

Situación actual del MTBE (metil terbutil éter) en sistemas acuíferos

Luis Ernesto Lesser-Carrillo

Universidad Estatal de Arizona (ASU), Estados Unidos
Lesser y Asociados, S.A. de C.V.

La contaminación del agua subterránea con MTBE ha llegado a ser el centro de atención en Estados Unidos. Aunque es posible percibir este compuesto por su olor y sabor disuelto en agua en muy bajas concentraciones, tales niveles generalmente están por debajo de concentraciones de riesgo por cáncer. El objetivo de este trabajo es presentar un resumen de los estudios más sobresalientes en los últimos años respecto a la contaminación de acuíferos con MTBE. Estos trabajos incluyen el debate acerca del tamaño de las plumas contaminantes de MTBE respecto a las de benceno y acerca de la capacidad de biodegradación del MTBE. En general, el MTBE es considerado menos biodegradable que los compuestos BTEX. En la literatura científica existen numerosos estudios que han comprobado que el MTBE se biodegrada aeróbicamente bajo condiciones de laboratorio, mientras que en sistemas acuíferos existe poca evidencia de su biodegradación natural. A pesar de esto, la biodegradación ha sido reconocida como el proceso de mayor importancia en la reducción de las concentraciones de MTBE en acuíferos mediante la aplicación de alguna técnica de remediación.

Palabras clave: MTBE, metil terbutil éter, contaminación, acuífero, remediación, estudios regionales, biodegradación.

Introducción

Muchos tanques de almacenamiento subterráneo (TAS) han sido utilizados para almacenar mezclas de hidrocarburos, de las cuales la gasolina es la más común. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) ha encontrado que aproximadamente el 35% de los 800,000 TAS existentes en ese país han presentado fugas de hidrocarburos en el subsuelo (Bedient *et al.*, 1999). Tradicionalmente, la evaluación de la contaminación de acuíferos por derrames de gasolinas se ha enfocado a la detección de sus principales compuestos: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) (Barker *et al.*, 1987; API, 2000). Sin embargo, en los últimos años otros compuestos como el MTBE (metil terbutil éter) ha sido detectado en derrames de gasolina (Squillance *et al.*, 1996a).

Johnson *et al.*, (2000), indican que en el caso de derrames de gasolina, la contaminación de BTEX se extiende típicamente a una distancia máxima de 100 m de la fuente contaminante. Mientras tanto, en la literatura existen reportes de plumas contaminantes de MTBE de más de 1,000 m (Einarson *et al.*, 1999; Salanitro *et al.*, 2000; US EPA, 2000).

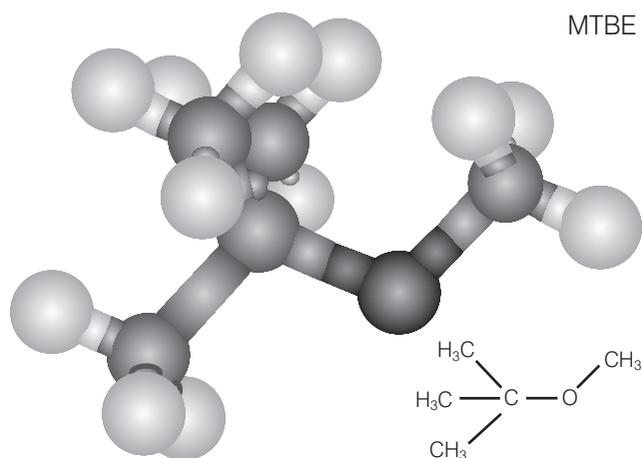
Objetivo

El objetivo de este trabajo es presentar un resumen de los estudios más sobresalientes en los últimos años respecto a la contaminación de acuíferos con MTBE. Estos trabajos incluyen el debate acerca del tamaño de las plumas contaminantes de MTBE respecto a las de benceno y acerca de la capacidad de biodegradación del MTBE. Las características fisicoquímicas del MTBE y su toxicidad, así como los métodos comúnmente utilizados para su remediación han sido discutidos con anterioridad (Lesser *et al.*, 2002a; Lesser *et al.*, 2002b).

