



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**“DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL EN MANGLAR PARA MEDIR VARIACIÓN DE  
CARBONO ORGÁNICO, EJIDO ÚRSULO GALVÁN, JALPA DE MÉNDEZ”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**DOCTOR EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES**

PRESENTA:

**M.I. LEYDI LORENA VÁZQUEZ VÁZQUEZ**

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

**DRA. ANA ROSA RODRÍGUEZ LUNA**

EN CO-DIRECCIÓN:

**DR. CARLOS MARIO MORALES BAUTISTA**

**VILLAHERMOSA, TABASCO, SEPTIEMBRE 26 DE 2025.**

### Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 17 del mes septiembre del año 2025, la que suscribe, C. Leydi Lorena Vázquez Vázquez, alumna del Programa de Doctor en ecología y manejo de sistemas tropicales, con número de matrícula 202G26005, adscrito a la División académica de ciencias biológicas, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autora de la Tesis presentada para la obtención del grado de Doctora y titulada "Diagnóstico socioambiental en manglar para medir variación de carbono orgánico, ejido Ursulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco", dirigida por Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna y Dr. Carlos Mario Morales Bautista.

#### DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a 17, de septiembre, 2025.



M.I. Leydi Lorena Vázquez Vázquez



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**



**2025  
AÑO DE LA  
Mujer  
Indígena**

SEPTIEMBRE 05 DE 2025

**C. LEYDI LORENA VÁZQUEZ VÁZQUEZ  
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y  
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL EN MANGLAR PARA MEDIR VARIACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO, EJIDO ÚLSULO GALVÁN, JALPA DE MÉNDEZ"**, asesorado por la Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna y Dr. Carlos Mario Morales Bautista, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por la Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Dr. Eduardo Salvador López Hernández, Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna, Dr. Allan Keith Cruz Ramírez, Dr. Carlos Mario Morales Bautista, Dra. Sugey López Martínez y Dra. Iliana Margarita de la Garza Rodríguez.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo

**U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**



**KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA**  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401. e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



### Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 17 de septiembre de 2025.

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORES en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "Diagnóstico socioambiental en manglar para medir variación de carbono orgánico, ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco".

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

#### COLABORADORES

  
M.I. Leydi Lorena Vázquez Vázquez

EGRESADA

  
Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna

DIRECTORA

  
Dr. Carlos Mario Morales Bautista

CODIRECTOR

#### TESTIGOS

  
Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez

Testigo 1

  
Dr. Eduardo Salvador López Hernández

Testigo 2



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tabasco a 04 de septiembre de 2025

**C. LEYDI LORENA VÁZQUEZ VÁZQUEZ**

EGRESADA DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA  
Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES  
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los trabajos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación que se desarrollan en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados registrados en el SNP de la SECIHTI.

Por este conducto, hago de su conocimiento que con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, se realizó la revisión de su documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de similitud, el índice de similitud y se emitieron las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación titulado: **Diagnóstico socioambiental en manglar para medir variación de carbono orgánico, Ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez.**

OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud general obtenido fue de 03%**, el cual se ubica dentro del estándar de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT. Se demuestra el nivel de originalidad del documento y de la investigación.
2. El reporte de similitud obtenido indica coincidencias con fuentes de consulta, éstas se refieren a frases en las secciones de introducción y metodología, principalmente. Lo anterior, no demerita el documento de tesis, pues dichas coincidencias corresponden con fuentes primarias de citación de internet, y publicaciones científicas. Por lo que confirma la originalidad de la investigación.



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

3. **Se adjunta el reporte de similitud de la tesis** obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita a la C. LEYDI LORENA VÁZQUEZ VÁZQUEZ, integrar en la versión final de sus tesis, este oficio y el reporte de similitud con el porcentaje emitido por Turnitin iThenticate de acuerdo con lo señalado en los Lineamientos institucionales para la elaboración de tesis de posgrado.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR

C.C.P. Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna. Directora de tesis  
Dr. Carlos Mario Morales Bautista. Codirector de tesis.  
Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

## 3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 14 palabras)

### Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

- ▶ **Caracteres reemplazados**  
349 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
- ▶ **Texto oculto**  
62 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



### Fuentes principales

- 3% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	www.researchgate.net	<1%
2	Internet	www.gob.mx	<1%
3	Internet	repositorio.xoc.uam.mx	<1%
4	Internet	www.villahermosa.gob.mx	<1%
5	Internet	www.scielo.org.mx	<1%
6	Internet	gobiernoabierto.navarra.es	<1%
7	Internet	www.coursehero.com	<1%
8	Internet	www.mda.cinvestav.mx	<1%
9	Internet	aquadocs.org	<1%
10	Internet	orbi.uliege.be	<1%
11	Internet	www.conabio.gob.mx	<1%

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México

✓ iThenticate

Página 4 de 146 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:489737048

12	Internet	comunidadpmpca.uaslp.mx	<1%
13	Internet	baixardoc.com	<1%
14	Internet	legismex.mty.itesm.mx	<1%
15	Internet	ri.uaemex.mx	<1%
16	Trabajos entregados	ujatposgrado on 2025-08-26	<1%
17	Internet	www.bcrp.gob.pe	<1%
18	Internet	hdl.handle.net	<1%
19	Internet	www.scribd.com	<1%
20	Internet	brazilianjournals.com	<1%
21	Internet	www.coinbio.org	<1%
22	Internet	www.monografias.com	<1%
23	Internet	repositorio.jesuita.org.br	<1%
24	Internet	www.cvc.gov.co	<1%
25	Internet	www.ptolomeo.unam.mx:8080	<1%

✓ iThenticate

Página 4 de 146 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:489737048



26	Internet	doi.org	<1%
27	Internet	pmcarbono.org	<1%
28	Internet	sidalc.net	<1%
29	Internet	dgip.unach.mx	<1%
30	Internet	es.slideshare.net	<1%
31	Internet	research.ijcaonline.org	<1%

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México



**Dedicatoria:**

Este trabajo me lo dedico a mí, a mi esfuerzo, a mi constancia, a todas esas noches de desvelo y días difíciles.

A mis queridos hijos Ian y Eliette, por su acompañamiento y paciencia, los amo.

A mis tíos Inés y Elías; a mi mamita Rosa; gracias infinitas porque sin ustedes no lo hubiera logrado.

**A mi fiel amigo, Yeshúa.**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México



## Agradecimientos:

A la universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por abrir sus puertas para prepararme en este nuevo ciclo de mi vida.

A mis asesores:

Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna, a quien le agradezco sus palabras de aliento, consejos y ánimos para salir adelante no solo en lo profesional sino en lo personal.

Dr. Carlos Mario Morales Bautista, gracias por su enseñanza y apoyo tanto en el trabajo de campo como en el análisis de los resultados. Además de su amistad.

A mis amigas:

Adriana, Priscila, Teté, Rosario, Ale sonrisa.

A mis amigos casi hermanos:

Miriam, Héctor, Samuel (eres parte de esta tesis).

A mis ayudantes y amigas de laboratorio:

Irene, Yami, Claudia, Isis.

A mis apoyos incondicionales:

Zayra y Yeni

A mi amigo Enrique.

A mi padrino Gerardo

A los doctores del comité Tutorial, Predoctoral y Sinodal, siempre estuvieron presentes.

Al ejido Úrsulo Galván, una comunidad extraordinaria.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti).

## INDICE DE CONTENIDO

Resumen .....	XIV
Abstract .....	XV
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>5. HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
<b>6. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>6.1 Objetivo General.....</b>	<b>4</b>
<b>6.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>7. METODOLOGÍA.....</b>	<b>5</b>
<b>7.1 Área de estudio.....</b>	<b>5</b>
7.1.1. Laguna Mecoacán.....	5
7.1.2. Impactos ambientales en la ANP laguna Mecoacán.....	6
7.1.3. Ejido Úrsulo Galván .....	7
7.1.4 Modelo socioambiental de éxito en reforestación.....	8
7.1.5 Servicios ecosistémicos que ofrecen los manglares del ejido Úrsulo Galván .....	9
7.1.5.1 Servicios de soporte .....	9
7.1.5.2. Servicios de provisión.....	9
7.1.5.3 Servicios culturales.....	10
7.1.5.4 Servicios de regulación.....	10
<b>7.2 Diseño del muestreo .....</b>	<b>12</b>
7.2.1 Modelo numérico hidrodinámico bidimensional (MNHB) .....	14
7.2.2 Muestreo de Sedimentos .....	16
7.2.3 Muestreo de suelos.....	17
7.2.4 Descripción de núcleos y perfiles .....	17
<b>7.3 Determinaciones analíticas.....</b>	<b>18</b>
7.3.1. Parámetros físicos y químicos.....	18



7.3.2 Hidrocarburos .....	18
7.3.2.1 Espectroscopia ultravioleta-visible .....	18
7.3.2.2 Hidrocarburos Totales presentes (HTP) por método Soxhlet .....	18
7.3.2.3 Análisis SARA .....	19
7.3.2.4 Infrarrojo con transformadas de Fourier (FTIR).....	19
7.3.3 DRX .....	20
7.3.4 Metales .....	21
7.3.4.1 Análisis de componentes APC.....	22
7.3.5 Carbono orgánico Total.....	22
<b>7.4 Metodología de investigación cualitativa (Encuestas) .....</b>	<b>22</b>
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>8.1 Sedimentos .....</b>	<b>24</b>
8.1.1 Modelo numérico hidrodinámico bidimensional (MNHB) y las condiciones de arrastre de sedimentos a la zona de estudio.....	24
8.1.2 Cationes disponibles en el sistema hídrico.....	24
8.1.2.1 Calcio .....	25
8.1.2.2 Magnesio.....	26
8.1.2.3 Potasio .....	27
8.1.2.4 Sodio .....	28
8.1.3 Mineralogía de sedimentos por Difracción de rayos X (DRX) .....	28
8.1.4 Metales pesados Ba, Cd, Cr, Ni, Pb y V.....	31
8.1.4.1 Balance de disposición de metales en sedimentos y su relación con los efectos asociados al ecosistema de manglar.....	32
8.1.4.2 Níquel.....	34
8.1.5 Hidrocarburos .....	36
8.1.5.1 Determinación de Hidrocarburos Totales del Petrolero (HTP) mediante espectrofotometría Ultravioleta Visible (UV-vis).....	36
8.1.5.2 Propiedades físicas y químicas de sedimentos.....	37
8.1.5.3 Fracciones SARA .....	39
8.1.5.4 Índice de Hidrocarburos Polares en sedimentos a partir de los FTIR y su relación con la repelencia al agua.....	41
<b>8.2 suelos.....</b>	<b>41</b>
8.2.1 Cationes disponibles en suelos.....	42



8.2.1.1 Calcio .....	43
8.2.1.2 Magnesio .....	45
8.2.1.3 Potasio .....	45
8.2.1.4 Sodio .....	46
8.2.2 Metales pesados Ba, Cd, Cr, Ni, Pb y V .....	48
8.2.3. Hidrocarburos .....	49
8.2.3.1 Hidrocarburos Totales del petróleo (HTP) en suelos.....	49
8.2.3.2 Fracciones SARA en suelos .....	51
8.2.3.3 Determinación de índices de compuestos polares (IRAP) y su relación con la repelencia al agua en suelos .....	54
<b>8.3 Carbono orgánico del suelo .....</b>	<b>55</b>
8.3.1 Análisis de núcleos y perfiles del área de estudio .....	55
8.3.2 Carbono orgánico y su variación por el cambio de uso de suelo .....	59
<b>8.4 Instrumentos cualitativos: identificar las posibles fuentes locales de generación de contaminantes en el sitio de estudio .....</b>	<b>64</b>
8.4.1 Perfil Socioeconómico.....	65
8.4.1.1 Vivienda.....	66
8.4.1.2 Servicios.....	68
8.4.1.3 Actividad productiva.....	70
8.4.1.4 Salud .....	70
8.4.2 Perfil Socioambiental .....	71
8.4.2.1 Impacto socio ambiental .....	71
8.4.2.1 Recursos y programas ambientales.....	72
8.4.2.2 Recursos hídricos y su impacto .....	74
8.4.3 Perfil Sociocultural .....	75
8.4.3.1 Festividades .....	75
8.4.3.2 Costumbres .....	76
<b>8.5 Análisis de Componentes Principales (PCA) .....</b>	<b>77</b>
8.5.1 PCA Sedimentos.....	78
8.5.2 PCA en suelos .....	80
<b>9. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>84</b>
<b>10. Referencias citadas .....</b>	<b>85</b>



<b>11. Anexos</b> .....	<b>98</b>
<b>Anexo A</b> .....	<b>98</b>
<b>Anexo B</b> .....	<b>99</b>
<b>Anexo C</b> .....	<b>100</b>
<b>Anexo D</b> .....	<b>101</b>
<b>Anexo E</b> .....	<b>102</b>
<b>Anexo F</b> .....	<b>103</b>
<b>Anexo G</b> .....	<b>104</b>
<b>Anexo H</b> .....	<b>105</b>
<b>Anexo I</b> .....	<b>106</b>
<b>Anexo J</b> .....	<b>106</b>
<b>Anexo K</b> .....	<b>107</b>
<b>Anexo L</b> .....	<b>107</b>
<b>Anexo M</b> .....	<b>108</b>
<b>Anexo N</b> .....	<b>108</b>
<b>Anexo O</b> .....	<b>109</b>
<b>Anexo P</b> .....	<b>109</b>
<b>Anexo Q</b> .....	<b>110</b>
<b>Anexo R</b> .....	<b>111</b>
<b>Anexo S</b> .....	<b>112</b>
<b>Anexo T</b> .....	<b>113</b>
<b>Anexo U</b> .....	<b>114</b>
<b>Anexo V</b> .....	<b>114</b>
<b>Anexo W</b> .....	<b>115</b>
<b>Anexo X</b> .....	<b>115</b>
<b>Anexo Y</b> .....	<b>116</b>



<b>Anexo Z</b> .....	<b>116</b>
<b>Anexo AA</b> .....	<b>117</b>
<b>Anexo AB</b> .....	<b>118</b>
<b>Anexo AC</b> .....	<b>119</b>
<b>Anexo AD</b> .....	<b>120</b>
<b>Anexo AE</b> .....	<b>125</b>
<b>Anexo AF</b> .....	<b>126</b>

### Índice de Tablas

Tabla 1 Coordenadas geográficas de puntos de muestreo de sedimentos y suelos .....	13
Tabla 2 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de sedimentos .....	25
Tabla 3 Composición mineralógica de los sedimentos de la zona de estudio .....	29
Tabla 4 Metales pesados en sedimentos .....	32
Tabla 5 Caracterización física y química de sedimentos .....	35
Tabla 6 Hidrocarburos totales del petróleo en sedimentos .....	36
Tabla 7 Características de los sedimentos contaminados con Hidrocarburos .....	38
Tabla 8 Caracterización física y química de suelos .....	42
Tabla 9 Capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de sodio intercambiable en suelos .....	43
Tabla 10 Metales pesados en suelos .....	48
Tabla 11 Hidrocarburos totales del petróleo en suelos .....	50
Tabla 12 Propiedades de suelo y contenido de fracciones SARA .....	51
Tabla 13 Relación IRAP y WDPT en suelos de manglar de Úrsulo Galván .....	55
Tabla 14 Caracterización física y química de suelo, en polígono 2 .....	56
Tabla 15 Caracterización física y química de suelo en polígono 3 .....	56
Tabla 16 Caracterización física y química de suelo en polígono 4 .....	56
Tabla 17 Relación de variables por componentes en muestras de sedimentos .....	78
Tabla 18 Relación de variables por componentes en muestras de suelos .....	81



## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Ubicación del área de estudio, ejido Úrsulo Galván .....	5
<b>Figura 2</b> Organigrama del ejido Úrsulo Galván .....	7
<b>Figura 3</b> Ubicación de puntos de muestreo de la zona de estudio ArcMap® versión 10.8 .....	12
<b>Figura 4</b> Zona de estudio agrupada por polígonos .....	14
<b>Figura 5</b> Equipo acústico Doppler-ADCP StreamPro (Izq.); modelo Digital de Elevaciones (Der.) .....	15
<b>Figura 6</b> Recorrido sobre una sección transversal (a); secciones transversales medidas en la zona de estudio (b) .....	16
<b>Figura 7</b> a) ubicación de puntos de muestreo; b) recolección de muestras; c) almacenamiento y etiquetado.....	16
<b>Figura 8</b> Tratamiento primario de muestras de suelos y sedimentos .....	17
<b>Figura 9</b> Extracción de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) .....	19
<b>Figura 10</b> Difractómetro de rayos X .....	21
<b>Figura 11</b> Espectrofotómetro de Absorción Atómica .....	21
<b>Figura 12</b> Zonas de sedimentación en sitio de estudio.....	24
<b>Figura 13</b> Valores de calcio en sedimentos .....	26
<b>Figura 14</b> Valores de magnesio en sedimentos.....	27
<b>Figura 15</b> Valores de potasio en sedimentos.....	27
<b>Figura 16</b> Valores de sodio en sedimentos.....	28
<b>Figura 17</b> Balance de componentes mineralógicos en áreas de sedimentación.....	31
<b>Figura 18</b> Balance de concentraciones de HTP en polígono 1.....	37
<b>Figura 19</b> Comportamiento de la conductividad eléctrica (CE) y textura de los sedimentos .....	37
<b>Figura 20</b> HTP y su relación con los cambios de pH en sedimentos .....	39
<b>Figura 21</b> Contraste de fracciones SARA en sedimentos según la textura .....	40
<b>Figura 22</b> Valores de Calcio en suelos .....	44
<b>Figura 23</b> Valores de Calcio y Magnesio en suelos .....	45
<b>Figura 24</b> Valores de potasio y su relación entre la CE en suelos .....	46
<b>Figura 25</b> Valores de sodio y su relación entre la CE en suelos .....	47
<b>Figura 26</b> Relación níquel-magnesio en suelos.....	49
<b>Figura 27</b> Distribución del porcentaje de fracciones SARA en suelos con respecto a la textura .....	52
<b>Figura 28</b> Contenido fracciones SARA en polígono 2 .....	53
<b>Figura 29</b> Contenido fracciones SARA en polígono 3 .....	53
<b>Figura 30</b> Contenido fracciones SARA en polígono 3 .....	54
<b>Figura 31</b> Características edafológicas presentadas en polígono 2.....	57
<b>Figura 32</b> Características edafológicas en el polígono 3.....	58
<b>Figura 33</b> Características edafológicas observados en polígono 4 .....	59



<b>Figura 34</b>	Variación de COS por polígono de estudio .....	59
<b>Figura 35</b>	Relación entre la CE y la variación de reserva de COS .....	60
<b>Figura 36</b>	Comparativa de COT por especie de mangle .....	61
<b>Figura 37</b>	Captura de CO <sub>2</sub> con respecto a contaminantes en polígono 2.....	62
<b>Figura 38</b>	Captura de CO <sub>2</sub> con respecto a contaminantes en polígono 3.....	62
<b>Figura 39</b>	Captura de CO <sub>2</sub> con respecto a contaminantes en polígono 4.....	63
<b>Figura 40</b>	Edad promedio de la población .....	65
<b>Figura 41</b>	Ocupación de la población.....	66
<b>Figura 42</b>	Ingreso semanal de la población .....	66
<b>Figura 43</b>	Tipo de vivienda.....	67
<b>Figura 44</b>	Descarga de aguas residuales no tratadas .....	67
<b>Figura 45</b>	Agua para consumo.....	68
<b>Figura 46</b>	Disposición Residuos sólidos urbanos (RSU) .....	69
<b>Figura 47</b>	Disposición aceite industrial y comestible .....	69
<b>Figura 48</b>	Actividad productiva de la población.....	70
<b>Figura 49</b>	Enfermedades más comunes .....	71
<b>Figura 50</b>	Métodos de irrigación en la agricultura.....	71
Figura 51	Beneficios del ANP “Parque Laguna Mecoacán” .....	72
<b>Figura 52</b>	UMA’S ubicadas en el sitio de estudio.....	72
<b>Figura 53</b>	Actividades de monitoreo ANP de manglares .....	73
<b>Figura 54</b>	Actividades en beneficio del medio ambiente.....	73
<b>Figura 55</b>	Impactos en el ecosistema en los últimos 10 años .....	74
<b>Figura 56</b>	Plagas naturales que afectan el manglar .....	75
<b>Figura 57</b>	Religión practicada en la comunidad.....	76
<b>Figura 58</b>	Tipos de violencia .....	77
<b>Figura 59</b>	Análisis de componentes en sedimentos .....	78
<b>Figura 60</b>	Análisis de componentes de suelos.....	81



## DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL EN MANGLAR PARA MEDIR VARIACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO, EJIDO ÚRSULO GALVÁN, JALPA DE MÉNDEZ

### Resumen

La presente investigación realizó un diagnóstico de impacto ambiental, de actividades antropogénicas en el ecosistema de manglar del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco. Mediante un enfoque multidisciplinario, se realizaron análisis geoquímicos y se aplicaron herramientas con enfoque socioambiental. Se determinó la dinámica del arrastre de contaminantes, recolectando 27 muestras de suelo y 13 de sedimentos, que fueron analizados mediante pruebas de pH, conductividad eléctrica, textura, capacidad de intercambio catiónico, metales pesados, sodio intercambiable, mineralogía, hidrocarburos totales del petróleo (HTP), fracciones SARA y carbono orgánico total (COT) (DOF, 2000; DOF, 2002).

Se detectaron metales como plomo, vanadio, bario, cobalto y níquel, este último cercano sobrepasando los límites normales permitidos (DOF, 2005). También se identificó la presencia de fracciones de hidrocarburos como resinas, asfáltenos y aromáticos, principalmente en sedimentos cercanos a ductos y embarcaderos. La mineralogía reveló cuarzo, anortita, hematita y alunógeno, minerales asociados a la adsorción de contaminantes. Además, se observó que actividades como ganadería y piscicultura afectan la capacidad del manglar para capturar carbono, debido a la homogenización de horizontes, deforestación e inadecuada gestión de residuos. En esta última, se incineran al aire libre, actividad que expone a animales y cultivos familiares y paralelamente pone en riesgo la salud de la población.

El diagnóstico socioambiental mostró que la comunidad participa activamente en acciones de conservación, impulsadas por proyectos de bonos de carbono, lo cual ha derivado en reconocimiento nacional por su manejo forestal. Se concluye que es prioritario fortalecer estrategias de conservación y mitigación, con base en la participación comunitaria, la educación ambiental y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Palabras clave:** Manglares, metales, hidrocarburos, carbono orgánico, ejido.



## Abstract

This research carried out an environmental impact diagnosis of anthropogenic activities affecting the mangrove ecosystem in the Úrsulo Galván ejido, located in Jalpa de Méndez, Tabasco. Using a multidisciplinary approach, geochemical analyses were performed, and socio-environmental tools were applied. The dynamics of contaminant carryover was determined through the collection of 27 soil samples and 13 sediment samples, which were analyzed for pH, electrical conductivity, texture, cation exchange capacity, heavy metals, exchangeable sodium, mineralogy, total petroleum hydrocarbons (TPH), SARA fractions, and total organic carbon (TOC) (DOF, 2000; DOF, 2002).

Metals such as lead, vanadium, barium, cobalt, and nickel were detected, with nickel levels approaching or exceeding permissible limits (DOF, 2005). Hydrocarbon fractions—particularly resins, asphaltenes, and aromatics—were identified, primarily in sediments located near pipelines and docks. Mineralogical analysis revealed the presence of quartz, anorthite, hematite, and alunogen, minerals associated with the adsorption of pollutants. Additionally, activities such as livestock farming, and aquaculture were found to reduce the mangrove's carbon sequestration capacity due to soil horizon homogenization, deforestation, and improper waste management. Open-air incineration, in particular exposes animals and family crops to harmful substances and poses a health risk to the local population.

The socio-environmental diagnosis showed active community involvement in conservation initiatives, driven by carbon credit projects, which have earned national recognition for their forest management practices. The study concludes that it is essential to strengthen conservation and mitigation strategies based on community participation, environmental education, and the Sustainable Development Goals.

**Keywords:** Mangroves, metals, hydrocarbons, organic carbon, ejido



## 1. INTRODUCCIÓN

Los manglares son de los ecosistemas más productivos de todo el mundo y favorecen el hábitat de especies de plantas y animales que sostienen comunidades biológicas y humanas. Protegen las costas de temporales y tsunamis; bioindicadores del cambio climático, regulación hídrica, cambio de uso del suelo y contaminación. Se ubican en zonas costeras, ríos, lagunas y estuarios (Kauffman et al., 2013; Rodríguez-Zúñiga, et al., 2018).

Estos ecosistemas reducen los gases de efecto invernadero mediante el secuestro de carbono en raíces y sedimentos conocido como carbono azul, representan el 20% del área total oceánica terrestre y almacenan más del 50% de carbono total emitido a nivel mundial (Murray & Vegh, 2012). Países como Indonesia, Brasil, Australia, México y Nigeria contienen el 46.3% de la superficie mundial de manglares, de los cuales, México ocupa el cuarto lugar con una superficie de 9,051 km<sup>2</sup> que corresponden a un total de 905,086 hectáreas, el equivalente al 6.7% de manglar en el mundo (Velázquez-Salazar, et. al, 2021).

