

Evaluación del suelo contaminado con hidrocarburo e intemperizado en Cárdenas, Tabasco

María Fernanda Álvarez-Jiménez, Maricela de Jesús Alor Chávez*, Carlos Mario Morales Bautista, Candelario Méndez Olán, Carlos Ernesto Lobato García

Cuerpo Académico en Consolidación Química Aplicada a la Gestión Ambiental. División Académica de Ciencias Básicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tab., México

*mail: maricela.alor@ujat.mx

Resumen

Para establecer la evaluación del suelo de Cárdenas, Tabasco, se realizó la caracterización de suelos testigo e intemperizado de dicho municipio durante un año (2014-2015) empleando los métodos referidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 y consultando límites permisibles marcados por la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012. Los objetivos específicos fueron determinar textura, capacidad de campo, densidad real, densidad aparente, porosidad, pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica de suelos contaminados mediante los métodos especificados en la NOM-021-SEMARNAT-2000 así como cuantificar hidrocarburos totales del petróleo por el método Soxhlet modificado por Martínez-Chávez *et al* (2017). Con los resultados obtenidos se sugiere realizar una evaluación con diferentes concentraciones de hidrocarburos, tiempo o épocas del año, para encontrar un límite de concentración según el tipo de suelo y los cambios de los componentes de los hidrocarburos.

Palabras claves: Caracterización, Cárdenas, intemperizado, suelos, testigo.

Abstract

In order to establish the evaluation of the soil of Cardenas, Tabasco, the characterization of witness and weathering soils of the municipality was carried out during one year (2014-2015) using the methods referred to in the Official Mexican Standard NOM-021-SEMARNAT-2000 and consulting limits allowable marked by NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012. The specific objectives were to determine texture, field capacity, real density, apparent density, porosity, pH, cation exchange capacity and electrical conductivity of contaminated soils using the methods specified in NOM-021-SEMARNAT-2000 as well as quantify total hydrocarbons of the oil by the Soxhlet method modified by Martínez-Chavez *et al* (2017). With the results obtained it is suggested to carry out an evaluation with different concentrations of hydrocarbons, time or season of the year, to find a concentration limit according to the type of soil and the changes of the hydrocarbon components.

Keywords: Characterization, Cardenas, weathering, soil, witness.

Recibido: 12 de mayo de 2019. Aceptado: 31 agosto 2019. Publicado: 1 de diciembre de 2019.

1. Introducción

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI (2017), la economía del estado de Tabasco se agrupa en tres grandes grupos de actividades: las relativas al sector petrolero, aquellas relacionadas con el sector primario (agricultura y ganadera) y, otras de menor impacto como son la pesca, industria, comercio, turismo y los servicios financieros [1]. De las mencionadas, la que más genera divisas es la exploración y producción de petróleo crudo, sin embargo, estas actividades han impactado de manera negativa a las actividades del sector primario debido a los distintos derrames en ductos que transportan el petróleo crudo y sus derivados, así como el inadecuado manejo de sus residuos, cuyos efectos pueden estimarse en la pérdida en la fertilidad de los suelos [2].

En el Plan Estatal de Desarrollo 2013-2018 se indicó la importancia de rescatar al sector primario y de este modo, ser pilar en el aporte de alimento para el país, lo cual no será posible si no se estiman los impactos del petróleo crudo sobre los suelos de la región. Existen autores como Adams *et al* (2015), que mencionan que, aunque los suelos sean remediados bajo límites marcados por la normativa, la transformación de los hidrocarburos residuales suele aportar condiciones que favorezcan la presencia de fenómenos que afectan directamente la fertilidad de los suelos, en los que destacan baja la conductividad hidráulica y de capacidad de intercambio ambos parámetros relacionados con la textura del suelo [3].

