

CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO CONTAMINADO POR HIDROCARBUROS Y SU POSIBLE USO COMO ESTABILIZADOR DE SUELO

Ma. Eugenia Alicia Díaz Vega*, Diana Concepción Santos Tress, Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro

Facultad de ingeniería de la Construcción y el Hábitat Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 21 de septiembre de 2021 - Fecha de aceptación: 16 de marzo de 2023

Resumen

El desecho de hidrocarburos al medio ambiente cada vez es más continuo causando daños severos a diversos ecosistemas que habitan en la Tierra; en la presente investigación tiene como finalidad de la caracterización física y mecánica de un suelo control y otro sometido a hidrocarburo (gasolina) por un tiempo de 6 meses por diversos ensayos: consolidación, resistencia al esfuerzo cortante, pH, límites de consistencia; el pH del suelo contaminado disminuyó un 58% respecto al suelo control; la relación de vacíos del suelo contaminado fue menor en un 52.94% respecto a la del suelo no contaminado; hubo un incremento del 16% en cuanto a las propiedades mecánicas de cohesión y el ángulo de fricción interna, con ello, aumentado su resistencia y dureza (mayor capacidad de carga); con los resultados obtenidos, el suelo estabilizado con hidrocarburo ofrece mejores características de resistencia.

Palabras claves: Contaminación, Hidrocarburo, Mejoramiento

Characteristics of a soil contaminated by hydrocarbons and its possible use as a soil stabilizer

Abstract

Hydrocarbon waste in the environment has become ubiquitous, causing severe harm to different ecosystems on Earth. The following research aims to characterize a control soil and one subject physically and mechanically to hydrocarbon saturation (gasoline) over 6 months through the following: Consolidation, shear effort resistance, pH, and consistency limits. PH of Contaminated soil decreased by 58% when compared to control soil. Vacuum relation on the contaminated soil decreased by 52.94% compared to the non-polluted soil. There was an increase of 16% on the mechanical properties of cohesion and internal friction angle, thus increasing its resistance and hardness (greater load-bearing capacity). Results show that the soil stabilized with hydrocarbon offers better resistance characteristics.

Keywords: contamination, hydrocarbon, improvement

*ediaz@uv.mx

Introducción

Los hidrocarburos son una importante fuente de contaminación del medio ambiente y proporcionan energía para el hombre (Verma et al., 2006); en los suelos contaminados con hidrocarburos se alteran las características físico-químicas y biológicas; en México se tienen afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas (Cavazos-Arroyo, 2014); la contaminación del suelo por hidrocarburos afecta la flora, fauna y microorganismos del suelo (Martínez y López, 2001); cuando los hidrocarburos cubren la superficie del suelo, interrumpen la interacción electrostática entre la superficie de las partículas del suelo y el agua, reduciendo su capacidad de retención de agua.

En México la contaminación se presenta, en algunos casos, por las tomas clandestinas de gasolina o de diésel, provocando derrames en grandes extensiones de superficie de suelo, para ello, es importante implementar técnicas de remediación para erradicar la contaminación de estos suelos. Con el fin de evitar estos accidentes de derrame de contaminantes es recomendable tener un buen manejo de las prácticas de operación en la extracción, distribución y almacenamiento de hidrocarburos (Trujillo et al., 2014); un informe reciente estima un total de 2,5 millones de lugares potencialmente contaminados en Europa (Agnello et al., 2016). En México según Maldonado et al. (2010) se reportan que la industria petrolera es una fuente importante de contaminación del suelo desde las actividades de perforación, extracción, conducción y transformación del petróleo en zonas petroleras han originado la contaminación del suelo y el agua ocasionada por derrames, fugas, filtraciones, lodos y recortes de perforación desde hace más de 40 años (Velázquez, 2017); los derivados de hidrocarburos -gasolina, queroseno, aceites, combustibles, parafinas, y el asfalto, entre

muchos otros- no solo impactan la capa superficial del suelo, también corren el riesgo de ser movilizados hasta aguas subterráneas generando así su contaminación, o incluso pueden ser transportados por escorrentía incrementado aún más el daño ambiental (Jiménez, 2006).