México se divide en cinco regiones geográficas en función de la distribución de manglares: 1. Pacífico Norte que comprende los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit; 2. Pacífico Centro que incluye a Jalisco, Colima y Michoacán; 3. Pacífico Sur, integrado por Guerrero, Oaxaca y Chiapas; 4. Golfo de México, Tamaulipas, Veracruz y Tabasco; y 5. Península de Yucatán conformada por Campeche, Yucatán y Quintana Roo, por lo que su importancia exige intervención y manejo adecuado en los sectores económico, ambiental y gubernamental (Rodríguez-Zúñiga et al., 2013).

## 2. MARCO TEÓRICO

Tabasco cuenta con 49,225 ha de manglar que corresponden al 5.44% del total en el país. Los manglares de los municipios de Jalpa de Méndez y Paraíso tienen conexión con la laguna Mecoacán, declarada Área Natural Protegida (ANP) de jurisdicción estatal ya que ésta, por su extensión, características biogeográficas, socioeconómicas y ecológicas ha sido considerada como un sitio de relevancia biológica, además que posee un valor medio en términos de corredor biológico. Sin embargo, en el año 2011 se habían perdido en el estado 19,922.9 ha de manglar debido a la tala clandestina, incendios, plagas, producción de carbón y desechos provenientes de la industria petrolera que provocaron deterioro y pérdida del ecosistema, afectando sus propiedades físicas y químicas (Domínguez-Domínguez et al., 2011; Periódico oficial del estado de tabasco, 2019).



En este contexto, algunos trabajos como los de Ferreyra & López, (2020) mencionan que el sector petrolero en México compromete la conservación del manglar debido a los riesgos provenientes de la extracción, producción y transporte de hidrocarburos por medio de ductos que son vertidos dentro de estos frágiles ecosistemas. Así mismo, señalan que las plataformas marítimas y los sistemas de tratamientos en baterías petroleras, descargan alrededor de los litorales, lagunas y ríos residuos que viajan a través de los sedimentos y se bioacumulan en flora y fauna acuática. Otros reportes como los de Botello, (2005) señalan que las concentraciones de estos residuos en sedimentos del Golfo de México exceden los límites permisibles propuestos por la UNESCO, especialmente los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Por estas razones, la presente investigación tuvo como objetivo realizar un diagnóstico ambiental midiendo la concentración de hidrocarburos y metales en suelos y sedimentos de manglares en el ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco tomando como referencia las normas mexicanas en materia de calidad del suelo y de hidrocarburos totales del petróleo. El estudio tuvo como base un modelo bidimensional en el que se definió la cinética de los contaminantes en el sistema hídrico, así como sus efectos sobre el almacenamiento de carbono.

Derivado de la importancia geoquímica que represente el carbono subterráneo, este trabajo propone una metodología de este compuesto. Esta metodología incluyó la participación de los ejidatarios para el trabajo en campo. Esta actividad demuestra la responsabilidad social universitaria al hacer partícipe a la sociedad mediante la transferencia de conocimientos científicos y técnicos. Además, se realizaron acciones que promovieron una educación y cultura ambiental, bajo el marco metodológico del diagnóstico y evaluación participativa. Esta actividad tuvo como objetivo consolidar un proceso que ofrece muchas oportunidades y ventajas, al estudiar y evaluar el ecosistema de manglar, contribuyendo así a alcanzar logros ambientales propuestos por los tres órdenes de gobierno de nuestro país y del mundo como la Agenda 2030.

En materia de marco referencia ambiental, el presente trabajo tomo los objetivos 15 y 13 del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. El objetivo número 15, se refiere a la vida de ecosistemas terrestres, que propone la lucha contra la desertificación y la rehabilitación suelos degradados como el ecosistema de manglar, el cual atiende a esta problemática. Así mismo, el objetivo número 13 acción por el clima, busca fortalecer la resiliencia y la capacidad de



adaptación relativa al cambio climático y los desastres naturales. Con ambos, se impacta de manera paralela en el área uno (fisicomatemáticas y ciencias de la tierra) de atención prioritaria del CONAHCYT. Es importante señalar que las estrategias propuestas en la Agenda 2030 se dirigen a los grupos prioritarios de atención a mujeres, población infantil, adolescentes y comunidades indígenas y marginadas; en este caso, la población de Reforma segunda sección, se ubica dentro de una zona marginada.

En términos gubernamentales, México busca impulsar el desarrollo sostenible mediante el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 el cual se incluye en el capítulo 2 “política social”, donde el bienestar es un factor indispensable para el gobierno. Así mismo esta investigación se apega al Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024, del eje transversal de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible del estado de Tabasco, el cual menciona textualmente lo siguiente: “se consolidarán las bases para un desarrollo sostenible de largo plazo mediante la aplicación estricta de las políticas públicas de gestión ordenada del territorio para la sostenibilidad”; lo anterior, en concordancia con el objetivo 6.4.3.2.1. que busca promover la conservación de áreas prioritarias representativas de los ecosistemas con un enfoque de sustentabilidad (GET, 2019).

Universidad Autónoma de Tabasco  
México



#### 4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿las altas concentraciones de contaminantes como hidrocarburos y metales pesados presentes en la zona de estudio podrían representar un riesgo para la captura de carbono del ecosistema de manglar?

#### 5. HIPÓTESIS

La producción de carbono orgánico en el ecosistema de manglar del ejido Úrsulo Galván es afectado por los cambios de vocación de uso de suelo derivado de actividades antropogénicas y la presencia de contaminantes como metales pesados e hidrocarburos, los cuales provienen de la industria petrolera y son desplazados por todo el sistema hídrico del sitio de estudio.

#### 6. OBJETIVOS

##### 6.1 Objetivo General

Identificar los cambios de uso de suelo y las fuentes locales de generación de contaminantes (metales pesados e hidrocarburos) en el ecosistema de manglar del ejido Úrsulo Galván, mediante la caracterización física y química de las propiedades de suelos y sedimentos para diagnosticar su relación con la captura de carbono orgánico.

##### 6.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar un modelo numérico bidimensional lluvia-escorrentamiento, para establecer las condiciones de arrastre y acumulamiento de sedimentos en la zona de estudio.
2. Relacionar las concentraciones de hidrocarburos y metales según la vocación de uso de suelo con los efectos asociados al ecosistema de manglar de la zona estudio con base en las Normas Oficiales Mexicanas.
3. Identificar a través de instrumentos cualitativos (encuestas) las posibles fuentes locales de generación de contaminantes que representen un riesgo para las acciones de conservación y captura de carbono orgánico en el sitio de estudio,
4. Medir carbono orgánico del suelo y diagnosticar si existe variación en la captura de CO<sub>2</sub> debido a los cambios en la vocación de uso de suelo.

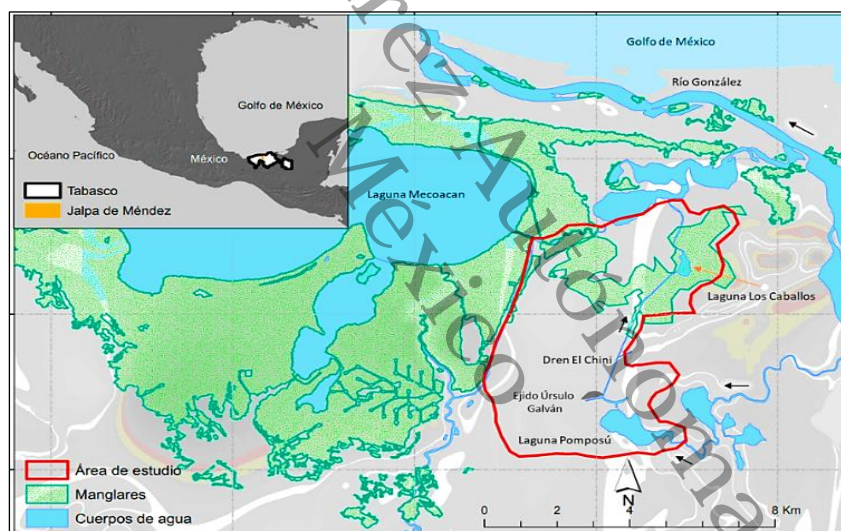


## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 Área de estudio

El ejido Úrsulo Galván se ubica en la ranchería Reforma segunda sección, en el municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco. Limita al norte con la laguna Eslabón en Paraíso; al sur con la Ranchería Reforma 2da. sección, Jalpa de Méndez; al este, con el ejido Jalapita, Centla y al oeste con la Laguna Mecoacán (**Figura 1**). La hidrografía de la zona presenta cuerpos de agua fundamentales como la laguna Pomposú que tiene corrientes de agua de los ríos el Naranjo, Cuxcuchapa y Hondo. El arroyo Santa María recibe aguas de esta laguna para dar origen al dren el Chinín el cual conecta con la laguna y río los Caballos que se enlazan a la laguna Mecoacán, esta última pertenece a la región hidrológica Grijalva-Usumacinta (INEGI, 2010).

**Figura 1**  
**Ubicación del área de estudio, ejido Úrsulo Galván**



#### 7.1.1. Laguna Mecoacán

La laguna Mecoacán forma parte del corredor biológico de manglares del Golfo de México, tiene una importancia ecológica y económica debido a la biodiversidad que alberga y su interés pesquero. Esta laguna se ubica en el sitio GM-46 (Lagunas de Mecoacán-Julivá-Santa-Anita), forma parte de la Región Hidrológica 30 de la CONAGUA que pertenece a la Cuenca del Grijalva-Usumacinta, se estima una superficie 5,186 ha, ubicada en los municipios de Paraíso, Comalcalco y Jalpa de Méndez (León, 2014), este último conserva el 5.83% de los manglares del estado de Tabasco (INEGI, 2010). La vegetación de la zona se caracteriza por manglar, pastizal halófilo, pastizal inducido, popal y tular. Las especies de mangle que se encuentran en el sitio son: mangle rojo (*R.M.*), mangle blanco (*L.R.*) y mangle negro (*A. G.*) (Aguilar, et al., 2007; Domínguez, et al., 2003).



El suelo se caracteriza por tener textura arenosa en los sedimentos con una profundidad media de 1.20 m hasta los tres metros. Las características físicas, químicas y biológicas de la laguna están relacionadas con los procesos de sedimentación terrígena del Río Mezcalapa. Presenta limos de grano grueso a medio, los aportes de materia orgánica provienen principalmente del manglar que rodea a la laguna, así como del acarreo de los ríos. Su flora cuenta con un registro de 273 especies, destacando el bosque de manglar el cual permite la pesquería de escama, camarón y ostión, cuya explotación sustenta la economía de numerosos grupos locales. Presenta un registro de 32 especies de peces, 106 de aves y 25 de macro crustáceos (León, 2014; Moreno-Cáliz, et al., 2009; Torres, et al., 2018).

### **7.1.2. Impactos ambientales en la ANP laguna Mecoacán**

La interacción entre los sistemas hídricos dulce y salobres, observados en la laguna Mecoacán, presentan una dinámica ambiental y ecológica favorable, para el desarrollo de diversas especies. Además, posee servicios ambientales principalmente pesqueros en los que destaca el ostión americano (*Crassostrea virginica*). Sin embargo, estas actividades se han visto afectadas por la sobreexplotación de estos recursos y la contaminación de estos ecosistemas relacionados con las descargas de aguas residuales y el sector hidrocarburos. (Arias, 2014; De la Lanza Espino & Gómez, 1999). Así mismo, Beltrán y colaboradores (2005), mencionan que los impactos sinérgicos dentro del ecosistema, dependen del desplazamiento de contaminantes en los cuerpos de agua por residuos sólidos, petróleo y agroquímicos; así mismo, los impactos indirectos como la tala para pastizales, la extracción de madera, los incendios forestales (en la época de secas) que podría haber en las zonas aledañas a la Laguna Mecoacán y las amenazas de introducción de especies exóticas especialmente en áreas donde radican grupos vulnerables y especies protegidas, dependen de las actividades humanas.

De acuerdo con Acosta et al., (2012), los manglares de Mecoacán ha sido un sitio fuertemente afectado por la actividad petrolera, sobre todo por la puesta en marcha del proyecto "Puerto Dos Bocas". En este sentido, en el estudio de manifiesto ambiental realizado para la refinería Olmeca en el año 2019, se detectaron que las concentraciones de arsénico (As), bario (Ba) presentaron valores altos y el níquel (Ni) superó los límites máximos permisibles (LMP) en algunos sitios de la laguna. Los resultados indicaron que el contenido de elementos contaminantes en sedimentos, están fuertemente relacionados con fuentes naturales y antropogénicas, en las que destacan: las industrias petroquímicas, metalúrgicas y fertilizantes, así como descargas urbanas (IMP, 2019).

Más del 96 por ciento del petróleo y 90 por ciento de la producción de gas provienen de las plataformas marinas del Golfo de México, lo que equivale a que dos tercios del territorio mexicano



drenen aguas contaminadas que se riegan a través de los sistemas acuáticos y los efectos de la alteración se vuelvan críticos, ya que esto puede inducir una extensa y permanente pérdida de pantanos, manglares y pastos marinos (Villanueva & Botello, 1992).

### 7.1.3. Ejido Úrsulo Galván

Fundado por resolución presidencial el 25 de agosto de 1975, siendo presidente de los Estados Unidos Mexicanos el Lic. Luis Echeverría Álvarez, el ejido inició con una membresía de 33 ejidatarios y poseía 1,500 ha de suelo; posteriormente en virtud de que existían áreas pantanosas, éstas se tomaron como aptas para cultivo, por lo que se autorizó definitivamente la dotación de 2,914.35 ha, bajo el régimen colectivo (Arellano, A., 2022).

Actualmente, cuenta con una organización mixta y colectiva formada por 38 hombres y 14 mujeres sumando un total de 52 ejidatarios. De acuerdo con el Reglamento Interno Ejidal y conforme a la Ley Agraria, el comité convoca asamblea cada tres meses para la rendición de cuentas e informes de los trabajos realizados. Los procesos de cambio de mesa directiva se realizan cada tres años e incluye la renovación de los comités. La toma de decisiones se realiza a mano alzada y se contabiliza al 50% + 1 como mayoría para acreditar el proceso. Para dar cumplimiento a la equidad de género, se integra la participación de hombres y mujeres, donde se consideran habilidades, conocimientos, disposición, desempeño y dedicación al trabajo, el cual es evaluado y reconocido por la asamblea general (**Figura 2**).

**Figura 2**  
**Organigrama del ejido Úrsulo Galván**



Fuente. Adaptado de: Reglamento Interno del ejido Úrsulo Galván, (2015)



#### **7.1.4 Modelo socioambiental de éxito en reforestación**

Los ejidatarios son pieza fundamental en la recuperación del ecosistema, ya que hemos sido testigos del arduo trabajo que han realizado en conjunto con gobierno, asociaciones civiles, sociedad e instituciones de educación, que por décadas han realizado actividades de reforestación, fomento y manejo de vida silvestre, ya que este ecosistema ha sido su principal fuente de ingreso y alimento, debido a los servicios ecosistémicos que les ha brindado.

Además de las actividades de reforestación, los comités realizan actividades como apertura y mantenimiento de brechas cortafuego, saneamiento forestal, poda, limpieza y desazolve de canales, colocación de tableros en áreas de aprovechamiento y reforestación, recolección de basura en los canales de acceso, cuidado y protección de especies amenazadas. En cuanto a las actividades de mantenimiento y limpieza del vivero forestal, se realiza limpieza de maleza, riego permanente, monitoreo de crecimiento y sobrevivencia de especies y la prevención de posibles siniestros como incendios o perturbaciones de plagas naturales.

El ejido cuenta con una gran experiencia en reforestación y conservación de manglar desde la década de los 90's, cuando por iniciativa del grupo ejidatario plantaron aproximadamente nueve hectáreas; para el año 2003 reforestaron 75 hectáreas con apoyos del programa gubernamental PRO-ARBOL; en el periodo 2007-2010 la cifra aumentó a 150 hectáreas; de 2014 a 2016, 20 hectáreas; de 2015 a 2018, 200 hectáreas con apoyo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); para el año 2019 se realizó una reforestación social de cuatro hectáreas; durante el año 2020 a pesar de las limitaciones por la pandemia COVID-19, se logró plantar una superficie de una hectárea y media, lo que evidencia el compromiso comunitario y la continuidad de las acciones de restauración ecológica; en el año 2022, se participó en la reforestación de 100 hectáreas, contribuyendo al esfuerzo acumulado de restauración a lo largo de más de tres décadas, alcanzando un aproximado de 450.5 hectáreas reforestadas.

El modelo de reforestación que ha adoptado el ejido ha garantizado la recuperación del ecosistema e implementado la reeducación social y la inclusión, pues el trabajo se ha realizado por familias agrupadas en distintas brigadas; los niños, jóvenes y mujeres se encargan de la recolección de semillas, vigilancia, desarrollo y crecimiento de la planta; los jefes de familia realizan la habilitación del predio, y posteriormente el índice de sobrevivencia para asegurar el logro de la reforestación. Todas las brigadas participan en la siembra, y el tiempo depende de las hectáreas a plantar.



Los esfuerzos de este modelo han llevado al ejido a recibir galardones como el Premio Estatal de Ecología “**José Narciso Rovirosa**”, en 2016; “**Premio Nacional al Mérito Forestal**” otorgado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en 2021. En ese mismo año, obtuvieron la certificación de bonos de carbono por la empresa Climate Action Reserve (CAR). Obtuvieron el reconocimiento como un caso de historia de éxito, distinción plasmada en la Tarjeta de Reporte “**Dos Bocas, 2022**” (LANRESC, 2022). Otros logros han sido monetarios como el pago por servicios ambientales, promotoría forestal y manejo de la UMA de manglar. Cuentan con una estructura organizativa consolidada que les ha permitido la planificación y organización de su reglamento interno, planes de manejo forestal, convenios con instituciones educativas, gubernamentales y civiles y permisos de aprovechamiento forestal.

#### **7.1.5 Servicios ecosistémicos que ofrecen los manglares del ejido Úrsulo Galván**

Los manglares ofrecen una diversidad de servicios ecosistémicos como abastecimiento, regulación, apoyo y cultura, éstos dan una oportunidad de mejora en la alimentación, salud, economía, recreación y patrimonio natural beneficiando a la población (Barbier et al., 2011; MEA, 2005).

##### *7.1.5.1 Servicios de soporte*

Los servicios de soporte permiten la producción de los demás servicios ecosistémicos. Este sitio de estudio presentó suelos con alta actividad biológica y características oxidantes que favorecen la producción y acumulación de materia orgánica, la cual permite la fertilidad de los suelos y el crecimiento de las plantas. De igual manera, el conjunto de lagunas y ríos (Pomposú-Mecoacán) constituyen parte esencial para el mantenimiento y disponibilidad del agua, elemento clave para para gran número de especies acuáticas y regulación del equilibrio ecológico de hábitats.

##### *7.1.5.2. Servicios de provisión*

Madera y leña. El ecosistema de manglar es la fuente principal de este recurso, que es utilizado para la cocción de alimentos, construcción de muebles, viviendas, cercas y corrales para animales de traspatio. Siembran árboles maderables como cedro y macuilies; cuentan con una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) autorizada para el aprovechamiento sustentable de madera y semilla, registrada ante la SEMARNAT bajo el número SEMARNAT/UMA/0048/TAB-11.

Recurso pesquero. Este servicio constituye la base de la alimentación de los habitantes; se practica la pesca tradicional con cayucos, lanchas de motor y redes. Agricultura. Esta actividad



se realiza dentro de las áreas destinadas a la preservación del manglar; los frutos principales son coco, mango, naranja, limón y plátano; algunas plantas rastreras como calabaza, pepino, melón y sandía; cultivos de maíz, frijol, yuca, chile dulce, chile amashito, cilantro, perejil, tomillo y ruda; plantas medicinales como hierbabuena, zacate de limón, oreganón, maguey, albahaca, hierba buena y sábila.

#### 7.1.5.3 Servicios culturales

Los servicios culturales son recursos que sirven de apoyo y son una de las mayores oportunidades de crecimiento económico, artístico, cognitivo, histórico y espiritual, de una persona o lugar con aspiraciones y/o fines de progreso sostenibles. El ecoturismo es una actividad de esparcimiento y de rápido crecimiento económico, que permite a los visitantes disfrutar del servicio que ofrece el ecosistema. El ejido Úrsulo Galván cuenta con recorridos turísticos hacia la zona de manglares; así mismo destacan el avistamiento de aves endémicas-nativas y migratorias, liberación de especies endémicas desarrolladas, y la degustación de platillos típicos de la región, creando así una economía creciente y una cultura de conciencia ambiental.

Celebración religiosa. Cada 15 de enero celebran la fiesta patronal del señor de Esquipulas (Cristo Negro), misma que representa las tradiciones y costumbres de la comunidad, donde se realizan actos de ofrenda, como ganado, dinero, artículos y todo tipo de cultivos. La historia local cuenta que en tiempos de gobierno del Lic. Tomás Garrido Canabal, quien prohibió todo tipo de culto y adoración de imágenes y santos, la figura del cristo negro fue resguardada en los manglares hasta el término de la persecución; la comunidad agradecida, actualmente realiza un recorrido procesional sobre las aguas de la laguna Pomposú, reafirmando la conexión simbólica y espiritual entre la comunidad y su entorno natural.

#### 7.1.5.4 Servicios de regulación

Este servicio ambiental, permite que los impactos por desastres naturales disminuyan en los sitios donde se desarrollan. Así mismo, permiten el equilibrio ambiental, como la mejora en la calidad del aire, suelo y agua, además de la polinización de cultivos (Donato et al., 2011).

Otra ventaja de este servicio es la captura de carbono. Los ecosistemas marino-costeros capturan carbono tanto en su biomasa como en la raíces y sedimentos (Herrera & Teutli-Hernández, 2017). El ejido Úrsulo Galván, cuenta con una gran experiencia en acciones para la conservación de manglar, muestra de ello es el proyecto de línea base para calcular los inventarios de carbono aéreo. Los trabajos iniciaron en el año 2018, alcanzando la certificación



en el año 2021. La metodología consistió en la selección de un punto donde se localizaba un ejemplar de mangle en el cual se medía la copa del árbol, diámetro, altura, estado del árbol, descripción de la flora presente y arbolado.

Los manglares actúan como aliados estratégicos al funcionar como barreras naturales de protección ante las lluvias intensas e inundaciones, que afectan cada año al ejido Úrsulo Galván. Su estructura vegetal y capacidad de retención hídrica contribuyen significativamente a la mitigación de estos impactos, posicionando a los manglares como un soporte ecosistémico fundamental para la protección y resiliencia del territorio.

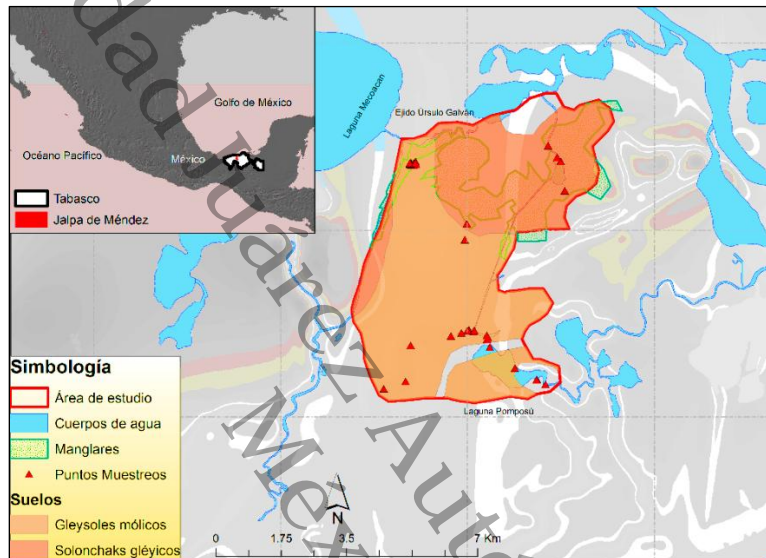
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México



## 7.2 Diseño del muestreo

Mediante el uso del programa ArcMap® versión 10.8, se identificó el área espacial de la zona de estudio y se ubicaron las coordenadas geográficas para la toma de muestras de suelos y sedimentos (**Figura 3**).

**Figura 3**  
**Ubicación de puntos de muestreo de la zona de estudio ArcMap® versión 10.8**



Se realizó la colecta de 27 muestras de suelo (entre ellas 3 perfiles) y 13 sedimentos, conforme al reconocimiento del área y de las zonas que presentaron mayor susceptibilidad a cambios ambientales, por lo que se establecieron posibles criterios de las áreas contaminadas que pudieran llevar paso a las zonas de manglar (**Tabla 1**). Durante los muestreos se identificó flora y fauna nativa; usos y costumbres que pudieran generar impactos al ambiente, debido a los usos de suelo. El sitio de estudio se dividió en cuatro polígonos (**Figura 4**). El primero llamado “sistema fluvial”, se ubicó en la ranchería Reforma segunda sección, Jalpa de Méndez, Tabasco y comprende los cuerpos de agua que se enlazan con la zona de estudio: ríos Troncón (proviene de la laguna Troncón y río Naranjos) y Muste ubicados en el municipio de Nacajuca y conectan con la laguna Pomposú; el arroyo Santa María ubicado en el centro de la zona poblada, dren El Chinín y el río y laguna Los Caballos que conectan con la laguna Eslabón, la cual recibe aguas de la laguna Mecoacán.



