



UJAT

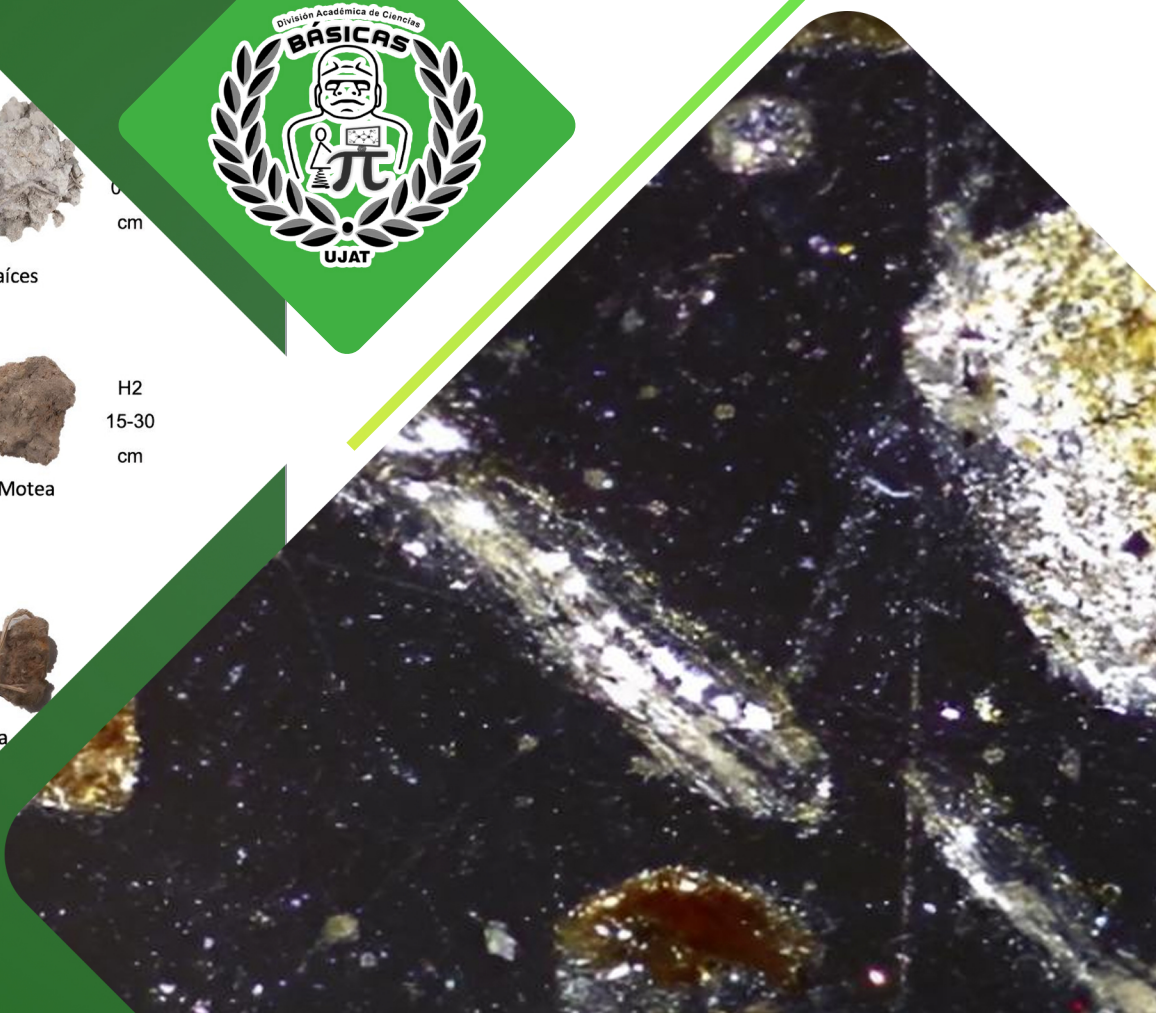
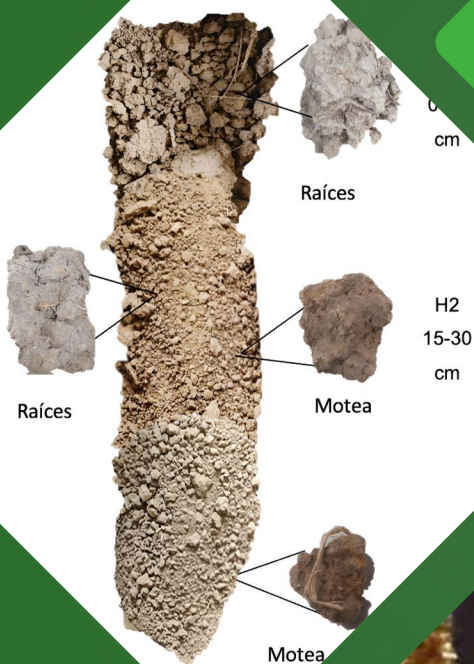
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

JOB π S

Journal of Basic Sciences

DACB • UJAT



Nos complace presentar el número 31 del Journal of Basic Sciences, con un conjunto de investigaciones sobre diversas problemáticas ambientales, geocientíficas y tecnológicas, presentes tanto en el estado de Tabasco como en otras regiones del país. A lo largo de las temáticas abordadas en este número, se reflejan los desafíos que generan las actividades humanas sobre el medio ambiente, así como la necesidad de generar soluciones sustentables a partir del conocimiento que se genera en las ciencias básicas y que es aplicado en el desarrollo de tecnologías. El enfoque multi e interdisciplinario característico de esta revista, se refleja al integrar elementos de la química, la física aplicada y las matemáticas, hacia áreas tan diversas como la geografía, la geología, las ciencias ambientales o la biotecnología; ofreciendo un panorama del estado actual de problemáticas específicas y proponiendo al mismo tiempo rutas de acción viables desde una perspectiva técnica, económica y ambiental.

En primer término, se presenta un estudio enfocado a las islas de calor urbano en Villahermosa, Tabasco, en donde a partir de un crecimiento urbano desordenado y la reducción de la cobertura vegetal se han intensificado significativamente las temperaturas locales. Esta situación pone de manifiesto la importancia de incorporar criterios de planificación ecológica en el desarrollo urbano. Por otro lado, se incluye también una evaluación geoquímica de sedimentos lacustres en regiones de San Luis Potosí y Zacatecas, con el objetivo de identificar la concentración y el comportamiento de elementos de tierras raras, con este estudio se aportan datos importantes que permiten entender la evolución geológica de los depósitos sedimentarios analizados, lo que lleva a valorar el potencial económico que representan.

De la misma forma, se presentan dos estudios vinculados a la problemática ambiental generada por la industria petrolera en el estado de Tabasco. Por un lado, se realizó una revisión sistemática de técnicas de remediación contaminados con hidrocarburos, con la finalidad de evaluar su aplicabilidad en función de factores tales como el tipo de suelo, el equipo requerido y la viabilidad. Por otro lado, se exponen los resultados de un estudio realizado en Nacajuca, Tabasco, cuya finalidad fue establecer las alteraciones en el suelo a causa de la contaminación por hidrocarburos, identificando efectos negativos en composición química, estructura y fertilidad.

Así mismo, se incluye una propuesta para aprovechar subproductos agroindustriales generados en Tabasco, implementándolos en procesos de biorremediación, con la finalidad de transformar residuos en insumos útiles para el desarrollo de prácticas sostenibles, con un enfoque de economía circular. Finalmente, se presenta una contribución encaminada a analizar un sistema de celda conectada a un convertidor, desde la perspectiva de la estabilidad energética. Mediante técnicas de control basadas en pasividad, se logra mejorar el rendimiento y comportamiento dinámico del sistema, encaminado a mejorar el desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes.

