

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO EN DOS TIPOS DE SUELOS

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE CONCENTRATIONS OF TOTAL HYDROCARBONS OF THE OIL IN TWO KINDS OF SOILS

Alegría-Hernández B.A.¹, Morales-Bautista C. M.^{1*}, Torres-Sánchez S. A.², Alor-Chávez M. de J.¹

¹Grupo de Investigación en Ciencias de la Tierra. División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1. Col. Esmeralda CP. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Dr. Manuel Nava No. 8, Col. Zona Universitaria Poniente, C.P. 78290, San Luis Potosí, S. L. P., México

*carlos.morales@ujat.mx

RESUMEN

La contaminación generada por los derrames de petróleo crudo es un problema alarmante para el recurso suelo, y el grado de contaminación que puede existir afectaría sus propiedades no solo por la concentración del contaminante tal como lo especifica la legislación ambiental si no también el tipo de hidrocarburo como son la fracción pesada, extra pesada y media. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los cambios en las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) en dos suelos del estado de Tabasco clasificados como Aluvial y Lomerío, los

cuales fueron contaminados experimentalmente con petróleo crudo pesado a diferentes concentraciones 2800, 5400, 10800 y 21600 mg·kg⁻¹, respectivamente; posteriormente fueron sometidos a intemperización durante tres meses. La metodología de estudio se realizó con base a la Norma Oficial NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Los resultados mostraron que el suelo Aluvial no presentó cambios significativos, sin embargo el de Lomerío muestra variaciones entre el suelo testigo y suelo contaminado tanto en derrame fresco como

intemperizado, al compararlos con estudios similares se estableció que estos efectos pueden estar relacionados con las características geomorfológicas de cada lugar, específicamente con el tipo de arcilla, por lo que al no considerar las propiedades texturales en una evaluación ambiental en materia de suelos contaminados con hidrocarburos pueden generar incertidumbres en los diagnósticos y, por ende, se puede establecer una inadecuada remediación del sitio que impactaría en la recuperación de la vocación de uso agrícola.

Palabras clave: Fertilidad, Edafología, Vocación de uso, propiedades texturales.

ABSTRACT

The pollution generated by the spills of crude oil is an alarming problem for the soil resource, and the degree of contamination that may exist would affect its properties not only by the concentration of the pollutant as specified by environmental legislation, but also by the type of hydrocarbon as they are

the heavy fraction, extra heavy and average.

The objective of this research was to evaluate the changes in the concentrations of total petroleum hydrocarbons (HTP) in two soils of the state of Tabasco classified as Alluvial and Lomerío, which were experimentally contaminated with heavy crude oil at different concentrations 2800, 5400, 10800 and 21600 mg·kg⁻¹, respectively; subsequently they were subjected to weathering for three months. The study methodology was based on the Official Standard NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 and NOM-021-SEMARNAT-2000. The results showed that the alluvial soil did not present significant changes, however in de Lomerío it shows variations between the control soil and contaminated soil in both fresh and weathering spills, when comparing them with similar studies it was established that these effects may be related to the geomorphological characteristics from each location, specifically with the type of day. When not considering the textural

properties in an environmental assessment of soils contaminated with hydrocarbons, uncertainties in the diagnoses can be generated and, therefore, an inadequate remediation of the site can be established that would impact the recovery of the vocation of agricultural use.

Keywords: Fertility, Edaphology, Vocation of use, textural properties.