Para establecer la evaluación del suelo de Cárdenas, Tabasco, se realizó la caracterización de suelos testigo e intemperizado de dicho municipio durante un año (2014-2015) empleando los métodos referidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 [4] y consultando límites permisibles marcados por la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 [5]. Los objetivos específicos fueron determinar textura, capacidad de campo, densidad real, densidad aparente, porosidad, pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica de suelos contaminados mediante los métodos especificados en la NOM-021-SEMARNAT-2000 así como cuantificar hidrocarburos totales del petróleo por el método Soxhlet modificado por Martínez-Chávez *et al* (2017).

2. Metodología/Desarrollo

Las muestras fueron obtenidas en un predio localizado en el poblado Pedro C. Colorado, del municipio de Cárdenas, Tabasco, tal como se indica en la figura 1.



Fig. 1. Localización de la zona de muestreo (fuente: GoogleEarth y elaboración propia).

En el área de estudio se encontraron señalamientos que indicaban ductos de Pemex. Para la delimitación del sitio de muestreo se utilizó un equipo GPS 60 marca GARMIN y se buscó que la referencia no fuese mayor a ± 5 m, las coordenadas de ubicación de la toma de muestra fue el punto UTM 15Q 430594.25 m E y 1992186.66 m N a 15 msnm. Se tomaron aproximadamente 10 kg de suelo; en el laboratorio la muestra se secó al aire libre por una semana, posteriormente se molió y tamizó. Este suelo se contaminó con petróleo crudo pesado de Texistepec, Veracruz a una concentración de 45 000 mg-del hidrocarburo por 1 kg de suelo. Las características de este último están reportadas por Marín-García *et al* (2016) y Morales-Bautista *et al* (2017), el periodo de intemperización fue durante ocho meses en el municipio de Cunduacán, Tabasco. La metodología empleada para determinar la caracterización del suelo testigo e intemperizado, así como sus referencias normativas se enlistan a continuación.

2.1 Textura

Se pesaron 50 g de suelo en un vaso de precipitado de 50 mL, posteriormente se agitó en una licuadora común con 500 mL de agua destilada hasta homogenizar bien el suelo. Se agregó a una probeta de 1000 mL y seguidamente se aforó completamente. Se dejó reposar durante 2 minutos, se midió la temperatura (T) y se sumergió el densímetro de Bouyoucos para medir la densidad y se anotaron los resultados. Se dejó reposar durante 2 horas, se efectuó la segunda lectura, el análisis de textura se realizó por triplicado para obtener resultados exactos. Para conocer los porcentajes de arcilla, arena y limo se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$R + L = (byc_{2min} + crcT)*2 \quad (1)$$

$$\% R = (byc_{2h} + crcT)*2 \quad (2)$$

$$\% A = 100 - R + L \quad (3)$$

$$\% L = 100 - (A + R) \quad (4)$$

Donde: % R: porcentaje de arcilla; %A: porcentaje de arena; %L: porcentaje de limo; by_{C40s} y by_{C2h} corresponden respectivamente a las lecturas realizadas con el densímetro de Bouyoucos a los 2 minutos y a las 2 h después de terminada la dispersión, $crcT$ es la corrección realizada por temperatura citada en la norma [4].

Después de haber realizado los cálculos de los porcentajes de arcilla, arena y limo, se determinó la textura correspondiente con el triángulo de texturas.

2.2 Densidad aparente (DA)

Para la determinación de la densidad aparente, se pesó una probeta de 10 mL y se agregó el suelo a estudiar hasta aforar. Se elevó a una altura de 5 cm y se golpeó la base suavemente con la mesa tres veces, el volumen desplazado se corrigió agregando más suelo hasta el aforo y se prosiguió a pesar.

Con esto se obtuvieron las siguientes variables: Peso lleno (PLL), peso vacío (PV) y peso suelo (PS), consideradas para el cálculo de la densidad aparente de acuerdo con las ecuaciones (5) y (6):

$$PS = PLL - PV \quad (5)$$

$$DA = PS / 10 \text{ cm}^3 \quad (6)$$

Los resultados obtenidos se compararon con la tabla 1 para la interpretación correspondiente.