En conjunto, las contribuciones incluidas en este número son una muestra de los distintos esfuerzos encaminados a enfrentar los retos ambientales y tecnológicos actuales, mediante el uso del conocimiento científico y la innovación aplicada, ampliando el entendimiento de fenómenos complejos e impulsando la búsqueda de soluciones prácticas y sostenibles

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez Osorio.
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea.
Secretario de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez.
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión,
Divulgación Científica y Tecnológica

Directorio Divisional División Académica de Ciencias Básicas

Dra. Hermicenda Pérez Vidal.
Directora

Dr. Luis Manuel Martínez González.
Coordinador de Investigación

M.C. Abel Cortazar May.
Coordinador de Docencia

L.Q. Esmeralda León Ramos.
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

CONSEJO EDITORIAL

- **Dr. Carlos Ernesto Lobato García.** Editor en Jefe. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0003-3734-7780>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

COMITÉ EDITORIAL

- **Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz.** Editora Asociada. Actuaría. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0002-1791-5621>
- **Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú.** Editora Asociada. Ciencias de la Computación. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0007-7839-9014>
- **Dr. José Arnold González Garrido.** Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1135-4050>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Mtro. Guillermo Chávez Hernández.** Editor Asociado. Geofísica. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-3555-9678>
- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora Asociada. Matemáticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dra. Nancy Romero Ceronio.** Editora Asociada. Química. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 11, Núm. 31, agosto de 2025, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs>. Editor Responsable de la Revista: Carlos Ernesto Lobato García. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de enero de 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

CONTENIDO

	Pág.
Islas de Calor Superficial Urbano en México: Caso de estudio, Villahermosa, Tabasco	1-8
Evaluación de Tierras Raras en sedimentos lacustres, Mesa Central Norte entre San Luis Potosí y Zacatecas, México	9-17
Factibilidad de los diversos tratamientos para derrames de hidrocarburos en suelos en el Estado de Tabasco	18-35
Análisis geoquímico de acumulación de hidrocarburos en suelos de Tucta, Nacajuca	36-51
Valor agregado a residuos agroindustriales como alternativa en la biorremediación de suelos	52-61
Efecto de un control basado en pasividad en un sistema celda-convertidor	62-75

Análisis geoquímico de acumulación de hidrocarburos en suelos de Tucta, Nacajuca

Méndez-Madrigal, J. M.¹ , Morales-Bautista, C. M.¹ , Chávez-Hernández, G.^{1*} , Falconi-Calderón, R.¹ , Torres-Sánchez, S. A.² 

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Básicas (DACB), Km. 1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, A.P. 24, Cunduacán, C.P. 86690, Tabasco, México.

²Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Facultad de ingeniería/Área de ciencias de la Tierra. Av. Dr. Manuel Nava, Zona Universitaria, CP 78290, San Luis Potosí, S.L.P. México.

*guillermo.chavez@ujat.mx

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar y evaluar la presencia de hidrocarburos con técnicas geoquímicas en suelo de un predio situado en Tabasco. Se determinaron sus propiedades edafológicas, morfológicas y mineralógicas (Fertilidad, petrografía y difracción de rayos X o DRX), así como hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y análisis de fracciones de hidrocarburos (SARA), según la normativa mexicana. En los resultados, se encontró que el suelo analizado es un Gleysol que presenta hidrocarburos totales de petróleo (HTP) que exceden los límites permisibles debido al constante arrastre de sedimentos contaminados por efecto de erosión hídrica y movimientos-transporte de masa, común en el Estado, dando como resultado: material orgánico, estructuras con alta oxidación por minerales salinos y acumulación de hidrocarburos en su análisis morfológico. Esto provocó aumento del pH (ácido a neutro) y cambios en la textura del suelo en la zona de estudio afectando el desarrollo de las plantas.

Palabras claves: *Morfología, Mineralogía, Impacto ambiental*

Abstract

The objective of this investigation was to determine and evaluate the presence of hydrocarbons with geochemical techniques in the soil of a property located in Tabasco. Its pedological, morphological and mineralogical properties were determined (Fertility, petrography and X-ray diffraction or XRD), as well as total petroleum hydrocarbons (TPH) and analysis of hydrocarbon fractions (SARA), according to Mexican regulations. In the results, it was found that the soil analyzed is a Gleysol that presents total petroleum hydrocarbons (HTP) that exceed the permissible limits due to the constant dragging of contaminated sediments due to the effect of water erosion and mass movements-transport, common in the State. Resulting in: organic material, structures with high oxidation by saline minerals and accumulation of hydrocarbons in its morphological analysis. This caused an increase in pH (acid to neutral) and changes in soil texture in the study area, affecting plant development.

Keywords: *Characterization, Morphology, Mineralogy, Environmental impact*

Recibido: 31 de octubre de 2024, Aceptado: 08 de mayo de 2025, Publicado: 22 de agosto de 2025

1. Introducción

Tucta es un poblado ubicado en el municipio de Nacajuca, Tabasco, México. Cuenta con una población de 2307 habitantes [1]. A través de los años ha sufrido de inundaciones por lluvias y su altura promedio de 10 msnm [2]. Además, forma parte de una zona de campos de pozos petroleros en constante actividad (explosiones, emisiones de gases y derrames de hidrocarburo en suelo y cuerpos de agua [3].

Según la guía comunitaria para la salud ambiental [4], la mayor parte de la gente que vive y trabaja cerca de las perforaciones petroleras y refinerías está familiarizada con la contaminación del aire y el agua por el petróleo, sin embargo dicha contaminación causa problemas graves de salud: visión borrosa y otros problemas en los ojos, dolor de cabeza, alucinaciones, euforia, cansancio, habla arrastrada, daño cerebral y coma, convulsiones y muerte súbita, llagas y hemorragias en la nariz; infecciones del oído, asma, bronquitis, neumonía y otras enfermedades respiratorias, infecciones y cáncer de pulmones y garganta, tuberculosis, ataques al corazón, problemas digestivos (incluidos vómitos, úlceras y cáncer de estómago), daño al hígado, los riñones y la médula ósea, problemas menstruales, abortos espontáneos, partos de niños muertos y defectos de nacimiento, así como sarpullido, micosis y cáncer de piel. [3]

En este sentido, Carmona [3] llevó a cabo un estudio de tipo sanitario y socioeconómico sobre el impacto ambiental por la explosión del pozo Terra 123 en comunidades indígenas de Nacajuca, Tabasco. Señalando que en dichas comunidades surgieron problemas de salud frecuentes entre sus habitantes como lo son vitíligo, problemas de visión, problemas de garganta, tos y gripe, así como dermatitis aguda, dolores de cabeza, mareos y náuseas. Afectando principalmente a niños, adultos mayores y mujeres embarazadas que presentaron nacimientos prematuros.

También los hidrocarburos del petróleo pueden afectar la fertilidad a través de varios mecanismos: toxicidad directa a los organismos en el suelo, reducción en la retención de humedad y/o nutrientes, compactación, así como cambios en pH y salinidad [5]. Aunque los hidrocarburos meteorizados que quedan de derrames antiguos y en sitios remediados son de baja toxicidad o de muy corta duración, pueden afectar al rendimiento de forrajes y cultivos debido a alteraciones que no están relacionadas con la toxicidad [6]. La causa de ello se refiere a alteraciones de las propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales pueden ocurrir a concentraciones muy bajas, de 2500-4000mg HTP/kg suelo [7].

El recurso suelo es considerado no renovable a escala humana. Brinda los alimentos necesarios para poder sobrevivir. Los hidrocarburos están formados por elementos químicos tóxicos (benceno, tolueno, xileno, etc.) que, al ser derramados en el suelo originan problemas severos, inhibiendo la vegetación, los nutrientes y sus componentes biológicos como, por ejemplo; bacterias, hongos, algas, fauna, etc.), lo cual limita el acceso a la alimentación de calidad [8].

Es por eso por lo que se desea conocer el impacto de la actividad de los pozos petroleros en la fertilidad del suelo y el desarrollo de la agricultura, en Tucta, ya que su población en general se dedica a actividades agropecuarias para consumo propio, principalmente la siembra y cosecha de maíz, calabaza, chile y árboles frutales, sin embargo, aún no hay estudios previos en la zona. Por esta razón, se llevó a cabo una caracterización del suelo por medio de un análisis geoquímico y métodos directos con la finalidad de determinar hidrocarburos presentes en el suelo, localizar las acumulaciones, así como su origen y evaluar la calidad del suelo. Lo anterior con el fin de establecer una relación entre los factores ambientales de la zona y la migración, distribución y acumulación de (HTP).

2. Metodología Experimental

La metodología es descriptiva y se basó en mapas de elevación digital y ubicación espacial de las muestras; también se tomará en cuenta un análisis estadístico de las características físicas y químicas del suelo, descripción edafológica y composición morfológica y mineralógica.

