido a la contaminación industrial, se desarrolla el abastecimiento de fuentes distantes y seguras de agua. Las AS ascendentes afectan las propiedades estructurales de los edificios, la

capacidad de suelos de soportar carga, las mamposterías y el concreto, se presentan subpresiones hidrostáticas, encharcamientos y expansión de suelos, se infiltran en los alcantarillados poniendo en riesgo los sistemas de recolección de aguas servidas (Bassington, 1990; Johnson, 1994; Lerner, 2004).

d) La futura ciudad bajo el cambio climático y el crecimiento poblacional: El cambio climático afectará la cantidad y distribución de la recarga del AS, presentando intensas lluvias en regiones altas y tropicales y menos lluvia para las latitudes subtropicales (Solomon et al., 2007). Las ciudades del mundo necesitarán proveer mucha más agua y lidiar con mayores problemas de contaminación. En este contexto, el AS será más vulnerable y fuertemente explotada.

Caso estudio de la Hidrogeología Urbana de Monterrey

La extracción excesiva y contaminación del AS se ha convertido en el mayor problema ambiental en la mayoría de ciudades de países industrializados y en desarrollo. Los países con mayor escasez de agua son: China, India, México, España, Egipto, Kazajstán, Irán, Australia y Pakistán, que después de muchos años de explotación inmoderada de los acuíferos enfrentan problemas con sus sistemas de manejo del agua urbana como el descenso del nivel freático, contaminación de AS, subsidencia del terreno e intrusión de agua de mar. Mejorar el manejo de los recursos de AS es una necesidad urgente para mitigar los problemas ambientales, motivo por el cual un enfoque integral para la mejor gestión del agua debe incluir mejoras tecnológicas, innovaciones legislativas y manejo ambiental en las ciudades de los países en desarrollo (Shen, 2008).

Los cambios negativos en la calidad y cantidad del AS pueden producirse durante años o décadas sin acción o noticia alguna. Por tanto, es necesario incluir herramientas de manejo, monitoreo, difusión y regulación en las políticas relacionadas a la gestión del AS (Downing, 1993; Takizawa, 2008b). El tratamiento y eliminación de las aguas servidas

domésticas en ciudades florecientes de los países en desarrollo es una prioridad para proteger el AS urbana (Takizawa, 2008b). Los impactos también se presentan en la salud pública de los ciudadanos, por ejemplo, las AS con valores altos de sólidos totales disueltos (STD) no son adecuados para consumo humano y riego (Fetter, 2001; Freeze et al., 1979) Así mismo, las aguas residuales de las fugas del alcantarillado son la mayor fuente contaminante con un impacto negativo en el AS (Reynolds et al., 2003; Foster et al., 2004; Morris et al., 2006).

Monterrey con casi 4.0 millones de habitantes (INEGI, 2005) es una ciudad con actividades principalmente industriales, se ha caracterizado por tener un crecimiento demográfico acelerado, con climas extremos tanto en verano (>50 °C) como en invierno (-12 °C) y sequías prolongadas (período 1980-1981).

La explotación excesiva y contaminación de los acuíferos de poros y grietas de la zona urbana como resultado de las actividades domésticas, municipales e industriales, aunado a la reducida capacidad de infiltración de las aguas superficiales en las áreas pavimentadas con concreto y asfalto que reducen los procesos de recarga del acuífero de Pozos Monterrey, afectando el almacenamiento de AS para el deficiente sistema de abastecimiento de agua potable compuesto de fuentes superficiales (presas La Boca, Cerro Prieto y El Cuchillo) y subterráneas (acuífero Buenos Aires, socavón de San Francisco, túneles de la Cola de Caballo, pozos de Mina y el citado acuífero de pozos Monterrey (De León et al., 1994).

Hasta la fecha existe un déficit de suministro de agua potable de más de 5 m³/s, volumen necesario para cubrir la demanda y asegurar una calidad de vida digna de los regiomontanos (CAPDM, 1990).

