

EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN CON GASOLINA EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE UNA ARCILLA EXPANSIVA

Effect of gasoline contamination on the geotechnical
properties of an expansive clayey soil

Norma Patricia Curiel Iñiguez^{1*},
Christian Eduardo Hernández Mendoza²

¹División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las campanas S/N,
Santiago de Querétaro, Querétaro, 76010, México.

²CONACYT- División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las campanas S/N,
Santiago de Querétaro, Querétaro, 76010, México.

*Autor de correspondencia
nopacu.14@gmail.com



RESUMEN

El sector de los hidrocarburos se ha convertido en la actividad más importante para el desarrollo económico en todo el mundo, esto ha causado un incremento en las emergencias ambientales causadas por el derrame accidental de hidrocarburos en el suelo, que en el caso de suscitarse puede afectar sus propiedades mecánicas. El objetivo de este artículo consistió en determinar el efecto de la contaminación con gasolina en las propiedades geotécnicas de una arcilla expansiva extraída de un predio ubicado en el estado de Querétaro, para lo cual se determinó su gravedad específica, granulometría y límites de Atterberg del suelo en su estado natural y contaminado. En los resultados se pudo observar una ligera disminución en la gravedad específica y cambios en la granulometría que se asocian a un proceso de oxidación del suelo debido a su interacción con la gasolina. De igual modo, dicho proceso afectó el comportamiento mecánico del suelo, esto se vio reflejado en la modificación de los límites de consistencia del suelo contaminado con respecto a lo observado en el suelo natural. Sin embargo, dichos cambios no tuvieron un impacto significativo en la inicial clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Palabras Clave:

geotecnia ambiental, suelo contaminado, hidrocarburos, propiedades geotécnicas, suelo expansivo.

ABSTRACT

Hydrocarbon sector has become as the most important activity for the economic development around the world, causing an increase in the environmental emergencies due to oil spills which can affect the mechanical properties of soils. Thus, the objective of this paper was to determine the effect of gasoline contamination on the geotechnical properties of an expansive clayey soil, obtained

from a place located in the state of Querétaro, Mexico, by determining its specific gravity, granulometry and Atterberg limits in both natural and contaminated condition. The results obtained showed a decrease in the specific gravity and changes in the granulometry of soil that were associated with an oxidation process due to the soil-gasoline interaction. Also, such process affected the mechanical behavior of the expansive soil observed by the modification of the Atterberg limits of the contaminated soil in comparison with those observed for the natural soil. Nevertheless, this did not have a significant impact on its initial Unified Soil Classification System.

Keywords:

environmental geotechnics, contaminated soil, gasoline, soil index properties, expansive soil.

1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura de la industria petrolera, integrada por pozos, baterías de separación, refinerías, centrales de almacenamiento y bombeo y redes de ductos, posee riesgos inherentes de fugas, lo cual, en caso de suscitarse, representaría un impacto negativo hacia el ambiente (Ortíz Brito et al., 2003). Debido al aumento en la demanda mundial de productos derivados del petróleo se han incrementado las actividades de extracción, refinamiento y transporte de los hidrocarburos, esto provoca que se incremente el riesgo de contaminación del suelo debido a los derrames de hidrocarburos (Pusadkar and Bharambe, 2014).

Existen muchas maneras mediante las cuales el contaminante puede llegar al suelo, como son las fugas provocadas por daños en tuberías o en las instalaciones de transporte de petróleo, accidentes en los tanques, procesos de perforación y corrosión en los tanques, derrames en los talleres mecánicos durante la reparación y el mantenimiento a los automóviles y maquinaria de construcción, etcé-

tera (Nasehi et al., 2016; Sabat and Mohanta, 2017).

La contaminación del suelo por hidrocarburos es una de las mayores preocupaciones en materia ambiental en México, debido a que los accidentes relacionados con las tomas clandestinas o al mal estado de las instalaciones han llegado a contaminar grandes porciones de terreno (Pérez et al., 2006). En el estado de Querétaro se han llegado a registrar diversas fugas en los ductos de Petróleos Mexicanos que pasan por la entidad (Armas, 2010; Arreola, 2011; Sin Embargo, 2012; Notimex, 2012; Valdez, 2014; Quadratin, 2015a; Quadratin, 2015b; AM de Querétaro, 2016; Romero, 2017) esto ha generado diversas emergencias ambientales en este estado.