2.1 Muestreo

La zona de estudio se encuentra ubicada en Tucta, Nacajuca, Tabasco, México. A una distancia de 4.5 km del pozo más cercano y cuenta con un área cercana a los 1000 m². Se llevó a cabo la extracción de 5 muestras de suelo y un perfil mediante un muestreo exploratorio sistemático según las especificaciones de la NMX-AA-132-SCFI- 2016. [9] (Figura 1).

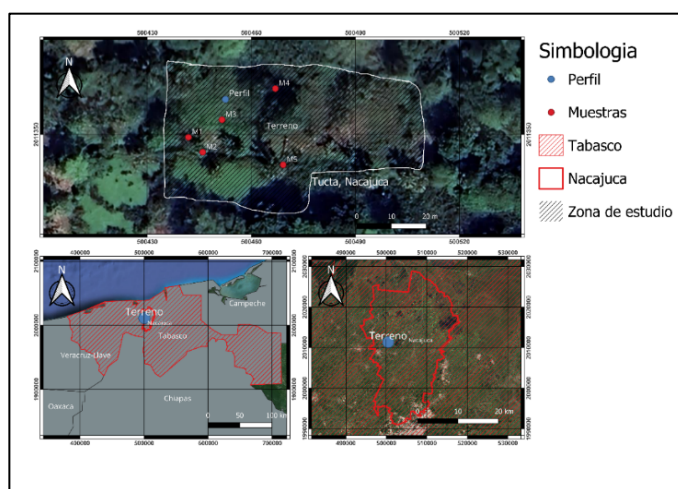


Figura 1. Mapa de ubicación de muestras. (Figura de autoría propia)

2.2 Determinación de propiedades físicas y químicas por medio de la NOM-021-SEMARNAT.2000.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio para la preparación del suelo mediante los lineamientos de la NOM-021-SEMARNAT-2000 [10], que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Posteriormente, fueron colocadas al sol para el secado durante 48 horas; transcurrido ese tiempo, se procedió al triturado utilizando un mortero y pistilo. Posteriormente, se pasó la muestra triturada por un tamiz de malla número 10 hasta obtener una cantidad aproximada de 500 g de suelo molido y tamizado por cada muestra.

Para la realización de los análisis se llevaron a cabo los siguientes procedimientos en cada muestra por triplicado: textura (hidrómetro de Bouyoucos), pH (potenciómetro), conductividad eléctrica (conductímetro), materia orgánica (Walkley-Black), densidad real (picnómetro), densidad aparente (probeta) y porosidad (relación entre densidad real y aparente) [11].

2.3 Descripción edafológica.

El perfil de suelo se ubica en las coordenadas UTM datum WGS84: 500452.7 E, 2011360 N, Zona 15, con una profundidad de 51 cm y tres horizontes identificados. Para su descripción se utilizó el manual de evaluación de suelos [12] que toma en cuenta características cualitativas como la presencia de raíces,

materia orgánica, moteas, forma de poros, grado de desarrollo y estructura del suelo y determinación de textura al tacto; también se utilizó el libro Munsell para registrar el color del suelo y de las moteas (Figura 2). De igual forma, se elaboró un mapa con información edafológica del INEGI para determinar el tipo de suelo de la zona de estudio (Figura 3).

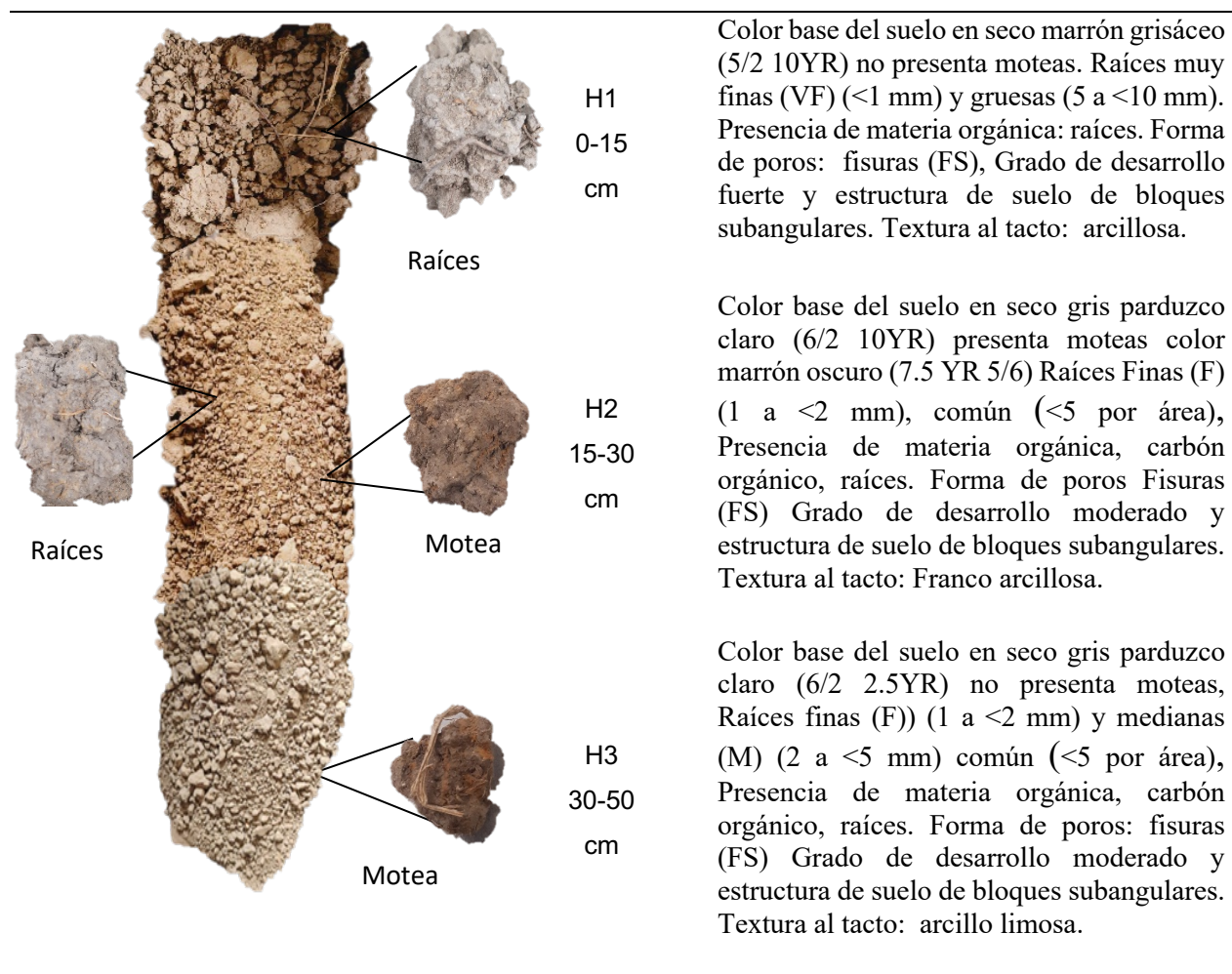


Figura 2. Descripción de perfil edafológico (M6).

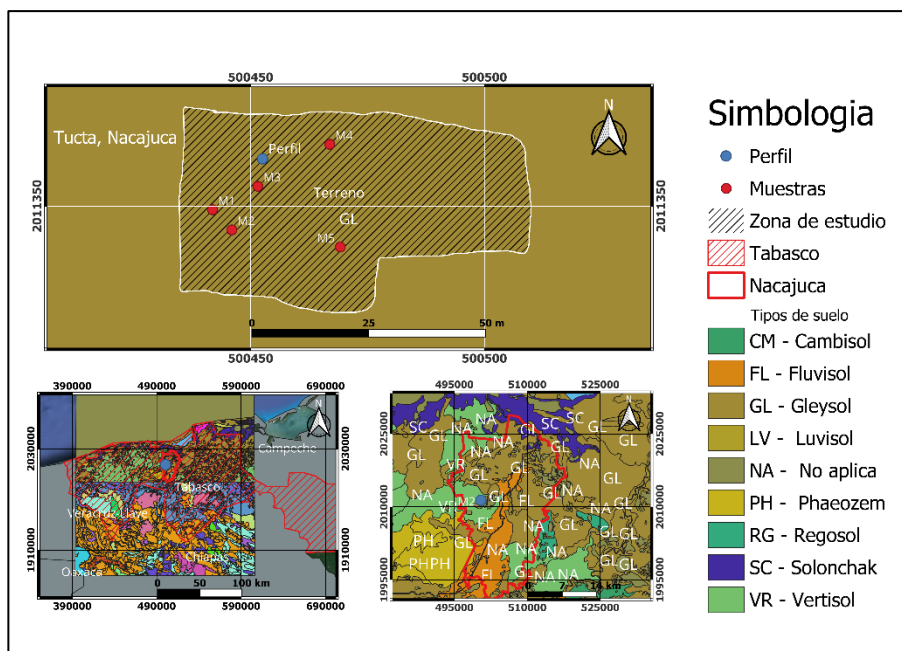


Figura 3. Mapa de edafología. (Figura de autoría propia)

2.4 Mapa de altura

Se elaboró un mapa de altura con curvas de nivel de la zona de interés, incluyendo los pozos cercanos a través de un modelo de elevación digital, con el objetivo de analizar los efectos que produce este factor en la migración y acumulación de hidrocarburos (Figura 4).