Dentro de los modelos conceptuales de la Hidrogeología Urbana según los escenarios de Foster et al, 2001 y las problemáticas identificadas anteriormente, se puede clasificar a la ciudad de Monterrey y su zona conurbada en base a su gran problemática geoambiental, como una ciudad regida por el cambio climático y el acelerado crecimiento poblacional (Figura 3).

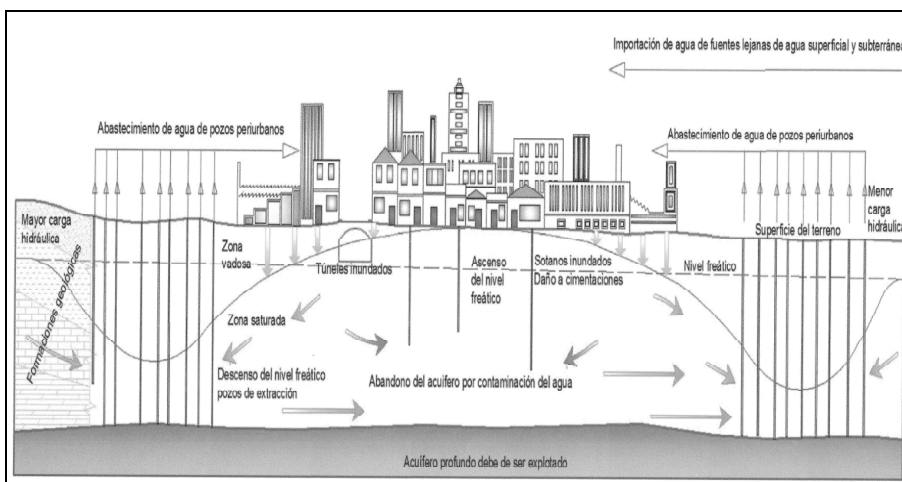


Figura 3. Modelo de Hidrogeología Urbana para Monterrey/México: “ciudad regida por el cambio climático y el acelerado crecimiento poblacional” (Foster et al, 2001; Lerner, 2004)

Conclusiones

Por necesidades urgentes y prioritarias de conservar, proteger y gestionar el agua subterránea en áreas urbanas, como es el caso de Monterrey y su zona conurbada, así como brindar soluciones adecuadas a diversos problemas hídricos, se aplicarán los conceptos y metodologías de la nueva rama científica denominada “Hidrogeología Urbana”, la cual se desprende de la hidrogeología tradicional, la cual será la base prioritaria para iniciar la 1ª. etapa diagnóstica para dicha ciudad.

Las ciudades importantes como Monterrey, en países con escasos recursos hídricos en México, dependen cada vez más del aprovechamiento del agua subterránea para viabilizar su crecimiento, por tanto la Hidrogeología Urbana es una ciencia clave y prioritaria para su desarrollo sostenible en estos países y alrededor del mundo.

Se ha revisado el estado actual de la hidrogeología urbana, desde su parte conceptual, su desarrollo y aplicación en el caso de estudio de la ciudad de Monterrey/México.

Los objetivos planteados, atendiendo a las problemáticas identificadas en ésta primera etapa de diagnóstico, serían las siguientes: 1) deficiente suministro de agua potable, 2) contaminación de las fuentes superficiales y subterráneas, 3) contaminación de la cuenca

hidrológica del río Santa Catarina, 4) delimitación de las zonas de inundación de Monterrey, 5) deficiente manejo de las avenidas máximas en épocas de huracanes, 6) incumplimiento de los planes de desarrollo urbano de la ciudad, 7) sobreexplotación de los acuíferos someros y profundos, 8) construcciones en montaña, 9) climas extremos (sequías y huracanes) 10) impacto de la sismicidad regional en los acuíferos.

En base a los primeros resultados diagnósticos obtenidos y así como también basado en las características perteneciente al modelo cuatro de Foster et al, 2001, se clasifica a la ciudad de Monterrey y su zona conurbada como una “ciudad regida por el cambio climático y el acelerado crecimiento poblacional”.