Tipos de suelo	g/cm^3
Orgánicos y volcánicos	Menor de 1.00
Minerales	-----
Arcillosos	1.0-1.19
Francosos	1.20-1.32
arenosos	Mayor a 1.32

Tabla 1. Análisis de Densidad Aparente. Fuente: [4]

2.3 Densidad real (DR)

En un picnómetro limpio y seco se colocaron 5 g de suelo, se pesó y se agregó agua destilada hervida y fría hasta la mitad del volumen del recipiente el cual se colocó en un desecador al vacío por 15 minutos para eliminar todo el aire retenido. Después de 30 minutos de reposo, el picnómetro se sacó del desecador, se llenó hasta el aforo con agua destilada hervida y fría, se tomó la temperatura y se pesó. Adicionalmente el picnómetro limpio se aforó con agua hervida y fría, se tomó la temperatura y se pesó. Para los cálculos se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$V_s = W_d / d_a \quad (7)$$

$$DR = P_s / V_s \quad (8)$$

Donde: V_s corresponde al volumen de las partículas de suelo; W_d corresponde al peso del agua desplazado por las partículas de suelo; d_a corresponde a la densidad del agua corregida por la temperatura; P_s corresponde al peso de la alícuota de suelo empleada.

2.4 Porcentaje de Porosidad (% P)

La porosidad del suelo, se determinó tomando los resultados obtenidos de la densidad aparente y de la densidad real, utilizando la ecuación (9):

$$\%P = [(DR - DA)/DR] * 100 \quad (9)$$

Los resultados obtenidos se interpretaron de acuerdo con los datos de la tabla 2.

Descripción	%
Muy reducido	<25
Reducido	25 – 30
Medianamente reducido	36 – 45
Medio	46 – 50
Medianamente amplio	51 – 55
Amplio	56 – 60
Muy amplio	> 60

Tabla 2. Análisis de % de porosidad. Fuente: [4]

2.5 Medición de pH (-log de la concentración de iones H⁺)

Se pesó 1 g de suelo, se colocó en un vaso de precipitado de 25 mL. Se agregaron 10 mL de agua destilada, posteriormente se agitó durante 1 minuto y se dejó reposar por 5 minutos, este procedimiento se repitió tres veces. Se calibró el potenciómetro con las disoluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10. Pasado el tiempo se midió el pH con el potenciómetro y la muestra se dejó reposar durante un día, para luego medir la conductividad eléctrica. Los resultados obtenidos se compararon con la tabla 3.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	<5
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Tabla 3. Clasificación de pH. Fuente: [4]

2.6 Conductividad eléctrica (CE)

Las muestras empleadas en la determinación del pH se dejaron reposar durante 24 horas a temperatura ambiente para posteriormente filtrarlas al vacío, el residuo se lavó con 30 mL de agua destilada y se procedió a determinar la conductividad eléctrica al filtrado con ayuda de un conductímetro. Los resultados se interpretaron de acuerdo con los datos de la tabla 4.

CE (ds m ⁻¹)	Efectos
<1.0	Efectos despreciables de salinidad
1.1- 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 – 4.0	Moderadamente salino
4.1 – 8.0	Suelo salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
>16	Muy fuertemente salino

Tabla 4. Interpretación de conductividad eléctrica. Fuente: [4]

2.7 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se pesaron 5 g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitado de 50 mL, se procedió a saturar el suelo con un poco de agua destilada, agitando la mezcla con una varilla de vidrio. Al producto obtenido se le agregaron 30 mL de acetato de sodio 0.1 M. Se filtró al vacío, y posteriormente se midió el pH con ayuda de un potenciómetro. Si el pH resultante fue básico, se le neutralizó con ácido clorhídrico 0.1M y si el pH resultante fue ácido se neutralizó con hidróxido de sodio 0.1M, hasta alcanzar un pH igual a 7.0; el volumen de ácido o base gastado en la neutralización se utilizó en la ecuación (10) para determinar la CIC.

$$\text{CIC} = (V_g) (M) (100) \quad (10)$$

Donde: V_g corresponde al volumen de ácido clorhídrico o hidróxido de sodio necesario para la neutralización y M corresponde a la molaridad del ácido clorhídrico o hidróxido de sodio.