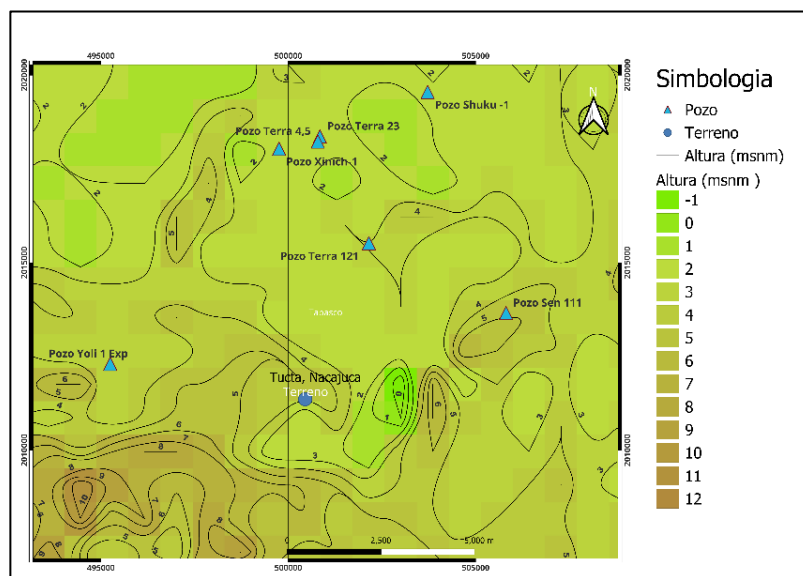
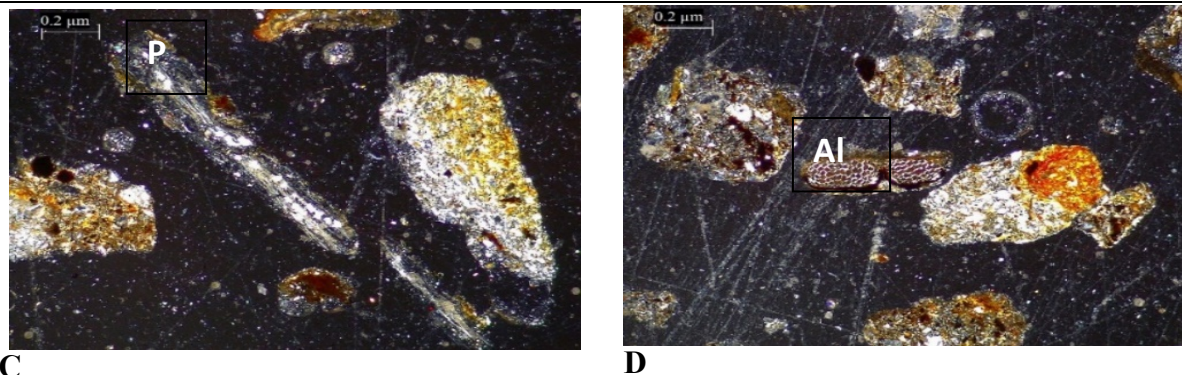


Figura 4. Mapa de alturas de Nacaju Tabasco. (Figura de autoría propia)

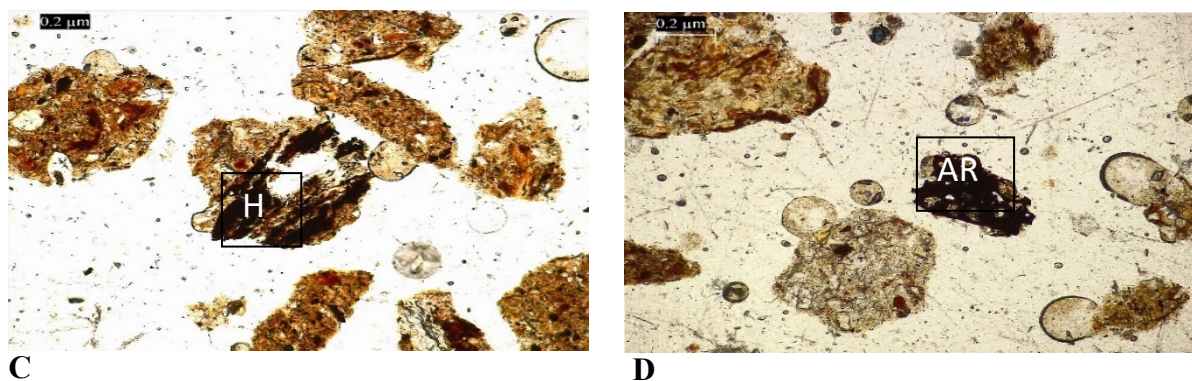
2.5 Análisis de composición mineralógica del suelo por medio de petrografía.

Se llevó a cabo la interpretación de una muestra representativa de suelo en lámina delgada para petrografía por medio del manual para la descripción micromorfológica de suelos [13], con el objetivo de observar los minerales presentes y micro rasgos derivados de la interacción con el hidrocarburo. En el conteo de granos se encontró: Líticos sedimentarios 20, Líticos ígneos 3, Cuarzo 2, Moscovita 1, Biotita 2, Óxidos 6, Cerámica 3, raíces 3, Plagioclasas 7, Hidrocarburo 4. De los cuales se presentan algunos ejemplos en las (Figuras 5 y 6). Se observó una fuerte oxidación y cantidad de material orgánico.



A. Masa basal con distribución de espaciado simple contiene líticos con microestructura de empaquetamiento simple. **B.** Nódulos típicos de hierro anórticos y líticos (N). **C.** Presencia de plagioclasas en forma de nódulos alargados y tabular (P). **D.** Restos de algas y restos orgánicos (Al).

Figura 5. Petrografía de muestra de suelo.



A. Granos sub redondeados con microcomponentes de tonalidad rojiza – café. **B.** Moscovita (M). **C.** Acumulación de hidrocarburos alrededor de los poros (H). **D.** Adherencia de hidrocarburos en material arcilloso (Ar)

Figura 6. Petrografía de muestra de suelo con hidrocarburos.

2.6 Difracción de Rayos X

Se hizo un análisis de difracción de rayos X en dos muestras para su caracterización mineralógica, tomando como criterio de su elección la distancia entre ambos puntos de muestreo presentes en la muestra 1 (M1) y la muestra 4 (M4), con el fin de encontrar diferencias significativas entre ellas. (Figura 7 y 8).

