



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Contaminación del acuífero de grietas por infiltración de los lixiviados del Relleno Sanitario de Linares, México; y su impacto en la calidad del agua subterránea para usos domésticos, agrícolas y ganaderos.

Dr. Héctor de León-Gómez^{1*}, M.C. Carlos R. Cruz Vega², Dr. René Alberto Dávila Pórcel¹.

(*hector.deleongm@uanl.edu.mx)

¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, C.P. 66455, San Nicolás de los Garza, N.L. México.

²Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera a Cerro Prieto km. 8, Ex-Hacienda de Guadalupe, C.P. 67700, Linares, N.L. México.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Contaminación del acuífero de grietas por infiltración de los lixiviados del Relleno Sanitario de Linares, México; y su impacto en la calidad del agua subterránea para usos domésticos, agrícolas y ganaderos.

RESUMEN

La presente investigación trata sobre la calidad de las aguas naturales afectadas por la contaminación de los lixiviados originados en el Relleno Sanitario Municipal (RSM) de la ciudad de Linares, Nuevo León., en el NE de México. El RSM cuenta con más de 17 años de servicio y recibe más de 50 ton/día de desechos sólidos urbanos. Se aplicó métodos geológicos (perfiles geológico-estructurales), hidrogeológicos (cartas piezométricas) e hidrogeoquímicos (clasificación de calidad de agua y determinación de contaminantes) para identificar agentes externos al medio natural. Se identificó un impacto negativo en la calidad del agua superficial (presa El Cinco) y del agua subterránea (pozos de agua) de acuerdo a normas ambientales nacionales e internacionales (NOM, WHO, US EPA). Los resultados revelan deficiencias en el manejo y deposición final de los residuos sólidos municipales (geomembrana desgarrada) y nula gestión de lixiviados (sobresaturación del RSM). En particular, se han identificado altas concentraciones de NO_3 , Pb, Mn y Fe en el agua subterránea y en escurrimientos superficiales que generan una importante contaminación del suelo y del agua; aspecto muy relevante si las personas de la región consumen agua contaminada procedente de pozos que puede ocasionar efectos nocivos en su salud.

ABSTRACT

This research deals with the quality of natural waters affected by pollution from leachate generated in the Municipal Landfill of Linares, Nuevo Leon, Mexico. The Municipal Landfill of Linares has more than 17 years of service and receives more



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

than 50 ton/day of municipal solid waste. Geological (geological structural profiles), hydrogeological (piezometric cards) and hydrogeochemical (water quality classification and determination of pollutants) methods was applied to identify external agents to the environment. A negative impact on the quality of surface water (dam El Cinco) and groundwater (wells) in accordance with national and international environmental standards were identified (NOM, WHO, US EPA). The results reveal deficiencies in the management and final disposal of municipal solid waste (torn geomembrane) and null leachate management (oversaturation of the landfill). In particular, high concentrations of NO_3 , Pb, Mn and Fe in groundwater and surface runoff were identifying, that generate a significant contamination of soil and water; aspect very important if people in the region consume contaminated water from groundwater wells, that can cause harmful health effects.

Palabras clave: Lixiviados, Residuos Sólidos Municipales, Relleno Sanitario, Agua Subterránea, Linares.

Keywords: Leachate, Municipal Solid Waste, Landfill, Groundwater, Linares.

I. Introducción

Uno de los principales problemas de los centros urbanos, a nivel mundial, es el confinamiento y manejo de los residuos domésticos municipales. Actualmente, las condiciones hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas que deben de reunir las zonas destinadas a la operación y deposición final de los residuos sólidos municipales, así como el diseño de un RSM en México, están regulados por las Normas Oficiales Mexicanas NOM-083-SEMARNAT-2003, NOM-052-SEMARNAT-1993 y NOM-001-SEMARNAT-1996.

En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar el impacto del lixiviado generado en el RSM de Linares, Nuevo León sobre la calidad del agua superficial y subterránea, tomando como base la NOM-083- SEMARNAT-2003. La ciudad de Linares, N.L. representa, después de la Zona Metropolitana de



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Monterrey (ZMM), el centro urbano de mayor importancia en el estado. Cuenta con una población de 78,669 habitantes y constituye un importante polo de desarrollo debido a su producción agrícola-ganadera y su creciente industrialización. En la figura 1 se muestra la localización del área de estudio y la ubicación del RSM de Linares, N.L.