**Tabla 1**  
**Coordenadas geográficas de puntos de muestreo de sedimentos y suelos**

Sedimentos					
Muestra	Coordenadas	Ubicación	Muestra	Coordenadas	Ubicación
S1	15Q495547/2027113	Arroyo Santa María (muelle)	S8	15Q497152/2032253	Río los caballos
S2	15Q495518/2027181	Arroyo Santa María (Balneario)	S9	15Q495594/2026870	Laguna Pomposú (salida)
S3	15Q495157/2027277	Arroyo Santa María (descarga 1)	S10	15Q496863/2025990	Río Muste (margen derecha)
S4	15Q494996/2027303	Arroyo Santa María (descarga 2)	S11	15Q496843/2025992	Río Muste
S5	15Q494837/2027246	Arroyo Santa María (cooperativa)	S12	15Q497088/2025869	Río Troncón
S6	15Q495179/2027311	Arroyo Santa María (bifurcación)	S13	15Q496267/2026305	Laguna Pomposú (centro)
S7	15Q497393/2031938	Laguna Los Caballos (bocana)			
Suelos					
M11	15Q0495034/2027327	Reforma 2da.	M31	15Q0492749/2025754	Campo Mecoacán
M12	15Q0495029/2027302	Reforma 2da.	M32	15Q0493416/2026955	Reforma 2da.
M13	15Q0493617/2031753	Campo Mecoacán	M33	15Q0493477/2026909	Reforma 2da.
M14	15Q0493563/2031730	Campo Mecoacán	M34	15Q0494555/2027159	Reforma 2da.
M15	15Q0493489/2031788	Campo Mecoacán	M41	15Q0497492/2031856	Reforma 2da.
M21	15Q0493629/2031814	Campo Mecoacán	M42	15Q0497492/203146	UMA Úrsulo Galván
M22	15Q0493595/2031833	Campo Mecoacán	M43	15Q0497492/2031836	UMA Úrsulo Galván
M23	15Q0493478/2031792	Campo Mecoacán	M44	15Q0497601/2031076	UMA Úrsulo Galván
M24	15Q0493446/2031707	Campo Mecoacán	M45	15Q0497601/2031066	UMA Úrsulo Galván
M25	15Q0493443/2031700	Campo Mecoacán	M46	15Q0497601/2031046	UMA Úrsulo Galván
M26	15Q0493455/2031760	Campo Mecoacán	M47	15Q0494928/2029737	UMA Úrsulo Galván
27	15Q0493457/2031782	Reforma 2da.	M48	15Q0494960/2030130	UMA Úrsulo Galván



**Figura 4**  
**Zona de estudio agrupada por polígonos**

Sistema Hídrico Polígono 1	Población Polígono 2 (P2)	Conservación Polígono 3 (P3)	Agropecuario-conservación Polígono 4 (P4)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Río Naranjo</li> <li>2. Laguna Troncón</li> <li>3. Río Troncón</li> <li>4. Río Muste</li> <li>5. Laguna Pomposú</li> <li>6. Arroyo Santa María</li> <li>7. Dren el Chinin</li> <li>8. Río los Caballos</li> <li>9. Laguna los Caballos</li> <li>10. Laguna Eslabón</li> <li>11. Laguna Mecoacán</li> </ol>			

El segundo polígono, ubicado en la rancharía Reforma segunda sección, Jalpa de Méndez, Tabasco presentó influencia poblacional, Los muestreos se realizaron sobre la carretera principal, hasta llegar a la Laguna Pomposú. Las muestras se tomaron en sitios que presentaron cambios de uso de suelo, como agricultura, piscicultura, criadero de animales de traspatio y tiradero a cielo abierto (basurero) a las orillas del arroyo Santa María.

El tercer polígono situado en el área que pertenece al ANP “Parque Laguna Mecoacán”, abarcando la UMA de manglares y todas las zonas de reforestación. El cuarto polígono se ubica en la rancharía Campo Petrolero Mecoacán, Jalpa de Méndez, Tabasco. El sitio presentó material de relleno (suelo arenoso) y cambios de uso de suelo donde se observaron cercas de acotamiento para el manejo de ganado bovino y a los alrededores se observó suelo inundado, a este polígono se le llamó agropecuario-conservación.

### **7.2.1 Modelo numérico hidrodinámico bidimensional (MNHB)**

El modelo numérico hidrodinámico bidimensional (MNBH) lluvia-escorrentamiento, tuvo como objetivo describir la dinámica del flujo hídrico para representar los procesos asociados al transporte de sedimentos y la velocidad del flujo del sitio de estudio (Basile et al., 2016). Para recopilar los datos, se utilizó un equipo acústico Doppler-ADCP StreamPro de 2000 kHz modelo Teledyne RDI®; así mismo, se realizó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que proporcionó datos para calcular la profundidad y áreas de depósito de sedimentos (Figura 5).



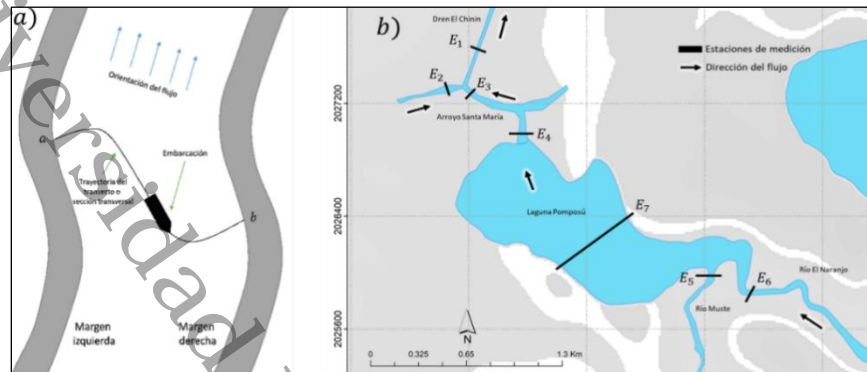
**Figura 5**  
**Equipo acústico Doppler-ADCP StreamPro (Izq.); modelo Digital de Elevaciones (Der.)**



Se tomaron secciones transversales para la medición de las velocidades del flujo ( $Q$ ) utilizando la metodología de Priego et al., (2018), iniciando de la margen izquierda a la margen derecha (**Figura 6a**) sobre el dren El Chinin, arroyo Santa María y laguna Pomposú en las entradas de los ríos Troncón y Muste. El equipo acústico se montó sobre una embarcación miniatura y un sistema de posicionamiento global (GPS 60 marca Garmin®) para indicar la ubicación del barco y su velocidad (**Figura 6b**). El análisis de datos se realizó con el software de modelación hidráulica Iber®, 2021.

Para garantizar que los vectores de velocidad estuvieran orientados a la dirección correcta, antes de los aforos, se realizó la calibración del perfilador acústico; esto consistió en realizar movimientos circulares con el equipo sobre su plano horizontal en dirección de las manecillas del reloj con la intención de calibrar la brújula interna del equipo. La declinación magnética, es una variable que debe ser suministrada al equipo y depende de las coordenadas del sitio de estudio, esta se obtuvo de la página web de la British Geological Survey (BGS, 2021). La función de movilidad del fondo del río no se utilizó porque no se detectaron errores en las mediciones de prueba.

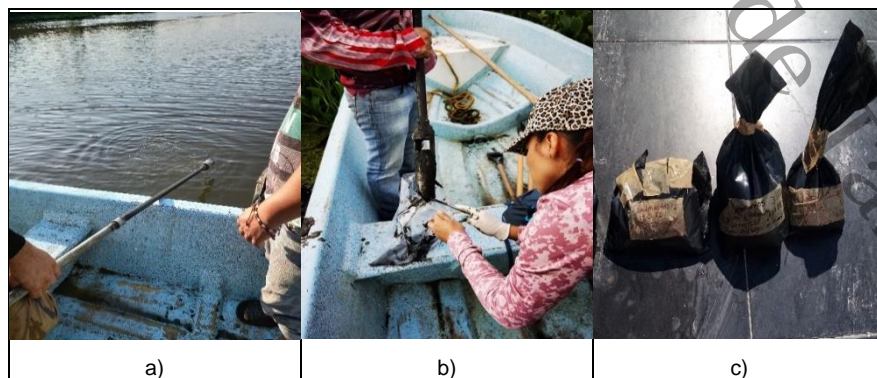
**Figura 6**  
**Recorrido sobre una sección transversal (a); secciones transversales medidas en la zona de estudio (b)**



### 7.2.2 Muestreo de Sedimentos

Para la recolección de material de fondo (sedimentos) del sistema fluvial, se consultó la metodología de la NOM-021-REC-NAT-2000 (DOF, 2002). El equipo utilizado fue una barrena de cilindro cerrado en material de acero inoxidable (diseño propio), resistente al desgaste y útil en suelos arenosos y arcillosos húmedos; un dispositivo GPS, flexómetro, bolsas de plástico con capacidad para dos kilogramos de suelo, guantes de látex, agua destilada, marcadores de tinta indeleble, libreta de notas, cintas adhesivas, cuerdas, bolígrafo, planos, mapas y cámara fotográfica. Se tomaron 13 muestras en bifurcaciones y puntos centrales desde el río Troncón y Muste hasta laguna Los Caballos, para determinar las características del material que constituyen los cauces (**Figura 7**).

**Figura 7**  
**a) ubicación de puntos de muestreo; b) recolección de muestras; c) almacenamiento y etiquetado**





### **7.2.3 Muestreo de suelos**

Para la colecta de muestras de suelo en campo, se siguió el muestreo en Zig Zag de la NOM-021-REC-NAT-2000. Se utilizó un cava hoyos que permitió obtener el volumen necesario para la formación de las muestras compuestas; un equipo GPS, palas, flexómetro, bolsas de plástico con capacidad para dos kilogramos de suelo, guantes de látex, agua destilada, marcadores de tinta indeleble, libreta de notas, cintas adhesivas, cuerdas, bolígrafo, planos, mapas y cámara fotográfica.

### **7.2.4 Descripción de núcleos y perfiles**

Las muestras de suelo y sedimentos se trasladaron etiquetadas al laboratorio de Análisis de suelos de la División Académica de Ciencias Biológicas (DacBiol-UJAT) donde se realizó la descripción de núcleos y perfiles (Palma-López et al., 2007) (**Anexos A-Z**); posteriormente, fueron sometidas a tratamiento primario que consistió en secado a temperatura ambiente, molienda y tamizado. Los análisis físicos y químicos se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos e hidrocarburos (LASH) de la División Académica de Ciencias Básicas (DACB-UJAT) (**Figura 8**).

**Figura 8**  
**Tratamiento primario de muestras de suelos y sedimentos**





### 7.3 Determinaciones analíticas

Con el fin de estimar las fracciones que constituyen las muestras de suelo y sedimentos, se realizaron determinaciones analíticas bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

#### 7.3.1. Parámetros físicos y químicos

1. Potencial de hidrógeno (pH), relación suelo-agua 1:2
2. Conductividad eléctrica (CE), a través del extracto saturado en  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$
3. Capacidad de campo (%CC), por columna de Colman
4. Textura por el método de Bouyoucos, expresada en porcentajes de limo (%L), arcilla (%R) y arena (%S)
5. Densidad aparente (DA), por peso volumétrico, en  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
6. Materia orgánica (MO), por Oxidación con  $\text{H}_2\text{O}_2$  y tratamiento térmico a  $350\text{ }^\circ\text{C}$
7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC), por absorción atómica, en  $\text{Cmol}\cdot\text{kg}$

#### 7.3.2 Hidrocarburos

Para el contenido de hidrocarburos se utilizó como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

##### 7.3.2.1 Espectroscopia ultravioleta-visible

Los modelos analíticos basados en espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis) para la determinación de hidrocarburos aromáticos (HA) e hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) en suelos, son una alternativa rápida para el análisis químico cuantitativo de muestras problema y han demostrado ser adecuados para este fin (Valcárcel & Cárdenas, 2000). Las muestras de suelo y sedimento se trataron con diclorometano y se filtraron con microfiltro de celulosa; los extractos fueron analizados en un espectrofotómetro Uv-Vis marca Varian®, las absorbancias se compararon con una curva patrón construida con diésel/diclorometano.

##### 7.3.2.2 Hidrocarburos Totales presentes (HTP) por método Soxhlet

De los datos obtenidos por UV-vis, se tomaron las concentraciones arriba de  $1000\text{ kg/mol}$  para caracterizar los HTP, utilizando el método Soxhlet (**Figura 9**), donde se empleó diclorometano como solvente de extracción, ya que éste ha presentado mejores resultados en comparación con el hexano en la extracción de hidrocarburos en matrices de suelo (Morales-Bautista et al., 2020).



**Figura 9**  
**Extracción de hidrocarburos totales del petróleo (HTP)**



#### 7.3.2.3 Análisis SARA

Con los extractos aislados de cada suelo se construyó una muestra compuesta y se determinaron las fracciones SARA (saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos), con una selección de solventes por extracción continua como tolueno, cetona y hexano (Marín-García et al., 2016).

#### 7.3.2.4 Infrarrojo con transformadas de Fourier (FTIR)

Para analizar los hidrocarburos pesados y sus efectos, los extractos de HTP aislados con diclorometano, fueron examinados empleando la técnica de infrarrojo con transformadas de Fourier o FTIR (modelo Nicolet iDt ATR, marca Thermo Scientific ASC 1816087). A los espectros obtenidos, se les determinó el índice de compuestos polares o Índice de Riesgo Ambiental por Polaridad (IRAP) (Morales-Bautista et al., 2016). Este índice se calculó con base en la relación entre los grupos funcionales oxigenados y los compuestos saturados. Seguidamente se identificaron bandas en diversas regiones del espectro de  $1600$  a  $1750\text{ cm}^{-1}$ , asociadas a estiramientos de enlaces carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) y grupos aromáticos sustituidos ( $\text{Ar}-\text{C}=\text{O}-\text{R}$ ), así como señales en el intervalo de  $1000$  a  $1100\text{ cm}^{-1}$  comunes a grupos éter ( $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ) y sulfonilo ( $\text{O}=\text{S}=\text{O}$ ), siendo estas señales comunes para todas las muestras (Meléndez et al., 2012).



Por consiguiente, se calculó el IRAP mediante las **ecuaciones 1, 2 y 3** (Morales-Bautista et al., 2013; 2016).

**Ecuación 1:**

$$\text{IRAP} = [(\text{O}=\text{S}=\text{O} / \text{SAT2}) + (\text{C}-\text{O}-\text{C} / \text{SAT2}) + (\text{ArC}=\text{O}-\text{R} / \text{SAT2})] \times 100$$

**Ecuación 2:**

$$\text{Log (IRAP)} = 2.03457 \times (\text{densidad específica}) - 0.12004$$

**Ecuación 3:**

$$^{\circ}\text{API} = (141.5 / \text{gravedad específica}) - 131.5 \text{ morales } 2013$$

Para determinar el tiempo de penetración de la gota de agua en el suelo o repelencia, se utilizó la **ecuación 4** (Marín-García et al., 2016).

**Ecuación 4:**

$$\text{WDPT} = (45.399 \cdot \text{LN}(\% \text{HTP})) + 45.163$$

### 7.3.3 DRX

En el suelo existe una mezcla de partículas minerales de diferentes formas y tamaños conocidos como arcilla, limo y arena, los cuales son importantes para identificar la textura del suelo (Álvarez-coronel et al., 2020). Para este análisis se tomó 1g de suelo seco y se trató con 0.5 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%), para secarlo a 105 °C por 24 h; del sólido obtenido se pesaron 0,5 g tamizados (Vázquez-Vázquez et al., 2023) y se colocaron en un difractómetro de rayos X (D2 Phaser de Bruker®). Este análisis se realizó en el laboratorio de Materiales con propiedades Eléctricas y Magnéticas, de la División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez (DAMJM-UJAT) (**Figura 10**).



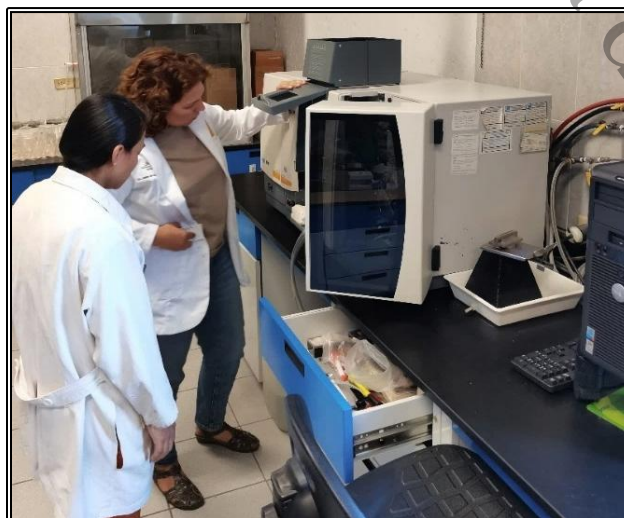
**Figura 10**  
**Difractómetro de rayos X**



#### **7.3.4 Metales**

Para establecer la relación del contenido de metales en suelos y sedimentos, el análisis se realizó en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Modelo AA Varian 240 FS) en el laboratorio de Química analítica ambiental, Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC). Los métodos de aislamiento y determinación del analito se realizaron con base en la NOM-147-SEMARNATSSA1-2004 (DOF, 2005) la cual establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio (**Figura 11**).

**Figura 11**  
**Espectrofotómetro de Absorción Atómica**





#### 7.3.4.1 Análisis de componentes APC.

El Análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) es una técnica estadística que sirve para el estudio de múltiples variables interrelacionadas y se puede aplicar en diversas disciplinas, como biología, ingeniería, medicina y economía, entre otros campos. Esta técnica permite reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, en grupos más pequeños, sin perder los componentes principales que capturan la mayor parte de la variabilidad en los datos originales. En otras palabras, esta técnica, asocia los datos de modo que todos los grupos compartan los mismos componentes principales, pero permite diferenciar las variaciones asociadas con cada grupo de datos (Johnson & Wichern, 1999; Domínguez, 2023).

Para la interpretación de datos, se utilizó el software DATAN Multid® (datos multidimensionales) donde se analizaron las propiedades físicas y químicas de los suelos y sedimentos.

#### 7.3.5 Carbono orgánico Total

Para medir carbono orgánico del suelo (COS), se utilizó la metodología que especifica la NOM-021-RECNAT-2000. Para el cálculo de COS se utilizó la ecuación:

##### Ecuación 5:

$$\text{COS} = \text{MO} * f$$

Donde:

Cos: carbono orgánico suelo (%)  
MO: materia orgánica (%)  
f: profundidad (metros)

#### 7.4 Metodología de investigación cualitativa (Encuestas)

Se utilizó una metodología de investigación que incluyó un enfoque cualitativo basado en la aplicación de encuestas y el análisis estadístico de la información. Se incluyeron perfiles sociales (sociodemográficos), económicos, ambientales, y culturales, que pudieran categorizar las condiciones de vulnerabilidad con los riesgos o variación en la captura de carbono. Este enfoque se complementó con la herramienta estadística SPSS® (Statistical Pack Age of Social Sciences). La metodología se adaptó de Delgado, et al., (2011).



**Fase I: Pre-campo.** En esta fase, se hizo una revisión y análisis de la información sobre el sitio de estudio. Se realizó un acercamiento con el comisariado ejidal donde se obtuvo información que nos permitió una primera aproximación al ambiente local para el diseño del cuestionario (**Anexo AC**). La encuesta utilizada fue la de tipo “personal” (cara a cara) donde el diálogo se desarrolló en un mismo espacio y tiempo entre el encuestador y el encuestado.

**Fase II: Diagnóstico.** Se aplicó la encuesta y se tomaron notas de los acercamientos y diálogos con las personas encuestadas y de lo observado en campo. Con la información obtenida, se realizó el diagnóstico de las condiciones socioambientales del sitio, usos y costumbres, actividades económicas y culturales.

**Fase III: Análisis de información.** Esta fase consistió en el análisis de la información obtenida de las encuestas. Se utilizó el programa SPSS (Statistical Package of Social Sciences® v.29.0), para cuantificar y graficar los datos. El resultado de este diagnóstico nos permitió comparar aspectos científicos y sociales de la investigación.

**Fase IV: Evaluación.** En esta etapa se tomaron los elementos que mostró en forma aproximada las causas de la problemática. Se identificaron aspectos biológicos, ecológicos, productivos, sociales y ambientales que fueron comparados con información obtenida durante el desarrollo de este proyecto (uso del suelo, hidrografía, análisis físico y geoquímicos del sitio en estudio). Se evaluó el fenómeno causa-efecto determinado por la interacción del hombre con su medio natural y las transformaciones que surgen en escala de espacio y tiempo

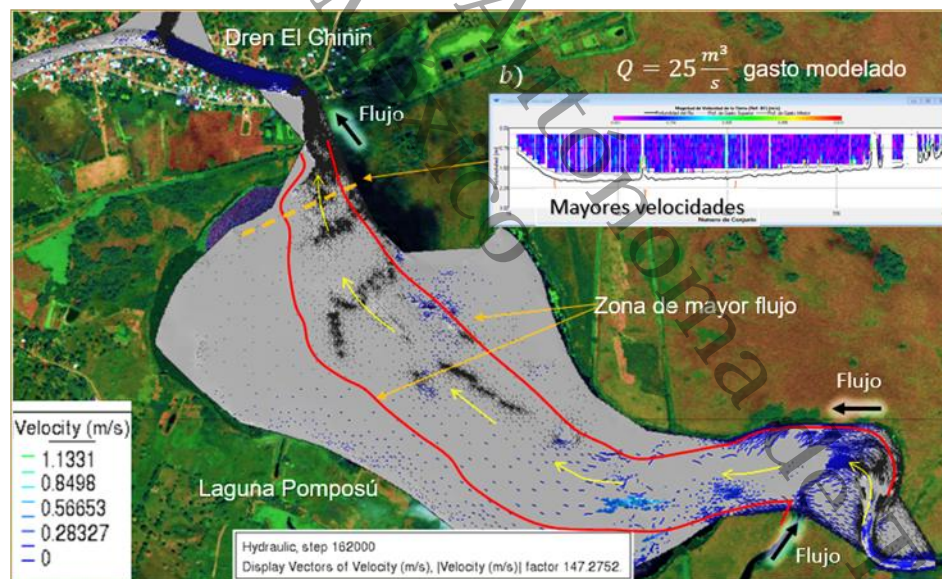
## 8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 8.1 Sedimentos

#### 8.1.1 Modelo numérico hidrodinámico bidimensional (MNHB) y las condiciones de arrastre de sedimentos a la zona de estudio

La hidrodinámica modelada mostró que el gasto en dren El Chinín fue de  $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$  y en Pomposú de  $Q=25 \text{ m}^3/\text{s}$ . El sistema mostró dirección de flujo hacia el norte con velocidades de 0.28-1.13 m/s, las cuales se ubicaron en la zona central y principal (líneas rojas) del sistema. Las zonas de sedimentación alta se ubicaron en bifurcaciones y desembocaduras; las medias, en el centro de la laguna Pomposú (**Figura 12**). La literatura menciona que estas velocidades son capaces de desplazar el material de fondo siendo en su mayoría renas (Rios, 2012).

**Figura 12**  
**Zonas de sedimentación en sitio de estudio**



#### 8.1.2 Cationes disponibles en el sistema hídrico

Para relacionar las concentraciones de cationes esenciales en sedimentos con los efectos asociados al ecosistema de manglar se realizaron las determinaciones analíticas de sus propiedades físicas y químicas (**Tabla 2**).



**Tabla 2**  
**Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de sedimentos**

Muestra	Ca	K	Mg	Na
	(Cmol.kg <sup>-1</sup> )			
S1	0.88	2.80	10.49	4.58
S2	0.60	0.58	2.81	0.83
S3	0.93	0.52	3.18	0.73
S4	1.89	0.98	3.61	2.35
S5	0.92	1.70	2.16	3.31
S6	1.15	2.33	9.93	2.71
S7	1.81	2.01	11.32	8.45
S8	1.91	1.85	12.42	4.03
S9	1.58	2.19	9.98	9.80
S10	2.73	1.63	11.34	14.08
S11	2.91	1.23	11.66	9.04
S12	2.10	1.92	10.65	2.26
S13	1.73	1.69	9.76	3.46

Nota. S: sedimentos. Referencias por metal: calcio (Ca) muy baja < 2, baja 2-5, media 5-10, alta >10; magnesio (Mg) muy baja <0.5, baja 0.5-1.3, media 1.3-3.0, alta >3.0; potasio muy baja <0.2, baja 0.2-0.3, media 0.3-0.6, alta >0.6; sodio ligeramente sódico: 7-15, medianamente sódico: 15-20, fuertemente sódico: 20-30 y extremadamente sódico >30.