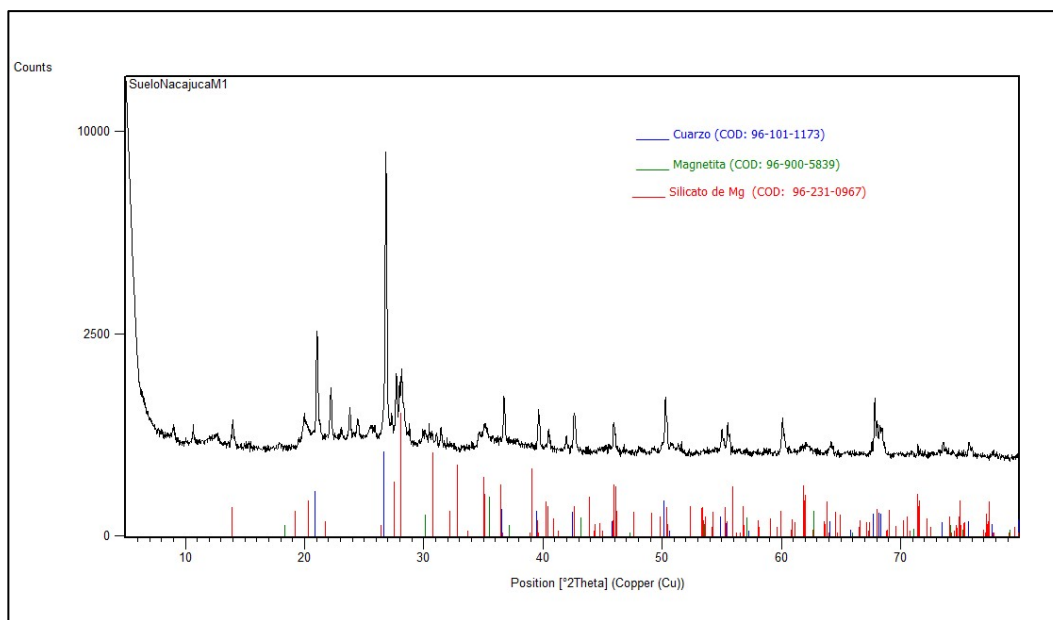


Figura 7. DRX de muestra de suelo (M1).

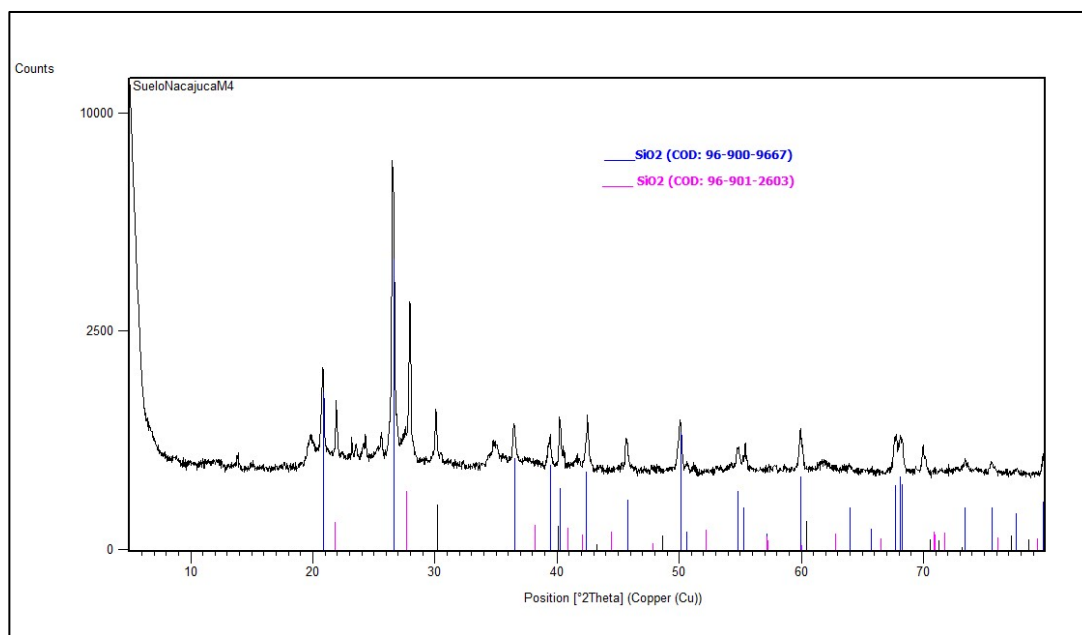


Figura 8. DRX de muestra de suelo (M4).

En los difractogramas se observa que el mineral principal es SiO_2 , con dos estructuras moleculares distintas: cuarzo, magnetita y silicato de magnesio. De acuerdo con esto, Acevedo-Sandoval [14] menciona que el material parental, la vegetación, la materia orgánica y el clima son los cuatro factores que influyen sobre la química y la mineralogía de los suelos ácidos, y que las pérdidas y ganancias de óxidos totales manifiestan la intemperización alta a la que estuvieron sujetos estos suelos. El cuarzo es el mineral más común debido a su resistencia en los procesos de meteorización química, y se atribuye a orígenes detríticos resultado de alteraciones físico-mecánicas de las rocas durante el desarrollo de los procesos de transporte y acumulación de residuos meteorizados persistentes en fracciones arcillosas. De igual manera, su porcentaje en mayores cantidades está vinculado con el efecto de gleyzación. Por su parte, el contenido de silicato de magnesio está asociado con sedimentos de llanuras aluviales que retienen con mayor preferencia Mg que

Na y Ca [15]. Por último, la presencia de magnetita que es un mineral de hierro constituido por óxido ferroso- diférrico, reafirma las observaciones de alta oxidación en las microestructuras del suelo analizado en petrografía.

2.7 Extracción de hidrocarburos con equipo Soxhlet

2.6.1 Diseño compuesto central

Se empleó el método Soxhlet para la extracción de HTP en las muestras de suelo por duplicado durante 8 horas seguidas, utilizando 90 ml de diclorometano (di), hexano (hx) y acetona (Ac) en cada repetición, esto de acuerdo con las especificaciones de la NMX-AA-134-SCFI-2006 suelos-hidrocarburos fracción pesada por extracción y gravimetría - método de prueba [16], y posteriormente, para la interpretación de los resultados se tomó como referencia la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 [17]. Los datos de la concentración de hidrocarburos se encuentran en la siguiente tabla clasificados por grupos de acuerdo con el análisis estadístico Anova- Tukey. (Tabla 1).

Tabla 1. HTP extraídos por muestra con dicloro metano, hexano y acetona.

ID	HTP (di)	HTP (hx)	HTP(Ac)
mg de hidrocarburo/kg de suelo			
M1	15600 ± 780*	200 ± 10*	5800 ± 290
M2	85000 ± 4250**	800 ± 40	1400 ± 70*
M3	89000 ± 4450**	1400 ± 70	2700 ± 135
M4	17800 ± 890*	600 ± 30	1400 ± 70*
M5	14500 ± 725*	400 ± 20*	1600 ± 80*
M6	14300 ± 715*	300 ± 15*	600 ± 30
<i>p-value</i>		<0.05	
<i>HSD</i>	7107.59	100.91	386.9

Donde: (*) por columnas representa que las muestras pertenecen a un grupo con características similares; (**) representa que las muestras pertenecen a un segundo grupo con características similares pero distintas a cualquier otro grupo y (***) representa que las muestras pertenecen a un tercer grupo con características similares y distintas a otros grupos. Las muestras que carecen de dichos símbolos no tienen similitud con ninguna otra. (*p-value*) es el valor por el cual se determina la hipótesis de que haya diferencia entre conjuntos de datos y (*HSD*) es la diferencia honestamente significativa, es decir, el discriminante para determinar si estadísticamente los valores son similares entre dos muestras o no.

De igual manera, se realizó un análisis de fracciones por selectividad de solventes, según la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 [17] de la que se obtuvo lo siguiente (Figura 9).

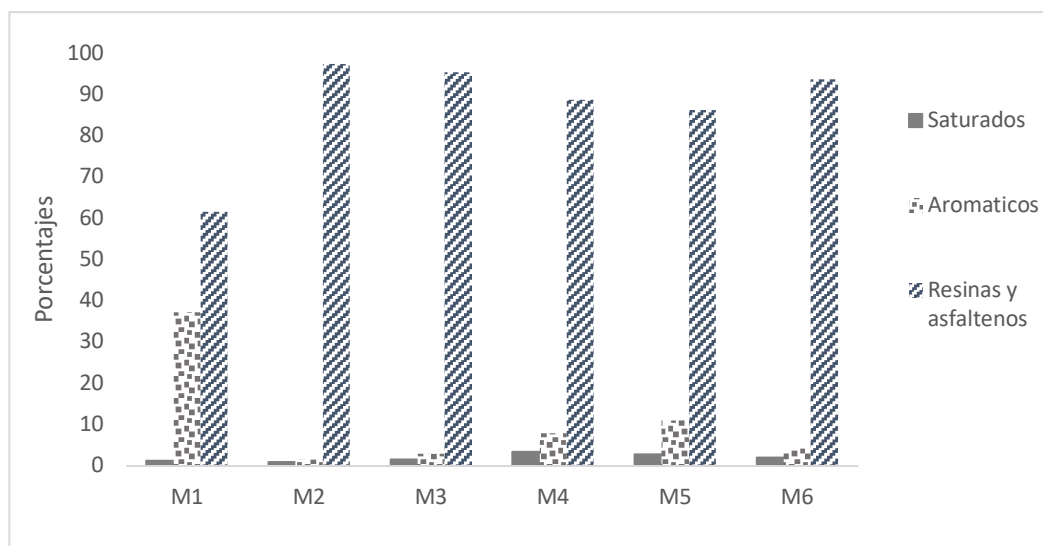


Figura 9. Gráfica de porcentajes SARA por muestra.