INTRODUCCIÓN

En México, desde 2013 que se promulgó la reforma de ley en materia energética, se han realizado asignaciones en las distintas rondas de la Agencia Nacional de Hidrocarburos y otras por la nueva administración federal, se espera que en los próximos años se incremente la inversión en la industria petrolera que beneficiará en gran medida los estados del sureste, entre ellos Tabasco, considerado como uno de los mayores productores de petróleo crudo y gas natural a nivel nacional [1]. No obstante, algunos reportes mencionan sobre los

posibles derrames de hidrocarburos que se pueden presentar en las actividades petroleras, en consecuencia, se han observado impactos negativos al medio ambiente que han afectado, principalmente a cuerpos de agua y suelo [2]. En este sentido, existe evidencia que relacionan a la industria de la química básica, petroquímica y de refinación del petróleo con la contaminación por residuos peligrosos difíciles de cuantificar debido a que las determinaciones analíticas son limitadas cuando se trata de hidrocarburos intemperizados [3]. De manera general, se ha observado que uno de los factores que causan mayores errores son los métodos de extracción, algunos reportes mencionan que los tiempos de tratamiento pueden variar según el tipo de suelo, también que el tipo de solvente usado en las extracciones dependen directamente de las características físicas y químicas de cada suelo en particular [4 y 5]. Lo anterior crea una brecha en el conocimiento ya que la

pasada reforma energética establece que deberían realizarse estudios básicos en zonas petroleras en donde se reactivarán, extenderán o se crearán nuevas instalaciones. Estos análisis se realizan con base en los lineamientos de las guías de Línea Base Ambiental. Muchos autores han observado que el comportamiento del hidrocarburo en suelo depende principalmente de tres factores: Primero, el tipo de hidrocarburos, segundo, el tipo de suelo y, tercero, las condiciones ambientales [6]. Algunas investigaciones añaden que también deben de considerarse la intemperización ya que estos favorecen la formación de compuestos polares asociados principalmente a la repelencia al agua [7]. Por otra parte, mencionan que el petróleo crudo es una mezcla de hidrocarburos y otros compuestos que contienen cantidades variables, que pueden variar ampliamente en volatilidad, gravedad específica y viscosidad [8]. Algunos estudios consideran que un parámetro de respuesta para evaluar

hidrocarburos son los °API [9], esta medida se encuentra relacionada con componentes de fracciones polares y alifáticas, las primeras relacionados con efectos sobre las propiedades de los suelos y, la segundas, con la toxicidad al medio [10]. Debido a lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los cambios en las concentraciones de hidrocarburos totales el petróleo (HTP) en dos suelos del estado de Tabasco clasificados como Aluvial y lomerío contaminados con petróleo crudo pesado para determinar si la concentración varía al ser intemperizado y, del mismo modo, especificar si existen diferencias en las concentraciones según el tipo de suelo.

METODOLOGIA

Se establecieron dos áreas de estudios, la primera se situó en el municipio de Jalpa de Méndez, la zona se encuentra en el poblado Chacalapa en los puntos (N 18°,08',486". W 93° 071',16.3", ±10). Se seleccionó esta área puesto que a sus alrededores se

encuentran pozos petroleros que pertenecen a los activos Samaria-Luna y Bellota-Jujo, a este suelo se le identificó como de zona Aluvial. La segunda zona, se localizó en el municipio de Macuspana, Col. Francisco Villa, Cd. Pemex, (N 17°, 51',48.9". W 092°,29',032"', ±8) área cercana al activo petrolero Macuspana-Muspac y se clasificó como suelo lomerío. Se realizó un muestreo dirigido, asistido por palas, picos y cava hoyos se tomaron muestras desde el primer horizonte hasta el manto freático. Se colectó aproximadamente 10 kg de cada suelo, se etiquetaron y preservaron en bolsas negras; posteriormente fueron trasladadas al laboratorio para determinar los parámetros físicos y químicos según la NOM-021-SEMARNAT-2000 [11]. Los parámetros que se determinaron fueron % Materia Orgánica (MO), % Porosidad (PO), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Densidad Aparente (DA), Densidad