Esta investigación surge a partir de la situación de contaminación de hidrocarburos producto del desecho de aceite de motor del transporte de carga detectada en la zona industrial del municipio de Veracruz. En la presente investigación se analizan el cambio de las propiedades geotécnicas, donde se tomaron dos muestras inalteradas, una de ellas fue de una zona aledaña a un punto de contaminación, y la otra fue tomada del punto de contaminación. Para el desarrollo de esta investigación fue necesario someter la muestra contaminada a su punto máximo de contaminación, esto para poder analizar con mayor certeza los cambios en las propiedades del suelo. Se realizó el análisis de la granulometría, de los límites de consistencia, de la resistencia al corte, de consolidación unidimensional, así como del rango de pH, todos en ambos suelos.

Descripción del Método

La determinación del rango de pH fue obtenido con el potenciómetro HI 98129 marca HANNA (Figura 1) propiedad de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Campus Veracruz-Boca del Río, estas pruebas fueron desarrolladas mediante un procedimiento analítico, el cual consistió en tomar 8 porciones de 10 gramos cada una, es decir 4 porciones de la muestra sin contaminar y 4 porciones de la muestra contaminada; 2 porciones de cada suelo fueron diluidas en agua de lluvia, para considerar la posible influencia de esta, y las otras dos en agua destilada, creando proporciones 1:1 (10 gramos de suelo: 10 ml de agua), se disolvió el suelo por 10 minutos en el agua, y

posteriormente fue medido el pH y la temperatura.



Figura 1. Medición del pH del suelo contaminado con el potenciómetro HANNA HI

Los ensayos granulométricos fueron realizados de acuerdo a la norma M·MMP·1·06/03 ((SCT), 2003); se preparó una muestra de 500 gramos. de material de cada suelo, posteriormente fue sometido a secado por 24 horas, al término de este tiempo fue pesado para con esto calcular el contenido de agua y finalmente de paso por las mallas de textura arenosa con denominación N°10 (2.00 mm), N°20 (0.85 mm), N°40 (0.43 mm), N°60 (0.25 mm), N°100 (0.15 mm) y N°200 (0.075 mm).

Para la determinación de los límites de consistencia, se siguieron los procedimientos

que ofrece el Manual de Métodos de Muestreo y prueba de materiales M·MMP·1·07/07 ((SCT) S. d., 2007); se utilizó una muestra de aproximadamente 300 gramos que pasara por la malla N°40; para la determinación de estos parámetros fue necesario saturar la muestra, por 24 horas. El límite líquido fue obtenidos con la Copa de Casagrande (Figura 2) y los límites plásticos mediante la manipulación del material formando rollitos de 3/8" de pulgada; el Índice Plástico es la diferencia existente entre límite líquido y el límite plástico.



Figura 2. Ejemplo de la ranura para la realización del límite líquido.

El ensaye de corte directo fue realizado mediante los procedimientos de la Norma ASTM-D 3080 (ASTM, 2003), a través del equipo Wykeham Farrance – SHEAR MATIC 27-WF2180 de CONTROLS GROUP (Farrance, 2004); con esta prueba se determinó la resistencia al esfuerzo cortante del suelo,

mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada (Figura 3); los especímenes fueron sometidos a presiones de 0.05, 0.10 y 0.20 kPa, en los tres casos se utilizó una velocidad de corte de 1.0 mm/min.



Figura 3. Realización del ensaye de corte directo

Se aplicó un esfuerzo normal previamente determinado, consolidando el espécimen bajo la presión de campo, para posteriormente accionar la maquina provocando el

desplazamiento de uno de los marcos de manera horizontal respecto al otro, con una velocidad constante de deformación y con ello medir la fuerza de corte y los desplazamientos

horizontales de manera que la muestra se lleve a la falla (Figura 4).

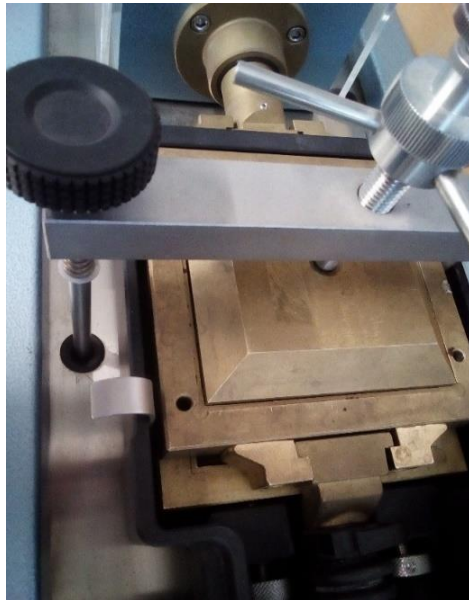


Figura 4. Muestra de suelo llevada a la falla

Los ensayos se realizaron de manera rápida y con muestras remoldeadas (Figura 5), esto debido a las características que presentaron las muestras. El remoldeo de las muestras se

realizó en base a su peso volumétrico obtenida en el cálculo de las propiedades volumétricas y gravimétricas.