Referencias

- Al-Sefry, S.A., Sen, Z., 2006, Groundwater rise problem and risk evaluation in major cities of arid lands – Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia: *Water Resources Management*, 20, 91-108.
- Bassington, F.C., 1990, Rising groundwater levels in the United Kingdom: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 88, 1037-1057.
- Comisión de Agua Potable y Drenaje de Monterrey (CAPDM), 1990, *Proyecto Monterrey IV: Monterrey*, Comisión de Agua Potable y Drenaje de Monterrey, 33 p.

- Custodio, E., 2004, Hidrogeología Urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica: *Boletín Geológico y Minero*, 115, 283-288.
- De León-Gómez, H., Schetelig, K., Meiburg, P., 1994, Abastecimiento de agua potable en el noreste de México ejemplo Presa Cerro Prieto: *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, I, 593-602.
- Downing, R.A., 1993, Groundwater resources, their development and management in the UK: an historical perspective: *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 26, 335-358.
- Fetter, C.W., 2001, *Applied Hydrogeology*: Englewood Cliffs, New Jersey, EE.UU., Prentice Hall, 598 p.
- Foster, S., Lawrence, A., Morris, B., 2001, *Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano*: Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias: Washington D.C., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, 60 p.
- Foster, S.S.D., Chilton, P.J., 2004, Downstream of downtown: urban wastewater as groundwater recharge: *Hydrogeology Journal*, 12, 115-120.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979, *Groundwater*: Englewood Cliffs, New Jersey, EE.UU., Prentice Hall, 604 p.
- IAH (2008): *International Association of Hydrogeologist*
- Ibarra, Martínez, S, 2007, Riesgos geológicos en la región Sw del área metropolitana de Monterrey, nuevo León, México. *Tesis de Licenciatura*, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 135 p.
- Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática (INEGI), 2005, *Segundo Censo de Población y Vivienda: Proyecto IRIS-Science*.
- Johnson, S.T., 1994, Rising groundwater levels: engineering and environmental implications, en Wilkinson, W.B. (ed.), *Groundwater, Problems in Urban Areas*: Londres, Thomas Telford, 285-298.
- Lerner, D.N., 2004, *Urban Groundwater Pollution*: Lisse, Países Bajos, Balkema, 243 p.
- Llamas, M.R., Custodio, E., 2003, *Intensive use of groundwater: challenges and opportunities*: Lisse, Países Bajos, Balkema, 478 p.
- Morris, B.L., Darling, W.G., Cronin, A.A., Rueedi, J., Whitehead, E.J., Gooddy, D.C., 2006, Assessing the impact of modern recharge on a sandstone aquifer beneath a suburb of Doncaster, UK: *Hydrogeology Journal*, 14, 979-997.
- Padilla y Sánchez, R.J, 1985, La estructura de la curvatura de Monterrey, estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas-UNAM*, vol. 6: 1-20.
- Reynolds, J.H., Barrett, M.H., 2003, A review of the effects of sewer leakage on groundwater quality: *Water and Environment Journal*, 17, 34-39.
- Shanahan, P., 2009, Groundwater in the urban environment, en Baker, L.A. (ed.), *The Water Environment of Cities*: Nueva York, Springer, 29-48.
- Shen, Y., 2008, Groundwater Resources in Urban Water Management, en Takizawa, S. (ed.), *Groundwater Management in Asian Cities: Technology and Policy for Sustainability*: Tokio, Springer, 35-59.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H., 2007, Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on Climate Change, 2007: Nueva York, Cambridge University Press, 996 p.
- Takizawa, S., 2008b, Introduction, en Takizawa, S. (ed.), *Groundwater management in Asian cities: Technology and policy for sustainability*: Tokio, Springer, 3-11.
- Vázquez-Suñé, E., Sánchez-Vila, X., Carrera, J., 2005, Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain: *Hydrogeology Journal*, 13, 522-533.
- Wolf, L., Klinger, J., Hötzl, H., Mohrlok, U., 2007, Quantifying mass fluxes for urban drainage systems to the urban soil-aquifer system: *Journal of Soils and Sediments*, 7, 85-95.