Por medio de estudios realizados por Díaz-Ramírez et al. [18] y Marín-García et al.[19] se sabe que el contenido de fracciones SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos, respectivamente) de diversos petróleos se distribuye en saturadas para los petróleos ligeros. En cambio, las fracciones de resinas y asfaltenos se encuentran en los crudos más pesados. Además, está demostrado que existe una relación entre las diversas fracciones de los hidrocarburos y los efectos en las propiedades de los suelos [20]. En la gráfica de porcentajes se observa que todas las muestras presentan un mayor porcentaje de resinas y asfaltenos, las cuales conllevan a la repelencia al agua y los efectos en la baja producción de hortalizas [5]. También se observa que la muestra 1 tiene mayor contenido de fracciones aromáticas; estas son consideradas peligrosas o tóxicas, por lo que se debe de estimar el tipo de plantío que se intente desarrollar, para evitar poner en riesgo la salud pública [20].

3. Resultados

De acuerdo con la información obtenida mediante los sistemas de información geográfica, se encontró como resultado que el predio corresponde al tipo de suelo Gleysol. Los Gleysoles de Tabasco son suelos muy escasamente drenados formados por depósitos de sedimentos transportados por los ríos más caudalosos del país hacia las partes más bajas del estado, en él se llevan a cabo procesos de oxidación y reducción, el nivel freático se encuentra a menos de 50 cm de profundidad. La mayor parte del año y durante la época de lluvias llega hasta la superficie, por lo cual quedan inundados [21].

Este tipo de suelo es uno de los factores principales en la acumulación de HTP presentes en el predio; por otra parte, la migración de los contaminantes puede ser atribuida a efectos de escorrentía, ya que el pozo más cercano se encuentra a 4.4 km de distancia y dos de ellos a una altura mayor que la zona de estudio.

3.1 Resultados de los parámetros de la NOM-021-SEMARNAT-2000

Tabla 2. Resultados de los parámetros de la NOM-021-SEMARNAT-2000 por medio del análisis estadístico Anova-Tukey.

ID	DR	DA	%Po	%CC	pH	CE	%A	%R	%L	%MO
M1	2.88± 0.14	1.00± 0.03*	65.54± 3.27*	53.06 ± 1.90	6.33± 0.05*	0.26± 0.04	26.22 ± 1.01*	0 ± 0*	73.77 ± 1.01*	0.189 ± 0.00*
M2	2.93 ± 0.65	0.99± 0.01*	66.07± 3.30*	49.98 ± 2.72	6.16 ± 0.11*	0.39± 0.02*	32.70 ± 1.15**	1.96± 0**	65.33 ± 1.15**	0.185 ± 0.00*
M3	2.13 ± 0.50	0.90± 0.01**	57.54± 2.87**	51.11± 0.80	5.86 ± 0.20	0.38± 0.01*	29.02 ± 2.72*	1.30± 1.13**	69.66 ± 3.85*	0.889± 0.04
M4	1.95 ± 0.62	0.984 ± 0.00*	49.92± 2.49**	49.66± 0.40	7.2± 0 **	0.47± 0.01	26.04 ± 0*	0 ± 0*	73.96 ± 0*	0.427± 0.02
M5	2.01 ± 0.61	0.935± 0.02**	52.90 ± 2.64**	53.02 ± 1.49	7.2 ± 0**	0.45± 0.01*	30.04 ± 2*	0 ± 0*	69.96 ± 2*	1.186 ± 0.05
M6	1.88 ± 0.56	0.994 ± 0.00 *	47.12 ± 2.35**	48.92 ± 1.91	7.2± 0.1**	0.44± 0.01*	36.6± 2**	0 ± 0*	63.4 ± 2**	0.204 ± 0.01*
<i>p-value</i>										
						< 0.05				
<i>HSD</i>	<i>NA</i>	<i>0.058</i>	<i>7.81</i>	<i>NA</i>	<i>0.29</i>	<i>0.06</i>	<i>4.72</i>	<i>1.26</i>	<i>5.62</i>	<i>0.08</i>

Donde: DR es Densidad Real (picnómetro) y DA es densidad aparente (cilindro), ambas en g/cm³, %Po y % CC son Porosidad y Capacidad de Campo en %, pH es potencial del hidrógeno de relación suelo: agua (1:2), CE es conductividad eléctrica determinada del extracto saturado en dS/cm y %A, %R y %L son los porcentajes de arenas, arcillas y limo, respectivamente, y que fueron obtenidos por el método Bouyoucos. % MO se refiere a porcentaje de materia orgánica.

Después de realizar el análisis ANOVA-Tukey, los resultados muestran que, a excepción de DR y CC, las muestras presentan diferencias significativas ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > HSD$ calculado). En este sentido, para DA, M1, M2, M4 y M6, no presentan diferencias significativas entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < 0.058$): así mismo, M3 y M5 no presentan diferencias significativas entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < 0.058$).

Los datos de capacidad de campo que van del 48.92% a 53.06% nos permiten identificar la textura de las muestras de suelo. De acuerdo con la tabla de Textura- CC (Tabla 3), los valores de CC y PMP (punto de marchitez permanente) corresponden a suelo arcilloso.

Tabla 3. Valores normales de capacidad de campo y coeficiente de marchitez permanente para suelos de diferentes texturas. Recuperado de “apuntes de geotecnia con énfasis en laderas”. UPM

Textura	Capacidad de campo	Punto de marchitez permanente
Arenoso	5-15	3-8
Franco arenoso	10-20	6-12
Franco	15-30	8-17
Franco arcilloso	25-35	13-20
Arcilloso	30-70	17-40

Al comparar los valores de DA con los expuestos en la NOM-021-SEMARNAT-2000, [10] se encontró que M1 corresponde a suelos arcillosos ($1.0 - 1.19 \text{ g/cm}^3$), en cambio M2, M3, M4, M5 y M6 son considerados como suelos orgánicos.

De acuerdo con los datos obtenidos de las muestras en densidad aparente ($0.908\text{-}1.004 \text{ g/cm}^3$) (Figura 10), se observa que corresponden a tipos de horizontes de suelos volcánicos hacia horizontes arcillosos con estructura, de acuerdo con la tabla de tipos de horizontes por densidad aparente (Tabla 4).

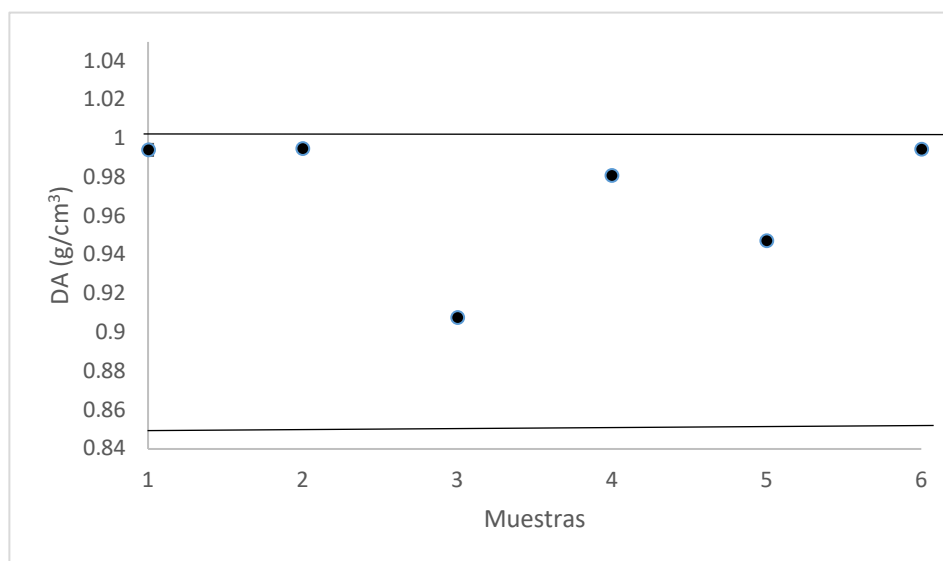


Figura 10. Gráfica de valores de densidad aparente de las muestras de suelo.