Figura 5. Creación de las muestras remoldeadas

En el caso del ensaye de consolidación, se realizó con un consolidómetro unidimensional, una vez finalizados los ensayos se obtuvieron las curvas de consolidación y de compresibilidad obteniendo el esfuerzo de

Preconsolidación (P_c , Figura 6), mediante el procedimiento empírico del Doctor A. Casagrande, esta presión representa la máxima que el suelo ha soportado en su historia geológica (Rodriguez, 2014).

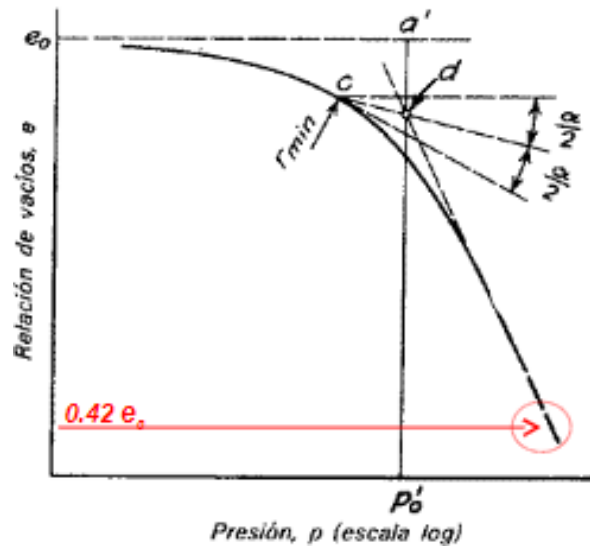


Figura 6. Determinación de la curva de preconsolidación.

Discusión de resultados

En la Tabla 1 se muestra una comparativa de los porcentajes de variación entre la muestra control y el suelo contaminado, donde se documenta los cambios de sus principales propiedades físicas y mecánicas.

El análisis químico del pH, el suelo contaminado disminuyó un 58% respecto al pH obtenido por el suelo no contaminado, en este caso a pesar de que la variación es bastante notable no hace gran diferencia en el rango, ya que ambos suelos resultan ser Ultra ácidos, teniendo mayor intensidad el del suelo contaminando, tomando como referencia los rangos dados por el Natural Resources Conservation Service de los E.U., Lo ideal para un suelo es tener un rango de pH neutro, pero en la mayoría de los casos la naturaleza se adapta de tal manera que aun en las condiciones extremas los seres vivos se logran seguir desarrollando, tal es el caso de este.

La temperatura no es variante entre el suelo contaminado y el no contaminado, por lo que es evidente que el contaminante no influye en el aumento o disminución de este parámetro.

Respecto a las relaciones volumétricas y gravimétricas tenemos que el peso específico del suelo contaminado se registró un incremento de un 11.34% tomando como referencia el suelo control, este debido a la cantidad del hidrocarburo que absorbió el suelo; la relación de vacíos del suelo contaminado disminuyó un 52.94% respecto a la del suelo no contaminado, y finalmente la porosidad del suelo contaminado disminuyó un 42.08%, con esto el volumen de vacíos respecto al de la masa disminuyó, haciendo más sólido del suelo contaminado. Con estos resultados se concluye que el contaminante reduce los vacíos y el suelo se vuelve más denso, este cambio se torna positivo puesto un

suelo sólido ofrece mayor estabilidad y resistencia

En cuanto a los límites de consistencia, el Limite Líquido disminuyó un 9.09%, el Limite Plástico disminuyó un 37.98% y el Índice de Plasticidad aumentó un 53.76%.

De los resultados del ensaye de corte directo, se obtuvo un incremento del 16% en el ángulo de fricción y la cohesión

Y finalmente, en los ensayos de consolidación se obtuvo un incremento del 57.97% del esfuerzo de preconsolidación

Los ensayos de límites de consistencia realizados concluyen, que el material contaminado cuenta con un mayor Índice de plasticidad respecto al no contaminado, lo que lo hace un material más plástico, esto debido a la viscosidad del contaminante, provocando mayor adherencia entre las partículas del suelo.

A pesar de que este suelo resulto tener más plasticidad, no es un suelo que se expanda con presencia de agua, al contrario, evita su permeabilidad.