Actualmente se sabe que la contaminación de los suelos, provocado por fugas de hidrocarburos, afecta algunas de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, además de estar asociados a muchos problemas ambientales (Pusadkar and Bharambe, 2014; Nasehi et al., 2016). Aunque se han hecho muchos esfuerzos por estudiar las repercusiones de la contaminación de los suelos con hidrocarburos, la mayoría de los estudios efectuados se han centrado únicamente en la variable ambiental y se ha puesto poca atención en el efecto en las propiedades geotécnicas de los suelos contaminados (Pusadkar and Bharambe, 2014; Nasehi et al., 2016).

Martínez M. y López S. (2001) y Bian et al. (2016) analizaron suelos arcillosos contaminados con diferentes hidrocarburos y observaron un cambio aparente en la distribución del diámetro de las partículas del suelo debido a su contaminación. Ambos autores reportan que la granulometría del suelo tendió a hacerse más gruesa debido a la formación de agregados de mayor tamaño, mientras que el contenido de arcillas tendió a disminuir conforme se incrementó la concentración del contaminante.

Rahman et al. (2010) observaron que, en dos

suelos contaminados con diferentes concentraciones de aceite de motor, tanto el límite líquido como el límite plástico presentaron una reducción en comparación con los suelos no contaminados. Un comportamiento similar reportaron Joseph y Hari (2015), quienes estudiaron el efecto de la contaminación en un suelo laterítico, una arena y una arcilla contaminados con diésel al 8%, 12%, 16% y 20% del peso de suelo seco y totalmente saturados. Asimismo, Joseph y Hari (2015) reportaron que el índice de plasticidad en los suelos contaminados ensayados disminuyó respecto a los suelos naturales. En contraste, Pradeepan et al. (2016), quienes estudiaron una arcilla contaminada con diésel al 0%, 4%, 8%, 12% y 16% del peso seco del suelo, observaron que tanto el límite líquido, como el límite plástico y el índice de plasticidad de suelo incrementan con el aumento en el contenido de diésel en el suelo.

Akinwumi et al. (2014) analizaron una arcilla de baja compresibilidad contaminada con diferentes concentraciones de petróleo crudo y encontraron que, al incrementar la concentración del contaminante en el suelo, se presentó una disminución de su gravedad específica en comparación con los valores registrados para el suelo sin contaminar. Echeverri-Ramírez et al. (2015) estudiaron el efecto en las propiedades ingenieriles de un suelo limoso de alta compresibilidad contaminado con gasolina y encontraron que tanto el tamaño de partícula del suelo, como la gravedad específica, el volumen de vacíos, el grado de saturación y la humedad natural no presentaron cambios significativos. Asimismo, mencionan que, a pesar de que se presenta un cambio en los valores de los límites de consistencia del suelo, su contaminación con gasolina no influyó en su clasificación SUCS (por las siglas de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Huang y Lu (2014) estudiaron una arcilla contaminada con diésel y petróleo crudo en diferentes porcentajes (i.e., 0%, 1%, 3%, 6% y



ción aumenta la complejidad de su estudio (Huang and Lu, 2014), así como la dificultad de su manejo para fines de construcción (Sabat and Molinari, 2017), y obtuvieron 12% del peso de suelo seco) y presentaron cambios significativos para niveles de concentración del petróleo en el suelo (Rojas et al., 2016). Además de que la persistencia del hidrocarburo en el suelo aumenta cuanto menores sea el tamaño de las partículas ya que contribuye con mayor área superficial, por lo que resulta importante el estudio de los cambios en las propiedades de los suelos finos contaminados (Rojas et al., 2017). Para el caso del diésel, Huang y Lu (2014) encontraron que tanto el límite líquido como el límite plástico del suelo disminuyeron y el índice de plasticidad tuvo un aumento no significativo.