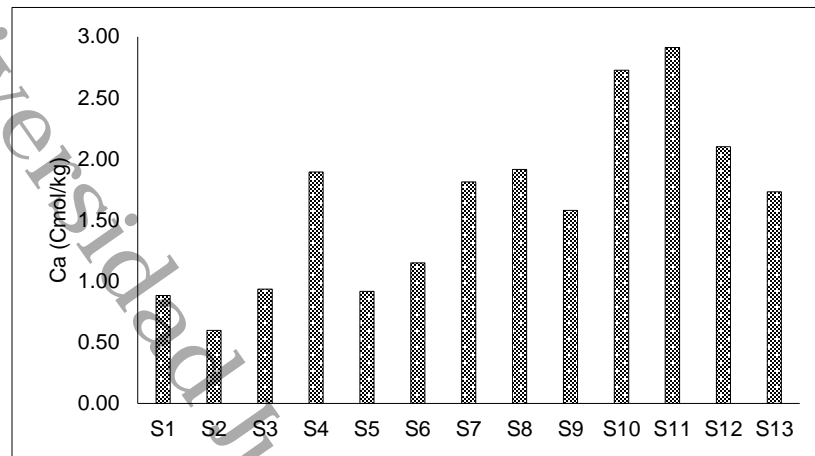
#### 8.1.2.1 Calcio

Con respecto a los resultados del cuadro 2, se observó que los valores intercambiables de Ca en la entrada del sistema fueron de clase baja (2.73, 2.91 y 2.10) en S10, S11 y S12; al desplazarse en S13, S9, S1 y S6, lo hicieron con valores de clase muy baja (1.73, 0.88, 1.58 y 1.15); al llegar a la salida del sistema en S7 y S8 (1.81 y 1.91), los valores de clase baja se mantuvieron, incluso con los sedimentos ubicados en la UMA del manglar. La velocidad de arrastre permitió que el calcio se transportara por todo el sistema, pero al analizar las concentraciones de salida, hubo zonas de acumulación en la laguna Pomposú (**Figura 13**).

El calcio es un elemento esencial en los ecosistemas de manglar debido a su papel en el metabolismo y estructura de los organismos que habitan en estas zonas. En los sedimentos de los manglares, el calcio está presente en forma de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), que se acumula como resultado de la actividad de organismos calcificadores, como algas y moluscos. Estos organismos utilizan el calcio para construir sus conchas y estructuras, las cuales eventualmente se descomponen y contribuyen a la reserva de calcio en el suelo. Este proceso de acumulación y reciclaje es fundamental para mantener la disponibilidad de calcio en el sistema y favorecer el crecimiento y la estabilidad de la vegetación de manglar (Alongi, 2009; Thom, 1967).



**Figura 13**  
**Valores de calcio en sedimentos**



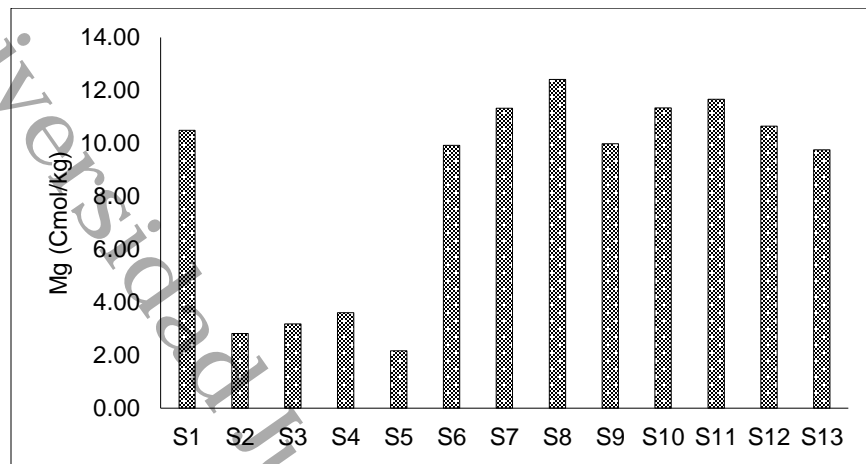
El calcio también desempeña un papel crucial en la regulación del pH y la resistencia de los manglares frente a la acidificación. Las condiciones de salinidad y el intercambio de agua entre las mareas influyen en la solubilidad del calcio en los manglares, afectando la absorción de nutrientes y crecimiento de las plantas. De acuerdo con estudios de Komiyama, et al., (2008) la disponibilidad de calcio puede determinar la resistencia de las plantas a condiciones adversas, ya que este elemento contribuye a fortalecer las paredes celulares, mejorando la capacidad de los árboles de manglar para soportar el estrés salino y favorecer el almacenamiento de carbono orgánico, ya que los manglares son considerados sumideros de carbono altamente efectivos en la mitigación del cambio climático (Donato et al., 2011).

#### 8.1.2.2 Magnesio

Para el magnesio, los sedimentos de entrada S10, S11 y S12, tienen valores de intercambio de clase alta (11.34, 11.66 y 10.65), y en ese mismo nivel se desplazó por todo el sistema, hasta llegar a la salida en S7 y S8 (11.32, 12.42) (**Figura 14**). Como tal, el Mg en sedimentos, favorece el crecimiento de plantas y microorganismos e influye en la disponibilidad de otros nutrientes regulando el proceso de fotosíntesis en el manglar (Alongi, 2014).



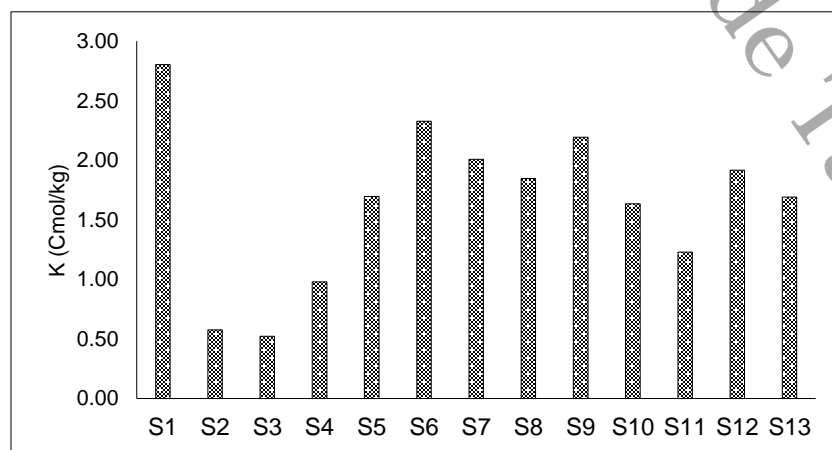
**Figura 14**  
**Valores de magnesio en sedimentos**



### 8.1.2.3 Potasio

En cuanto al análisis de contenido de potasio, los sedimentos de entrada S10, S11 y S12 presentaron valores de intercambio altos (1.63, 1.23, 1.92), desplazándose con valores promedios por todo el sistema hasta la salida en S7 y S8 (2.01 y 1.85) (**Figura 15**). La característica más importante del K, es la gran velocidad con la que lo absorben los tejidos de las plantas, pues a mayor abundancia, mayor disponibilidad; así mismo mencionó que la función principal del potasio en los sedimentos de manglar es la descomposición de la materia orgánica, como hojas y raíces, ya que los sedimentos tienden a acumular el potasio debido a la actividad de las mareas que acarrearán nutrientes y minerales (Crespo et al., 2015).

**Figura 15**  
**Valores de potasio en sedimentos**

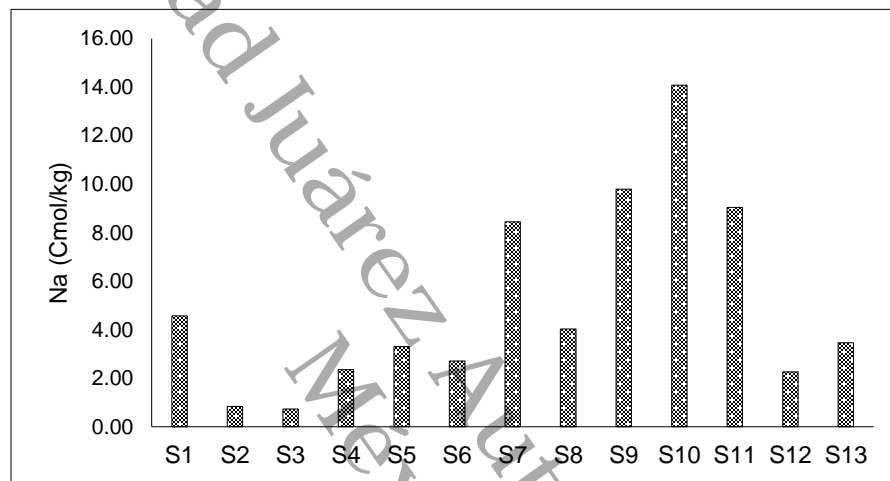




#### 8.1.2.4 Sodio

El intercambio de sodio en sedimentos de entrada para S10 y S11 presentó valores ligeramente sódicos (14.08, 9.04), pero para S12 valores muy bajos (2.26), al desplazarse por la laguna Pomposú presentó valores ligeramente sódicos en S9 (9.80), al pasar por el arroyo Santa María disminuyeron los valores en S3 (0.73), aumentando en la salida del sistema a ligeramente sódico en S7 (8.45) (**Figura 16**).

**Figura 16**  
**Valores de sodio en sedimentos**



El sodio es un nutriente que ayuda a la adaptación, crecimiento y regulación ecológica de los manglares, ayuda a mantener un equilibrio osmótico adecuado, permitiendo la absorción de agua en suelos altamente salinos. Los ambientes salinos reducen la descomposición de materia orgánica, lo que favorece la acumulación de carbono en los suelos de los manglares. Esto convierte a los manglares en ecosistemas clave en la mitigación del cambio climático (MUÑOZ & Torres, 2024).

#### 8.1.3 Mineralogía de sedimentos por Difracción de rayos X (DRX)

Como resultado del modelo binomial que confirmó que las velocidades encontradas en el sistema hídrico son capaces de desplazar el material de fondo (que en su mayoría son arenas), se tomaron siete de las 13 muestras de sedimentos, principalmente de las bifurcaciones y zonas centrales. Para identificar la composición mineralógica y las impurezas que pudieran presentar los mecanismos de absorción-desorción de diversos compuestos, entre ellos, los contaminantes como hidrocarburos y metales pesados.



El análisis de DRX mostró que el componente mineralógico base de los sedimentos, es el cuarzo, así mismo, presentó minerales aluminosilicatados como Alunogen, Albita y Anortita, y minerales férricos como Almandino y Hematita (**Tabla 3**). Debido a que el sitio de estudio está situado en regiones tropicales, las condiciones de humedad y altas temperaturas mostraron meteorización en las muestras S7, S9 y S10 quedando residualmente como óxidos de calcio que provienen de la plagioclasa cálcica como Anortita siendo el aluminio uno de sus principales componentes. Los óxidos de manganeso (MnO) y calcio (CaO) provienen de la erosión de algunos minerales primarios que se formaron a través de procesos de diagénesis (Lanfranco et al., 2014).

**Tabla 3**  
**Composición mineralógica de los sedimentos de la zona de estudio**

Sedimento	Mineral	Composición	Características
S6, S7, S8, S9, S10, S12, S13	Cuarzo (baja proporción)	SiO <sub>2</sub>	Mineral compuesto de sílice (SiO <sub>2</sub> ); pertenece a la familia de los silicatos <sup>1</sup>
S6, S7, S8, S10, S12, S13	Alunógeno (sintético)	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·17H <sub>2</sub> O	Alteración de minerales aluminosilicatados: feldespatos, micas y arcillas (rocas básicas) <sup>1</sup>
S7, S8, S9, S10, S12, S13	Albita	NaSi <sub>3</sub> AlO <sub>8</sub>	Plagioclasa alcalina: contiene principalmente sodio y pertenece a los feldespatoides <sup>1</sup>
S6, S7, S9	Anortita	CaSi <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Plagioclasa cálcica: contiene principalmente calcio y pertenece a los feldespatoides <sup>1</sup>
S7, S9, S10	Minerales férricos: Hematita: Óxido de Hierro (III) Impurezas: Pentóxido de vanadio Dióxido de Plomo	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> PbO <sub>2</sub>	Hematita: determina coloración rojiza de suelos; proceden de micas y minerales ferromagnéticos. Pentóxido de vanadio: sólido marrón o amarillo. Dióxido de plomo: polvo-cristal marrón; se acumula en suelos y sedimentos por deposición <sup>1</sup>
S7, S9	Óxido de calcio Óxido de Manganeso Óxido de bario	CaO MnO BaO	Los óxidos de calcio (CaO) pueden provenir de la plagioclasa cálcica como la anortita. Los óxidos de hierro (FeO) y manganeso (MnO) provienen de la erosión de minerales primarios. El bario se acumula en sedimentos, y se adhiere a los óxidos y silicatos como impurezas <sup>1</sup>
S7, S9	Calcio	Ca <sup>2+</sup>	Proviene de minerales como la anortita, se precipita en sedimentos que provienen de la roca madre que atraviesa toda la cuenca Grijalva <sup>1</sup>
S8	Almandino	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Minerales del grupo de los granates, pertenecen a los silicatos (SiO <sub>4</sub> ). Derivados de sedimentos clásticos y rocas sedimentarias <sup>1</sup>
S10	Aluminio	Al <sup>+</sup>	Elemento principal que conforman los minerales tales como los óxidos y silicatos de aluminio <sup>1</sup>
S9	Óxido de cobalto Titanio	CoO <sub>2</sub> Ti <sup>+</sup>	Los óxidos de hierro y aluminio presentan impurezas de metales como cobalto o titanio que se adhieren a las arcillas y materia orgánica <sup>4,5</sup>
S7	Plomo (arrastre y deposición)	Pb <sup>2+</sup>	Se deposita en sedimentos debido a procesos geológicos y antropogénicos generando un alto nivel de toxicidad en la biota por acumulamiento <sup>2,3</sup>

Fuente. Elaborado a partir de: <sup>1</sup>Lanfranco et al., (2014). <sup>2</sup>De La Cruz-Landero et al., (2013). <sup>3</sup>Manahan, (2006). <sup>4</sup>Mitchell et al., (1964); <sup>5</sup>Ségalen, (1968).



Los óxidos de hierro y aluminio presentes en las muestras indicaron impurezas de metales como cobalto y titanio que se adhieren a las arcillas y materia orgánica (Mitchell et al., (1964); Ségalen, (1968). El Bario se acumula en los sedimentos como sulfato de bario y carbonato de bario, es muy reactivo y puede permanecer en el ambiente por mucho tiempo, se adhiere a los óxidos y silicatos como impurezas. El Plomo (presentó arrastre y deposición) es un metal no-esencial para los seres vivos y es de los más movilizados por el hombre. Debido a procesos geológicos y antropogénicos se deposita en los sedimentos generando un alto nivel de toxicidad en la biota por acumulamiento (De La Cruz-Landero et al., 2013; Manahan, 2006).

Las impurezas o metales como el vanadio, ha sido reportado para derrames de petróleo crudo (Fialho et al., 2022), el Plomo para residuos sólidos urbanos (Montalvo et al., 2014) y el bario y titanio en fosas de residuos de recortes petroleros que quedan expuestas por mucho tiempo al ambiente (Yzquierdo-Ruiz et al., 2022; Popic et al., 2023). Además, otros estudios apuntan que la variación de los componentes de los sedimentos, están relacionados con las actividades antropogénicas, especialmente si los metales presentes suelen ser diferentes entre ellos, pero que este acumulamiento sucede principalmente en partículas con alto contenido de arcillas (TABASCO, 2012).

Debido a los metales encontrados en los sedimentos, se realizó un balance de los componentes mineralógicos para identificar si existe desplazamiento, acumulamiento o generación de contaminantes en el sitio. Se observó que el sistema hídrico del sitio está conectado a la laguna Pomposú, la cual recibe aguas de los ríos Troncón (Naranjos) y Muste. La zona de entrada está ubicada en los puntos S12 (aledaño al pozo petrolero Cayuco 1) y S10, ambos tienen como base mineralógica Cuarzo, Albita y Alunogen, en la cual estos componentes se desplazan por la laguna (S13) hacia el arroyo Santa María (S6), río los Caballos (S8) hasta llegar a laguna los Caballos (S7) donde se ubica la UMA de manglar del ejido (**Figura 17**).

Además, el sedimento S9 además de la base mineralógica (Cuarzo, Albita y Alunogen) presentó composición de bario, cobalto, plomo, titanio y vanadio, mismos que no fueron detectados en los sedimentos de entrada (S10 y S12), por lo que se determinó como sitio de generación de contaminantes; este punto está cercano a un ducto de Pemex y de un embarcadero donde se realizan actividades de pesca, carga de combustible y mantenimiento de motores. La muestra S7 ubicada en la laguna los caballos, presentó los mismos componentes que S9, lo cual podría responder a la hipótesis que los sedimentos acumulan y desplazan contaminantes a la zona de manglar, cuando estos se ubican en zonas con alta influencia antropogénica (Alongi, 2008).



**Figura 17**  
**Balance de componentes mineralógicos en áreas de sedimentación**



#### 8.1.4 Metales pesados Ba, Cd, Cr, Ni, Pb y V

El análisis de metales fue sujeto conforme a los Límites Máximos Permisibles de las normas oficiales mexicanas NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (DOF, 2005) NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) y NOM-004-SEMARNAT-2002 (DOF, 2003) estos metales ya han sido reportados para sitios similares en la costa del Golfo de México, pero con menores concentraciones (García et al., 2018).

Para relacionar las concentraciones de contaminantes en sedimentos con los efectos asociados al ecosistema de manglar se realizaron determinaciones analíticas de sus propiedades físicas y químicas (**Tabla 4**). En este sentido, en el análisis de las concentraciones de metales para bario (Ba), cromo (Cr), plomo (Pb) y vanadio (V) no sobrepasaron los LMP de las normas mencionadas, mientras que los valores de cadmio (Cd) se hallaron por debajo del límite de detección; las muestras S1, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12 y S13 presentaron valores de níquel (Ni) arriba de lo normal, de las cuales S7, S8, S11, S12 y S13 (calculados mediante el 5% de error sobre el valor más alto de Ni) se encontraron en la frontera del valor considerado como peligroso. Botello et al., (2005) menciona que metales como el Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni y Zn que son empleados en la refinera del petróleo, se desplazan en los sedimentos permaneciendo por mucho tiempo en el ecosistema, generando grandes impactos ambientales.



**Tabla 4**  
**Metales pesados en sedimentos**

Muestra	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	V
(mg/kg)						
S1	144.88	<LD	44.67	*76.75	22.85	26.48
S2	64.06	<LD	8.17	13.29	8.27	16.93
S3	64.15	<LD	8.03	15.61	10.55	15.88
S4	74.58	<LD	12.04	26.04	<LD	17.93
S5	67.61	<LD	12.24	5.58	9.22	14.30
S6	150.33	<LD	44.83	*81.46	24.94	27.43
S7	65.53	<LD	50.70	*94.32	<LD	26.18
S8	61.27	<LD	58.15	*95.57	24.08	24.53
S9	59.63	<LD	43.26	*85.03	<LD	33.16
S10	79.50	<LD	42.21	*90.67	25.06	28.68
S11	87.66	<LD	45.62	*99.28	23.29	27.99
S12	96.54	<LD	45.83	*95.29	24.35	25.39
S13	76.72	<LD	49.57	*96.72	<LD	22.63
LD	0.035	0.001	0.007	0.009	0.008	0.048
LMP 147	5,400	N/E	N/E	1600	400	78
LMP 021	N/E	N/E	N/E	50N/100P	35N/100P	N/E
LMP 004	N/E	85	3,000	420	840	N/E

Nota. Ba: bario; Cd: cadmio; Cr: cromo; Ni: níquel; Pb: plomo; V: vanadio LD: Límite de detección; LMP: límite máximo permisible; N/E: no especificado; N: normal; P: peligroso; \*Concentraciones arriba de lo normal.

#### 8.1.4.1 Balance de disposición de metales en sedimentos y su relación con los efectos asociados al ecosistema de manglar

Cuando se liberan las sustancias tóxicas en el agua debido a los procesos biogeoquímicos, se origina un fenómeno conocido como biodisponibilidad donde los contaminantes en concentraciones altas pueden provocar la muerte de los organismos. Cuando las concentraciones altas o bajas permanecen por mucho tiempo en el medio, dan origen al proceso de bioacumulación, el cual se transforma en biomagnificación cuando los productores primarios o consumidores, absorben los contaminantes quedando estos disponibles en su cuerpo, para ser consumidos por otros herbívoros o niveles mayores de la cadena trófica, donde las concentraciones tóxicas iniciales son muy superiores a las finales en el nivel de la cadena (García, 2021; Manahan, 2006; Rodríguez et al., 2016).

Analizando los datos del cuadro 3, el bario presentó concentraciones de entrada (S10, S11 y S12) menores que las que se determinaron en el centro del sistema (S1 y S6), siendo éstas las



más altas, considerando así que el sistema presentó generación y acumulación, ya que las concentraciones de salida (S7 y S8) son menores a las de entrada. Los manglares pueden absorber el bario a través de sus raíces y tejidos, esto puede tener efectos tóxicos en las plantas y animales que se alimentan de ellas generando procesos de bioacumulación. En los seres humanos puede causar daños al sistema nervioso y reproductivo (EPA, 2000).

Las concentraciones de cromo se distribuyeron uniforme por todo el sistema, situando las más altas en la salida (S7 y S8). Vázquez-Botello et al. (2004) mencionaron que el cromo presentó niveles significativos (110 µg/g) en la laguna Mecoacán, apuntando a la existencia de descargas de industrias relacionadas con la curtiduría y fertilizantes. El manglar al absorber el cromo puede ser tóxico para los peces, cangrejos y aves, causando daños en los órganos y sistemas, afecta el crecimiento y la reproducción de las plantas de mangle. Los efectos adversos del cromo hexavalente (Cr (VI)) hacia los seres humanos, se debe a la exposición crónica de estos compuestos, provocando irritabilidad y sensibilización en la piel y en mayores concentraciones, cáncer de piel (Frías-Espéricueta et al., 2022).

En el estudio de manifiesto de impacto ambiental Dos Bocas (2019), el plomo presentó concentraciones en sedimentos desde 2.4 mg/kg hasta 5.08 mg/kg; en este estudio, presentó las concentraciones más altas en la *entrada* del sistema (S10, S11 y S12), con valores cercanos a lo normal (35 mg/kg NOM-021) mostrando *distribución* uniforme en toda la zona, siendo estas concentraciones, cinco veces mayor a los reportados en la laguna Mecoacán (IMP, s.f). El plomo en los peces provoca efectos histopatológicos, deformidades de neurotoxicidad, anemia hemolítica e inhibición en la síntesis de hemoglobina (Davies et al., 1976).

Así mismo, Sánchez et al., (2022) reportaron niveles altos de plomo en organismos de ostiones en la laguna Mecoacán que sobrepasaron los LMP para la NOM-031SSA1-1993 (DOF, 1994) y por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos) representando riesgos para la salud humana. En niños, puede causar daño cerebral, retraso en el desarrollo, problemas de aprendizaje, disminución del coeficiente intelectual y déficit de atención. En adultos, neuropatía periférica, problemas de memoria, cambios de humor, debilidad muscular y dolores de cabeza. Puede aumentar la presión arterial y el riesgo de enfermedades cardíacas y anemias.

Los valores de vanadio fueron altos en la entrada (S10, S11 y S12) y el valor más alto lo presentó S9, desplazándose por todo el sistema hasta la salida (S7), aunque estos valores no sobrepasaron los LMP, el manifiesto de impacto ambiental Dos Bocas, mencionó que en la



laguna Mecoacán el vanadio tuvo valor máximo de 12.46 mg/kg, lo que para este sitio de estudio representa más del 100% de las concentraciones acumuladas (Pérez-Cruz et al., 2013).

Está reportado que, en sitios con actividades petroleras, la refinación es la principal fuente de producción de metales contaminantes, sobre todo cuando existen derrames que aportan principalmente vanadio y níquel y las cantidades varían mucho según el tipo de hidrocarburo dependiendo de los grados °API (*American Petroleum Institute*). La refinería Olmeca en Paraíso, Tabasco, es el mayor comercializador de crudo maya, el cual contiene mayores cantidades de vanadio y níquel. En un estudio de metales en almejas y sedimentos en la reserva de la biósfera Pantanos de Centla por parte de Pérez, (2007) encontró el segundo valor más alto en sedimentos totales de vanadio para el río Naranjos del cual proviene el río Troncón de nuestro sistema de estudio.

#### 8.1.4.2 Níquel

Al realizar el balance de disposición con respecto al níquel, el LMP para la NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) es de 50 mg/kg en concentración normal y 100 mg/kg para peligroso; los sedimentos de entrada S10 (90.67 mg/kg), S11 (99.28 mg/kg) y S12 (95.29 mg/kg) todos arriba del límite normal y en el umbral de lo peligroso, se desplazaron a S13 (96.72 mg/kg) y S9 (85.03 72 mg/kg), al entrar al arroyo Santa María en S1 (76.75 mg/kg), se desplazó a la confluencia fluvial entre el arroyo y el dren el Chinin S6 (81.46 mg/kg), el río los caballos S8 (95.57 mg/kg) pasando por la UMA del ejido, hasta llegar a la salida del sistema (laguna Los Caballos) en S7 (94.32 mg/kg).

Este elemento tóxico presentó valores por encima del límite normativo en sedimentos de la laguna Mecoacán (21.43 mg/kg). Al igual que el vanadio, el níquel, han sido asociados a la industria petrolera, ya que se emplean como catalizadores en las refinerías, metalúrgica, fertilizantes y descargas urbanas. Debido a ello, se ha identificado acumulamiento en toda la cuenca del Golfo de México. Por sus efectos tóxicos, es necesario su monitoreo, con el fin de evaluar los riesgos potenciales sobre la salud humana y los ecosistemas (Villanueva-Botello, 2005; IMP, 2019).