A partir de 1980 y durante veinte años, los residuos sólidos generados en el municipio de Linares se depositaron en un tiradero a cielo abierto, el cual fue clausurado en febrero del año 2000 (Lizárraga-Mendiola, 2003; Lizárraga-Mendiola et al., 2005). En 1998 inició operaciones el RSM de Linares, N.L., en donde actualmente se confinan en promedio 50 ton/día de residuos sólidos municipales, generando un volumen de lixiviados de 3,240 m³ por año.

De acuerdo con la clasificación de Köppen (McKnight y Hess, 2000), el clima que predomina en el área de estudio es subtropical húmedo (Cfa). La precipitación media anual es de 800 mm, distribuyéndose principalmente en dos períodos (mayo-junio y septiembre-octubre). La mayor precipitación mensual se observa en septiembre (160-170 mm), mientras que la menor ocurre en enero (10-15 mm). La temperatura promedio anual es de 22°C, observándose las temperaturas más bajas en diciembre-febrero (promedio 14 a 15°C, con mínimos de -12°C) y las más altas en julio-agosto (promedio 28 a 29°C, con máximos de 49°C), según la Comisión Nacional del Agua. La evaporación potencial anual es de 1180 mm (Woerner, 1991).



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

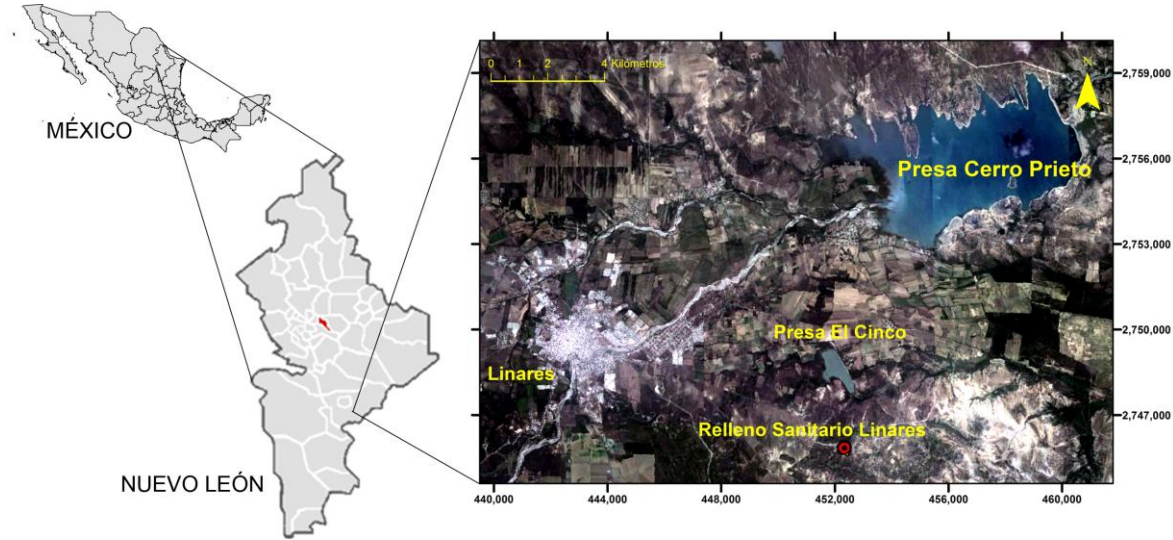


Fig. 1: Localización del área de estudio y ubicación del Relleno Sanitario Municipal (RSM) de Linares, N.L.

II. Geología

La estratigrafía local en el área de estudio se compone por la Formación Méndez (Campaniano-Maastrichtiano), la cual está constituida por una secuencia de lutitas calcáreas de color gris oscuro y areniscas que fue depositada en una cuenca somera sometida a regresión marina (Padilla y Sánchez, 1982). Esta unidad, que cubre gran parte del área de estudio, aflora localmente en los flancos de la loma La Rinconada y en algunos cerros aislados, en donde puede alcanzar un espesor de hasta 80 m, y en los cauces de los arroyos, como el denominado La Castaña. Las rocas se encuentran altamente fracturadas, intemperizadas y suavemente plegadas, generando en algunos casos pequeños nódulos o sigmoides, lo que provoca una pérdida de la estratificación original. La unidad muestra evidencia de fracturamiento alto, con fracturas de hasta 2 cm de espesor, en ocasiones rellenas de calcita. El RSM de Linares, N.L. se encuentra instalado sobre esta unidad.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

En la zona de estudio se localizaron fallas inversas y lutitas con alto grado de fracturamiento, que podrían influir en la infiltración y la movilidad de lixiviados en el acuífero bajo el RSM, si es que éstas no se encuentran rellenas por calcita.