Los resultados se interpretaron de acuerdo con la información presentada en la tabla 5.

Clase	CIC (Cmol (+) Kg ⁻¹)
Muy alta	>40
Alta	25 – 40
Media	15 – 25
Baja	5 – 15
Muy baja	<5

Tabla 5. Interpretación de CIC. Fuente: [4]

2.8 Capacidad de campo (CC)

Se utilizaron vasos de unicel, con orificio en la base y previamente pesados. Se cortó papel filtro de acuerdo al diámetro del fondo del vaso y se colocaron sobre la base interna del mismo. Se agregaron 10 g de la muestra de suelo en el vaso y se añadieron 20 mL de agua para saturarlo.

Los vasos se colocaron en una charola dejando espacio entre la base y los vasos de unicel y se añadió agua en la misma hasta alcanzar una altura de 2 cm. Se dejó reposar durante dos horas, pasado este tiempo, se retiraron los vasos de la charola, dejándolos escurrir por 30 minutos para luego pesarlos. Se colocaron las muestras en una estufa a una temperatura de 60°C durante 48 horas. Después se volvió a pesar para calcular la diferencia. Con esto se obtuvieron variables de peso húmedo y peso seco que se sustituyeron en la ecuación (11) para determinar la capacidad de campo.

$$\text{CC} = [(P_H - P_s) / P_H] * 100, \quad (11)$$

Donde: P_H corresponde al peso húmedo y P_s corresponde al peso seco.

Los resultados obtenidos se compararon para efectos de interpretación con los datos reportados en la tabla 6.

Capacidad de Campo (%)	Observaciones
Menor de 7	Muy baja
7 – 12	Baja
12 – 20	Media baja
20 – 30	Media
Mayor de 30	Elevado

Tabla 6. Análisis de la Capacidad de Campo. Fuente: [6]

2.9 Extracción continua con equipo Soxhlet

Este método consiste en extraer hidrocarburos totales de petróleo (HTP) contenidos en el suelo, mediante la acción de un disolvente orgánico volátil apropiado. El análisis se realizó con el método gravimétrico utilizando el equipo Soxhlet con la modificación de Pons-Jiménez *et al.* (2011) con el tiempo de reflujo (6 h) y la temperatura (75 °C) empleando como disolvente el diclorometano [7].

En un cartucho de celulosa se agregaron 5 g de la muestra de suelo contaminado y se colocó dentro del equipo Soxhlet. Luego, en un matraz de bola con fondo plano, se colocaron 200 mL del disolvente. Se mantuvo un reflujo por 6 horas a una temperatura de 75 °C. El disolvente con el hidrocarburo diluido se recuperó en matraces con ayuda de un rotavapor. Por diferencia de peso de los matraces (a peso constante) se determinó la masa del hidrocarburo. Después la muestra se pesó y se cuantificó el HTP en mg de hidrocarburo extraído/kg de muestra de suelo.

3. Resultados y discusiones

Los resultados se orientaron en la comparación de valores obtenidos de cada parámetro entre los suelos con concentraciones de petróleo crudo pesado y los mismos sin contaminar. El efecto de la concentración del hidrocarburo usado, se reflejó con variaciones en los valores obtenidos de algunos parámetros. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros en los que se observaron variaciones importantes con respecto a las condiciones de los suelos testigos y los suelos intemperizados.

3.1 Textura

Se determinó la textura de las muestras de suelos intemperizados y dichos resultados se compararon con la de los suelos testigos.

	% R	% A	% L	Interpretación	Tipo de terreno
Suelo testigo	29	48	23	Franco-Arcillo-Arenosa	Medio
Suelo intemperizado	2.5	97.5	0	Arenosa	Ligero

Tabla 7. Resultados del análisis de textura

Donde: %R= porcentaje de arcilla, % A= porcentaje de arena; %L= porcentaje de limo.