Antecedentes

El MTBE es un compuesto orgánico oxigenado preparado con base en metanol e isobutileno, que se utiliza como un aditivo para la gasolina (ilustración 1). El propósito de este aditivo es el de disminuir la contaminación atmosférica. El MTBE fue utilizado inicialmente en Estados Unidos en la década de los setentas para aumentar el octanaje de las gasolinas, y en México se empezó a utilizar diez años después. Fue hasta la década de los ochenta, que se le consideró como un compuesto

Ilustración 1. Estructura química del metil terbutil éter.



revolucionario de alto beneficio en el control de la contaminación atmosférica y se impuso su uso en la gasolina, reduciendo así las emisiones de bióxido de carbono en regiones donde se reportaban problemas en la calidad del aire. El MTBE fue considerado como el compuesto oxigenante más viable económicamente (se agrega en concentraciones de 11 a 15% por volumen a la gasolina). Cuando este compuesto comenzó a utilizarse, se desconocía que en el caso de derrames de gasolina, el MTBE tendría una alta movilidad en los acuíferos. Un hallazgo común en derrames de gasolina es que el MTBE se extiende a distancias mayores que el resto de los compuestos de la gasolina (BTEX) (Schirmer y Barker, 1998; Salanitro *et al.*, 2000; Mackay *et al.*, 1999).

La contaminación de agua subterránea con MTBE llegó a ser el centro de atención en Estados Unidos en agosto de 1995, cuando en la ciudad de Santa Mónica, California, se detectó MTBE en los pozos que suministraban el agua a la población. Las concentraciones detectadas alcanzaban hasta 610 mg/l de MTBE. Cinco de los siete pozos que suministraban agua a la ciudad fueron clausurados en 1996. La ciudad de Santa Mónica gasta actualmente tres millones de dólares al año para abastecer de agua a la ciudad por medio de otras fuentes. Además, se estima que se han gastado más de sesenta millones de dólares en actividades de remediación y se considera que el costo final de éstas sea superior a los 160 millones de dólares (US EPA, 2000).

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas del MTBE, el estado de California optó por prohibir su uso y planea reemplazarlo por otro tipo de oxigenantes, como el etanol. Debido a la naturaleza del etanol, se espera que las plumas contaminantes de BTEX se incrementen en tamaño (US EPA, 2000). Deeb *et al.* (2002) determina-

ron que las plumas contaminantes de benceno incrementarán su longitud con la presencia de etanol entre un 16 y 34%. También se espera un aumento en el precio de la gasolina de 0.5 a 1 centavo de dólar por litro por este cambio en Estados Unidos (US EPA, 2000).

Biodegradación del MTBE

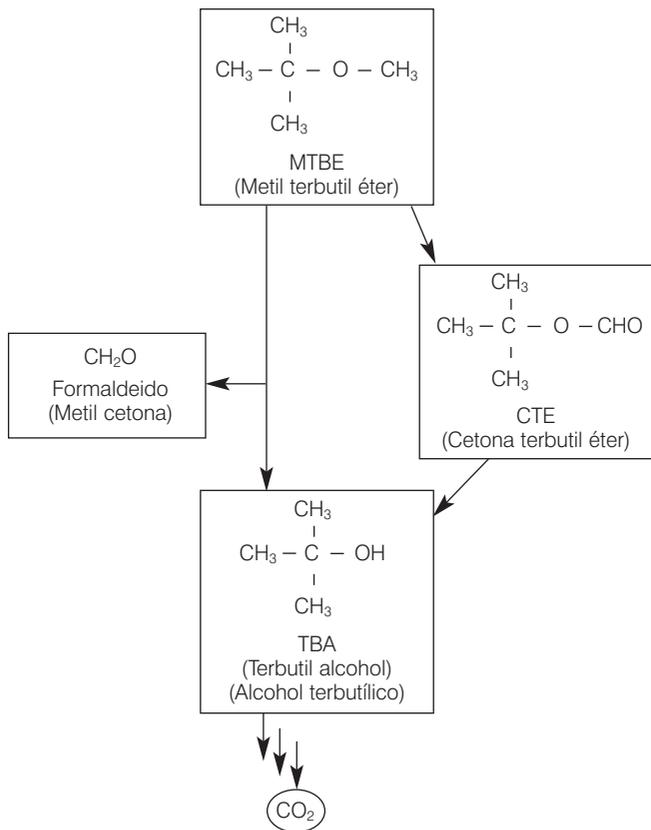
Durante la biodegradación aeróbica del MTBE, el grupo terminal de metilo es oxidado para formar terbutil alcohol (TBA). Steffan *et al.* (1997) demostraron que el TBA atraviesa por una serie de transformaciones (incluyendo acetona como un compuesto intermedio), llegando finalmente al dióxido de carbono. Como otro mecanismo de degradación, Steffan *et al.* (1997) sugieren también una transformación de MTBE a formaldehído y de ahí a dióxido de carbono, sin la formación intermedia de TBA. No obstante, concluyen que la mayoría del MTBE es transformado a TBA.