En el RSM se han identificado terrazas del nivel T3, la que está constituida por depósitos de conglomerados de hasta 3 m de espesor, que coronan las partes más elevadas de las lomas existentes.

III. Hidrología e Hidrogeología

Hidrológicamente, el área de estudio se ubica en el borde NW dentro de la Subcuenca del Arroyo Camacho (SAC), con una superficie de 1529 km², que pertenece a la Región Hidrológica No. 25, denominada San Fernando-Soto La Marina. Para la SAC se ha reportado un promedio anual de escurrimiento de ~70 Mm³. Las principales corrientes superficiales dentro de la SAC son el arroyo El Bagre, con una dirección aproximada W-E y el arroyo El Anegado, con una dirección SW-NE. En las cercanías del RSM existe una corriente intermitente denominada arroyo La Castaña, con una dirección W-E.

Existen dos sistemas hidrogeológicos que acumulan y movilizan el agua subterránea en la SAC: (a) acuífero de grietas, constituido de lutitas y calizas Cretácicas con apertura entre fracturas de 5-50 mm y una orientación preferencial SW-NE, y (b) acuífero de poros, conformado por gravas, arenas, limos y arcillas del Terciario y Cuaternario (Lizárraga-Mendiola et al., 2005; De León Gómez, 1993). Sin embargo, la Formación Méndez representa al acuífero principal en el área de estudio, ya que el nivel freático en la región del RSM y región de Linares, N.L., tiene profundidades del nivel estático con variaciones de 2.5 hasta 20 m y direcciones generales del flujo del agua subterránea SW-NE (Lizárraga-Mendiola et al., 2005; Quintanilla-López, 2005; Moreno-Esparza, 2009; Dávila-Pórcel, 2011).

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

La carta piezométrica elaborada durante esta investigación, indica una dirección preferencial SWS-NEE para el flujo del agua subterránea hacia el arroyo La Castaña y las lomas El Cuate, La Barretosa y La Cruz (Figura 2). Esto coincide con el sistema principal de fracturamiento ac de la zona. Por otra parte, en el Oeste del área, el flujo subterráneo tiende a moverse en dirección Norte a través de la loma La Ocotillosa hacia la presa El Cinco.