A través de los ensayos de corte directo se incrementó las propiedades mecánicas del suelo contaminado, ya que, al incrementarse la cohesión y el ángulo de fricción del suelo contaminado, aumento la capacidad de carga de este, obteniendo una Q_{adm} de 299.11 t/m^2 , siendo mayor a la obtenida por el suelo no contaminado, la cual fue de 167.89 t/m^2 , ambas fueron calculadas por el criterio de Terzagui.

Con los ensayos de consolidación, se obtuvo el cálculo del esfuerzo de preconsolidación fue mayor en el suelo contaminado, incrementándose al doble.

Tabla 1. Variación porcentual de los resultados obtenidos.

ENSAYE	PARAMETRO	SUELO NO CONTAMINADO	SUELO CONTAMINADO	VARIACION PORCENTUAL DEL SUELO CONTAMINADO
Análisis químicos del suelo.	pH	0.25	0.105	Disminuyó 58%
	γ_m (gr/cm ³)	1.94	2.16	Aumentó 11.34%
Relaciones volumétricas y gravimétricas.	e	0.51	0.24	Disminuyo 52.94%
	η (%)	33.91	19.64	Disminuyo 42.08 %
	CC (%)	10.36	1.56	Disminuyo 89.86%
	G%	0	0	No se registró variación.
Granulometría.	A%	96.32	100	Aumento 3.68%
	F%	3.68	0	Disminuyo 100%

Límites de consistencia.	LL	22	20	Disminuyo 9.09%
	LP	17.88	11.09	Disminuyo 37.98%
	Ip	4.12	8.91	Aumento 53.76%
Corte Directo.	Ø	30°	34.8°	Aumento 16%
	C (kg/cm ²)	1.15	1.334	Aumento 16%
Consolidación	Pc(kg/cm)	0.29	0.69	Aumento 57.97%

Conclusiones

Por los resultados obtenidos se pudiera sugerir el uso de este contaminante como producto estabilizador de mejoramiento del suelo para aumentar la capacidad de carga, con

la posible implementación de una pantalla impermeable que evite la transición a través de las capas, y así evitar el daño ambiental; este dependerá del criterio y visión del implementador.

Referencias

- [1] Agnello, A. C., Bagard, M., VanHullebusch, E.D., Esposito, G. & Huguenot, D. (2016). Comparative bioremediation of heavy and petroleum hydrocarbons co-cotaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. Science of the Total Environment.563-564, 693-703.
- [2] ASTM, I. (2003). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. In A. Standard, D 3080-03 (p. 7). United States: ASTM INTERNATIONAL.
- [3] Cavazos-Arroyo J., B. Pérez-Armendáriz, A. Mauricio-Gutiérrez (2014), Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México, Agricultura, sociedad y desarrollo, Vol.11 no.4.
- [4] Farrance, C. G. (2004). Wykham Farrance/Controls Group. Retrieved from www.wfi.co.uk/eng/
- [5] HANNA INSTRUMENTS INC. (2011). HANNA INSTRUMENTS. Retrieved from <http://www.hannainst.es>
- Rodriguez, J. B. (2014). Mecánica de suelos/ Tomo 1 Fundamentos de la mecánica de suelos. . Mexico : Limusa .

- [6] Jiménez, D. L. (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- [7] Maldonado, E., Chávez-Rivera, M C., Izquierdo, F. & Palma, D. J. (2010). Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. 26(2):121-136
- [8] Martínez, Víctor E.; López S., M. y Felipe Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso Terra Latinoamericana, vol. 19, núm. 1, enero-marzo, 2001, pp. 9-17 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- [9] SCT, S. d. (2003). 06. Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías. In MMP. METODOS DE MUESTREOS (p. 14). Mexico: SCT.
- [10] SCT, S. d. (2007). 07. Límites de consistencia. . In SCT, 1. Suelos y materiales para terracería. (p. 9). Mexico : SCT.
- [11] Trujillo-García, A., Rivera-Cruz, M., Lagunes, L., Palma- López, D. J., Sánchez, S. & Ramírez- Valverde, G. (2014). Parámetros biológicos de la restauración de suelos contaminados por petróleo crudo. Ecosistemas y recursos. Agropecuarios Vol.1 n.2 Villahermosa. ISSN 2007-901X
- [12] Velásquez Arias, J.A. (2017), Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA.
- [13] Verma, S.; Bhargava, R.; Pruthi, V. 2006. Oily sludge degradation by bacteria from Ankleshwar, India. International Biodeterioration & Biodegradation. 57, 207-213.