Esta falta de conocimiento es la que ha llevado a que en la Universidad Autónoma de Querétaro se realicen estudios en caminados a la botanilla de la alteración en las propiedades geotécnicas y mecánicas en suelos Liu et al. (2015) observaron que, al contaminar una arcilla con diésel, el contenido de agua de la arcilla se redujo y que tanto su límite líquido como su límite plástico disminuyeron conforme se incrementó la concentración del contaminante en el suelo. Nasahi et al. (2012) estudiaron el efecto de la contaminación con gasóleo en una arcilla de baja plasticidad (CL) un limo de baja consistencia (ML) y una arena bien graduada (SP) con diferentes concentraciones de contaminante y observaron en un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo, obteniendo una disminución en los valores de floculación, mientras que los límites de Atterberg mostraron un incremento en el límite líquido y el límite plástico tanto en la arcilla (CL) como en el limo (ML) así como una disminución en el índice plástico cuando se incrementaba el porcentaje de contaminante. En la revisión de la información relativa al estudio de los suelos contaminados son pocos los enfocados al estudio de los suelos finos y dentro de ellos, prácticamente no se dispone de información para el caso de los suelos expansivos. Además de que para el año 2011 de acuerdo a las estadísticas, se tiene un registro de 58 sitios contaminados en el estado de Querétaro (SEMARNAT, 2012). Los suelos expansivos son suelos problemáticos naturalmente por lo que su contamina-

contaminados con gasolina no se pudieron obtener y el límite líquido del suelo contaminado con diésel disminuyó, mientras que el límite plástico no se pudo obtener, se midió la capacidad de retención de hidrocarburo en el suelo, concluyendo que el suelo tiene mayor retención con el agua que con la gasolina y el diésel, lo que causó una disminución en la succión del suelo.

Así, en este trabajo, continuando con la iniciativa en esta área de investigación en la Universidad Autónoma de Querétaro, se evaluó el efecto de la contaminación con gasolina en las propiedades geotécnicas de un suelo expansivo, empleando para ello una arcilla expansiva extraída de un predio ubicado en el estado de Querétaro, mediante la determinación de su gravedad específica, granulometría y límites de Atterberg del suelo en su estado natural y contaminado.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

1) Suelo

La muestra del suelo se extrajo de un lugar ubicado en el estado de Querétaro en el cual ya se confirmó previamente que el suelo encontrado ahí corresponde a una arcilla expansiva que tiene una clasificación SUCS de arcilla de alta compresibilidad (CH). Es importante señalar que el sitio de muestreo no está contaminado, ni se contaminó durante la realización de este estudio.

2) Gasolina

La gasolina usada para este estudio fue gasolina Magna la que se adquirió en una estación de gasolina perteneciente a Petróleos Mexicanos (PEMEX).

2.2 Métodos

1) Muestreo

Se realizó un pozo a cielo abierto a una profundidad de 2.75 m. Se tomaron muestras

alteradas, las cuales fueron transportadas al laboratorio en sacos, una muestra inalterada y algunas muestras fueron tomadas en bolsas para obtener la humedad natural del suelo. Después de transportarse al laboratorio las muestras de suelo alteradas fueron secadas al aire libre, se realizó la homogenización del suelo y se disgregaron las partículas cuidando solo disgregar terrones y no rocas y se procedió a la obtención de sus propiedades geotécnicas.

2) Contaminación del suelo

La contaminación del suelo se realizó de forma segura y controlada. El suelo se secó en el horno durante un período de 48 horas para asegurar que estaba seco. Después del secado, el suelo se pesó, se disgregó y se procedió a realizar su contaminación de manera manual. Este procedimiento se seleccionó debido a que se mejora la distribución del contaminante en el suelo en comparación con el proceso de lixiviación del contaminante a través del suelo (Ratnaweera y Meegoda, 2006), además de que permite representar el efecto de la contaminación a largo plazo (Meegoda y Rajapakse, 1993). El porcentaje de contaminación elegido para este estudio es el correspondiente a la humedad natural del suelo. Se guardó el suelo contaminado en bolsas de plástico para evitar lo más que fuera posible la pérdida de contaminante. Se dejó reposar el suelo con el contaminante durante un período de 3 semanas, en este periodo se movía el suelo dentro de las bolsas para que el contaminante se impregnara lo mayor posible en el suelo. A pesar de que se ha indicado que basta con que se exponga a los suelos secos a la acción de los contaminantes durante una semana para que su concentración se equilibre (Meegoda et al., 1990), en este caso se amplió este periodo para favorecer el efecto de envejecimiento del suelo. Después del periodo de reposo se procedió a realizar las pruebas correspondientes sobre el suelo contaminado.