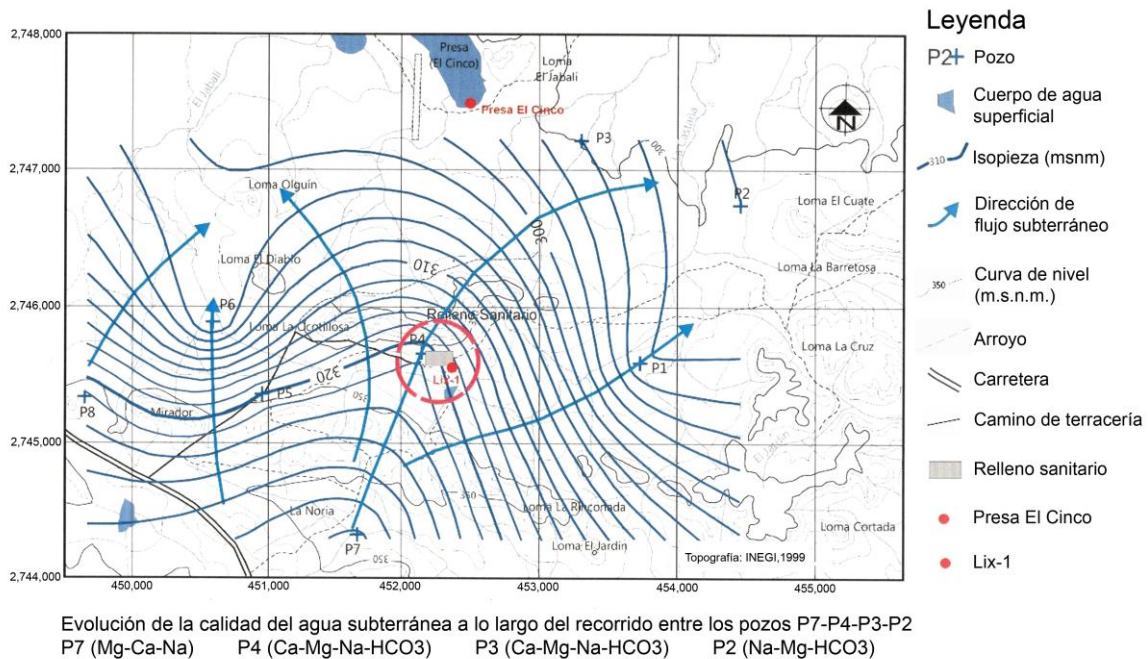


Fig. 2: Carta piezométrica del área del Relleno Sanitario Municipal (RSM) y su evolución en la química del agua subterránea en los pozos P7-P4-P3-P2.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al no cumplir con todos los lineamientos especificados en la NOM-083-SEMARNAT-2003, el RSM de Linares, N.L. afecta a los recursos hídricos de la región, especialmente al agua subterránea cercana al RSM y a la presa El Cinco. En general, las muestras presentan un balance iónico con signo negativo, que



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

implica un exceso de aniones en relación a especies catiónicas (Hem, 1985; Deutsch, 1997).

El diagrama de Piper (Figura 3), permite identificar un patrón general de evolución desde aguas de tipo Ca-HCO_3 a un dominio de $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$. Este comportamiento puede interpretarse como resultado de la disolución de rocas carbonatadas y en menor medida, evaporíticas (yeso) que dominan la litología de la región. Se evidenció que existe una evolución en la composición química del agua subterránea a los largo de los pozos P7-P4-P3 y P2 y que es paralela a las direcciones de flujo del agua subterránea en los pozos indicados.

Desde el punto de vista ambiental, se observan valores importantes en las muestras de aguas superficiales y subterráneas con respecto a la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA-1994), de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2000) y de la Agencia de Protección al Ambiente (US EPA, 2001) para aguas destinadas a consumo humano. En este sentido, es necesario destacar la presencia de altos contenidos de NO_3^- (>10 mg/l) en los pozos P2, P3 y P8, de los cuales, P2 y P3 se encuentran influenciados por los lixiviados del RSM, hecho que se justifica por las direcciones particulares de flujo del agua subterránea, las cuales son en dirección al NE; finalmente, el último pozo, P8, se encuentra impactado de manera puntual por una serie de hatos ganaderos, que son los que proveen los altos nitratos. Además en el pozo P3 se detectó un alto contenido de Pb (70 $\mu\text{g/l}$). El pH de esta muestra es casi neutro (6.8), pero un desplazamiento a condiciones ácidas podría dar lugar al predominio de plomo disuelto (Pb^{+2}) sobre complejos órgano-metálicos, el cual es más tóxico. Se ha documentado que si este ion metálico excede la NOM, puede tener efectos nocivos en los sistemas nervioso y reproductor, así como provocar alta presión, anemia y varios tipos de cánceres en seres humanos (Putnam, 1986).