Tabla.4. Tipos de horizonte por densidad aparente. [22]

Tipo de horizonte	Densidad aparente (g/cm^3)
Horizontes arenosos	1.45-1.60
Horizontes arcillosos con estructura	1.05-1.10
Horizontes compactos	1.90-1.95
Horizontes de suelos volcánicos	0.85
Horizontes turbosos	0.25
Valor medio	1.35

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, se encontró en las muestras que Po M1 y M2 son similares, es decir, ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < HSD$ calculado) al igual que M3, M4, M5 y M6, que no tienen diferencias significativas entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < HSD$ calculado). De acuerdo con su clasificación en porcentaje de porosidad, M1 Y M2 corresponden a suelos con porosidad muy amplia y M3, M4, M5 y M6 están clasificados de medio a amplio.

En cuanto a los valores promedio de las muestras en niveles de pH se encontró que no hay diferencia significativa entre M1 y M2 ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < HSD$) de igual forma, M4, M5 y M6 pertenecen a un mismo conjunto; en cambio, la muestra M3 de acuerdo con el análisis estadístico presenta diferencias significativas para ambos grupos ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > HSD$ calculado). A simple vista, se observa que su valor promedio es mucho menor que el de las demás muestras (5.86 dS m^{-1}) este valor fue obtenido de acuerdo con la metodología descrita en la NOM-021-SEMARNAT-2000 [10], de la cual se clasificó como suelo moderadamente ácido. Teniendo como resultado que las muestras están dentro del rango de moderadamente ácidos y neutros.

La acidez del pH en este caso se atribuye a la presencia de oxidación, restos orgánicos oxidados derivados de la materia orgánica presente en el suelo, así como ácidos húmicos que son fuertemente absorbidos o acomplejados con el hierro en pH mayor a 3 [23], así como su composición mineralógica observada por medio de petrografía.

De los resultados del análisis estadístico en conductividad eléctrica de las muestras se obtuvo que M2, M3, M5 y M6 no tienen diferencias significativas entre sí, por el contrario, M1 es diferente a las demás muestras al igual que M4. Se observa que M1 cuenta con el valor promedio más bajo y M4 con el valor promedio más alto de todas las muestras de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 [10] todas las muestras tienen efectos menores de la salinidad, es decir, que sus valores de CE son menores a 1.

La CE está ampliamente relacionada con la disolución de sales en el medio, las cuales a su vez están conformadas por minerales; debido a las propiedades de dichos minerales puede haber una variación en los valores de conductividad eléctrica. Por medio de DRX y petrografía se detectó la presencia de silicatos, alto contenido de hierro y óxidos. La formación de óxidos de hierro en el suelo es afectada por la materia orgánica y por las bacterias [23].

Por medio del triángulo de texturas se obtuvo que todas las muestras tienen la misma textura (franco limoso). Sin embargo, las muestras varían en porcentajes de arena, limo y arcilla de acuerdo con el análisis de contenido de arena que demuestra que M1, M3, M4 y M5 tienen porcentajes similares ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < \text{HSD}$), solo M2 y M6 son distintas del grupo anterior mencionado, es decir, ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > \text{HSD}$), principalmente porque M2 y M6 tienen un mayor contenido de arena.

Así también se encuentra el caso particular de la arcilla en las muestras, debido a que el método Bouyoucos no es del todo eficaz para detectarlas, principalmente por efecto de la presencia de hidrocarburos que puede provocar un acumulamiento de partículas de arcilla, convirtiéndolas en conglomerados similares en tamaño a partículas como el limo [24]; así mismo, Martínez et al. [25] establece que ante la presencia de hidrocarburos medianos hay un aumento de limo y las arenas se degradan. Para el caso del limo se encontraron diferencias significativas del mismo carácter que en los porcentajes de arena, es decir, que M2 y M6 comparten similitudes ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < \text{HSD}$) y M1, M3, M4 y M5 forman un conjunto distinto ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > \text{HSD}$).

En el caso del análisis estadístico de contenido de materia orgánica en las muestras M1, M2, M6 ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < \text{HSD}$), no hay diferencias significativas entre sí, a diferencia de las muestras M3, M4 y M5, que cada una es distinta entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > \text{HSD}$). Sin embargo, de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 [10] para suelos no volcánicos están clasificadas para suelos de nivel muy bajo – bajo. Esto sucede principalmente en suelos arcillosos por la degradación provocada por bacterias, así como la presencia de hidrocarburos [23], causando estos fenómenos hidromórficos como lo es una mayor oxidación. Para este caso, la oxidación se ve mejor reflejada mediante láminas delgadas de petrografía que en la descripción edafológica realizada previamente [24].

3.2 Resultados HTP

Después de realizar el análisis en el Anova Tukey, obtuvimos que las muestras presentan diferencias significativas entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > \text{HSD}$ calculado) en los tres solventes utilizados. En este sentido, para HTP (di) M1, M4, M5 y M6 no hay diferencias significativas entre sí, es decir, ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < 7107.59$), así como para M2 y M3 son similares ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < 7107.59$). Al comparar los valores de HTP (di) con los expuestos por la NOM-138-SEMARNAT- SSA1-2012 [18], se encontró que todas las muestras exceden el límite máximo permitido (4400 mg/kg esto es entre fracciones ligeras, medianas y pesadas).

Por su parte, HTP (hx) en M1, M5 y M6 pertenecen a un mismo grupo debido a que no tienen diferencias significativas entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < 100.91$); M2, M3 y M4, todos son distintos entre sí, es decir, ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > 100.91$). Al comparar los valores con los de la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 [18], todas las muestras exceden el valor máximo permitido para fracciones ligeras de hidrocarburo = 200 mg/kg. En cuanto a HTP(Ac), el análisis estadístico arrojó que M2, M4 y M5 no presentan diferencias significativas entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 < \text{HSD calculado}$.) Y M1, M3 Y M6 son distintos entre sí ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > 100.91$). De igual forma, se comparan los valores obtenidos con los expuestos por la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 [18]; en este caso, para fracciones medias en suelos agrícolas, el límite máximo corresponde a 1200 mg/kg, siendo este también excedido por la mayoría de las muestras a excepción de la M6.

4. Conclusiones

El análisis geoquímico nos permitió determinar que hay hidrocarburos presentes en el suelo, equivalentes a hidrocarburos pesados. El transporte de contaminantes y los minerales son atribuidos a las características geológicas del lugar, como la elevación, la cual es también un factor muy importante en la génesis del suelo. En cambio, su acumulación está ampliamente relacionada con aspectos físicos como la textura, densidad, porosidad y capacidad de campo lo que causa afectaciones en la calidad y fertilidad del suelo como, son repelencia al agua y disminución de producción de hortalizas. Además de que se presentaron componentes tóxicos peligrosos para la salud, disminuyendo el acceso a la alimentación de calidad, por otra parte, se encontraron cambios en las características físicas y químicas, principalmente en el contenido de arcillas referente a la textura, ya que se reportó un bajo contenido de ellas, a pesar de las características intrínsecas del suelo de la zona de estudio y todo lo observado en el análisis completo. De igual manera se atribuyen los cambios del pH del suelo de ácido a neutro a la presencia de hidrocarburos, concluyendo que el suelo ha sido afectado.