2.3 Pruebas realizadas

En la Figura 1 se muestran las pruebas que se realizaron en el suelo natural y el suelo contaminado, y en la Tabla 1 se indican las normas que se emplearon para la obtención de las propiedades del suelo. Se utilizaron los métodos estandarizados para suelos naturales para obtener las propiedades del suelo contaminado, esto se hace debido a que aún no existen métodos para la obtención de propiedades en suelos contaminados.

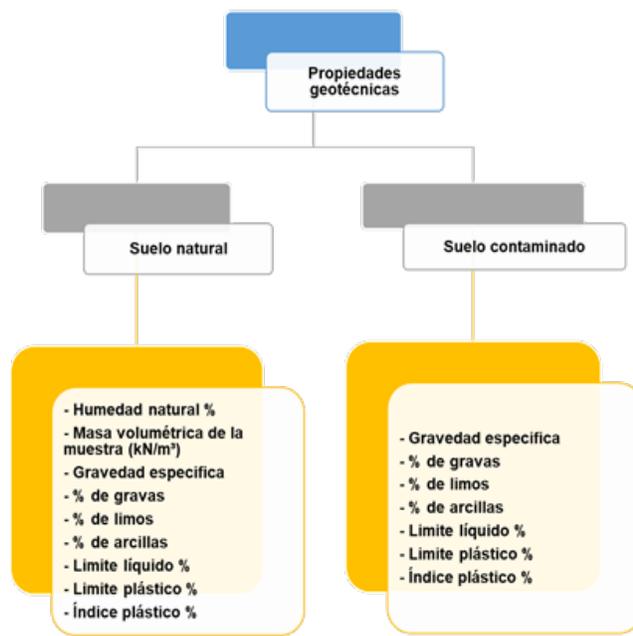


Figura 1. Pruebas a realizar en el suelo natural y el suelo contaminado.

Propiedad	Símbolo	Unidad	Valor
Humedad natural	ω	%	33.16
Relación de vacíos	e	Adimensional	0.97
Porosidad	n	%	49.29
Grado de saturación	G_w	%	87.95
Masa volumétrica de la muestra (kN/m ³)	γ_m	kN/m ³	17.16

Tabla 1. Normas y procedimientos empleados para la obtención de las propiedades geotécnicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran las relaciones volumétricas y gravimétricas del suelo en estado natural obtenidas de la muestra inalterada, así como la humedad natural.

Propiedad	Procedimiento base
• Humedad natural (%)	- ASTM 2216-10
• Masa volumétrica de la muestra (kN/m ³)	- ASTM C128-12
• Gravedad específica	
• % de gravas	- ASTM D 1140-06
• % de limos	- ASTM C 136-06
• % de arcillas	- ASTM D 422-98
• Limite líquido (%)	
• Limite plástico (%)	- ASTM D 4318-10
• Índice plástico (%)	

Tabla 2. Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo en estado natural.

El suelo se contaminó con gasolina hasta obtener una concentración equivalente a la humedad natural del suelo, correspondiente al 33.16% del peso del suelo seco. Después de pasar el tiempo de reposo de 3 semanas, se obtuvo el porcentaje de gasolina secando el suelo en el horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C obteniendo que 5.87% de gasolina fue lo que se retuvo en el suelo.

En la Tabla 3 se muestran los valores de las propiedades geotécnicas obtenidas en el suelo natural y en el suelo contaminado.

La gravedad específica del suelo natural, así como del suelo contaminado, se obtuvo mediante la utilización de un matraz calibrando con agua destilada y se usó agua destilada para la prueba. La gravedad específica del suelo contaminado se obtuvo de dos maneras, sometiendo al suelo contaminado a secado y utilizado el peso después de secado para los cálculos y con el suelo contaminado sometándolo directamente para a prue-

ba, utilizando como peso del suelo para los cálculos el peso del suelo contaminado menos el peso correspondiente al porcentaje del contaminante, para ambos casos se obtuvo el mismo resultado en la prueba.