La textura de los tres suelos registró cambios sustanciales en las proporciones de arena, arcilla y limo (tabla 7). La textura del suelo testigo de Cárdenas es franco arcillo arenoso, y la del suelo intemperizado cambió arenosa, esto debido a la disminución de la arcilla de 29 a 2.5 % y en consecuencia el aumento de arena de 48 a 97.5 %, mientras que el limo disminuyó totalmente. Los datos obtenidos de cada tipo de suelo coinciden con los de Martínez *et al.* (2001), ya que estos autores mencionan que a medida que aumenta la concentración del hidrocarburo, específicamente en suelos arcillosos, la fracción de arena aumentará, y aunado a las actividades antropogénicas por el tiempo intemperizado [8].

3.2 Densidad aparente

Los resultados obtenidos de la densidad aparente se muestran en la tabla 8:

	Densidad aparente (g/cm ³)
Suelo testigo:	0.98
Suelo intemperizado:	1.11

Tabla 8. Resultados del análisis de DA.

La densidad aparente juega un papel muy importante en la compactación del suelo, Zavala *et al.* (2001) menciona que los suelos con alta densidad aparente presentan problemas de porosidad y el aumento en este parámetro también impide la aeración e impide que la planta pueda anclarse a través de raíces profundas [9]. Las variaciones de densidad aparente fueron mínimas, y esto se debe a que en la determinación por el método de la probeta se considera a las partículas del suelo tanto como al aire en los espacios porosos [10].

3.3 Densidad real

En la siguiente tabla 9 se muestran los resultados de DR de los suelos analizados.

	Densidad real (g/cm ³)
Suelo testigo:	1.29
Suelo intemperizado:	0.111

Tabla 9. Resultados del análisis de DR.

Puede apreciarse la variación de la densidad real de cada tipo de suelo con respecto a la presencia del crudo pesado. Para los suelos la variación del valor de la DR no descendió mucho de su valor normal. Es importante mencionar que, durante la determinación de la DR, se observó masa suspendida, que son aglomeraciones debido a la presencia del hidrocarburo en el suelo.

3.4 Porcentaje de porosidad

Los porcentajes de porosidad en los suelos testigo e intemperizado de cada uno, se muestran en la tabla 10.

	Porcentaje de porosidad
Suelo testigo:	23.53
Suelo intemperizado:	-899.12

Tabla 10. Resultados del porcentaje de porosidad.

La porosidad de los suelos intemperizados presentó valores negativos; debido a que la densidad real es menor a la densidad aparente. Por lo que se considera que la presencia del hidrocarburo origina repelencia al agua [13]. Esto se origina a partir del efecto inesperado en la disminución de la densidad real (tabla 9), ya que existe una relación matemática entre ambos parámetros. Como la porosidad se determina a partir de los datos de la densidad real y la densidad aparente, si alguno de estos datos aumenta o disminuyen, se reflejará directamente en la porosidad. De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, se podría interpretar como una porosidad muy reducida.

3.5 Medición de pH

En la tabla 11 se muestra una comparación de los datos de pH de los suelos testigos y los suelos intemperizados.

	pH	Interpretación
Suelo testigo:	5.48 ± 0.16	Moderadamente ácido
Suelo intemperizado:	6.83 ± 0.03	Neutro

Tabla 11. Valores de pH en los suelos analizados.

Se puede apreciar que los valores de pH registrados, prácticamente tiene una variación en presencia del hidrocarburo, por lo que los suelos son todos ellos neutros (tabla 11), lo cual se considera que en estos suelos las fracciones de petróleo son medias [11]. Analizando cada tipo de suelos por separados, la tendencia del impacto en el suelo de Cárdenas, su pH cambio desde 5.48 en el suelo testigo, considerado un suelo moderadamente ácido, hasta un pH de 6.83 en el suelo intemperizado.