Hardison *et al.* (1997) sugieren la transformación de MTBE a cetona terbutil éter (CTE), que mediante hidrólisis (biótica o abiótica) se transforma en TBA. Por lo tanto, la ruta más aceptada para la biodegradación aeróbica de MTBE es la formación directa de TBA o la formación de TBA mediante hidrólisis a partir de CTE. Posteriormente, el TBA es metabolizado a bióxido de carbono (ilustración 2).

La literatura científica que reporta la biodegradación aeróbica de MTBE es extensa. Mientras que Hardison *et al.* (1997) y Steffan *et al.* (1997) estudian el camino metabólico para la biodegradación aeróbica del MTBE, Salanitro *et al.* (1994) fueron los primeros en reportar el aislamiento de una cultura bacteriana capaz de biodegradar MTBE como única fuente de carbón. Estos microorganismos, aislados de lodos activados, tienen tasas de crecimiento muy bajas. Pruden *et al.* (2001) reportan la biodegradación de MTBE bajo diferentes compuestos cometabólicos (MTBE solo, dietil éter, diisopropil éter, etanol y BTEX). Fiorenza y Rifai (2003) proporcionan una extensa lista de publicaciones de biodegradación aeróbica de MTBE. De estas publicaciones, 18 incluyen tasas de biodegradación medidas en diferentes culturas bacterianas.

Existen reportes contradictorios acerca del potencial para la biodegradación de MTBE bajo condiciones anaeróbicas. Numerosas publicaciones reportan un potencial muy bajo de biodegradación anaeróbica (Suflita y Mormile, 1993; Mormile *et al.*, 1994; Yeh y Novak, 1994; Bradley *et al.*, 1999), mientras otras publicaciones sugieren un potencial de bajo a moderado (Finneran y Lovley, 2001; Bradley *et al.*, 2001; Kolhatkar *et al.*, 2002). Con estos resultados se concluye que, pese a los resultados

Ilustración 2. Resumen de las diferentes rutas de biodegradación del metil terbutil éter.



positivos que recientemente se han obtenido respecto a la biodegradación anaeróbica del MTBE, la tasa de biodegradación es lenta, comparada con la biodegradación aeróbica. Por lo tanto, la biodegradación aeróbica sigue siendo considerada como el principal mecanismo de degradación en sistemas acuíferos.

Mientras numerosos estudios han informado acerca de la biodegradación de MTBE en trabajos de laboratorio, existe poca evidencia acerca de su biodegradación en sistemas acuíferos. En general, el MTBE es considerado menos biodegradable que los compuestos BTEX (Chapelle, 2001).

Estudios de incidencia regional de MTBE en Estados Unidos

Estudios del US Geological Survey (Squillance et al., 1996b; USGS, 1995)

Como parte del Programa Nacional de Evaluación de la Calidad del Agua en los Estados Unidos, se analizaron las concentraciones de sesenta compuestos orgánicos

volátiles en pozos y manantiales. Se analizaron 210 pozos someros y manantiales en ocho zonas urbanas, y 549 pozos someros en 21 zonas agrícolas. La densidad de muestreo fue de por lo menos un pozo cada 100 km².