La granulometría del suelo se realizando un lavado por la malla No. 200 recuperando material que pasa la malla para la prueba del hidrómetro y secando el materia que se retuvo para realizar el análisis granulométrico. En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la curva granulométrica del suelo contaminado y no contaminado en el cual se puede observar que el comportamiento granulométrico entre el suelo natural y el contaminado no muestra una diferencia marcada, de la misma forma esto se puede corroborar con los valores de % de grava, % de arena, % de limo y % de arcilla mostrados en la Tabla 3.

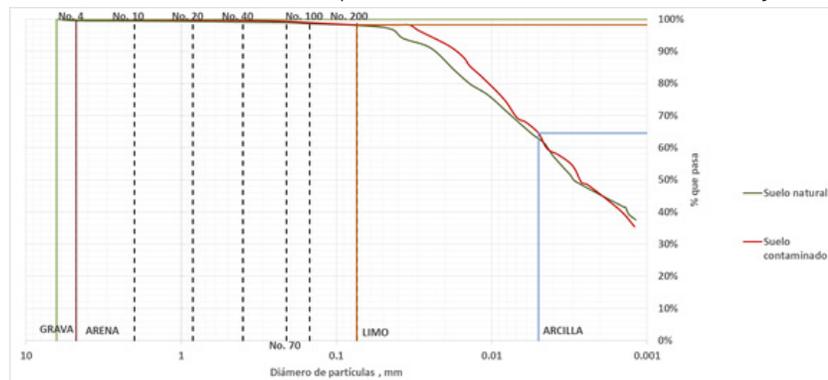
Empero, si se logra apreciar que el suelo contaminado tiende a incrementar el contenido de partículas finas, específicamente se observa un incremento en el contenido de

arcillas. Este resultado concuerda con lo reportado por Martínez M. y López S. (2001) y por Bian et al. (2016) quienes indican que la granulometría presenta una modificación en la cantidad de arenas, limos y arcillas. Este cambio en composición granulométrica del suelo se puede atribuir al efecto que tiene el contaminante sobre las partículas del suelo. Esto, pudo afectar el comportamiento químico de los limos presentes en el suelo, debido a la oxidación del suelo, por lo que una parte de ellos se transformaron en arcillas. Este efecto químico se ve reflejado también en la reducción de la gravedad específica del suelo debido al cambio en su estructura. Esta reducción de la gravedad específica de los sólidos del suelo concuerda con lo reportado por Martínez M. y López S. (2001), Akinwumi et al., (2014) y Pusadkar y Bharambe (2014); sin embargo, difiere con lo observado por Echeverri et al. (2015) quienes usaron un limo de alta compresibilidad contaminado con gasolina y no se presentaron cambios significativos en la gravedad específica.

Tabla 3. Propiedades geotécnicas del suelo contaminado y natural.

Propiedad	Símbolo	Unidad	Suelo natural	Suelo contaminado
Gravedad específica	G_s	Adimensional	2.599	2.531
Gravas	---	%	0.48	0.03
Arenas	---	%	1.44	1.74
Limos	---	%	35.24	33.69
Arcillas	---	%	62.84	64.54
Límite líquido	LL	%	80.74	79.69
Límite plástico	LP	%	31.60	33.72
Índice plástico	IP	%	49.14	45.97
Actividad de las arcillas	A	Adimensional	0.78	0.71

Figura 2. Distribución del tamaño de partícula del suelo no contaminado y contaminado.





Respecto a los límites de consistencia se determinó que el suelo natural presentó un índice plástico mayor a 25%, lo cual indica que el suelo tiene un alto potencial expansivo. Asimismo, el suelo natural presenta una actividad comprendida en el rango de 0.75 a 1.25, por lo que se puede clasificar como una arcilla con actividad normal y un potencial de volumen medio, por lo que probablemente se trata de una illita (Crespo, 1979). En el caso del suelo contaminado se observó que los valores del límite líquido y el índice plástico disminuyeron respecto a lo obtenido para el suelo natural. Este comportamiento del suelo concuerda con lo observado por Echeverri et al. (2015). De igual forma, la actividad de la arcilla contaminada se redujo respecto a lo observado para la arcilla natural. Esto implica que el efecto de oxidación química también repercutió en el comportamiento mecánico del suelo contaminado, generando una estabilización temporal debido a la acción del contaminante; es decir, la contaminación del suelo provocó un mecanismo químico-mecánico que alteró sus propiedades ingenieriles.