3.6 Conductividad eléctrica

En la tabla 12 se muestran los resultados de conductividad eléctrica en los suelos analizados.

	CE (dS m ⁻¹)	Interpretación
Suelo testigo:	2.080 ± 0.010	Moderadamente salino
Suelo intemperizado:	0.087 ± 0.012	Efectos despreciables de salinidad

Tabla 12. Resultados de conductividad eléctrica.

Comparando los resultados obtenidos del análisis de los suelos intemperizados con los suelos testigos, su valor disminuyó en presencia de hidrocarburos, esto demuestra que en presencia del crudo pesado disminuyó la cantidad de sales presente en el suelo testigo [11].

3.7 Capacidad de intercambio catiónico

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos de CIC de los dos suelos analizados.

	CIC (Cmol kg ⁻¹)
Suelo testigo:	2.5 ± 0.87
Suelo intemperizado:	9.0 ± 0.37

Tabla 13. Resultados del análisis de Capacidad de Intercambio Catiónico.

La tabla anterior, muestra una variación en los valores de capacidad de intercambio catiónico, ya que en los tres suelos se nota el cambio que tuvieron debido al crudo pesado. La CIC se considera baja al presentar valores entre 5 y 15 Cmol Kg⁻¹ aunque en los resultados del suelo testigo se reportan CIC muy bajas y altas (Tabla 13) [6]. También, el efecto del hidrocarburo fue diferente, estos presentaban una capacidad muy baja, y tendían a ser suelos poco fértiles, con poca disponibilidad de nutrientes. En presencia del crudo, estos suelos mostraron un efecto de adsorción del crudo pesado, y aumentaron su CIC el cual contiene altos porcentajes de sales [3].

3.8 Capacidad de campo

En la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos de los dos suelos analizados sobre la capacidad de campo.

	CC (%)	Interpretación
Suelo testigo:	46.52 ± 1.47	Elevado
Suelo intemperizado:	56.72 ± 0.15	Elevado

Tabla 14. Resultados del análisis de la Capacidad de Campo.

Se observa que todos los suelos intemperizados presentan una capacidad de campo elevada. Los cambios más notables se dieron en el suelo intemperizado, esto se debe a que existe más captación de agua en la capa superficial del suelo, pero esta puede ser evaporada ya que no es retenida en toda la matriz de suelo [15].

3.9. HTP

Los resultados de la concentración de hidrocarburos HTP en suelo testigo fue de 1000 mg/kg que equivale a los ácidos húmicos y parte de la materia orgánica presente en suelo después de 8 meses de intemperizado, en el caso de la concentración HTP encontrada en suelo después de ocho meses fue de 40,000 mg/kg, restando la obtenida para suelo testigo quedo como 39,000 mg/kg ; debido a que este se contaminó a 45,000 mg/kg, existe una diferencia de 6,000 mg/kg que está asociada a los fenómenos de

degradación, lixiviación, transformación o evaporación del 11%, lo cual esté reportada por las condiciones tropicales para el estado de Tabasco [16].

4. Conclusiones

Los efectos por intemperización después de ocho meses sobre las propiedades físicas y químicas de suelos aluviales contaminados con petróleo crudo pesado, dependen de las condiciones ambientales. Por un lado, después de intemperizar se favoreció la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica y la capacidad de campo, lo que quiere decir que este suelo asimila con mayor facilidad al hidrocarburo, ya que no se observan cambios en el suelo intemperizado con respecto al suelo testigo. El crudo pesado aumentó la CIC del suelo, lo cual se considera que el hidrocarburo no impide que los cationes salgan, al contrario, este hidrocarburo logró beneficiar a este suelo, ya que la CIC del suelo intemperizado aumentó más del doble de su capacidad inicial. Con respecto a la densidad aparente el efecto fue mayor en este suelo, debido a que aumentó el valor de su DA, haciendo muy difícil que las plantas puedan desarrollarse debidamente, en caso de que el suelo sea de vocación agrícola. En cambio, en la propiedad de CC, no fue favorable para este suelo, ya que ayudó a compactar el suelo y no permitió el almacenaje de agua. También, los efectos que el crudo pesado presentó, fue que existe repelencia de agua en presencia de este, los efectos no favorecieron mucho en estos dos tipos de suelo, la presencia de este crudo hace que el suelo sea menos fértil.