El MTBE fue detectado en 27% de los pozos someros y manantiales urbanos y en sólo 1.3% de los pozos someros agrícolas. Las concentraciones variaron de 0.2 a 23,000 µg/l, aunque ninguna de las muestras agrícolas excedió los 20 µg/l. El MTBE fue detectado más frecuentemente en áreas donde los acuíferos se componen de arenas y gravas de muy alta conductividad hidráulica. El MTBE por lo general no se encontró en compañía de los compuestos BTEX, además de que el MTBE fue el segundo compuesto más detectado en dicho estudio (el cloroformo fue el compuesto detectado más frecuentemente en 28% de los pozos urbanos).

El estudio concluye que las concentraciones encontradas en agua subterránea en la mayoría de los casos no representan un riesgo a la salud humana. Sólo 3% de las muestras de pozos y manantiales en áreas urbanas contiene concentraciones de MTBE que exceden 20 µg/l, el límite inferior que ha sugerido la EPA para consumo humano.

Estudio de las plumas contaminantes de hidrocarburos en California (Happel et al., 1998)

En este reporte se estudiaron 236 sitios con derrames en tanques de almacenamiento subterráneos en California. Se detectó MTBE en 78% de ellos, con concentraciones máximas de 100,000 µg/l. En 81% de los casos, las plumas contaminantes de MTBE fueron de igual tamaño o más pequeñas que las plumas de benceno. También se encontró que no existe relación entre las plumas de MTBE y las de benceno, y no se puede predecir el comportamiento de una de ellas basado en la otra. Los investigadores explicaron haber obtenido resultados contrarios a los esperados debido a que el MTBE es un compuesto que ha sido agregado a la gasolina recientemente y, por lo tanto, las plumas de MTBE están comenzando a extenderse, mientras que las de benceno tienen un mayor tiempo de estancia en el subsuelo.

Estudio de las plumas contaminantes de hidrocarburos en Texas (Mace y Choi, 1998)

En este reporte se estudiaron los resultados de 609 sitios con derrames de hidrocarburos en Texas. En 93% de ellos se detectó MTBE, con una concentración media de 1,600 µg/l. De estos sitios, se estudiaron en detalle 99 con plumas contaminantes de MTBE y 289 con plumas de benceno. Se compararon los tamaños de dichas plu-

mas tomando en cuenta el contorno de los 10 $\mu\text{g/l}$ para ambos compuestos. Las plumas contaminantes de MTBE se extendían en promedio 8 m más que las de benceno (la media geométrica de las longitudes de las plumas contaminantes de MTBE fue de 55 m, mientras que para el benceno fue de 47 m). Estudiando los sitios donde existían las dos plumas contaminantes (MTBE y benceno), en 56% de los casos la pluma de MTBE era mayor que la de benceno. De la información de 471 pozos con suficiente historial, los investigadores encontraron que 83% de los pozos presentó una concentración de MTBE estable, está disminuyendo o no contiene MTBE.

Estudio de las plumas contaminantes de hidrocarburos en Florida (Integrated Science & Technology, 1999)

En este proyecto se estudió la longitud y superficie de plumas contaminantes en Florida y se calculó su tasa de atenuación natural. De 5,657 muestras recolectadas, 38.9% contenía MTBE y 42.8% contenía benceno. En ochenta sitios estudiados, la concentración promedio de MTBE fue 317 $\mu\text{g/l}$ y la concentración máxima 95,500 $\mu\text{g/l}$. Para el benceno, el promedio fue 365 $\mu\text{g/l}$ y la concentración máxima de 32,000 $\mu\text{g/l}$.

En promedio, la superficie de las plumas contaminantes de MTBE fue 34% más grandes que las de benceno y, en longitud, las plumas de MTBE fueron 18% más largas que las de benceno. Sin embargo, al tomar en cuenta los contornos de las concentraciones de limpieza sugeridos por la EPA (20 $\mu\text{g/l}$ para MTBE y 1 $\mu\text{g/l}$ para benceno) casi todas las plumas contaminantes de MTBE (96%) fueron de la misma longitud o más pequeñas que las de benceno. De 45 plumas contaminantes, donde se obtuvo el historial de las concentraciones de MTBE, el 4.4% de las plumas contaminantes se está expandiendo, el 6.6% es estable, y el 89% se está reduciendo.