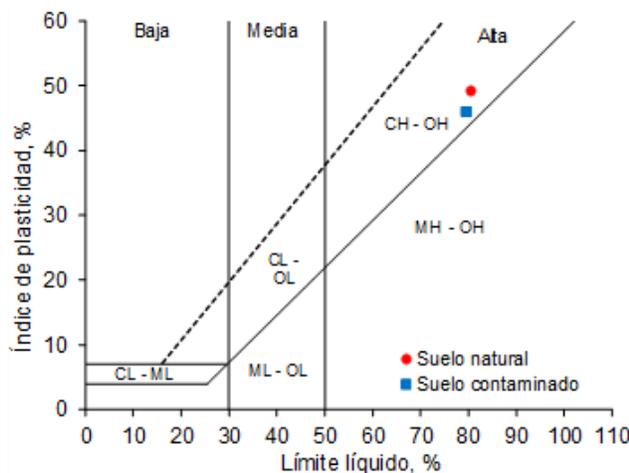


Figura 3. Clasificación SUCS del suelo no contaminado y contaminado.

En la Figura 3 se tiene la carta de plasticidad SUCS ASTM D2487 en la cual se ubican el suelo en estado natural y el suelo contaminado, en donde se puede observar que, independientemente de su estado, el suelo

se clasifica como una arcilla de alta compresibilidad. Esto implica que la contaminación del suelo no afecta su clasificación, tal como lo indica Echeverri et al. (2015).

4. CONCLUSIONES

La contaminación de una arcilla expansiva con gasolina, extraída de un predio ubicado en el estado de Querétaro, presentó los siguientes efectos en sus propiedades geotécnicas. El suelo contaminado con gasolina mostró una ligera disminución en su gravedad específica la cual se puede deber a que la densidad de la gasolina es menor a la del agua, y esta ligera disminución es debido a las moléculas de gasolina que quedan en las partículas del suelo durante la prueba, también se observó una modificación en la distribución de las partículas gruesas y finas que componen el suelo debido a un efecto de oxidación causado por la adición del contaminante al suelo natural seco. Dicho proceso químico afectó el comportamiento mecánico del suelo, lo cual se reflejó en la variación de los límites de consistencia del suelo contaminado respecto a su condición natural, el límite líquido no presenta una variación significativa, sin embargo en el límite plástico se puede apreciar un incremento en el valor, esto puede deberse a que la gasolina cubre las partículas de arcilla y no permite que las moléculas de agua lleguen al agua de doble capa difusa, por lo que provoca que se necesite más agua para que el suelo obtenga propiedades plásticas. No obstante, este proceso químico-mecánico no alteró la clasificación SUCS del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado mediante los proyectos CONACYT 266106 y CONACYT 270161, así como por la beca otorgada a Norma Curiel para la realización de sus estudios de maestría.

REFERENCIAS

Akinwumi, I. I., D. Diwa, and N. Obianigwe. 2014. Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay. *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.* 3:816–824. doi:10.6088/ijaser.030400007 [28 de Abril 2017].

AM de Querétaro (28 de julio de 2016). Localizan fuga en una toma clandestina en Corregidora. Obtenido de: <http://amqueretaro.com/queretaro/2016/07/28/localizan-fuga-en-una-toma-clandestina-en-corregidora> [28 de Abril 2017].

Antonio Zárate, Y. 2014. Evaluación del impacto de la contaminación con diésel en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso. Universidad Autónoma de Querétaro.

Armas, P. d. (27 de septiembre de 2010). Querétaro detecta fuga en ducto de PEMEX. Plaza de Armas. Obtenido de http://www.plazadearmas.com.mx/noticias/archivo/2010/09/27/queretaro_detecta_fuga_ducto_pemex_50058_1045.html [28 de Abril 2017].

Arreola, J. (12 de septiembre de 2011). Reportan nuevo derrame de diesel en Querétaro. *El Universal*. Recuperado de <http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/792901.html> [28 de Abril 2017].

Bian, H., S. Liu, G. Cai, and Y. Chu. 2016. Influence of diesel pollution on the physical properties of soils. *Japanese Geotech. Soc. Spec. Publ.* 2(14):552–555.