En la extracción Soxhlet, se logró obtener una máxima cuantificación de hidrocarburos totales del petróleo en el suelo de Cárdenas, las concentraciones de los compuestos derivados del petróleo obtenidos variaron según el tipo de suelo que se analizó y también de sus propiedades físicas y químicas comparando con la investigación de Pons-Jiménez *et al.*, 2011. Finalmente, con los resultados obtenidos se sugiere realizar una evaluación con diferentes concentraciones de hidrocarburos, tiempo o épocas del año, para encontrar un límite de concentración según el tipo de suelo y los cambios de los componentes de los hidrocarburos.

5. Referencias

- [1] INEGI. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). En línea <datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/TAB_ANUARIO_PDF.pdf>. Recuperado el 12/10/2018.
- [2] Palma-López D. J., Domínguez, C., Moreno C.E., y Rincón-Ramírez, J.A. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-*ISPROTAB-FUPROTAB*. Villahermosa, Tabasco, México.
- [3] Adams, R. H., Cruz, J. Z., & García, F. M. Concentración residual de hidrocarburos en suelos del trópico II: afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia*, 33(7), 483-489. (2008).
- [4] NOM-021-SEMARNAT-2000. *Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación. México. (2002).
- [5] NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012. *Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación*. Diario Oficial de la Federación. México. (2013).

- [6] Garrido Valero, M. S. *Interpretación de análisis de suelos (No. 5)*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. (1993).
- [7] Pons-Jiménez, M., Guerrero-Peña, A., Zavala-Cruz, J., & Alarcón, A. Extracción de hidrocarburos y compuestos derivados del petróleo en suelos con características físicas y químicas diferentes. *Universidad y ciencia*, 27(1), 1-15. (2011).
- [8] Martínez M., V. E., y López S. F. Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra*, 19, 9-17. (2001).
- [9] Zavala-Cruz, J., Gavi-Reyes, F., Adams-Schroeder, R.H., Ferrera-Cerrato, R., Palma-López, D., Vaquera-Huerta, H., & Domínguez-Esquivel, J.M. Derrames de petróleo en suelos y adaptación de pastos tropicales en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco, México. *Terra Latinoamérica*, 23(3), 293-302. (2005).
- [10] Brady N.C. *The nature and properties of soils*. Macmillan. New York, NY. (1990).
- [11] Beltrán P. O. I. y Vela C. Gilberto. *Suelos contaminados con hidrocarburos y su efecto en la formación de agregados del suelo en la Venta, Tabasco*. Universidad Autónoma Metropolitana. México. (2009).
- [12] Martínez-Chávez, C. G., Morales-Bautista, C. M., & Alor-Chávez, M. D. J. Extracción de hidrocarburo pesado en suelo arenoso. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(1), 9-15. (2017).
- [13] Marín-García, D. C., Adams, R. H., & Hernández-Barajas, R. Effect of crude petroleum on water repellency in a clayey alluvial soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(1), 55-64. (2016).
- [14] Morales-Bautista, C., Méndez-Olán, C., Hernández-Jiménez, G., & Adams-Schroeder, R. Normalization of calibration curves and their application in the determination of total oil hydrocarbons (HTP). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 41(3), 116-124. (2018).
- [15] Adams, R. H., Olán-Castro, D., Guzmán-Osorio, F. J., & Díaz-Ramírez, I. J. Relationship between geomorphology and contamination with weathered hydrocarbons in an old river levee/marsh association. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(4), 527-538. (2009).
- [16] Olgúin, E. J., Hernández, M. E., & Sánchez-Galván, G. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 139-154. (2007).