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

La muestra Lix-1 se caracteriza por una alta conductividad eléctrica (6820 y 11950 $\mu\text{mhos/cm}$), un pH ~ 8 y una química de tipo Na-HCO_3 . Según los criterios propuestos por Ehrig (1989), la composición del lixiviado indica un estado de fermentación metanogénica vinculada con los cambios climatológicos, especialmente a las temperaturas altas prevalecientes por largos periodos en el RSM, proponiendo una curva global teórica de conductividad (CE) – sólidos totales disueltos (STD) para México ($\text{CE} = 1.40 \cdot \text{STD} + 18$), que representaría valores de un umbral para CE a partir de los cuales un lixiviado podría ser considerado potencialmente peligroso. De manera particular, el lixiviado Lix-1 ha mostrado concentraciones de NO_3^- (~ 700 mg/l) que rebasan el límite de la legislación mexicana para aguas residuales (NOM-001- SEMARNAT-1996). La presencia de este ion en agua para consumo humano puede provocar el defecto respiratorio denominado metahemoglobinemia o “síndrome del niño azul”, que se presenta especialmente en infantes durante el primer año de vida y en adultos de la tercera edad (Socías-Viciano et al., 2008). Por otra parte, en el lixiviado Lix-1 es evidente que hasta el momento la movilización de metales (Cr, Ni, Zn, As, Ba y Pb) ha sido muy limitada en condiciones aeróbicas ($E_h = 0.06$) y de pH ~ 8 . Las configuraciones de los metales pesados Mn (P4), Zn (P4), Fe (P3, P4 y P8) y Pb (P3) muestran una contaminación muy puntual en el acuífero, con origen en el relleno sanitario, y que rebasa la legislación de la NOM y la US EPA. Sin embargo, una variación hacia condiciones ácidas podría provocar su transferencia a fase acuosa (Xiaoli et al., 2007), afectando los aprovechamientos hidráulicos de suministro de agua de la zona de estudio.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

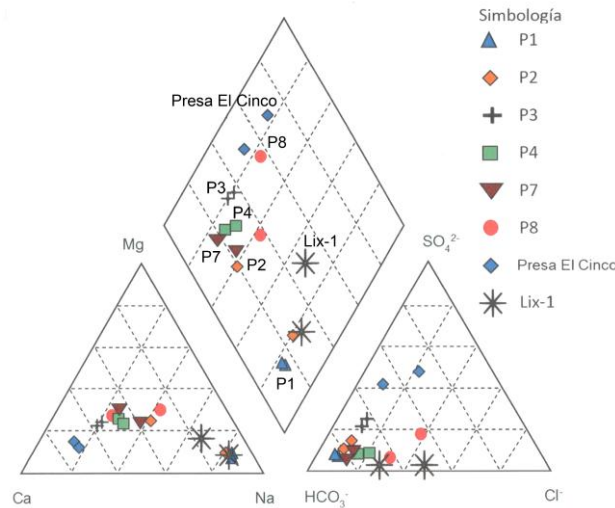


Fig 3: Diagrama de Piper (meq/L) donde se muestra los aprovechamientos de agua del área del Relleno Sanitario Municipal (RSM) y sus alrededores.

IV. CONCLUSIONES

Aunque el RSM de Linares, N.L. cumple en términos generales con los lineamientos que marca la normativa actual, presenta importantes deficiencias como geomembrana rota y nula gestión de lixiviados que pueden afectar a los aprovechamientos hidráulicos de aguas superficiales (presas El Cinco y Cerro Prieto), localizadas la primera a 2 km al Norte y la segunda a casi 8 km al NE del RSM, y a los aprovechamientos subterráneos (sistema de pozos) ubicados en las cercanías del RSM. El análisis químico de aguas superficiales (Presa El Cinco y arroyo de lixiviados) y subterráneas (pozos) aledaños al RSM, ha revelado altas concentraciones de NO_3^- (>10 mg/l) en los pozos P2, P3, P4 y P8; concentraciones de Pb (>10 $\mu\text{g/l}$) en el pozo P3; concentraciones de Mn (>150 $\mu\text{g/l}$) en el pozo P4 y finalmente concentraciones de Fe (>300 $\mu\text{g/l}$) en los pozos P3, P4 y P8; cuyos valores exceden la Norma Oficial Mexicana (NOM) y la legislación de la Agencia de Protección Ambiental (US EPA) y que son potencialmente peligrosas para la salud humana de los habitantes de localidades



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Las Barretas, Los Rincón y la presa El Cinco. De igual forma, el lixiviado muestra un exceso de NO_3^- y existe el riesgo potencial de una movilización de metales, por lo que es necesario implementar un programa de monitoreo y seguimiento de la operación del RSM, así como del tratamiento de los lixiviados aplicando métodos como: (a) coagulación- floculación (Amokrane et al., 1997), (b) el método Fenton (Gau y Chang, 1996), o (c) métodos anaerobios (Gülsen y Turan, 2004). Finalmente se recomienda elaborar a futuro el modelado hidrogeoquímico de las aguas del RSM, para observar el comportamiento químico de los contaminantes, su interacción con el medio físico (suelos y rocas) y los procesos hidroquímicos que se desarrollan con las aguas superficiales y subterráneas, para conocer adecuadamente el sistema acuífero y determinar los mejores mecanismos de atenuación y mitigación del impacto negativo sobre las fuentes de agua.