Echeverri-Ramírez, Ó., Y. Valencia-González, D. E. Toscano-Patiño, F. A. Ordoñez-Muñoz, C. Arango-Salas, and S. Osorio-Torres. 2015. Geotechnical behavior of a tropical residual soil contaminated with gasoline. *Comportamiento geotécnico de un suelo residual tropical contaminado con gasolina*. *DYNA*. 82(190):31–37.

Huang, F. X., and H. J. Lu. 2014. Experiment study on the atterberg limits of clay contaminated by oil. *Electron. J. Geotech. Eng.* 19:3037–3046.

Joseph, J., and G. Hari. 2015. Investigation on the Effects of Hydrocarbon Spillage on Soil Properties. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 4:136–140.

Liu, Z., S. Liu, and C. Yi. 2015. Engineering property test of kaolin clay contaminated by diesel oil. *J. Cent. South Univ.* 22(12):4837–4843. doi:10.1007/s11771-015-3035-3.

Martínez M., V. E., and F. López S. 2001. Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Tierra Lat.* 19(1):9–17.

Nasehi, S. A., A. Uromeihy, M. R. Nikudel, and A. Morsali. 2016. Influence of Gas Oil Contamination on Geotechnical Properties of Fine and Coarse-Grained Soils. *Geotech. Geol. Eng.* 34:333–345. doi:10.1007/s10706-015-9948-7.

Ortíz Brito, O., I. Ize, and A. Gavilán. 2003. La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México. *Gac. Ecológica*. 69:83–92.

Pérez, G. C., R. A. Iturbe, and R. M. S. Flores. 2006. Cambio en las propiedades físicas de un suelo contaminado con hidrocarburos debido a la aplicación de una tecnología de remediación. *AIDIS*. 1(1):1–10.

Pradeepan, V., V. Reethi, and N. Namiatha. 2016. Effect of Diesel Contamination on Geotechnical Properties of Clay Near Bpcl. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 7:152–158. Available from: <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.asp%5Cnhttp://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp%5Cnwww.jifactor.com%5Cnhttp://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=7&IType=2>

Pusadkar, S. S., and P. S. Bharambe. 2014. Performance of Petrol and Diesel Contaminated Black Cotton Soil. 3:536–539.

Quadratin. (16 de agosto de 2015a).



Junto al fraccionamiento La Estancia, se ubicó una fuga de alcantara los 25 m de altura. Quadratin Querétaro. Recuperado de <https://queretaro.quadratin.com.mx/Detectan-toma-clandestina-por-el-Libramiento-Surponiente/> [28 de Abril 2017].

Quadratin. (19 de junio de 2015b). Controlan derrame en ducto de Pemex. Quadratin Querétaro. Obtenido de <https://queretaro.quadratin.com.mx/Controlan-derrame-en-ducto-de-Pemex/>

Rahman, Z. A., U. Hamzah, M. R. Taha, N. S. Ithnain, and N. Ahmad. 2010. Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Basaltic Residual Soil. *Am. J. Appl. Sci.* 7:941–948. Available from: <http://scipub.org/fulltext/ajas/ajas77954-961.pdf>

Rodríguez, L. S. 2017. Impacto geotécnico de los derrames de diésel en suelos finos.

Romero M (6 de enero de 2017). Reportan fuga de diésel por robo a ducto de Pemex. Obtenido de <http://www.eluniversalqueretaro.mx/seguridad/06-01-2017/reportan-fuga-de-diesel-por-robo-ducto-de-pemex> [28 de Abril 2017].

Sabat, A. K., and S. Mohanta. 2017. Unconfined compressive strength of dolime fine stabilized diesel contaminated expansive soil. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* 8:01–08.

SEMARNAT. 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México. Available from: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

Sin Embargo. (20 de marzo de 2012). Toma clandestina en Querétaro causa derrame de 4 metros de altura. Sin Embargo. Obtenido de <http://www.sinembargo.mx/20-03-2012/185907> [28 de Abril 2017].

Suárez, L. Y. C. 2015. Análisis comparativo de curvas de retención de suelos contaminados con gasolina y diésel. Universidad Autónoma de Querétaro.

Valdez, D. (13 de marzo de 2014). Moviliza a autoridades fuga en toma clandestina de Polotitlán. Quadratin. Obtenido de <https://edomex.quadratin.com.mx/Moviliza-a-autoridades-fuga-en-toma-clandestina-de-Polotitlan/> [28 de Abril 2017].