Los riesgos asociados al ecosistema por toxicidad del níquel se presentan cuando es liberado en condiciones de alta salinidad, (Lang et al., 2009; Jiménez, 2022). En los animales acuáticos puede atravesar fácilmente las membranas biológicas y la piel, incorporándose el metal en la cadena trófica dando origen a los efectos de bioacumulación y biomagnificación (Taylor et al.,



1985). En un estudio del pez marino (*Chelon labrosus*) cuando fue expuesto a níquel, previo a la respuesta letal, mostró la presencia de manchas oscuras y dificultades respiratorias menores. En las personas puede llegar a causar cáncer de pulmón y cáncer nasal (Posada & Arroyave, 2006).

Con este balance, se observó que la presencia de contaminantes en el sitio y en particular el níquel, se atribuye a la adsorción y/o precipitación de partículas sólidas finas o arcillas (Saldívar, et al., 2009), ya que los sedimentos analizados (**Tabla 5**) contienen entre 40-60% de limo y arcilla. Así mismo las arenas son arcillas contaminados que han formado aglomerados cuando son recubiertas por sedimentos orgánicos o hidrocarburos. En el caso de la materia orgánica los sedimentos están constituidos por detritos vegetales de origen alóctono (proceden en su mayoría de los densos bosques de manglar que rodean los cuerpos de agua) donde todavía es posible reconocer la anatomía de los restos vegetales como hojas, ramas, fibras y presencia de humus. Así mismo, cuando el material orgánico vegetal, se encuentra casi completamente degradado, se le puede identificar como una pasta saturada color pardo oscuro (Pérez-Rojas et al., 2000).

**Tabla 5**  
**Caracterización física y química de sedimentos**

Muestra	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	R	L (%)	A
S1	6.47	0.88	1.14	4.26	60.61	35.80
S2	6.13	0.57	1.34	6.39	2.85	92.76
S3	6.27	0.95	1.33	3.12	60.00	36.88
S4	6.27	2.19	1.12	4.82	22.72	73.13
S5	6.50	1.50	0.35	4.26	26.87	68.88
S6	6.00	1.20	0.19	0.00	58.60	51.40
S7	5.80	6.14	0.16	2.56	0.57	97.54
S8	5.97	5.87	0.16	4.41	1.42	91.09
S9	4.80	5.82	0.15	4.41	4.83	90.76
S10	4.87	5.17	0.20	6.11	36.19	57.71
S11	5.30	3.45	0.09	0.26	8.40	90.34
S12	5.70	1.60	0.18	6.11	26.57	67.33
S13	5.93	2.15	0.21	8.26	32.11	59.64

Nota. pH: potencial de Hidrógeno, CE: conductividad eléctrica; DA: densidad aparente; R: arcilla, L: limo, A: arena; %: porcentaje.



La textura de los suelos y sedimentos puede delimitar los mecanismos de absorción-desorción de diversos compuestos, entre ellos los hidrocarburos. En este sentido, la mayoría de los sedimentos presentó textura arenosa y franco-arenosa con presencia de tonalidades grisáceas (condiciones gléicas) y prevalencia de procesos hidro mórficos (acumulamiento de materia orgánica). Sin embargo, al observar los minerales en el DRX se sugiere que estas texturas gruesas, representan arcillas recubiertas con materia orgánica e hidrocarburos (Moreno-Martínez et al., 2021).

### 8.1.5 Hidrocarburos

#### 8.1.5.1 Determinación de Hidrocarburos Totales del Petrolero (HTP) mediante espectrofotometría Ultravioleta Visible (UV-vis)

De las muestras de sedimentos analizadas en el UV-vis para identificar hidrocarburos totales del petróleo (HTP), 11 muestras presentaron hidrocarburos de las cuales S1, S4, S8, S9, S10, S12 y S13 se encontraron por encima del LMP (HTP < 4,400 mg/kg) según la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013) para vocación de uso pecuario y de conservación (**Tabla 6**).

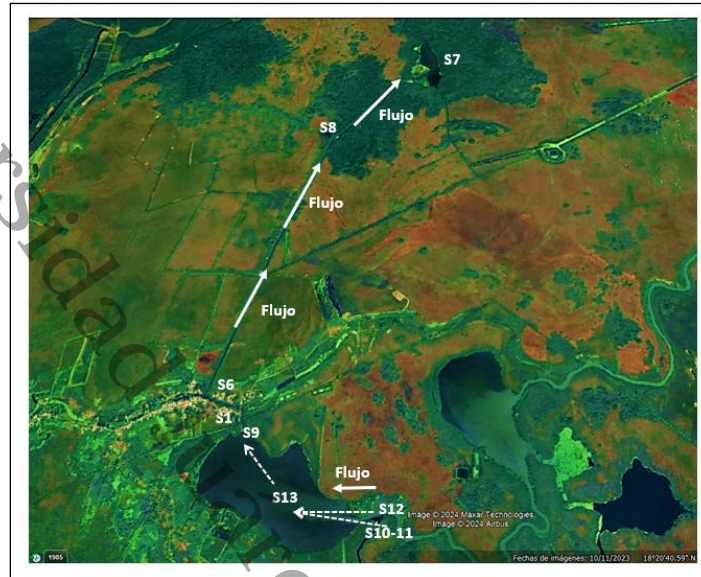
**Tabla 6**  
**Hidrocarburos totales del petróleo en sedimentos**

Muestra	Concentración (mg/kg)	Textura	Muestra	Concentración (mg/kg)	Textura
S1	53240	franco limoso	S8	9890	arena
S2	630	arena	S9	0	arena
S3	0	franco limoso	S10	4667	franco arenoso
S4	9000	arenoso franco	S11	4100	arena
S5	3200	arenoso franco	S12	47700	franco arenoso
S6	1300	arcillo arenoso	S13	20360	franco arenoso
S7	4000	arena			

Al realizar el balance de concentración de HTP que entran al sistema de estudio, S10 (4,667 mg/kg) y S12 (47,700 mg/kg) aportan sedimentos de pozos petroleros como el pozo Cayuco 1 que es el más cercano. En el punto S13 la concentración fue de 20,360 mg/kg, desplazándose hacia S9 con 6,133 mg/kg y S1 con 53,240 mg/kg con la más alta concentración, mientras que S4 con 9,000 mg/kg y S6 con 1,300 mg/kg, ambas situadas en la confluencia fluvial entre el arroyo Santa María y el dren el Chinin. Al analizar las muestras ubicadas en la UMA, estas redujeron su concentración a la salida del sistema de 4,000 mg/kg en S8 y 9,890 mg/kg en S7, esto indicó acumulamiento de hidrocarburos en la población y en UMA manglares (**Figura 18**).



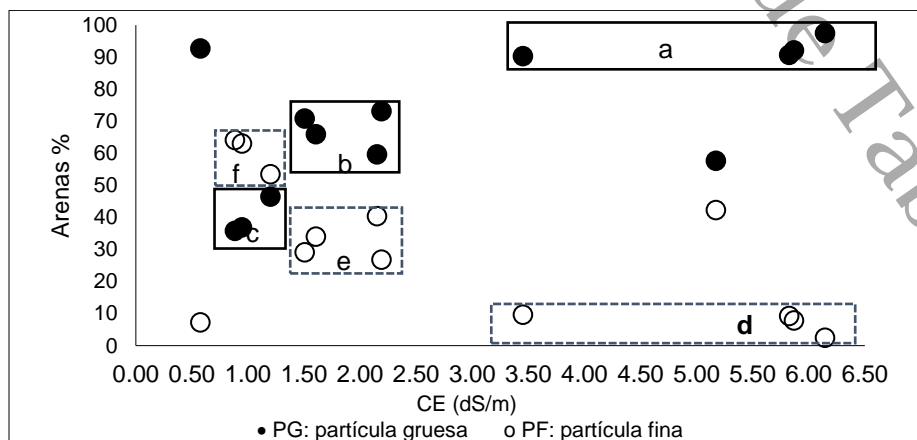
**Figura 18**  
**Balance de concentraciones de HTP en polígono 1**



#### 8.1.5.2 Propiedades físicas y químicas de sedimentos

La conductividad eléctrica (CE) depende del contenido de sales solubles por lo que su concentración aumenta (**Tabla 5**) en relación con el aumento de sodio en el medio (DOF, 2002). Así, los valores encontrados de S7, S8, S9, S10 y S11, ubicados en las bocanetas o fronteras de efluentes, pueden asociarse a altos valores de CE debido a la alta sedimentación, en cambio las muestras S1, S2 y S3, se localizan en sitios con alta influencia antropogénica (deforestación por cambios de uso de suelo) donde los horizontes han sido homogenizados y/o rellenos con suelos de otros sitios (Echeverría et al., 2019) (**Figura 19**).

**Figura 19**  
**Comportamiento de la conductividad eléctrica (CE) y textura de los sedimentos**





Se tomó como referencia los datos de la **Tabla 6**, donde se observó que la CE disminuye paralelamente con el tipo de partícula (partículas gruesas), ver **figura 19** (áreas “a”, “b” y “c”), coincidiendo con Carreras & Parra, (1995); González-Fierro et al., (2016) y Botello et al., (2020); sin embargo las partículas finas (área “d”) presentan CE elevada y van disminuyendo conforme aumenta el %A (áreas “e” y “f”) mostrando un comportamiento diferente, descrito por Gómez-Mellado et al., (2020) donde mencionan que las arcillas al ser contaminadas con derrames y aguas de producción petrolera, tienden a recubrirse de hidrocarburos, volviéndose pesadas y actúan como arenas. Otros autores mencionan que los suelos y sedimentos de manglares suelen tener pH ácidos, ya que la materia orgánica en descomposición aporta ácidos húmicos y fúlvicos que favorecen este comportamiento (Pérez-Rojas et al., 2000; Villanueva, 2020) muy similar a los descritos, ya que el 85% presentó clasificación moderadamente ácida NOM-021-SEMARNAT-2000 (**Tabla 7**).

**Tabla 7**  
**Características de los sedimentos contaminados con Hidrocarburos**

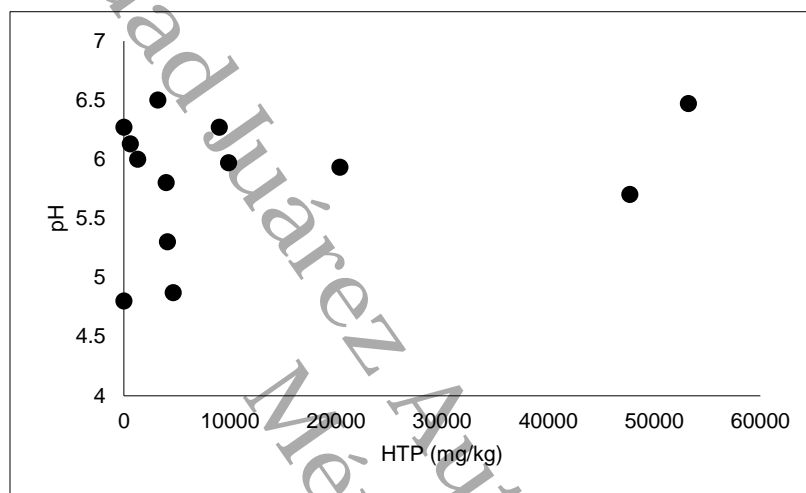
Sedimentos	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	HTP (mg/kg)	PF (R+L)		PG (A)		Sat (%)	Arom	Res	Asf	IRAP	WDPT
S1	6.47	0.88	53,240	64	36	64	27	8	0	313	>60		
S2	6.13	0.57	630	7	93	95	5	0	0	523	>60		
S3	6.27	0.95	200	63	37	56	25	19	0	331	0		
S4	6.27	2.19	9,000	27	73	79	16	5	0	308	>60		
S5	6.50	1.50	3,200	29	71	43	49	8	0	313	>60		
S6	6.00	1.20	1,300	54	47	0	98	2	0	304	>60		
S7	5.80	6.14	4,000	3	98	72	22	6	0	301	>60		
S8	5.97	5.87	9,890	8	92	86	7	7	0	313	>60		
S9	4.80	5.82	150	9	91	79	15	6	0	306	0		
S10	4.87	5.17	4,667	42	58	60	32	8	0	313	>60		
S11	5.30	3.45	4,100	10	9	100	0	0	0	267	>60		
S12	5.70	1.60	47,700	34	66	75	10	15	0	308	>60		
S13	5.93	2.15	20,360	40	60	100	0	0	0	305	>60		

Nota. pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica, HTP: hidrocarburos totales del petróleo; PF: partícula fina; PG: partícula gruesa; R: arcilla; L: limo; A: arena; Sat: saturados; Arom: aromáticos; Res: resinas; Asf: asfaltenos; IRAP: índice de riesgo ambiental por polaridad; WDPT: repelencia al agua en la superficie (Water Drop Penetration Time).



Por otro lado, al contrastar los valores de pH con los de HTP, se observó una disminución del pH cuando aumenta la concentración de HTP (**Figura 20**). Esta tendencia ha sido reportada, por Martínez, (2001), quien realizó simulaciones de derrames frescos al contaminar suelos arcillosos con hidrocarburos de fracción media y pesada, y observaron que en ambos casos el pH se redujo derivado del aumento de la producción de ácidos orgánicos y húmicos relacionados con la actividad biológica.

**Figura 20**  
**HTP y su relación con los cambios de pH en sedimentos**



Sin embargo, existen muestras que no cumplieron con esta tendencia, pues a mayor concentración de hidrocarburo, mayor pH, lo cual cumple con lo observado por Gutiérrez & Zavala, (2002) y Pons-Jiménez et al., (2011) quienes sugieren que en derrames petroleros antiguos las fracciones polares (Resinas y Asfaltenos) vuelven a los sólidos repelentes y por ende no permiten el intercambio y liberación de carga (CIC). De igual manera, otros estudios explican que suelos contaminados con hidrocarburos que han sido expuestas a la intemperie durante un largo periodo, sucede el secuestro biológico, en el que los hidrocarburos quedan atrapados en las capas internas y la materia orgánica se sobrepone en las capas superficiales cambiando el pH (Chibuike & Obiora, 2014; Filcheva & Chakalov, 2016).

#### 8.1.5.3 Fracciones SARA

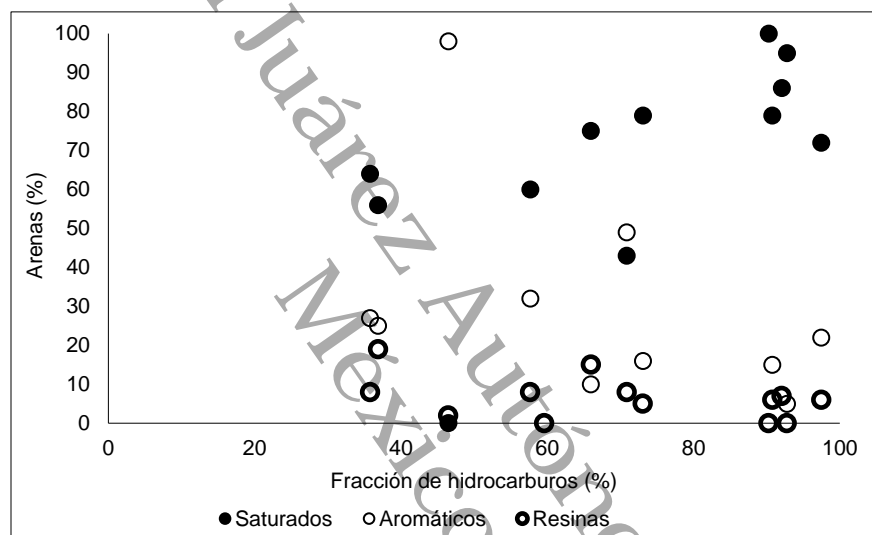
En este sentido, se contrastaron los 13 sedimentos con cada una de las fracciones: saturados, aromáticos y resinas; se observó una tendencia directamente proporcional de compuestos saturados con respecto a las partículas gruesas (%A) (**Figura 21**). Por un lado, esto permite mayor contenido de %MO y decremento de pH (Gutiérrez & Zavala, 2002), aunque se ha



reportado que en los medios ácidos los hidrocarburos pueden ser más lixiviables y por ende más disponibles al medio (Niu, X., et al. 2015).

Por otro lado, al aumentar las partículas finas (%R+%L), se observó que aumentó la fracción de aromáticos, en contraste, el contenido de fracción polar es bajo. Por tales razones, los sólidos no se considerarán repelentes ya que las variaciones en la textura pueden estar relacionados con el aumento del diámetro de las partículas por recubrimiento de la materia orgánica (Marín-García et al., 2016).

**Figura 21**  
**Contraste de fracciones SARA en sedimentos según la textura**



La contaminación por HTP, crea fuertes impactos en zonas de manglar, afectando gravemente la vegetación, el suelo, el agua, los microorganismos y la macrofauna asociada dependiendo de la concentración y el tiempo que esté disponible en el ecosistema (Molina, 2018). La contaminación a corto plazo por petróleo genera un incremento poblacional de algas Fito planctónicas las cuales desplazan a las algas nativas, desequilibrando la estructura biótica del ecosistema. A largo plazo, reduce la concentración de oxígeno y la muerte de organismos fotosintéticos, debido a las manchas de crudo que disminuyen la penetración de la luz, muerte de micrófitos por impregnación de aceite y extinción de macroinvertebrados, peces, aves, reptiles y organismos bentónicos por deposición de sedimentos (Lovindeer et al., 2023; Adebangbe et al., 2025).



#### 8.1.5.4 Índice de Hidrocarburos Polares en sedimentos a partir de los FTIR y su relación con la repelencia al agua

Para calcular el índice de riesgo ambiental por polaridad (IRAP), se siguió la metodología de Morales-Bautista et al., (2016) y Yzquierdo-Ruiz et al., 2022; donde identificaron la presencia de grupos funcionales oxigenados e hidrocarburos polares a partir del espectro infrarrojo, para ello, se tomaron los valores de la transmitancia de los FTIR de sedimentos (**Anexo AB**) para los grupos funcionales SAT1, SAT2, C=C, COC, SOS y ArCO y con los datos de la **Tabla 7** y las **ecuaciones 1, 2 y 3** se calculó IRAP, Log(IRAP) y °API, donde los resultados fueron hidrocarburos extrapesados en todos los casos.

En este análisis se observaron transmitancias variables en los sedimentos, lo que hace entender que los grupos funcionales analizados pueden variar dentro de un ecosistema. Esto puede relacionarse con el hecho de que la degradación de los hidrocarburos depende de la especie de la planta y las condiciones del suelo y/o ambientales (Guzmán-Osorio et al., 2019).

Así mismo, Marín-García et al., (2016) demostraron que la presencia de hidrocarburos polares promueve un comportamiento hidrofóbico en suelos, generando repelencia al agua, particularmente en suelos con textura media a gruesa. Estos autores encontraron que la repelencia aumenta conforme disminuye el grado API del petróleo, y reportaron efectos significativos en suelos contaminados con petróleo crudo pesado (15°API) a concentraciones superiores al 2%. Para determinar la repelencia de los sedimentos, se tomó la **ecuación 5** ( $WDPT = (45.399 * LN(\%HTP)) + 45.163$ ) y se encontraron valores mayores a 60 en la mayoría de las muestras, indicando que son repelentes al agua y que los aglomerados formados provienen de hidrocarburos. Kundu et al., (2022), mencionan que estos compuestos reducen la disposición de nutrientes y afectan el desarrollo de las plantas.

## 8.2 suelos

La formación del suelo, se debe a la acción de agentes de la naturaleza sobre la roca madre. Este cuerpo natural, contiene partículas sólidas que provienen de la corteza terrestre y, que se formaron por elementos como agua, aire, temperatura y actividad biológica que, a través del tiempo, desintegraron la roca y la transformaron para dar origen a la vegetación (Cuadrado & Lorenzo, 1980).



### 8.2.1 Cationes disponibles en suelos

Para relacionar las concentraciones de contaminantes con los efectos asociados al ecosistema de manglar, se realizaron las determinaciones analíticas de las propiedades físicas y químicas de los suelos (Tabla 8 y 9), los cuales coincidieron con la literatura para suelos Fluvisol, Solonchack y Gleysol (Palma-López et al., 2007).

**Tabla 8**  
**Caracterización física y química de suelos**

Muestra	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	R			MO
				L	A	(%)	
M11	7.90	1.21	1.13	04	06	90	0.82
M12	7.30	0.96	1.03	0	0	99	1.74
M31	7.23	0.62	1.26	04	09	87	2.91
M32	7.30	1.84	1.23	10	37	53	2.57
M33	7.17	0.64	1.24	05	10	85	0.21
M34	6.87	0.57	1.18	06	20	75	2.77
M41	6.00	3.19	0.25	04	05	91	4.46
M42	5.80	3.24	0.09	10	02	88	4.32
M43	5.73	3.71	0.11	08	03	89	2.69
M44	6.03	1.93	0.11	07	10	83	5.02
M45	5.97	2.22	0.12	11	03	86	3.66
M46	5.05	3.18	0.36	08	16	76	5.69
M47	3.47	4.56	0.25	05	03	92	13.16
M48	3.80	3.44	0.15	01	11	87	28.64
M13	7.13	1.26	1.28	03	01	96	1.09
M14	6.83	1.81	1.29	03	01	96	1.76
M15	6.47	2.83	1.32	03	06	92	2.80
M21	5.70	4.03	0.94	24	15	61	6.63
M22	5.83	3.53	1.33	02	10	88	1.55
M23	5.67	6.36	1.30	03	08	89	2.38
M24	6.00	4.01	1.21	08	01	91	0.39
M25	4.79	5.63	1.24	02	10	88	1.63
M26	7.23	7.26	1.13	17	09	74	2.74
M27	6.17	8.06	1.05	29	16	55	8.19

Nota. pH: potencial de Hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; DA: densidad aparente; R: arcilla; L: limo; A: arena; MO: materia orgánica; %: porcentaje.



**Tabla 9**  
**Capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de sodio intercambiable en suelos**

Polígono	Muestra	Ca	K	Mg (Cmol.kg-1)	Na	CIC	PSB	PSI
							%	
Polígono 2	M11	1.57	0.68	2.65	2.77	7.68	63.91	36.09
	M12	0.77	0.57	2.44	1.22	5	75.53	24.47
	M32	5.42	1.57	11.03	3.92	21.95	82.13	17.87
	M34	0.94	2.41	6.13	1.96	11.45	82.85	17.15
Polígono 3	M41	5.96	0.93	3.85	1.49	12.24	87.82	6.15
	M46	0.64	2.61	6.13	1.56	10.94	85.75	14.25
Polígono 4	M15	0.25	0.33	2.66	1.52	4.76	68.07	31.94
	M23	0.56	0.9	3.18	8.96	13.59	34.1	65.9

**Nota:** Ca: calcio; K: potasio; Mg: magnesio; Na: sodio; CIC: capacidad de intercambio catiónico; PSB; porcentaje soluble de bases; PSI: porcentaje de sodio intercambiable; %: porcentaje

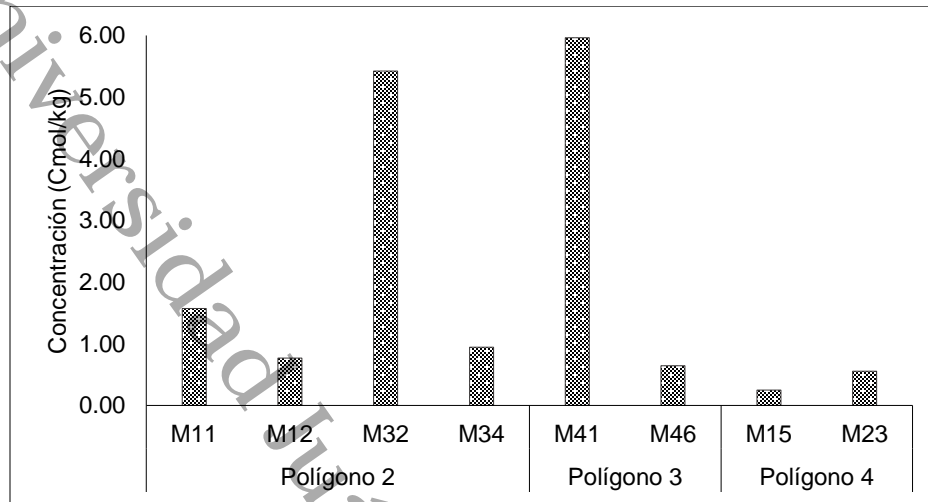
#### 8.2.1.1 Calcio

Con los datos de la **Tabla 9**, se realizó un gráfico (**Figura 22**) que mostró los valores de Ca en el suelo. En el polígono 2 (comunidad rural) donde el perfil presentó características de suelo tipo Arenosol endogléyico (Palma-López et al., 2007) las muestras presentaron reacción a Carbonato de Calcio, lo que indicia deposición por roza-quema por manejo de pastizales. Destacan las muestras M11 y M12 ubicadas en tiraderos de residuos sólidos urbanos a cielo abierto en donde existe quema constante, las cuales presentaron valores de Ca de clase muy baja (1.57, 0.77). Algunos autores, han relacionado este comportamiento con la deposición de cenizas que torna muy alcalino el suelo, lo cual coincide con los valores encontrados de pH en las muestras (medianamente alcalino (7.90) a neutro (7.30)). Algunos trabajos han sugeridos que estos cambios modifican la disposición de nutrientes, ya los desplazan o precipitándolo en formas menos solubles evitando que se pueda recuperar la zona afectadas (Mataix, 2000; Mataix-Solera & Guerrero, 2007).