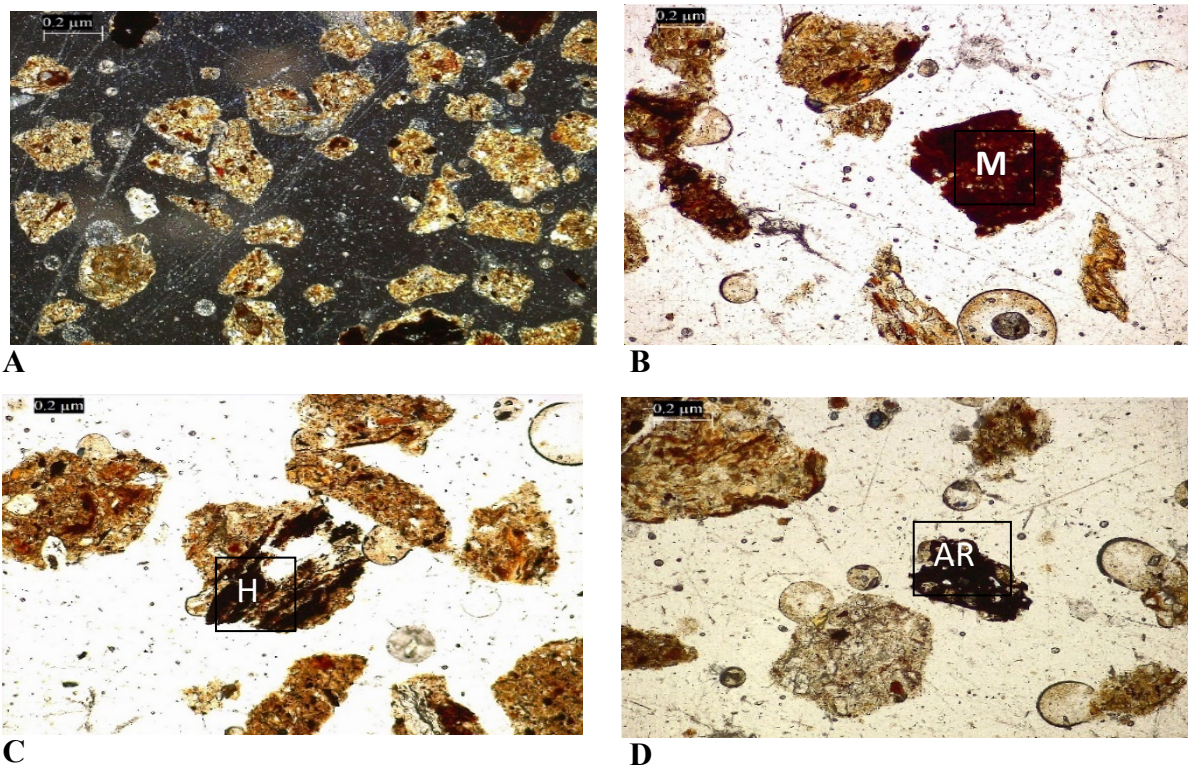
5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Suelos e Hidrocarburos de la DACB-UJAT por el financiamiento de esta investigación, así como a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por la infraestructura científica para el desarrollo de los análisis de DRX y análisis petrográfico.

6. Conflicto de intereses

Por medio de la presente declaramos que no existen conflictos de intereses de ningún carácter económico, político o para beneficio personal con fines de lucro que puedan influir en los resultados, el análisis o la interpretación de los datos presentados en el manuscrito titulado “análisis geoquímico de acumulación de hidrocarburos en suelos de Tucta, Nacajuca.” Sometido a Journals of Basic sciences.

7. Resumen Gráfico



A. Granos sub redondeados con microcomponentes que tienen a tener tonalidad rojiza – café, algunos fragmentos generan fuentes con óxidos. **B.** Moscovita (M). **C.** Acumulación de hidrocarburos alrededor de los poros (H). **D.** Adherencia de hidrocarburos en material arcilloso (Ar)

8. Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), *Conteo de población y vivienda 2020*. México: INEGI, 2020.
- [2] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), *Carta topográfica Ocuilzapotlán E15B81, 1:50 000*. México: INEGI, 2000.
- [3] V. Durán-Carmona, "Impacto ambiental por la explosión del pozo Terra 123 en comunidades indígenas de Nacajuca, Tabasco," Tesis, 2018.
- [4] J. Conant, *Guía comunitaria para la salud ambiental*. Berkeley, CA: Hesperian Health Guides, 2011.
- [5] R. H. Adams, J. Zavala-Cruz, and F. Morales-García, "Concentración residual de hidrocarburos en suelo del trópico. II: afectación a la fertilidad y su recuperación," *Interciencia*, vol. 33, no. 7, pp. 483–489, 2008.
- [6] J. Zavala-Cruz, F. Gavi-Reyes, R. H. Adams-Schroeder, R. Ferrera-Cerrato, D. J. Palma-López, H. Vaquera-Huerta, and J. M. Domínguez-Ezquivel, "Derrames de petróleo en suelos y adaptación de pastos tropicales en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco, México," *Terra Latinoamericana*, vol. 23, no. 3, pp. 293–302, 2005.
- [7] R. H. Adams, A. L. Álvarez-Ovando, E. Escalante-Espinosa, and M. Gutiérrez-Rojas, "Dose-response relationship of organisms in soil with heavily weathered hydrocarbons and changes in

fertility parameters,” in *Proc. 13th Int. Environ. Petroleum Conf.*, San Antonio, TX, Oct. 2006, pp. 16–20.

[8] M. Ludizaca, “Compost, vermicompost y microorganismos benéficos como alternativas para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos,” Tesis de Ingeniería Ambiental, Univ. Católica de Cuenca, 2021.

[9] Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016, *Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra*. México: Diario Oficial de la Federación, Jan. 4, 2017.

[10] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *NOM-021-SEMARNAT-2000: Especificaciones para la conservación de la flora y fauna silvestre y su manejo*. México: Diario Oficial de la Federación, 2000.

[11] M. L. Jackson, *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1976.

[12] D. Vargas, A. Cerón, L. Olivares, and M. Bobadilla, *Manual de evaluación de suelos: Énfasis en memoria edáfica, materia orgánica e hidroedafología*. 2020.

[13] P. Bullock, A. Jongerius, T. Tursina, N. Federoff, G. Stoops, U. Babel, ..., and S. C. A. Ortiz, *Manual para la descripción micromorfológica de suelos*. Montecillo, México: Colegio de Postgraduados, 1985.

[14] O. Acevedo-Sandoval, M. A. Valera-Pérez, and F. Prieto-García, “Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México,” *Universidad y Ciencia*, vol. 26, no. 2, pp. 137–150, 2010.

[15] Y. Cobo-Vidal, E. Angarica-Baró, G. Martín-Gutiérrez, A. Serrano-Gutiérrez, and A. Rodríguez-Fajardo, “Mineralogía y química de las arcillas en suelos Pardos y Vertisoles del Oriente de Cuba,” *Ingeniería Agrícola*, vol. 14, no. 2, 2024.

[16] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *NMX-AA-134-SCFI-2006: Suelos – Hidrocarburos fracción pesada por extracción y gravimetría – Método de prueba*. México: Diario Oficial de la Federación, 2006.

[17] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) and Secretaría de Salud (SSA), *NOM-138-SEMARNAT-SSA-2012: Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y especificaciones para su caracterización y remediación*. México: Diario Oficial de la Federación, 2013.

[18] I. J. Díaz-Ramírez, E. Escalante-Espinosa, E. Favela-Torres, M. Gutiérrez-Rojas, and H. Ramírez-Saad, “Design of bacterial defined mixed cultures for biodegradation of specific crude oil fractions, using population dynamics analysis by DGGE,” *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 62, no. 1, pp. 21–30, 2008.

[19] D. C. Marín-García, R. H. Adams, and R. Hernández-Barajas, “Effect of crude petroleum on water repellency in a clayey alluvial soil,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 1, pp. 55–64, 2016.

[20] L. L. Vázquez-Vázquez, M. E. Ojeda-Morales, M. E. M. V. Treviño, I. Sánchez-Lombardo, M. Z. Macías-Valadez, C. Méndez-Olán, and C. M. Morales-Bautista, “Fracciones de hidrocarburos en la evaluación del impacto ambiental de suelos contaminados,” *Avances de Investigación en Ingeniería Aplicada*, p. 644.

[21] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), *Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco*. México: INEGI, 2001.

[22] A. Pérez, “Hablemos del suelo I, densidad real y aparente.” [Online]. Available: <https://perezguarinos.wordpress.com>, 2022.

[23] O. Acevedo-Sandoval, E. Ortiz-Hernández, M. Cruz-Sánchez, and E. Cruz-Chávez, “El papel de óxidos de hierro en suelos,” *Terra Latinoamericana*, vol. 22, no. 4, pp. 485–497, 2004.

- [24] M. del C. Gutiérrez and J. Zavala, “Rasgos hidromórficos de suelos tropicales contaminados con hidrocarburos,” *Terra Latinoamericana*, vol. 20, no. 2, pp. 101–111, 2002.
- [25] V. E. Martínez, “Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso,” *Terra Latinoamericana*, vol. 19, no. 1, pp. 9–17, 2001.