Estudio de las plumas contaminantes de hidrocarburos en Arizona (Dahlen et al., 2003)

Estos investigadores compilaron los datos disponibles para 323 derrames en tanques de almacenamiento subterráneos en Arizona. Posteriormente realizaron una caracterización más detallada en seis de estos lugares. De 274 sitios con datos de calidad de agua subterránea, sólo en 181 de ellos se había analizado para MTBE. Mientras el MTBE no se detectó en todos los sitios, su ocurrencia fue bastante generalizada a lo largo del estado. Cuando se estudiaron los datos de las zonas fuente de los derrames, se encontró que el MTBE tenía una concentración media de 330 $\mu\text{g/l}$ y la concentración

máxima observada en una zona fuente fue de 68,000 $\mu\text{g/l}$.

Al analizar los datos regionales, se encontró que la extensión de las plumas contaminantes de MTBE y benceno eran semejantes. Sin embargo, la evaluación adicional realizada en seis sitios mostró que con mayor información en cada sitio se podía concluir que las plumas contaminantes de MTBE son de mayor tamaño que las de benceno. También encontraron que no había suficiente historial en los datos para determinar alguna tendencia respecto al aumento o reducción del tamaño de las plumas contaminantes con el tiempo.

En este estudio se hace hincapié en la discrepancia entre las observaciones del análisis regional de los datos compilados y de los resultados de las seis caracterizaciones complementarias. Cuando se hace un estudio regional de datos compilados, la información obtenida es, en general, muy limitada, ya que en la mayoría de los casos existen muy pocos pozos de monitoreo en cada sitio (de 8 a 12). Con esta reducida información se infieren ciertas conclusiones, como la afirmación de que las plumas de benceno y MTBE son similares en tamaño. Sin embargo, la evaluación detallada adicional en algunos sitios (21 a 38 muestras por sitio) mostró que con un mayor número de datos, las conclusiones podrían ser distintas (las plumas contaminantes de MTBE son de mayor tamaño que las de benceno).

Plumas contaminantes de MTBE más conocidas

Borden, Canadá (Schrimmer y Barker, 1998)

En 1988 se inició un experimento de transporte de hidrocarburos bajo condiciones naturales en el acuífero de Borden, en Ontario, Canadá. Se instaló una densa red de piezómetros a diferentes profundidades para monitorear durante 16 meses la migración de los compuestos BTEX, MTBE y cloruros como trazador. Al término de este tiempo no se detectó degradación de MTBE. En 1995-1996 se realizó un muestreo adicional para caracterizar nuevamente la pluma de MTBE. Ésta se delimitó con suficiente detalle para estimar la masa de MTBE remanente en el acuífero. Un balance de masas mostró que el MTBE remanente en el acuífero era aproximadamente de 22 a 24.5 g, comparado con 752 g que fueron inyectados en 1988. Esto quiere decir que tan sólo 3% de la masa del MTBE originalmente inyectado permaneció en el acuífero, por lo que los investigadores sugieren que la biodegradación de MTBE debió de haber jugado un papel importante en la atenuación de este compuesto, comparado con otros mecanismos físicos como la dispersión.

Port Hueneme, California (Salanitro et al., 2000; Bruce et al., 2002)

Durante 1984-1985, una gasolinera derramó varios miles de litros de gasolina con MTBE. Los estudios reportan una pluma contaminante de MTBE de 1,300 m de largo y 150 m de ancho, siendo una de las plumas de MTBE más grandes reportada en la literatura. Los compuestos BTEX en la pluma disuelta se atenúan en una distancia de menos de cincuenta metros a partir del sitio de derrame, y el acuífero es reportado como anóxico. En este sitio se implementó una "biobarrera" con zonas de bioestimulación y bioaumentación para remediar la pluma contaminante. Con un estudio de dos años y aproximadamente cuatrocientos pozos de monitoreo, se determinó el éxito de estas técnicas para la remediación de acuíferos contaminados con MTBE.

Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California (Wilson et al., 2002; Mackay et al., 1999; Einarson et al., 1999)

Estos estudios reportan una pluma contaminante formada en 1994 por un derrame de más de dos mil litros de combustible cerca del área de San Francisco, California. Se reportó que la pluma contaminante de MTBE se extendía por más de 520 m, con aproximadamente noventa metros de ancho, siendo otra de las grandes plumas de MTBE reportadas en la literatura. Los compuestos BTEX en la pluma se atenúan a una distancia de entre 15 a 30 m de la fuente del derrame, y el acuífero es reportado como anóxico. En esta pluma se implementó con éxito una técnica pasiva de liberación de oxígeno mediante difusión, con el propósito de incentivar la biodegradación aeróbica del MTBE.

Conclusiones

- El MTBE presenta menor capacidad de biodegradación que los compuestos BTEX.
- En la literatura científica existen numerosos estudios que han comprobado que el MTBE se biodegrada aeróbicamente bajo condiciones de laboratorio, mientras que en sistemas acuíferos existe poca evidencia de su biodegradación natural.
- A pesar de esto, la biodegradación del MTBE ha sido reconocida como el proceso de mayor importancia en la reducción de la concentración de este compuesto en el agua subterránea mediante la aplicación de alguna técnica de remediación.

Recibido: 24/05/2005
Aprobado: 30/06/2005

Referencias

- ALEXANDER, M. *Biodegradation and bioremediation*. Segunda edición. Academic Press, 1999, 453 pp. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN.**
- API. *Strategies for characterizing subsurface releases of gas-line containing MTBE*. Publication no. 4699, 2000.
- BARKER, J.F., PATRICK, G.C. y MAJOR, D. *Natural attenuation of aromatic hydrocarbons in a shallow sand aquifer*. Groundwater Monitoring Review. Vol. 7, núm. 1, 1987, pp. 64-71. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN.**
- BEDIENT, P.B., RIFAI, H.S. y NEWELL, C.J. *Ground water contamination*. Prentice Hall, 1999, 604 pp. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN.**
- BRADLEY, P.M., CHAPELLE, F.H. y LANDMEYER, J.E. *Effect of redox conditions on MTBE biodegradation in surface water sediments*. Environmental Science & Technology. Vol. 35, núm. 23, 2001, pp. 4643-4647.
- BRADLEY, P.M., LANDMEYER, J.E. y CHAPELLE, F.H. *Aerobic mineralization of MTBE and tert-butyl alcohol by stream-bed sediment microorganisms*. Environmental Science & Technology. Vol. 33, núm. 11, 1999, pp. 1877-1879.
- BRUCE, C.L., MILLER, K.D. y JOHNSON, P.C. *Full scale bio-barrier demonstration for treatment of a mixed MTBE/TBE/BTEX plume at Port Hueneme*. Contaminated Soil Sediment and Water, July/August 2002, pp. 80-84.
- CHAPELLE, F.H. *Ground-water microbiology and geochemistry*. Segunda edición. John Wiley & Sons, Inc., 2001, 477 pp. **OJO AUTOR, FALTA CIUDAD DE EDICIÓN.**
- DAHLEN, P., HENRY, E., MATSUMURA, M. y JOHNSON, P.C. *Impacts to groundwater resources in Arizona from leaking underground storage tanks (LUSTS)*. A report for the Arizona Underground Storage Tank Policy Commission. Prepared by: Arizona State University, in cooperation with the Arizona Department of Environmental Quality, 2003. [en línea] <http://www.eas.asu.edu/civil/Environmental/Groundwater.htm>.
- DEEB, R.A., SHARP, J.O., STOCKING, A., MCDONALD, S., WEST, K.A., LAUGIER, M., ALVAREZ, P.J.J., KAVANAUGH, M.C. y ALVAREZ-COHEN, L. *Impact of ethanol on benzene plume lengths: Microbial and modeling studies*. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 128, núm. 9, 2002, pp. 868-875.
- EINARSON, M.D., SCHIRMER, M., PEZESHKPOUR, P., MACKAY, D.M. y WILSON, R. *Comparison of eight innovative site characterization tools used to investigate an MTBE plume at site 60, Vandenberg Air Force Base, California*. *Proceedings of the 2000 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Groundwater; Prevention, Detection and Remediation Conference and Exposition*. 1999.
- FINNERAN, K.T. y LOVLEY, D.R. *Anaerobic degradation of methyl tert-butyl ether (MTBE) and tert-butyl alcohol (TBA)*.