Así mismo, M32 presentó valor de Ca de clase media (5.42), con pH neutro (7.30). Destaca que el sitio está fuertemente influenciado por actividades piscícolas, agrícolas y ganaderas. Además, se observó la presencia de residuos sólidos urbanos en su mayoría metal, plástico e hilos para pesca. El perfil presentó textura arenosa, valor muy bajo en %MO (0.21) con horizontes homogenizados con relleno de otro tipo de suelo, dando características de Antrosoles (Palma-López et al., 2007).



**Figura 22**  
**Valores de Calcio en suelos**



En cuanto al polígono 3 (Conservación-reforestación), las muestras M41 y M46 se ubicaron en la UMA (de manglares) del ANP con características de suelo tipo Solonchak Gléyico. Ambas muestras presentaron pH moderadamente ácido (6.0, 5.05), CE moderadamente salina (3.19 y 3.18) y valores altos en %MO (4.46 y 5.69); aunque las propiedades químicas de estas muestras se encontraron entre los mismos rangos, M41 presentó valores medios de Ca (5.96) y M46 valores muy bajos (0.64), esta disparidad de valores, se debe al ciclo de desarrollo del mangle, ya que son árboles de la misma especie (*Avicennia germinans*), pero a medida que éstos envejecen como M41 que tiene ~50 años y M46 de ~8 años, los árboles viejos tienden a acumular mayor concentración de calcio en comparación con los árboles jóvenes (Alongi, 2009).

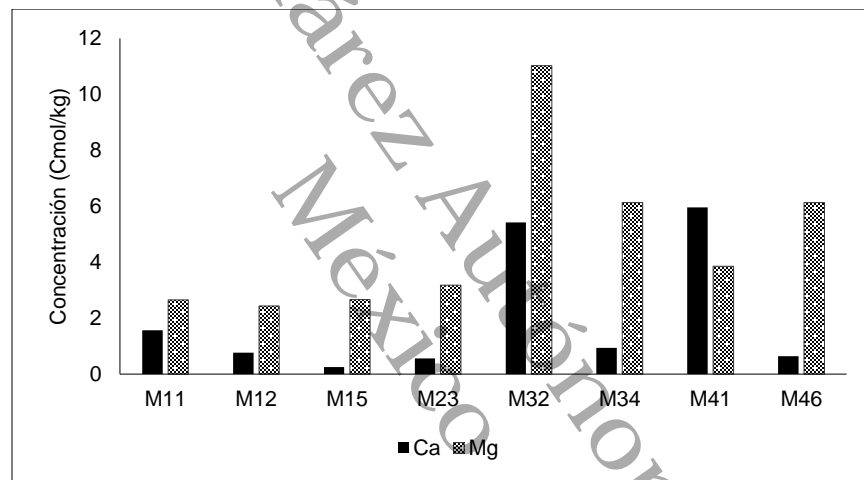
El polígono 4 se ubica en una zona con alta presencia de manglar, ya que recibe aguas del río Arroyo Hondo y laguna Mecoacán. La descripción del perfil mostró suelo tipo Gleysol mólico, con relleno en los dos primeros horizontes. La muestra M15 presentó pH neutro (6.47), con una CE moderadamente salina (2.83), textura arenosa de baja retención de nutrientes y %MO media (2.8). Con respecto a M23, el pH fue moderadamente ácido (5.67), CE alta de suelo salino (6.36) y %MO media (2.38). Los valores intercambiables de Ca para ambas muestras fueron de clase muy baja (0.25 y 0.56), mostrando que existe desplazamiento de Ca por las altas concentraciones de sales (Palma-López, et al., 2007).



### 8.2.1.2 Magnesio

Con respecto al magnesio este tiene una relación con el calcio como nutrientes en el manglar. En este sentido, en el polígono 2 las muestras M11 y M12 presentan valores de Mg de clase media (2.65 y 2.44) con valores de Ca muy bajos. Las muestras M32 y M34 presentaron valores altos de Mg (11.03 y 6.13) con respecto a valores muy bajos y medios, con respecto al Ca. Las muestras del polígono 3 (M41 y M46), presentaron valores altos de Mg (3.85 y 6.13) y valores medios y muy bajos para Ca. Por último, el polígono 4 presentó valores de magnesio altos (2.66 y 3.18) en M15 y M23 y valores de calcio muy bajos (**Figura 23**).

**Figura 23**  
**Valores de Calcio y Magnesio en suelos**



Al analizar esta relación, se observó que el 75% de las muestras de Ca tiene valores de clase muy bajos y el 25% valores de clase medio, mientras que el 38% de Mg tiene valores de clase baja y el 62% valores de clase alta. Esto sugiere que el Mg desplazó al Ca, esto se favorece por los pH bajos y porque existe alta demanda del Mg en el ecosistema ya que los manglares necesitan regular funciones vitales en ambientes salinos (Bohn, 1993).

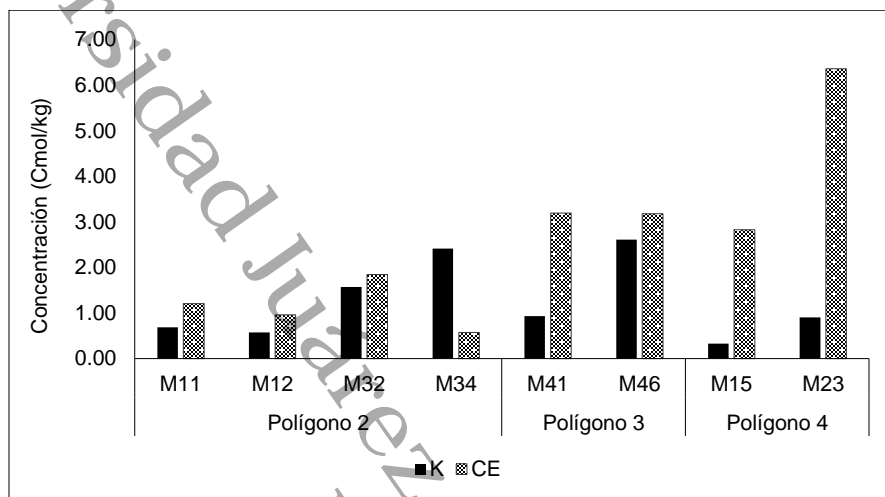
### 8.2.1.3 Potasio

El contenido de potasio para las muestras del polígono 2, M12 presentó valor de clase media (0.57), en contraste, M11, M32 y M34 valores altos (0.68, 1.57 y 2.4). En el polígono 3, la muestra M46 (2.61) obtuvo 3 veces más potasio que M41(0.93) y el polígono 4, M14 y M23 alcanzaron valores de clase media (0.33 y 0.90). Hernández E., (2022) y Gaonkar & Rodríguez, (2021)



afirmaron que el K es inversamente proporcional a la salinidad. Aunque esto no se observa en la totalidad de las muestras analizadas, en la mayoría de los casos, se observó que cuando el K disminuye en medida de que la CE se eleva (**Figura 24**).

**Figura 24**  
**Valores de potasio y su relación entre la CE en suelos**



#### 8.2.1.4 Sodio

Para analizar los valores de sodio intercambiable en suelos, se calcularon las concentraciones en porcentaje de sodio intercambiable (%PSI) según lo especificado en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) (**Tabla 9**).

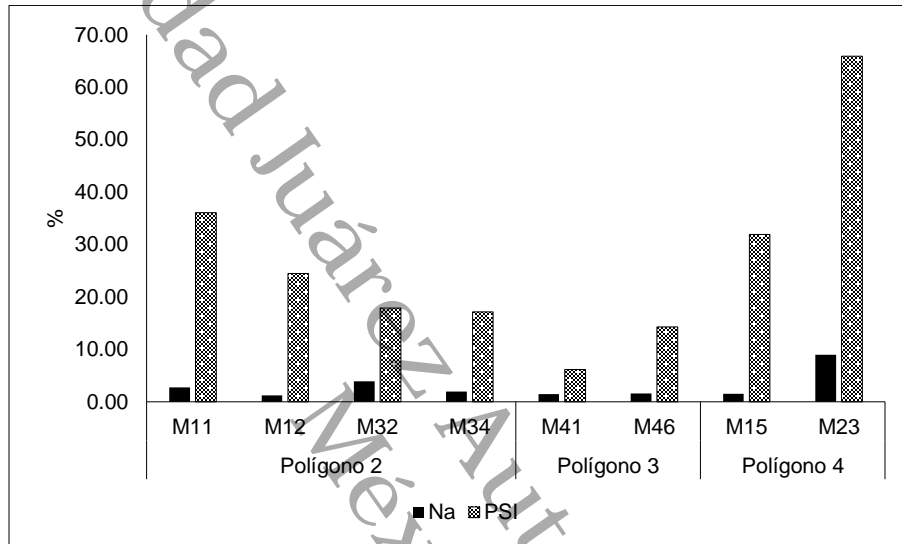
En el caso del polígono 2, la muestra M11 y M12 presentaron %PSI fuertemente sódico 24.47, mientras que M32 y M34 mostraron valores medianamente sódicos (**Figura 25**). El tipo de suelo que describe este sitio es un Fluvisol Eutri Gléyico, con una saturación de sales (PSB) mayor al 50%; Palma-López et al., (2007) clasifica estos suelos de clase II/D2, pues limita su uso para la selección de cultivos. Los Fluvisoles son suelos que se ubican en las "vegas de río", por lo que son inundables temporalmente sobre todo en época de lluvias, la circulación del agua es interna y reducida, por lo que puede presentar fenómenos de gleyzación.

Para el polígono 3, el %PSI en M41 se encuentra como no sódico (6.15), mientras que M46 se ubica como medianamente sódico (15.01). En campo se observó suelos pocos profundos y con pobre desarrollo del perfil (solo cuenta con dos horizontes), texturas arcillosas, inundados con pobre permeabilidad, saturados con sodio y pH ligeramente alcalino. Algunos autores nombran a estos suelos como "tierras saladas". Por las características observadas, tienen similitud a suelos Solonchak. Estas unidades están representadas por vegetación de manglares, zacates



resistentes a la salinidad y en algunas zonas más altas cocoteros, los cuales coinciden con lo observado en campo. Es importante mencionar que los camellones en el sitio son empleados para la siembra de pasto para el ganado. Sin embargo, se ha descrito que estos pastos son muy poco nutritivos, por lo que el ganado vacuno que encontramos en estos suelos tiene muy baja productividad (Palma López et al., 2007; Domínguez-Domínguez et al., 2011).

**Figura 25**  
**Valores de sodio y su relación entre la CE en suelos**



Por su parte, en el polígono 4, las muestras M15 y M23, presentaron %PSI extremadamente sódicos (31.94, 65.9). Se ha descrito que para que el  $\text{Na}^{1+}$  pueda desplazar al  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , la solución de sodio en el suelo debe ser superior al 70% y claramente observamos un umbral a este valor en M23. Estas muestras se ubican en una zona con alta salinidad (6.36 ds/m) debido a que recibe directamente aguas de la laguna Mecoacán.

Algunos trabajos como los de García-López et al. (2006) y Palma-López et al. (2007) mencionan que esta subunidad de suelo tiene altos contenidos de nutrientes y materia orgánica. Lo cual coincide con lo observado en campo, así mismo presentan texturas francas y una PSB superior al 50%, estos suelos conocidos como Gleysoles Mólicos y han sido reportados por Zavala-Cruz et al. (2016) quien menciona que estas unidades son dominadas por la vegetación hidrófila como popales, manglares y pastizales resistentes a los altos contenidos de humedad del suelo y recomiendan su uso solamente para vida silvestre.



## 8.2.2 Metales pesados Ba, Cd, Cr, Ni, Pb y V

El análisis de metales pesados para suelos fue sujeto conforme a los requisitos de la norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (**Tabla 10**). Estos metales ya han sido reportados para sitios similares en la costa del Golfo de México, pero en menores concentraciones (Jiménez, et al., 2021).

**Tabla 10**  
**Metales pesados en suelos**

Muestra	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb	V
	(mg/kg)					
M11	38.73	<LD	10.46	10.12	10.06	8.26
M12	70.17	<LD	7.75	12.38	10.73	18.81
M15	60.33	<LD	4.17	5.25	8.31	17.31
M23	55.12	<LD	6.75	9.96	9.27	17.64
M32	142.27	<LD	34.29	*62.61	26.18	28.22
M34	109.73	<LD	31.66	47.12	<LD	24.26
M41	113.47	<LD	0.5	11.53	12.84	24.9
M46	84.54	<LD	26.38	25.08	<LD	24.68
LD	0.035	0.001	0.007	0.009	0.008	0.048
LMP 147	5,400	NE	NE	1600	400	78
LMP 021	NE	NE	NE	50 N/100 P	35 N/100 P	NE
LMP 004	NE	85	3000	420	840	NE

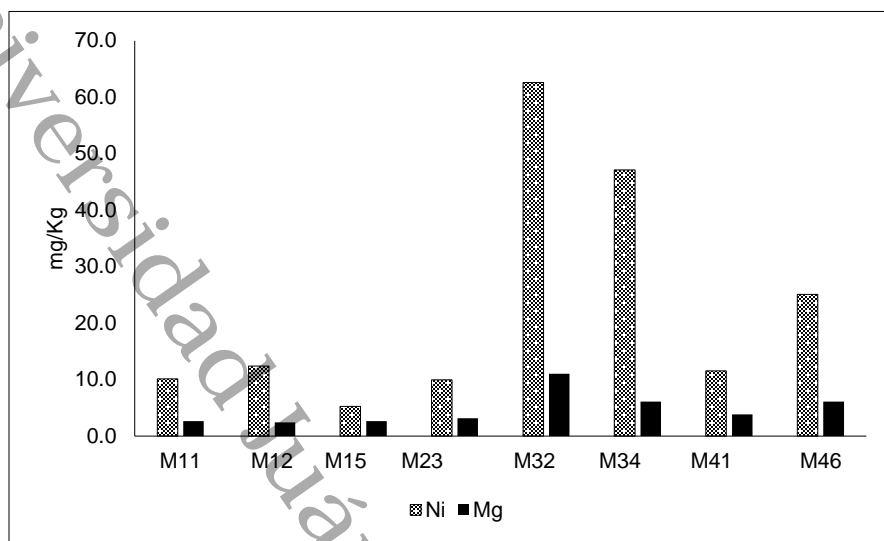
Nota. Ba: bario; Cd: cadmio; Cr: cromo; Ni: níquel; Pb: plomo; V: vanadio; LD: límite de detección; LMP: límite máximo permisible; N/E: no especificado; N: normal; P: peligroso; \*Concentraciones arriba de lo normal.

En el análisis de las concentraciones de metales en suelos para bario (Ba), cromo (Cr), plomo (Pb) y vanadio (V) no sobrepasaron los LMP especificados en las normas NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2007), NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2002a) y NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002b), mientras que los valores de cadmio (Cd) se observaron por debajo del límite de detección (<LD); la muestra M32 presentó valores de níquel (Ni) por arriba de lo normal.

Por su parte, el Níquel (Ni) pertenece al período del hierro (Fe) y cobalto (Co), ambos de característica geológica siderofílica, ya que tienen fuerte afinidad por el hierro metálico. Existe una relación que entre más alto el magnesio, más altos serán los valores de níquel (**Figura 26**).



**Figura 26**  
**Relación níquel-magnesio en suelos**



Además, el Ni forma con facilidad compuestos de sulfuro, que se depositan en las arcillas del tipo 1:1 y favorecen la acumulación de óxidos e hidróxidos de Fe y Al, en todos los casos, estos materiales están asociados a los suelos Fluvisoles que son característicos del polígono en estudio (comúnmente conocidos como arenillas) (Ugarte et al., 2015).

Además, se ha reportado que el exceso de níquel puede inhibir el crecimiento de las plantas, reducir la absorción de nutrientes esenciales y causar daños en las raíces, además altera el pH del suelo y a su estructura (Respondek et al., 2022).

### **8.2.3. Hidrocarburos**

#### **8.2.3.1 Hidrocarburos Totales del petróleo (HTP) en suelos**

Con respecto a los hidrocarburos, de las 24 muestras de suelo analizadas en el UV-vis, de los tres polígonos (P2, P3 y P4) siete de ellas presentaron valores por encima del LMP (HTP < 4,400 mg/kg) para vocación de uso pecuario y de conservación NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013) (**Tabla 11**).



**Tabla 11**  
**Hidrocarburos totales del petróleo en suelos**

Muestra	HTP (mg/kg)	Textura	Muestra	HTP (mg/kg)	Textura
M11	1190	arena	M31	24,100*	arenoso
M12	520	arena	M32	26,600*	franco arenoso
M13	1000	arena	M33	1000	arenoso franco
M14	3000	arena	M34	1300	franco arenoso
M15	34,500*	arena	M41	539	arenoso
M21	1900	franco arcillo arenoso	M42	568	arenoso
M22	26,250*	arena	M43	843	arenoso
M23	2600	arena	M44	792	arenoso franco
M24	7,900*	arena	M45	404	arenoso
M25	9,400*	arena	M46	1800	arenoso franco
M26	573	franco arenoso	M47	718	arenoso
M27	351	franco arcillo arenoso	M48	5,050*	arenoso

Nota. HTP: hidrocarburos totales del petróleo; LMP: límite máximo permisible; \*valor por arriba del LMP de la norma de referencia.

Por su parte, en el P2 (Población), la muestra M12 presentó concentraciones debajo de 1000 mg/kg de HTP. Así mismo, M11, M12, M33 y M34 las concentraciones se encuentran por debajo del LMP. En cambio, M31 y M32 los HTP son mayores al LMP, por lo que el 33% del suelo del sitio se halló contaminado por hidrocarburos. De acuerdo con la descripción de los perfiles en campos, estos suelos son Antrosoles porque presentan diversos materiales de relleno. En cuanto al P3 (conservación-reforestación), en las muestras M41, M42, M43, M44, M45 y M47 las concentraciones fueron por debajo de 1000 mg/kg de HTP. Así mismo, la muestra M46, no sobrepasó los LMP. Sin embargo, M48 (5,050 mg/kg) estuvo por encima del valor permitido, esto se debe a que en el balance de concentración de hidrocarburos en sedimentos; por ejemplo, la muestra S8 ubicada en la UMA de manglar, presentó 9,890 mg/kg asociando este valor al contenido de hidrocarburo de la muestra M46 y por tener partículas limosas que son muy cercanas a las arcillas, estos sedimentos se asocian con los hidrocarburos, pues al entrar a los cuerpos de agua interaccionan con el material suspendido que contiene principalmente materia orgánica, acumulándose en los árboles de mangle.

Por último, el polígono 4 (Agropecuaria-conservación), en las muestras M26 y M27 se detectaron concentraciones por debajo de 1000 mg/kg de HTP. El resto presenta hidrocarburo, lo que sugiere que el sistema los bioacumula por arrastre ya que M13, M14, M21 y M23 están por debajo del LMP, pero se encuentran en los canales y las muestras M15, M22, M24 y M25 a la salida del



manglar. Además, todas estas muestras se ubican cerca de una línea de Pemex fuera de servicio hace más de 15 años.

### 8.2.3.2 Fracciones SARA en suelos

De los análisis realizados a las 24 muestras de suelo en el equipo Soxhlet se obtuvieron los resultados que se muestran en el **Tabla 12**.

**Tabla 12**  
**Propiedades de suelo y contenido de fracciones SARA**

Suelos	CE (dS m <sup>-1</sup> )	pH	HTP (mg/kg)	PF (R+L)	PG (A)	Saturados	Aromáticos (%)	Resinas	Asfaltenos
M11	1.21	7.90	1,190	10	90	19	81	0	0
M12	0.96	7.30	520	0	99	0	100	0	0
M13	0.62	7.13	1,000	13	87	30	40	30	0
M14	1.84	6.83	3,000	47	53	33	30	04	33
M15	0.64	6.47	34,500*	15	85	33	10	0	57
M21	0.57	5.70	1,900	26	75	13	79	08	0
M22	1.26	5.83	26,250*	09	91	33	03	01	63
M23	1.81	5.67	2,600	12	88	19	66	15	0
M24	2.83	6.00	7,900*	11	89	34	33	13	20
M25	3.19	4.79	9,400*	17	83	34	59	07	0
M26	3.24	7.23	573	14	86	0	0	0	100
M27	3.71	6.17	351	24	76	0	0	0	100
M31	1.93	7.23	24,100*	08	92	36	18	10	36
M32	2.22	7.30	26,600*	12	87	34	23	0	43
M33	3.18	7.17	1,000	04	96	9	91	0	0
M34	4.56	6.87	1,300	04	96	36	05	0	59
M41	3.44	6.00	539	09	92	0	0	0	100
M42	4.03	5.80	568	39	61	0	0	0	100
M43	3.53	5.73	843	13	88	0	0	0	100
M44	6.36	6.03	792	11	89	0	0	0	100
M45	4.01	5.97	404	09	91	0	0	0	100
M46	5.63	5.05	1,800	13	88	15	55	30	0
M47	7.26	3.47	718	26	74	0	0	0	100
M48	8.06	3.80	5,050*	45	55	30	40	30	0

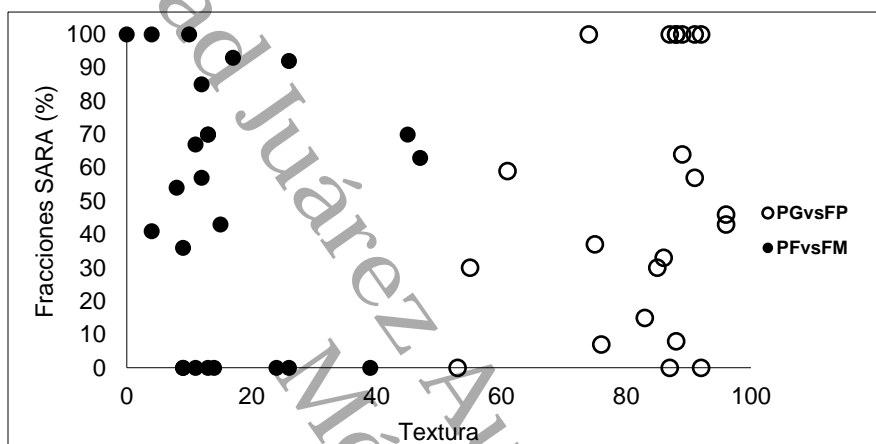
Nota. CE: conductividad eléctrica; pH: potencial de Hidrógeno; HTP: hidrocarburos totales del petróleo; PF: partícula fina; PG: partícula gruesa; R: arcilla; L: limo; A: arena.

En este sentido, el contraste de las fracciones SARA con las partículas finas (PF es la suma de limos y arcillas), mostraron que a medida que estas aumentan, se incrementa el porcentaje de fracciones medias y ligeras (saturados y aromáticos), por un lado, esto permite mayor contenido



de %MO y decremento de pH (Gutiérrez & Zavala, 2002), por lo que se ha reportado que, en los medios ácidos, los hidrocarburos pueden ser más lixiviables y por ende más disponibles al medio (Sun et al., 2015). Así mismo se observó que las partículas gruesas PG (arenas y aglomerados) son afines a los compuestos asfaltenos debido a que estas tienen propiedades que favorecen su interacción en el petróleo y en los procesos de extracción y refinamiento (Yzquierdo-Ruiz et al., 2022) (**Figura 27**).

**Figura 27**  
**Distribución del porcentaje de fracciones SARA en suelos con respecto a la textura**

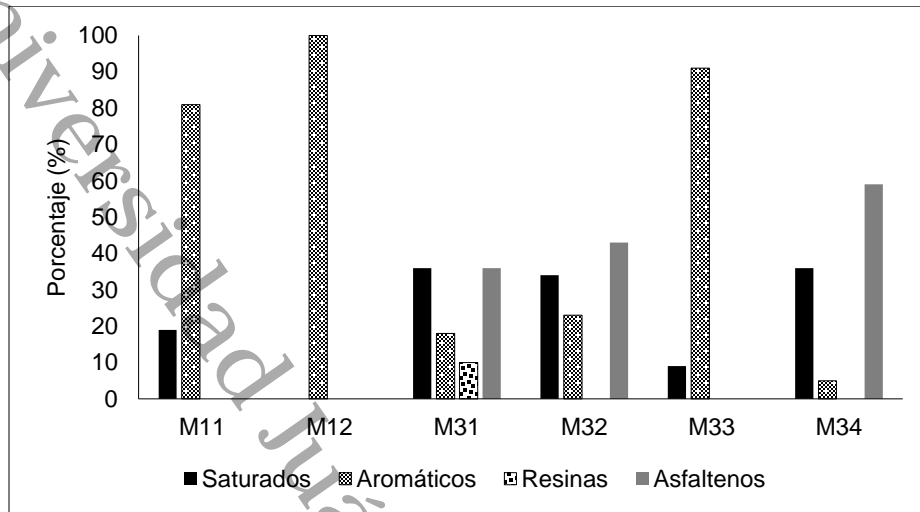


En el análisis SARA se observó que el contenido de fracción polar es bajo ya que no rebasa el 20% en la composición, con ello, los sólidos se consideran repelentes, por lo que las variaciones en la textura pueden estar relacionadas con el aumento del diámetro de las partículas por recubrimiento de la materia orgánica (Marín-García et al., 2016). Algunos autores como Gutiérrez & Zavala (2002) y Pons-Jiménez et al. (2011), encontraron que, en derrames antiguos, las fracciones polares (resinas y asfaltenos) ocasionan que los sólidos sean repelentes y por ende no permiten el intercambio y liberación de carga.