V. REFERENCIAS

Amokrane, A., Comel, C. y Veron, J., 1997, Landfill leachates pretreatment by coagulation- flocculation: *Water Research*, 31, 2775-2782.

Dávila-Pórcel, R. A., 2011, Desarrollo sostenible de usos de suelo en ciudades en crecimiento, aplicando hidrogeología urbana como parámetro de planificación territorial: caso de estudio Linares, N. L., México: Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Doctorado, 263 pp.

De León-Gómez, H., 1993, Die Unterläufigkeit der Talsperre José López Portillo/Cerro Prieto auf einer Kalkstein-Mergelstein-Wecheselfolge bei Linares, Nuevo Leon/Mexiko: *Mitteilungen zur Ingenieurgeologie und Hydrogeologie/RWTH Aachen*, 53, 1-181.

Deutsch, W.J., 1997, Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination: Boca Raton, Lewis Publishers, 221 pp.

Ehrig, H.-J., 1989, Leachate quality. En: Christesen, T.H., Cossu, R. y Stegmann, R. (Eds.), *Sanitary Landfilling: Process, Technology, and Environmental Impact*: Londres, Inglaterra: Academic Press, 213-229.

Gau, S.H., Chang, F.S., 1996, Improved Fenton Method to remove recalcitrant organics in landfill leachate: *Water Science Technology*, 34, 455-462.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Gülsen, H. y Turan, M., 2004, Anaerobic treatability of sanitary landfill leachate in a fluidized bed reactor: Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences, 28, 297-305.

Hem, J.D., 1985, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2254, 1-263.

Lizárraga-Mendiola, L.G., 2003, Análisis y Evaluación del Agua Subterránea del Área del Tiradero Municipal y La Petaca, Linares, N.L., México: Linares, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Maestría, 89 pp.

Lizárraga-Mendiola, L.G., De León-Gómez, H., Medina-Barrera, F., Návar, J., 2005, Evaluation of the aquifer impacted by the landfill of Linares, Mexico: Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 236, 225-244.

McKnight, T.L., Hess, D., 2000, Physical geography: a landscape appreciation: Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 223-226.

Moreno-Esparza, L., 2009, Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación en la región de Linares mediante el método Drastic: Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Licenciatura, 85pp.

Padilla y Sánchez, R.J., 1982, Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, Mexico: Austin, TX, University of Texas at Austin, Tesis de Doctorado, 217 pp.

Putnam, R.D., 1986, Review of toxicology of inorganic lead: American Industrial Hygiene Association Journal, 47, 700-703.

Quintanilla-López, Y., 2005, Microzonación de la región de Linares, N.L., basada en la geología y velocidades de propagación de ondas sísmicas: Linares, Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Licenciatura, 181pp.

SECRETARIA DE SALUD, 1994, Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización: México, Secretaría de Salud. Serie Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios de Agua, www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2004, Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial: México,

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1996, Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
DOS MIL DIECISEIS



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales: México, SEGOB, SEMARNAT, Serie Normas Oficiales en Materia de Aguas Residuales, <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/DO2470.pdf>.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1993, Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993, que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente: México, SEGOB.

Sociás-Viciana, M.M., Ureña-Amate, M.D., González-Pradas, E., García-Cortés, M.J., López-Teruel, C. 2008, Nitrate removal by calcined hydrotalcite-type compounds: *Clay and Clay Minerals*, 56, 2-9.

US EPA-2001 (US Environmental Protection Agency), 2001, Guidelines for drinking water quality, <http://www.usepa.gov>.

WHO-2000 (World Health Organization), 2000, Guidelines for drinking water quality, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/index.html.

Woerner, M., 1991, Los suelos bajo vegetación de matorral del Noreste de México, descritos a través de ejemplos en el Campus Universitario de la UANL, Linares, N.L. México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, *Reporte Científico*, 22, 1-115.

Xiaoli, C., Shimaoka, T., Xianyan, C., Qiang, G., Youcai, Z., 2007, Characteristics and mobility of heavy metals in an MSW landfill: Implications in risk assessment and reclamation: *Journal of Hazardous Materials*, 144, 485-491.