- Environmental Science & Technology*. Vol. 35, núm. 9, 2001, pp. 1785-1790.
- FIORENZA, S. y RIFAI, H.S. Review of MTBE biodegradation and bioremediation. *Bioremediation Journal*. Vol. 7, núm. 1, 2003, pp. 1-35.
- HAPPEL, A.M., BECKENBACH, E.H. y HALDEN, R.U. *An evaluation of MTBE impacts to California groundwater resources*. Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, Livermore, California, 1998 [en línea] <http://www.api.org/ehs/mtbelink.htm>.
- HARDISON, L.K., CURRY, S.S., CIUFFETTI, L.M. y HYNMAN, M.R. Metabolism of diethyl ether and cometabolism of methyl tert-butyl ether by a filamentous fungus, a Graphium sp. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 63, núm. 8, 1997, pp. 3059-3066.
- INTEGRATED SCIENCE & TECHNOLOGY, INC. *Comparative MtBE versus benzene plume behaviour BP oil company Florida facilities*, 1999 [en línea] <http://www.api.org/ehs/mtbelink.htm>.
- JOHNSON, R., PANKOW, J., BENDER, D., PRICE, C. y ZOGORSKI, J. MTBE to what extent will past releases contaminate community water supply wells? *Environmental Science & Technology*. Vol. 34, núm. 9, 2000, pp. 2A-9A.
- KOLHATKAR, R., KUDER, T., PHILIP, P., ALLEN, J. y WILSON, J.T. Use of compound-specific stable carbon isotope analyses to demonstrate anaerobic biodegradation of MTBE in groundwater at a gasoline release site. *Environmental Science & Technology*. Vol. 36, núm. 23, 2002, pp. 5139-5146.
- LESSER, J.M., SAVAL, S. y LESSER, L.E. El MTBE y los acuíferos. *Teorema Ambiental*. Edición especial. Diciembre de 2001- enero de 2002, pp 23-25.
- LESSER, J.M., SAVAL, S. y LESSER, L.E. El MTBE y los acuíferos (técnicas de remediación). *Teorema Ambiental*. Febrero-marzo de 2002, núm. 32, 2002b, pp. 78-81.
- MACE, R.A. y CHOI, W.J. *The size and behavior of MTBE plumes in Texas*. From: Proceedings of the petroleum hydrocarbon and organic chemicals in groundwater, 1998 [en línea] <http://www.api.org/ehs/mtbelink.htm>.
- MACKAY, D.M., EINARSON, M.D., WILSON, R.D., FOWLER, B., SCOW, K., HYMAN, M., NAAS, C., SCHIRMER, M. y DURRANT, G.C. Field studies of in situ remediation of an MTBE plume at site 60, Vandenberg Air Force Base, California. *Proceedings of the 2000 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Groundwater; Prevention, Detection and Remediation Conferemce and Exposition*. 1999.
- MORMILE, M.R., LIU, S. y SUFLITA, J.M. Anaerobic biodegradation of gasoline oxygenates: Extrapolation of information to multiple sites and redox conditions. *Environmental Science & Technology*. Vol. 28, núm. 9, 1994, pp. 1727-1732.
- PRUDEN, A., SUIDAN, M.T., VENOSA, A.D. y WILSON, G.J. Biodegradation of methyl tert-butyl ether under various substrate conditions. *Environmental Science & Technology*. Vol. 35, núm. 21, 2001, pp. 4235-4241.
- SALANITRO, J.P. The role of bioattenuation in the management of aromatic hydrocarbon plumes in aquifers. *Ground Water Monitoring & Remediation*. Vol. 13, núm. 4, 1993, pp. 150-161.
- SALANITRO, J.P., DIAZ, L.A., WILLIAMS, M.P. y WISNIEWSKI, H.L. Isolation of a bacterial culture that degrades methyl t-butyl ether and its degradation products in water. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 60, 1994, pp. 2593-2596.
- SALANITRO, J.P., JOHNSON, P.C., SPINNLER, G.E., MANER, P.M., WISNIEWSKI, H.L. y BRUCE, C. Field-scale demonstration of enhanced MTBE bioremediation through aquifer bioaugmentation and oxygenation. *Environmental Science & Technology*. Vol. 34, núm. 19, 2000, pp. 4152-4162.
- SCHRIMER, M. y BARKER, J.F. A study of long term MTBE attenuation in the Borden aquifer, Ontario, Canada. *Ground Water Monitoring & Remediation*. Vol. 18, núm. 2, 1998, pp. 113-122.
- SQUILLANCE, P.J., PANKOW, J.F., KORTE, N.E. y ZOGORSKI, J.S. *Environmental behavior and fate of Methyl tert-Butyl Ether (MTBE)*. U.S. Geological Survey, Fact Sheet FS-203-96, 1996a. (revised 1998).
- SQUILLANCE, P.J., ZOGORSKI, J.S., WILBER, W.G. y PRICE, C.V. Preliminary assessment of the occurrence and possible sources of MTBE in groundwater in the United States, 1993-1994. *Environmental Science & Technology*. Vol. 30, núm. 5, 1996b, pp. 1721-1730.
- STEFFAN, R.J., MCCLAY, K., VAINBERG, S., CONDEE, C.W. y ZHANG, D. Biodegradation of the gasoline oxygenates methyl tert-butyl ether, ethyl tert-butyl ether, and tert-amyl methyl ether by propane-oxidizing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 63, núm. 11, 1997, pp. 4216-4222.
- SUFLITA, J.M. y MORMILE, M.R. Anaerobic biodegradation of known and potential gasoline oxygenates in the terrestrial subsurface. *Environmental Science & Technology*. Vol. 27, núm. 5, 1993, pp. 976-978.
- US EPA. *Methyl tertiary butyl ether (MTBE); advance notice of intent to initiate rulemaking under the toxic substances control act to eliminate or limit the use of MTBE as a fuel additive in gasoline. 40 CFG Part 755*. Federal Register. Vol 65, núm. 58, 2000, pp. Occurrence of the gasoline additive MTBE in shallow groundwater in urban and agricultural areas.