Real (DR), Capacidad de Campo (CC). Del mismo modo, se tomaron muestras de petróleo crudo del campo Sánchez Magallanes situado en el Activo Cinco Presidentes, se determinó °API según el método ASTM D-287 con las modificaciones [12]. Los suelos testigos fueron molidos y tamizados con una malla no. 10 y posteriormente contaminados con el crudo a diferentes concentraciones (**tabla 1**). Finalmente, cada muestra se analizó mediante la NOM-021-SEMARNAT-2000 y NOM-138-SEMARNAT-SSA1-201 [13 y 14]. Las consideraciones de intemperización fueron simular un derrame fresco (0 días) y uno no reciente (tres meses), las condiciones de estas últimas fueron de lluvia y temperatura de los meses de enero a abril del año 2018. Se evaluaron los cambios a tres meses de dos propiedades de cada suelo contaminado comparándolas con el testigo. Los resultados fueron evaluados mediante un análisis ANOVA para determinar diferencias significativas.

Tabla 1. Diseño experimental

Testigo	Suelo		
	R1	R2	R3
2800 mg·kg ⁻¹	R1	R2	R3
5400 mg·kg ⁻¹	R1	R2	R3
10800 mg·kg ⁻¹	R1	R2	R3
21600 mg·kg ⁻¹	R1	R2	R3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la **tabla 2**, se presentan los resultados de los suelos testigos.

Las referencias de taxonomía del suelo de la organización para el fomento de la agricultura y la alimentación FAO [14] y los estudios realizados en la región tabasqueña, se estableció al suelo aluvial como un

vertisol debido a la cantidad de materia orgánica encontrada y el alto porcentaje en arcilla, también en campo se observaron tres horizontes con textura altamente arcillosa y con moteas color naranja [15]. En cuanto al suelo de lomerío, la literatura lo refieren como un Luvisol, esto por los tres horizontes encontrados, la textura altamente arcillo-limosa y los colores de la base de suelo fue rojiza con moteas color amarillas [16 y 17]. Por otro lado, en la **tabla 3** se muestran las condiciones ambientales a los que fueron expuestos los suelos durante el tiempo de intemperización.

Tabla 2. Propiedades Físicas y Químicas de suelos testigos.

Suelo	%MO	CIC Cmol· kg ⁻¹	pH	CE ds·m ⁻¹	DA g·cm ⁻³	DR g·cm ⁻³	%Po	CC	Textura		
									%R	%A	%L
Aluvial	10.6	4.4	6.9	1.17	0.93	1.53	33.33	43.74	73.8	12	14
Lomerío	3.47	0.6	5.9	1.43	1.03	1.62	34.44	35.47	54.2	3.2	42.4

Tabla 3. Promedio de lluvias y temperaturas registradas (enero-abril 2018).

Condiciones ambientales periodo de intemperización (promedio).		
Mes	T °C	Precipitaciones mm
1	25	52
2	29	1
3	29	1.29

Para los °API del petróleo crudo, en la **figura 1**, se presenta la curva de regresión lineal y normalización para determinar dicho parámetro a valores estándares. El crudo utilizado tiene °API de 17.45 considerado como pesado.

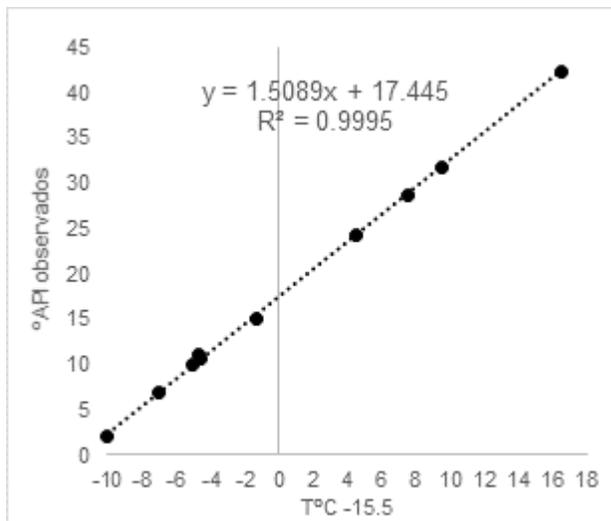


Figura 1. Determinación de °API de petróleo crudo.