Para el polígono 2, M31 y M32 sobrepasaron LMP de hidrocarburos para suelos (4,400mg/kg) entre 6 y 8 veces más de lo marcado por la NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013). Estas muestras presentaron alto contenido de aromáticos (>43%), un promedio de 35% de saturados y un porcentaje mínimo de 18% de aromáticos. Aunque para M11, M12 y M33, los compuestos aromáticos presentaron valores de 80 hasta 100%, no sobrepasaron los LMP. No obstante, la literatura sugiere que los procesos de bioacumulación y biodisponibilidad al ambiente y al ecosistema pueden representar un riesgo, ya que la población suele realizar plantíos dentro del mangle o se alimenta de flora y fauna endémica. Además, estos suelos presentan tiraderos de basura que son incineradas a cielo abierto (**Figura 28**).

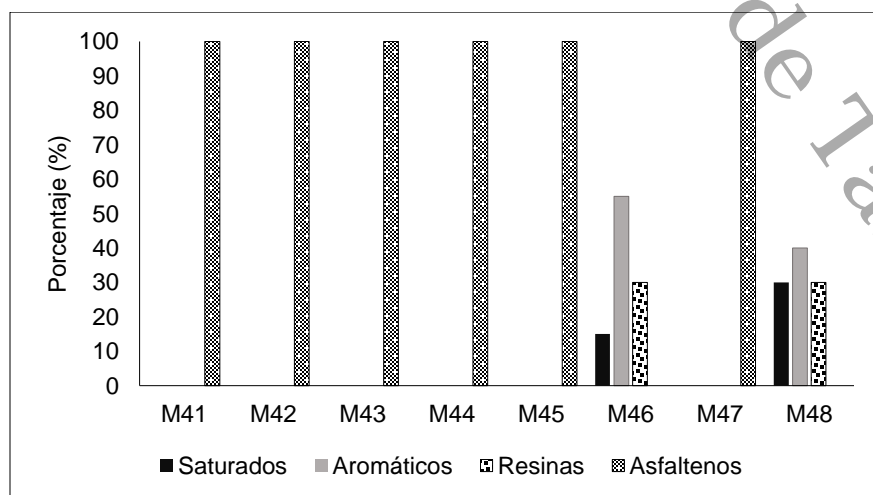


**Figura 28**  
**Contenido fracciones SARA en polígono 2**



En el polígono 3, M48 sobrepasó LMP de hidrocarburos para suelos (4,400mg/kg) y contiene un 75% de asfaltenos. Según Alongi, (2008) los suelos de los manglares tienen una alta capacidad de retención de hidrocarburos debido a su estructura física y química, que favorece la acumulación de compuestos resistentes y de baja biodegradabilidad, como los asfaltenos. Además, señala que la presencia de raíces entrelazadas y sedimentos ricos en materia orgánica ayudan a atrapar y retener estos contaminantes, impidiendo su dispersión en el ecosistema (Figura 29). Esto destaca que la acumulación de estos compuestos puede representar un riesgo para la salud del ecosistema y de las comunidades humanas cercanas, ya que los hidrocarburos pesados pueden ser tóxicos y persistentes en el ambiente (Bonte et al., 2023).

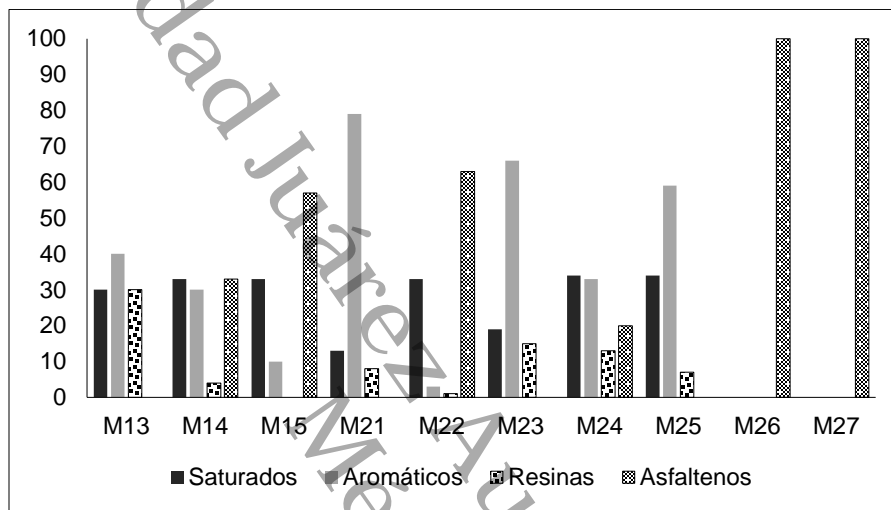
**Figura 29**  
**Contenido fracciones SARA en polígono 3**





Para el polígono 4, M15, M22, M24 y M25 sobrepasaron LMP de hidrocarburos para suelos (4,400 mg/kg) según NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013). Este sitio presenta una particularidad, ya que el 50% de las muestras presentan fracciones medianas y pesadas en proporciones similares, en el que los valores promedio son del 33% de fracciones saturadas, 26% aromáticos, 6% resinas y 35% de asfaltenos (**Figura 30**).

**Figura 30**  
**Contenido fracciones SARA en polígono 3**



Este sitio denominado agropecuario-conservación para este estudio, presentó actividades de ganadería y una línea de Pemex, que dejó de funcionar hace más de 15 años. Sin embargo, el funcionamiento natural del sitio, que en tiempo de inundación recibe aguas de la laguna Mecoacán, la cual agrega materia orgánica e hidrocarburos al sitio. Se ha reportado que estas variaciones favorecen la degradación de las diversas fracciones (Siddique et al., 2014); por ejemplo, algunos organismos son capaces de separar las fracciones de hidrocarburos consideradas como pesadas de los sólidos (Lustosa & Palanisamy, 2018). Este proceso puede hacer disponibles a los hidrocarburos hacia el medio y, en consecuencia, susceptibles a degradarse o biomagnificarse (Grishchenkova & Salminen, 2000).

### 8.2.3.3 Determinación de índices de compuestos polares (IRAP) y su relación con la repelencia al agua en suelos

Al igual que los sedimentos, se tomaron las transmitancias de los FTIR (**Anexo AC**) obtenidos de los extractos de los suelos para determinar IRAP, °API y WDPT (**Tabla 13**).



**Tabla 13**  
**Relación IRAP y WDPT en suelos de manglar de Úrsulo Galván**

Muestra	M11	M12	M13	M14	M15	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27
IRAP	303.3	274.8	418.4	350.4	285.6	295.6	337.7	289.6	274.5	373.8	318.4	320.2
log (IRAP)	2.5	2.4	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.6	2.5	2.5
API	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
HTP (%)	119	52	100	300	3450	190	2625	260	790	940	57.3	35.1
WDPT	262.1	224.5	254.2	304.1	415	283.4	402.6	297.6	348.1	356	229	206.7
Muestra	M31	M32	M33	M34	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48
IRAP	287	280	320.2	289.5	295.1	354.2	292.1	283	299.4	313.1	239.7	522.6
log (IRAP)	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.7
API	0.6	0.6	0.6	0.6	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.4
HTP (%)	2410	2660	100	130	53.9	56.8	84.3	79.2	40.4	180	71.8	505
WDPT	398.7	403.2	254.2	266.1	226.2	228.6	246.5	243.6	213.1	280.9	239.2	327.8

Nota. IRAP: índice de riesgo ambiental por polaridad; log (IRAP): logaritmo del índice de riesgo ambiental por polaridad; API: gravedad API; HTP: hidrocarburos totales del petróleo; WDPT: repelencia al agua en la superficie.

Los valores de gravedad 0.6 en la escala API son extremadamente bajos, esto indica que el hidrocarburo es muy denso y pesado, comparado con la mayoría de los petróleos crudos comerciales. Los resultados de WDPT indicaron que las muestras presentaron valor mayor a 60 s, lo que indica una gran persistencia de repelencia al agua (Ulloa, et al., 2014). Estos resultados, indicaron gran predominio de compuestos polares en las muestras, lo que sugiere alto grado de intemperización y permanencia de residuos oxigenados. No obstante, aunque los datos espectrales combinados con el análisis SARA y el índice IRAP pueden predecir la persistencia de residuos polares y sus efectos sobre las propiedades físico-hídricas del suelo, se recomienda realizar pruebas directas de repelencia al agua para validar estas inferencias y desarrollar metodologías operativas para el diagnóstico en campo de suelos contaminados por hidrocarburos.

### 8.3 Carbono orgánico del suelo

#### 8.3.1 Análisis de núcleos y perfiles del área de estudio

Con el trabajo en campo, se realizó una clasificación de los perfiles edafológicos en relación con la actividad que el sitio realiza. Según las características en campo y los valores de las propiedades físicas y químicas, los perfiles mostraron características predominantes de suelo tipo Fluvisol Eutri-Gléyico (Polígono 2), Solonchak Gléyico (Polígono 3) y Gleysol Mólico (Polígono 4) (Palma-López et al., 2007), (Tablas 14, 15 y 16).



**Tabla 14**  
**Caracterización física y química de suelo, en polígono 2**

Muestra	Profundidad (cm)	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	R	L	A	MO	COS (Mg C/ha)	Especie
					%					
M11	93.00	7.90	1.21	1.13	4.32	9.21	89.90	0.82	3	S/E
M12	115.00	7.30	0.96	1.03	0.26	0.00	99.26	1.74	7	S/E
M31	99.00	7.23	0.62	1.26	4.11	7.57	86.66	2.91	12	S/E
M32	148.00	7.30	1.84	1.23	5.54	37.42	53.04	2.57	16	S/E
M33	120.00	7.17	0.64	1.24	6.41	13.57	85.03	0.21	1	S/E
M34	140.00	6.87	0.57	1.18	5.67	16.76	74.76	2.77	16	S/E

Nota. pH: potencial de Hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; DA: densidad aparente; R: arcilla; L: limo; A: arena; MO: materia orgánica. COS: carbono orgánico del suelo; S/E: sin especie; %: porcentaje.

**Tabla 15**  
**Caracterización física y química de suelo en polígono 3**

Muestra	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm <sup>-1</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	R	L	A	MO	COS (Mg C/ha)	Especie
					%					
M41	67	6.00	3.19	0.25	3.69	7.85	91.13	4.46	2	N (AG)
M42	83	5.80	3.24	0.09	10.11	1.85	88.47	4.32	1	B (LR)
M43	83	5.73	3.71	0.11	7.67	3.21	89.43	2.69	1	R(RM)
M44	68	6.03	1.93	0.11	6.92	10.57	83.18	5.02	1	B (LR)
M45	68	5.97	2.22	0.12	10.67	2.93	86.28	3.66	1	R(RM)
M46	67	5.05	3.18	0.36	7.84	19.28	76.21	5.69	4	N (AG)
M47	69	3.47	4.56	0.25	5.12	4.12	92.09	13.16	7	B (LR)
M48	84	3.80	3.44	0.15	1.12	10.12	87.43	28.64	12	B (LR)

Nota. pH: potencial de Hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; DA: densidad aparente; R: arcilla; L: limo; A: arena; MO: materia orgánica. COS: carbono orgánico del suelo; N: mangle negro; B: mangle blanco; R: mangle rojo; S/E: sin especie; %: porcentaje.

**Tabla 16**  
**Caracterización física y química de suelo en polígono 4**

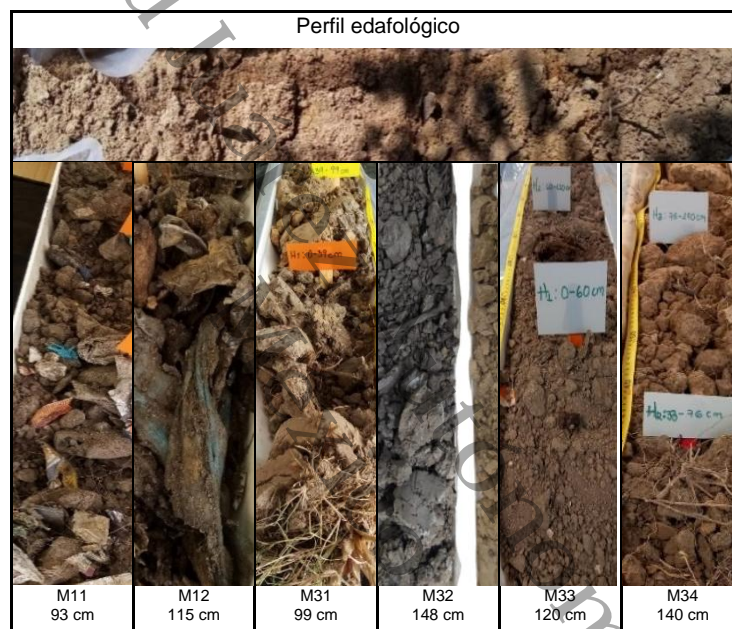
Muestra	Profundidad (cm)	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	DA (g/cm <sup>3</sup> )	R	L	A	MO	COS (Mg C/ha)	Especie
					%					
M13	90	7.13	1.26	1.28	4.82	0.72	95.79	1.09	4	S/E
M14	144	6.83	1.81	1.29	3.02	0.00	96.46	1.76	11	S/E
M15	114	6.47	2.83	1.32	2.54	4.43	91.74	2.80	14	B (LR)
M21	43	5.70	4.03	0.94	23.69	18.13	61.18	6.63	9	B (LR)
M22	100	5.83	3.53	1.33	2.26	10.27	87.72	1.55	7	B (LR)
M23	97	5.67	6.36	1.30	3.11	7.13	88.76	2.38	10	B (LR)
M24	100	6.00	4.01	1.21	8.48	0.57	90.71	0.39	2	N (AG)
M25	105	4.79	5.63	1.24	2.26	10.27	87.72	1.63	7	N (AG)
M26	67	7.23	7.26	1.13	17.11	14.13	73.76	2.74	7	R(RM)
M27	66	6.17	8.06	1.05	28.97	18.13	54.89	8.19	18	R(RM)

Nota. pH: potencial de Hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; DA: densidad aparente; R: arcilla; L: limo; A: arena; MO: materia orgánica. COS: carbono orgánico del suelo; N: mangle negro; B: mangle blanco; R: mangle rojo; S/E: sin especie; %: porcentaje.



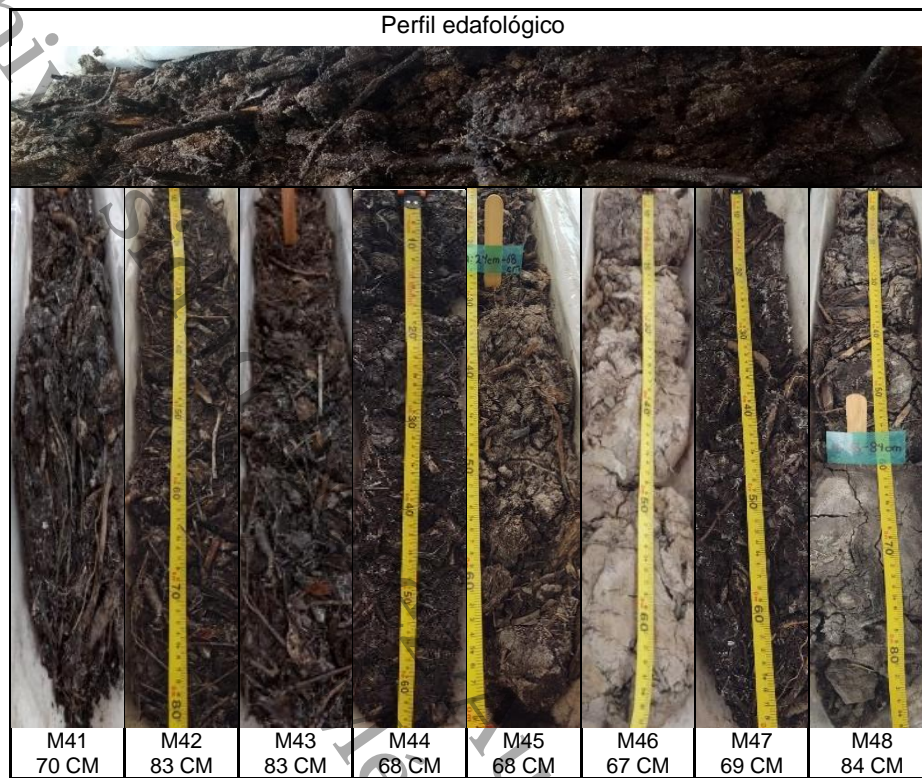
Observando los datos de la **Tabla 14**, la muestra M11 presentó pH medianamente alcalino, mientras que M12, M31, M32, M33 y M34 neutro, con composición textural arenosa, misma que no es apta para la retención de sustratos del suelo como la materia orgánica. El perfil mostró una profundidad de 120 cm con tres horizontes y color del suelo pardo amarillento (10YR 5/6) a gris muy oscuro (10YR 3/1) en escala de Munsell; las muestras M32 y M34 presentaron relleno (más de 120 cm) diferente a la base del suelo Fluvisol Eutri-Gléyico (**Figura 31**).

**Figura 31**  
**Características edafológicas presentadas en polígono 2**



Los datos de la **Tabla 15** indicaron que las muestras del polígono 3 no presentaron diferencia en las clasificaciones de texturales. En campo, el suelo presentó material orgánico con restos orgánicos acumulados (hojas, raíces y corteza de árbol) en la superficie por las condiciones de saturación de agua todo el año. Las muestras M41-M47 presentaron un solo horizonte y M48 presentó dos. El color base del suelo varió entre pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2), gris muy oscuro (10YR 3/1) y negro (10YR 2/1) en la escala de Munsell. El tipo de suelo es un Gleysol Mólico con textura que va de arenoso a franco, con horizontes orgánicos originados por el detritus depositado. La vegetación predominante es mangle blanco (*L.R.*) y rojo (*R.M.*), con algunos árboles de mangle negro (*A.G.*), pH fuerte y ligeramente salino (**Figura 32**).

**Figura 32**  
**Características edafológicas en el polígono 3**

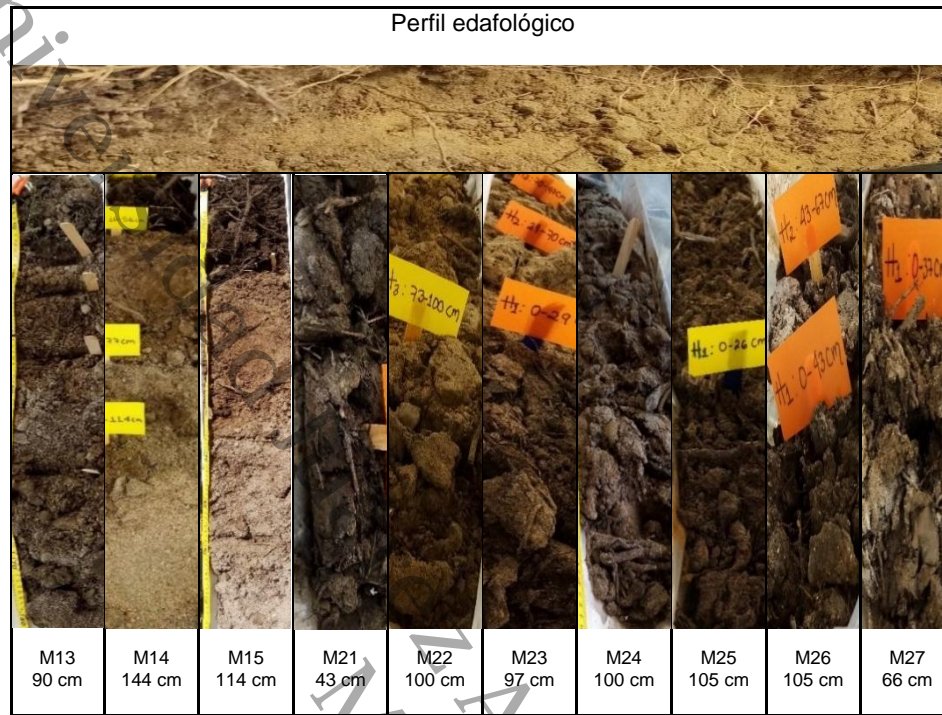


Por último, analizando la **Tabla 16**, en el polígono 4 identificamos dos usos de suelo agropecuario y conservación. Con respecto al uso agropecuario, las muestras M13, M14, M15 no mostraron diferencia con respecto a la descripción del perfil. El suelo dominante es Gleysol Mólico, el cual presentó en sus horizontes amarillo pardo oscuro (10YR 3/6), pardo muy oscuro (10YR 2/2) y pardo amarillento (10YR 5/8) en la escala de Munsell, con textura de arcillosa a franco arcillosa. La especie predominante fue mangle blanco (*L.R.*).

Con respecto a las muestras M21-M27 con uso de suelo conservación, la descripción del perfil resultó como suelo dominante Gleysol Mólico con características de Solonchak Gléyico. En la descripción de todos sus horizontes, se observó una variación de colores entre gris claro (10YR 7/1), gris claro pardo (10YR 6/2), pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2) y negro (10 YR 2/1) en la escala de Munsell. Las muestras presentaron pH fuerte y ligeramente salino, textura franco-arenosa y material de suelo orgánico (hojas, raíces y corteza de árbol) con saturación de agua todo el año. La vegetación predominante es mangle blanco (*L.R.*) y rojo (*R.M.*), aunque también se pudo observar algunos árboles de mangle negro (*A.G.*) (**Figura 33**).



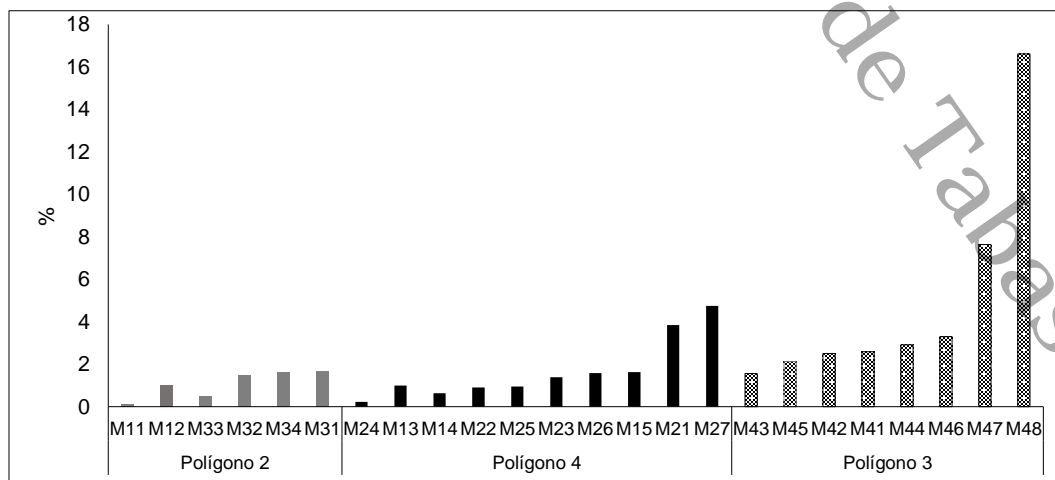
**Figura 33**  
**Características edafológicas observados en polígono 4**



### 8.3.2 Carbono orgánico y su variación por el cambio de uso de suelo

Para dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Las altas concentraciones de contaminantes como hidrocarburos y metales pesados presentes en la zona de estudio podrían representar un riesgo para la captura de carbono del suelo en el ecosistema de manglar?, se tomó el valor del COS de las **tablas 14, 15 y 16** y se identificó la variación de carbono orgánico (**Figura 34**).

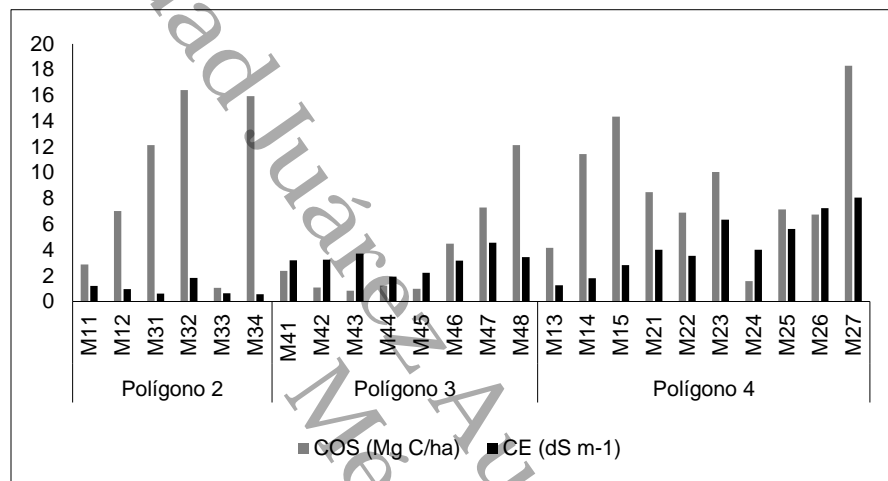
**Figura 34**  
**Variación de COS por polígono de estudio**





En la figura anterior observamos que el polígono 2 representado por la comunidad, es un sitio con alta influencia antropogénica el cual presentó un promedio del 9 Mg C/ha de COS, mientras que el polígono 3 determinado por la UMA presentó un promedio de 4 Mg C/ha de COS y el polígono 4 que es un sitio influenciado por la ganadería, un promedio de 9 Mg C/ha. Así mismo con los datos de CE y de COS (Mg C/ha) se realizó una comparativa de la reserva de carbono en el sitio (**Figura 35**).