Abstract

LESSER-CARRILLO, L.E. *Current Situation of MTBE (methyl terbutyl ether) in Aquifer Systems*. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XXI, no. 2, April-June, 2006, pp. 117-123.

Groundwater contamination with MTBE has become the center of national attention in the US. Although it is possible to taste and smell MTBE dissolved in water at low concentrations, these levels are below those at which carcinogenic risk could exist. The objective of this work is to present a summary of the most representative studies in the last years related to groundwater contamination by MTBE. This work addresses the debate regarding the size of MTBE plumes with respect to benzene plumes and the issue of MTBE biodegradability. MTBE is generally considered to be less biodegradable than BTEX compounds. While numerous studies have reported biodegradation of MTBE under laboratory conditions, there is less evidence of natural biodegradation of MTBE at field scales. Nevertheless, MTBE biodegradation has been recognized as a major factor on MTBE remediation of groundwater through some kind of a remediation scheme.

Keywords: MTBE, methyl terbutyl ether, contamination, aquifer, remediation, regional studies, biodegradation.

Dirección institucional del autor:

Luis Ernesto Lesser-Carrillo

Environmental Engineering,
Arizona State University,
P.O. Box 875306,
Tempe, Arizona 85287-5306, USA,
tel.: (480) 965 0055,
fax: (480) 965 0557,
luis.lesser@asu.edu

Lesser y Asociados, S.A. de C.V.,
Río Guadalquivir 3, colonia Pathé,
76020 Querétaro, Querétaro, México,
teléfono y fax: + (52) (442) 223 1515 y 223 3361