Del mismo modo, en la **figura 2** se exponen las concentraciones encontradas en los suelos intemperizados.

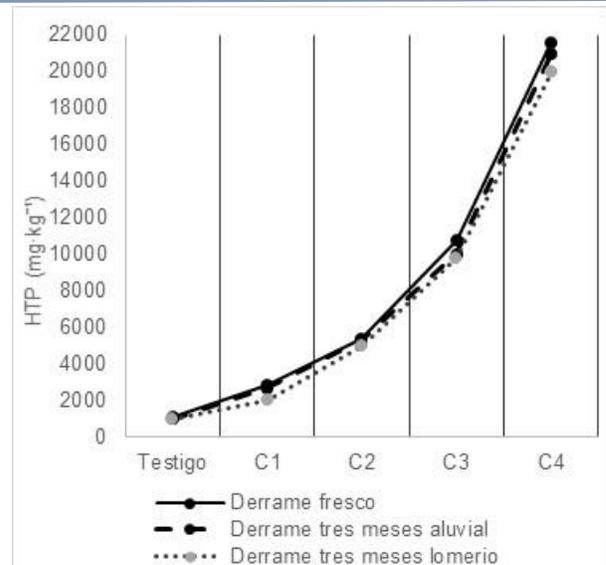


Figura 2. HTP observados a tres meses en suelos contaminados.

De la figura 2, aunque se observa una disminución en ambas muestras intemperizadas (5% aluvial y 10% lomerío) no se encontraron diferencias entre los suelos con derrame fresco, el suelo aluvial no muestra contrastes en derrame a tres meses, en el caso del suelo lomerío presenta diferencias significativas con respecto al suelo testigo. Algunos autores discutieron que los suelos con texturas arcillosas suelen almacenar mayormente los hidrocarburos y presentan mayores afectaciones a largo plazo con respecto a los que presentan textura arenosa [18]. Sin

embargo, en el presente trabajo se tienen dos suelos con textura arcillosa, pero de diferentes zonas del estado de Tabasco, en este caso, las características geoquímicas de los suelos juegan un papel importante, lo que establece que la zona aluvial preferentemente alberga una alta proporción de arcillas expansivas que se hinchan al estar en contacto con el agua y a su vez se contraen al desecarse, esto dependiendo de la época del año [19].

Se evaluó este tipo de suelo y encontraron efectos principalmente en propiedades texturales como capacidad de campo y densidades [9] y en el caso de del suelo lomerío presentan baja porosidad [20 y 21]. Considerando lo anterior se puede establecer que la disponibilidad, lixiviación, evaporación y degradación de los hidrocarburos en el suelo, dependen de la clasificación de este último. En el caso de los diagnósticos ambientales de pasivos, una evaluación a largo plazo podría determinar cuál sería la cinética de los cambios de HTP

en el suelo con respecto a la clasificación edafológica. Por otro lado, se evaluaron los cambios en las propiedades físicas tales como CC y DA en los suelos intemperizados comparado con el suelo recién contaminado y su testigo sin contaminar, con el fin de determinar si este factor cambia con respecto al tiempo. En **figura 3** y **4**, se muestran la evaluación de DA de los suelos contaminados, aluvial y lomerío respectivamente.

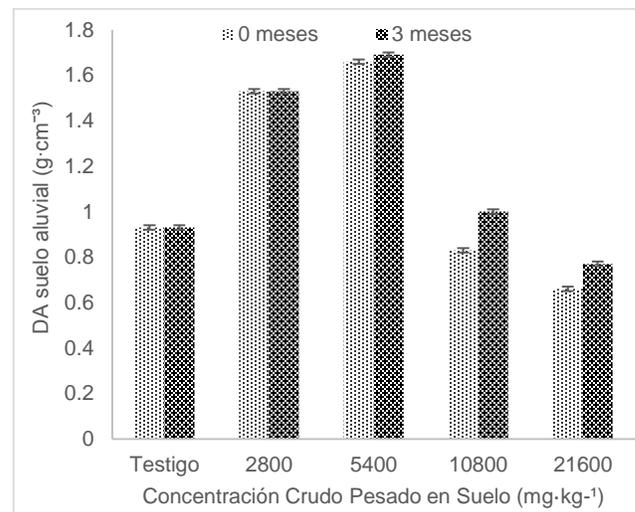


Figura 3. DA observada en muestras suelo aluvial contaminado con crudo pesado a cero y tres meses.

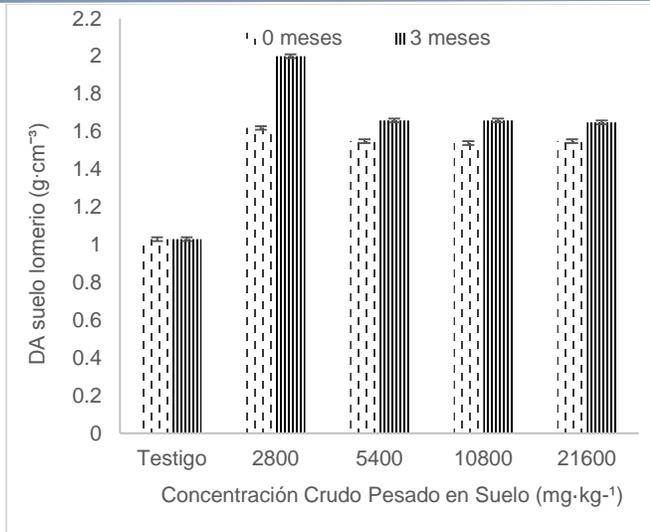


Figura 4. DA observada en muestras suelo lomerío contaminado con crudo pesado a cero y tres meses.

Uno de los parámetros más importantes en la determinación de la calidad del suelo para fines de uso agropecuario es la DA, esta permite conocer el nivel de compactación de suelo que se encuentra relacionado directamente con la respiración, el potencial hídrico y el anclaje de las plantas. En un primer panorama se observan diferencias en los comportamientos de ambos suelos, en lo único que coinciden es que la DA aumenta después de tres meses. Sin embargo, en las muestras de suelo aluvial se observa que las concentraciones menores a 5400 mg·kg⁻¹ esta variable aumenta y es de entenderse

que el hidrocarburo se deposita en los poros, al ir acumulándose en los mismos se supondría que al aumentar la concentración aumentaría la DA, contrario a esto, en las concentraciones a partir de 10800 mg·kg⁻¹ esta propiedad baja. Realizando un análisis de la prueba de ensayo, para determinar DA se emplea el método de la probeta, en ella se tara a 10 ml y se hace el cálculo de la masa por diferencia de peso y posterior determinación de DA mediante la fórmula general, considerando el volumen de la probeta. La Hipótesis planteada es que el suelo aluvial posee grandes poros que pueden contener hidrocarburo a altas concentraciones sin llegar a saturarlo por lo que la relación suelo y la densidad del hidrocarburo causa errores en la determinación ya que la densidad del crudo es menor a la del suelo por unidad de volumen, este error se ve reflejado a altas concentraciones. En el caso del suelo de lomerío, no se observa tal fenómeno en el entendido que el tamaño de poro es menor

y existe saturación desde concentraciones muy bajas. Sin embargo, dado que la densidad de los °API está en relación con la densidad específica, habría que evaluar si este comportamiento se mantiene para crudos medianos o más pesados. En cuanto al aumento de la DA por intemperización los resultados coinciden con los observados [22]. Para conocer los efectos sobre el potencial hídrico, se evaluó la capacidad de campo (CC) de las muestras contaminadas en fresco e intemperizadas a tres meses, los resultados se muestran en la **figura 5**.

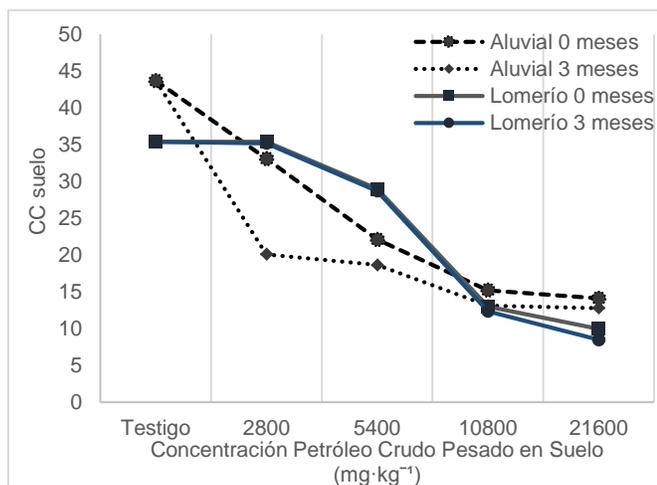


Figura 5. Cambios en la CC de suelos contaminados frescos e intemperizados a tres meses.

De la figura 5, se observa que ambos suelos disminuyen la capacidad de campo conforme aumenta la concentración de petróleo crudo pesado, sin embargo, en el suelo aluvial existe una disminución en esta propiedad después de tres meses, en cambio el suelo de lomerío no presenta ninguna modificación. Algunos trabajos reportados coinciden que en los suelos en los que se retiene mayor contenido de hidrocarburos a través del tiempo presentan repelencia al agua debido a la conversión de fracciones medias a polares, en este sentido las concentraciones de los componentes polares aumentan en el suelo aluvial, en el caso contrario al suelo lomerío se observa una disminución [9 y 23].

CONCLUSIONES

Después de evaluar los suelos entre un derrame simulado en fresco y otro a tres meses, se concluye que el tipo de suelo es un determinante en la degradación, conversión o lixiviación de los hidrocarburos

que puede estar intrínsecamente relacionadas con los efectos sobre las propiedades como la retención hídrica y la compactación del suelo. Es importante mencionar que solo se evaluó suelo con texturas similares pero que provienen de distintas zonas del estado de Tabasco, así como petróleo crudo pesado, por lo que se recomienda aumentar los meses de evaluación para observar los cambios en el resto de las propiedades, analizar con otros tipos de petróleos como la fracción extra pesada, media y ligera, así como agregar a la matriz de evaluación diferentes tipos de suelos tales como fluvisoles, acrisoles, arenosoles que presentan propiedades diferentes a los que se evaluaron.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el financiamiento de este proyecto a través de los recursos del PFI, así como a CONACYT-SENER por la beca asignada en el posgrado de Química

Aplicada de la DACB-UJAT, al Dr. Carlos Mario Morales Bautista Profesor Investigador DACB-UJAT por su importante aporte, disponibilidad, motivación y paciencia para llevar a cabo esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Uribe-Hernández, R., Juárez-Méndez, C. H., de Oca, M., Marco, A., Palacios-Vargas, J. G., Cutz-Pool, L., & Mejía-Recarmier, B. E. (2010). Colémbolos (Hexapoda) como bioindicadores de la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el sureste de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(1), 153-162.
- [2] Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, J. M. (2015). Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11-17.
- [3] Martínez-Chávez, C. G., Morales-Bautista, C. M., & Alor-Chávez, M. D. J. (2017). Extracción de hidrocarburo pesado en suelo arenoso. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 1-8.
- [4] Pons-Jiménez, M., Guerrero-Peña, A., Zavala-Cruz, J., & Alarcón, A. (2011). Extracción de hidrocarburos y compuestos derivados del petróleo en suelos con características físicas y químicas diferentes. *Universidad y ciencia*, 27(1), 1-15.

- [5] Bravo, E. (2007). Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. *Acción ecológica*, 24(1), 35-42.
- [6] Adams, R. H., Guzmán-Osorio, F. J., & Domínguez-Rodríguez, V. I. (2014). Field-scale evaluation of the chemical–biological stabilization process for the remediation of hydrocarbon contaminated soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5).
- [7] Morales-Bautista, C. M., Adams, R. H., Hernández-Barajas, J. R., Lobato-García, C. E., & Torres-Torres, J. G. (2016). Characterization of fresh and weathered petroleum for potential impacts to soil fertility. *International journal of environmental science and technology*, 13(11), 2689-2696. 4-6.
- [8] Speight, J. (2007). *The chemistry and technology of petroleum*. 4 edición. Boca ratón, CRC press. New York. 170.
- [9] Marín-García, D. C., Adams, R. H., & Hernández-Barajas, R. (2016). Effect of crude petroleum on water repellency in a clayey alluvial soil. *International journal of environmental science and technology*, 13(1), 55-64. 3-5.
- [10] Wang, X., Feng, J. & Zhao, J. (2010). Effects of crude oil residuals on soil chemical properties in oil sites, Momoge Wetland, China. *Environ Monit Assess* 161: 271.
- [11] Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis.
- [12] Morales-Bautista, C. M., Adams, R. H., Guzmán-Osorio, F., & Marín-García, D. (2013). Dilution-extrapolation hydrometer method for easy determination of API gravity of heavily weathered hydrocarbons in petroleum contaminated soil. *Energy and Environment Research*, 3(1), 115. 5-8.
- [13] García, M. A. H., Bautista, C. M. M., Olán, C. M., & Schoreder, R. H. A. (2016). Extracción de Hidrocarburo Pesado en Suelo Acrisol. *Journal of Basic Sciences*, 2(5). 4-5.
- [14] Chesworth, W. (2007). *Encyclopedia of soil science*. Springer Science & Business Media.
- [15] Palma-López, D. J., Cisneros, D. J., Moreno, C. E., & Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México, 195.
- [16] Zavala-Cruz, J., Salgado-García, S., Marín-Aguilar, Á., Palma-López, D. J., Castelán-Estrada, M., & Ramos-Reyes, R. (2014). Transepto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 123-137.
- [17] De la Cruz, O. B. H., Hernández, R. S., Chaparro, V. M. O., Noverola, U. L., Botello, M. A. E., & Méndez, M. A. P. (2017). Uso de compostas para mejorar la fertilidad de un suelo Luvisol de ladera. *Revista Mexicana*

- de Ciencias Agrícolas, 8(6), 1273-1285.
- [18] Gutiérrez, M. D. C., & Zavala, J. (2002). Rasgos hidromórficos de suelos tropicales contaminados con hidrocarburos. *Terra Latinoamericana*, 20(2).
- [19] Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. (2006). Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. 3^a. Ed. Isprotab fundación Produce Tabasco-Colegio De Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México.196.
- [20] Zavala-Cruz, J. Gavi-Reyes, F. Adams- Schroeder, R. H. Ferrera-Cerrato, R. Palma-López, D. J. Vaquera-Huerta, H. Domínguez-Ezquivel, J.M. (2005) Derrames de petróleo en suelos y adaptación de pastos tropicales en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco, México. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 23, Núm. 3 Universidad Autónoma Chapingo México. 293-302.
- [21] Martínez, V., & López S., M. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra Latinoamericana*, 19 (1). 3-5.
- [22] Adams, R. H., Álvarez-Ovando, A. L., & Castañón, N. (2015). Efecto de la concentración de hidrocarburos sobre la producción del pasto (*Brachiaria humidicola*) en Texistepec, Veracruz. *Phyton* (Buenos Aires), 84(1), 222-232. 5-8.
- [23] Jaramillo, D. F. J. (2005). Humedad crítica y repelencia al agua en andisoles colombianos bajo cobertura de *pinus patula schltld* y
- cham. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(2), 2893-2906. 3-8.