**Figura 35**  
**Relación entre la CE y la variación de reserva de COS**



El COS en el polígono 1 aunque los valores son más altos que el polígono 3 y 4, no se identifica como captura de carbono, sino como un sitio con acumulación de materia orgánica debido a la dinámica de la zona, ya que se ubica a las orillas de un arroyo con poca presencia de manglares, alta sedimentación y actividad biológica en el suelo. La conversión de este sitio a otros usos de suelo también puede liberar carbono orgánico previamente almacenado, afectando los niveles en el área.

La relación de captura de carbono entre CE por polígono mostró que entre mayor es la conductividad eléctrica, mayor es la captura de carbono como se observa en el polígono 3 (P3) y el 4 (P4). Con respecto a ello, la literatura sugiere que, en los ecosistemas de manglar, la acumulación de carbono subterráneo se ve favorecida por la actividad biológica adaptada a condiciones salinas y anóxicas. La salinidad elevada y la baja disponibilidad de oxígeno limitan la actividad de muchos microorganismos descomponedores, lo que reduce la tasa de descomposición de la materia orgánica y permite una mayor estabilización del carbono en el suelo (Kristensen et al., 2008). Se ha reportado que algunas comunidades microbianas desempeñan roles clave en este proceso; por ejemplo, las bacterias sulfato-reductoras, utilizan sulfato como aceptor final de electrones en la descomposición anaerobia de la materia orgánica,

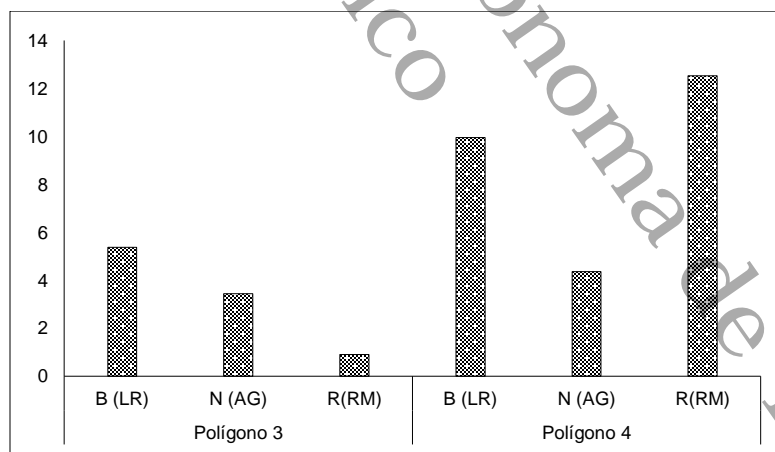


produciendo sulfuro de hidrógeno y contribuyendo a la formación de compuestos orgánicos más recalcitrantes (Alongi, 2014).

De igual manera, se ha reportado que algunos organismos metanogénicos participan en la degradación de compuestos orgánicos complejos, generando metano en condiciones anóxicas. Estas actividades microbianas, aunque lentas, son fundamentales para la transformación y estabilización del carbono en los sedimentos de manglar (Holguin et al., 2001). Además, las raíces de plantas halófitas como mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle negro (*Avicennia germinans*) exudan compuestos orgánicos que sirven como sustrato para los microorganismos de la rizósfera, creando microambientes que favorecen la actividad microbiana específica y la acumulación de carbono. La interacción entre las plantas y los microorganismos en estos ambientes salinos y anóxicos es esencial para el secuestro y almacenamiento de carbono en los suelos de manglar (Camacho-Rico et al., 2021; Yao et al., 2025).

Por otro lado, con el fin de evaluar la captura de carbono del suelo por especie de mangle, se contrastaron los valores de los polígonos 3 y 4 que corresponden a muestras recolectadas específicamente de mangle según el uso del suelo (**Figura 36**).

**Figura 36**  
**Comparativa de COT por especie de mangle**



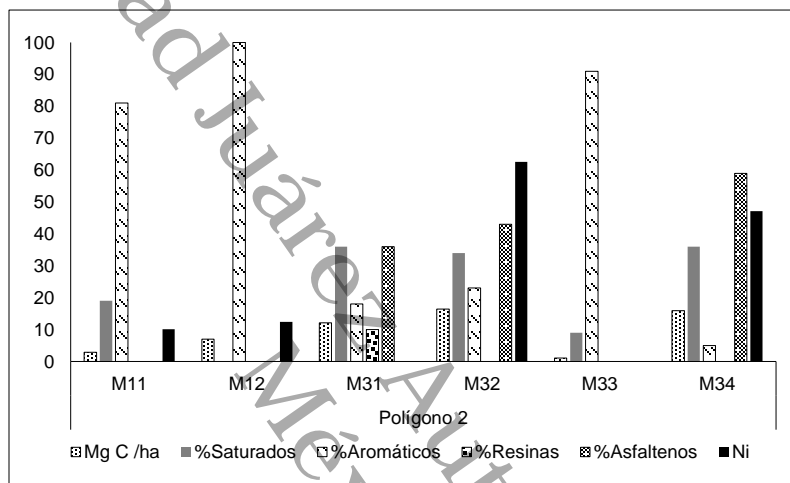
En la figura anterior se observó que en el polígono 3 (conservación-reforestación) el promedio de captura de carbono fue de 3.24 Mg C/ha, con árboles jóvenes y adultos en edad de 6 a 50 años. La especie que más carbono capturó fue *Laguncularia racemosa* (LR) con un promedio de 5.38 Mg C/ha, siendo la especie más predominante en el sitio con una CE ( $3.29 \text{ dS m}^{-1}$ ) más alta en promedio que las demás especies. El mangle rojo (*R. mangle*) presentó el promedio más bajo de COS junto con los valores de CE (González-Hernández et al., (2016).



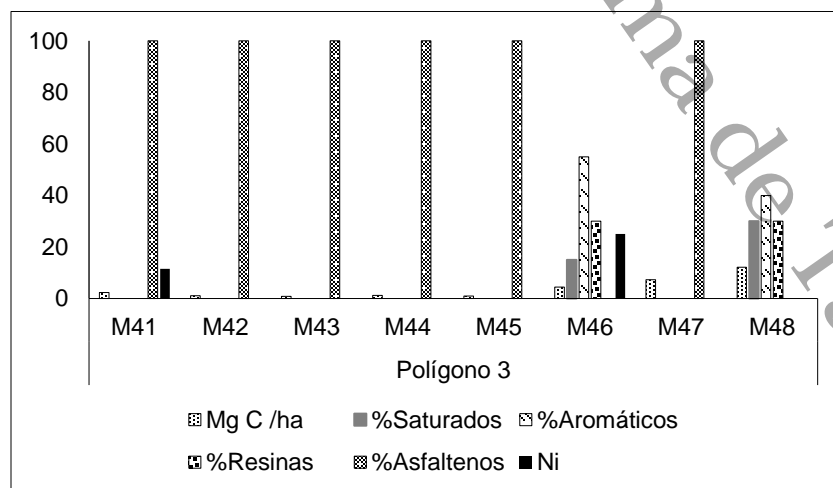
En el polígono 4, ubicado a orillas de la laguna Mecoacán donde la CE obtuvo los valores más altos ( $8.06 \text{ dS m}^{-1}$ ) con árboles entre 10 y 30 años, presentó un promedio de  $9.20 \text{ Mg C/ha}$ . La especie que más COS capturó fue *Rhizophora mangle* con una media de  $12.53 \text{ Mg C/ha}$  (Betoulle et al., 2001; Moreno-Casasola & Infante-Mata, 2016).

Con el fin de observar si los contaminantes afectan la captura de carbono, se contrastó el COS con las fracciones SARA y el níquel (Figuras 37, 38 y 39).

**Figura 37**  
**Captura de  $\text{CO}_2$  con respecto a contaminantes en polígono 2**

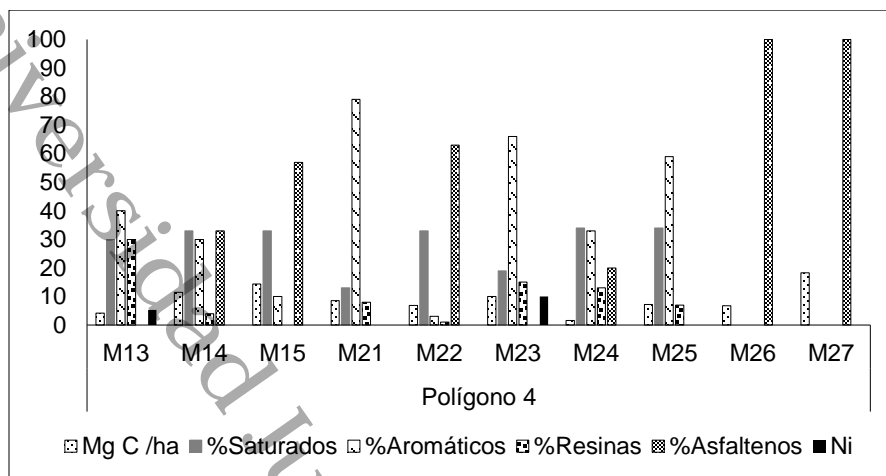


**Figura 38**  
**Captura de  $\text{CO}_2$  con respecto a contaminantes en polígono 3**





**Figura 39**  
**Captura de CO<sub>2</sub> con respecto a contaminantes en polígono 4**



En la **Figura 37** se observó que el grupo correspondiente al polígono 2 “Población”, las muestras M11 y M33 presentaron los valores más bajos de COS, mientras que M31, M32 y M34 los más altos. Por su parte, las muestras M31 y M32 presentaron 6 veces más altas las concentraciones de hidrocarburos (24,100 mg/kg y 26,600 mg/kg) arriba del 30% de fracciones de saturados y asfaltenos; es importante mencionar que estos contaminantes son responsables de ocasionar daños a las membranas celulares de las raíces, impidiendo el proceso normal de exclusión de la sal, por lo que el mangle puede morir por intoxicación directa o lentamente por bioacumulación (IPIECA, 1993). M32 presentó valores arriba de lo normal para Níquel y M34 valores cerca del umbral de lo normal. Las muestras M31, M32 y M34, portaron los valores más altos de contaminantes y también de COS, mismas que representan actividades de ganadería, piscícola y avícola.

Con respecto a la **figura 38**, el denominado polígono 3 UMA-reforestación presentó un promedio de 3.81 Mg C/ha de COS, con variedad de especie de mangle rojo, blanco y negro. Las muestras M47 y M48 presentaron los valores más altos de captura de carbono, mientras que M48 valores por arriba de los LMP para hidrocarburos (5,050 mg/kg). Los valores de níquel no sobrepasaron los LMP.

Por otro lado, en la **figura 39**, se observó que en el polígono 4, M13 presentó un promedio de 8.92 Mg C/ha de COS, con variedad de especies de mangle rojo, blanco y negro. Las muestras M14, M15, M23, y M27 presentaron los valores más altos de COS, por arriba del promedio (9 Mg C/ha). Las muestras M15, M22, M24 y M25, presentaron entre seis y ocho veces más los LMP de hidrocarburos, mientras que los metales no rebasaron los LMP para este sitio. La captura de



COS no sólo varía según la especie (ya que M26 y M27 pertenecen al mangle rojo) sino que, en este caso, las muestras que presentaron los valores más altos de captura de CO<sub>2</sub>, presentaron los valores más bajos de HTP con excepción de M15.

*En este sentido, se rechaza la hipótesis de que la captura de carbono esta influenciada por la actividad antropogénica ya que, si bien se observó que la vocación de uso influye en el desarrollo del manglar, existen otras variables con mayor relación a este fenómeno tales como el tipo de suelo, la salinidad (CE), la especie y el tipo de contaminante que presente el manglar.*

#### **8.4 Instrumentos cualitativos: identificar las posibles fuentes locales de generación de contaminantes en el sitio de estudio**

Para la identificación de las causas y efectos de la problemática socioambiental, se aplicó un total de 99 encuestas de manera aleatoria a la población de la ranchería Reforma 2da. Sección. Del total de los entrevistados el 33% son originarios del ejido Úrsulo Galván, el cual cuenta con una organización mixta colectiva con un total de 52 ejidatarios 38 hombres y 14 mujeres.

La encuesta se diseñó con base en tres ejes: perfil socioeconómico, socioambiental y sociocultural con un total de 39 reactivos, 37 preguntas cerradas y 4 abiertas; Particularmente, el eje ambiental hizo referencia a la identificación de los servicios ecosistémicos, impactos socioambientales y acciones implementadas para la conservación (**Anexo AD**). Tomando en consideración que se realizaron muestreos de suelos y sedimentos durante cuatro meses, se identificaron fuentes de contaminantes como: residuos sólidos urbanos, aceites usados y descargas de aguas residuales (hidrocarburos y metales), los cuales impactan de manera directa e indirecta al medio ambiente y la salud de la población, los cuales se miden por la normativa mexicana.

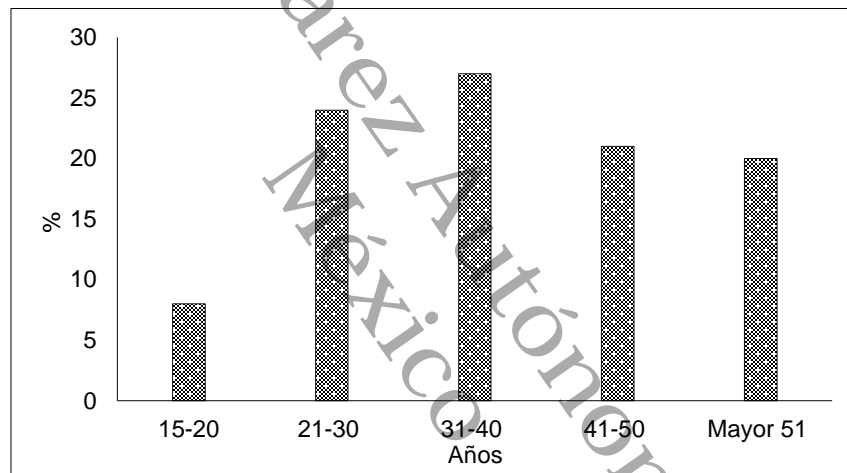
Con el análisis socio ambiental, se identificaron las posibles fuentes locales de generación de contaminantes en el sitio de estudio y las consecuencias que pueden existir debido a agentes tóxicos sobre el ecosistema y la población.



### 8.4.1 Perfil Socioeconómico

La comunidad de Reforma 2da. sección, es una población joven debido a que el 27% de los entrevistados tienen entre 31 y 40 años, seguido del 24% que se encuentran entre los 21 y 30 años (**Figura 40**), con un promedio de 5 integrantes por familia que incluye padres, hijos y familiares, con escolaridad promedio de secundaria para los jefes de familia y primaria trunca para abuelos; esta información fue cotejada con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020). El nivel educativo que atiende a la comunidad va desde preescolar, primaria y secundaria. Para el caso del bachillerato la población se desplaza 10 kilómetros a la comunidad de Soyataco o bien a 24 km en la cabecera municipal.

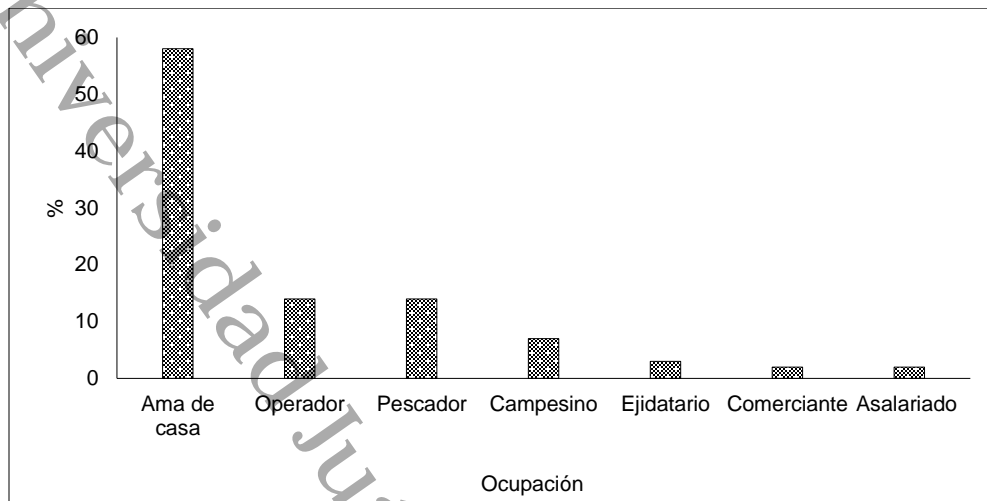
**Figura 40**  
**Edad promedio de la población**



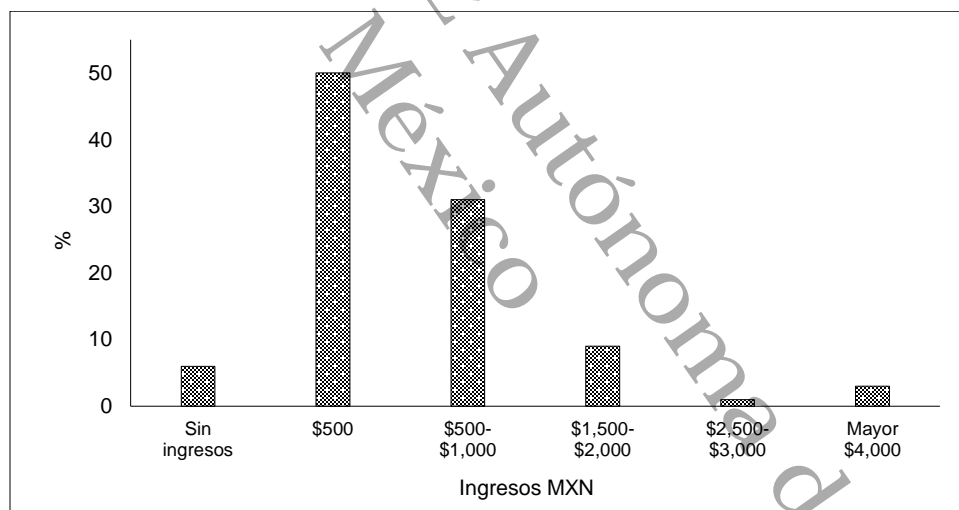
La mayoría de los encuestados fueron mujeres, las cuales se dedican a las labores del hogar (58%), mencionando que los hombres se desempeñan en su mayoría como asalariados (2%), pescadores (14%), comerciantes (2%), campesinos (7%), ejidatarios (3%), incluso como operadores en la Refinería Olmeca (14% empleados de maquinaria pesada, soldadores, albañiles y auxiliares técnicos) (**Figura 41**). El ingreso económico recae en el jefe de familia y en algunos casos con la colaboración de los hijos y/o familiares. El 50% de las familias encuestadas tiene un ingreso económico semanal de \$500.00; el 31% de \$500.00 a \$1,000.00; el 9% de \$1,500.00 a \$2,000.00 y el 1% de \$2,500.00 a \$3,000.00; el 6% no tiene ingresos y el 3% mayor a \$4,000.00 (**Figura 42**).



**Figura 41**  
**Ocupación de la población**



**Figura 42**  
**Ingreso semanal de la población**



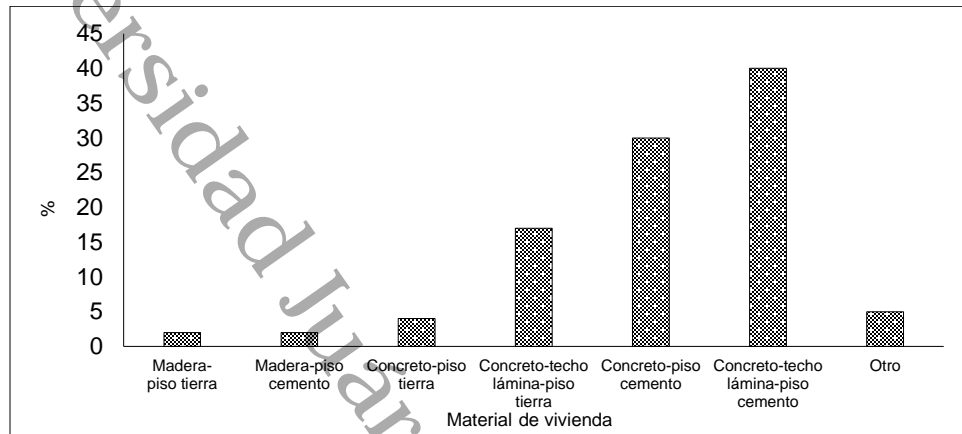
#### 8.4.1.1 Vivienda

La mayoría de los entrevistados son originarios de la localidad (73%) y han vivido allí por más de 30 años, el resto proviene de los municipios y comunidades cercanas. El tipo de vivienda que se caracteriza en la comunidad es material de concreto y techo de lámina (17%), seguido de material con techo de concreto y piso de cemento (40%), un porcentaje menor (2%) cuenta con casas de madera con piso de tierra (**Figura 43**). Del total de las viviendas, el 47% cuenta con un solo baño completo (regadera y sanitario) dentro de la vivienda, mientras que el resto se encuentra fuera de la vivienda (44%) y no cuentan con regadera ni luz. El 79% de las descargas

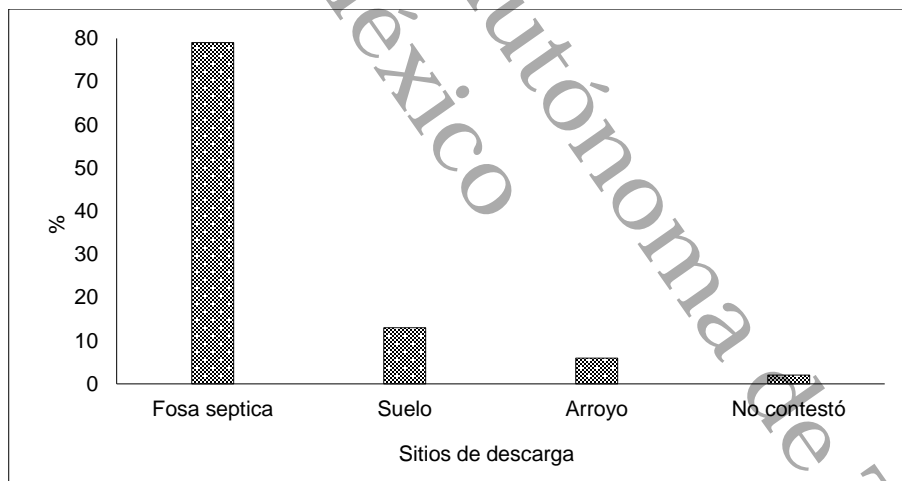


de aguas residuales van directamente a las fosas sépticas ubicadas en los patios de las casas, aproximadamente a 10 m del arroyo Santa María (**Figura 44**).

**Figura 43**  
**Tipo de vivienda**



**Figura 44**  
**Descarga de aguas residuales no tratadas**



Es importante resaltar que no existe un sistema de saneamiento para las aguas negras, lo que podría provocar efectos negativos, como alterar la composición química del agua, haciendo que sea peligrosa para consumo humano debido a los contaminantes como bacterias, virus y productos químicos. Para la vida acuática, las aguas no tratadas pueden causar eutrofización ya que el exceso de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, pueden causar proliferación de algas reduciendo el oxígeno en el agua, alterando el equilibrio de la vida acuática (García, & Pérez, 2018).

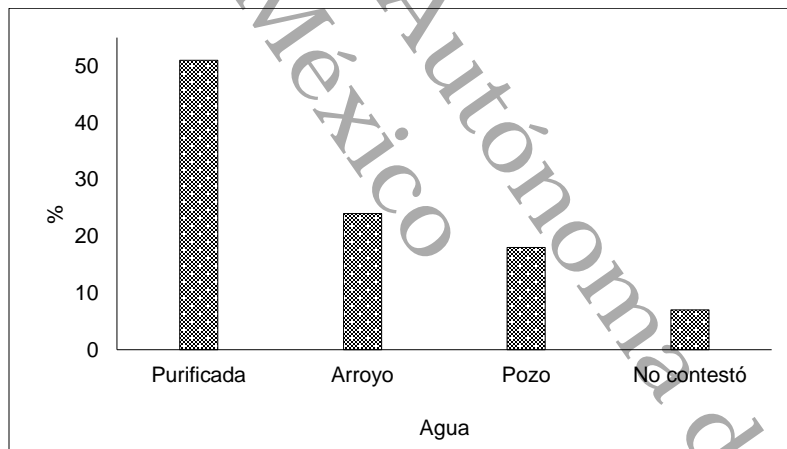


#### 8.4.1.2 Servicios

La comunidad cuenta con energía eléctrica (100%), el 51% de los encuestados mencionó que tienen servicios de internet, escuelas, talleres y alumbrado público. El centro de salud se ubica en la ranchería Reforma 1ra. sección a 3 km de distancia de la población en estudio. Es importante mencionar que aún existen las tiendas familiares y comunitarias (Diconsa), la economía es circulante, es decir, la población cubre parte de sus necesidades alimenticias y de enseres domésticos en el comercio local (carnicerías, pescaderías, abarrotes y otros servicios), ya que la distancia entre la comunidad y la cabecera municipal es de 40 min.

Con respecto a la infraestructura pública como carreteras, calles y banquetas el 28% se encuentra pavimentado. No cuentan con servicio de agua potable, por lo que el 51% compra agua de garrafón (purificada) para consumo; el 24% utiliza agua del arroyo, y el 8% usa agua de pozos construidos en sus casas (**Figura 45**).

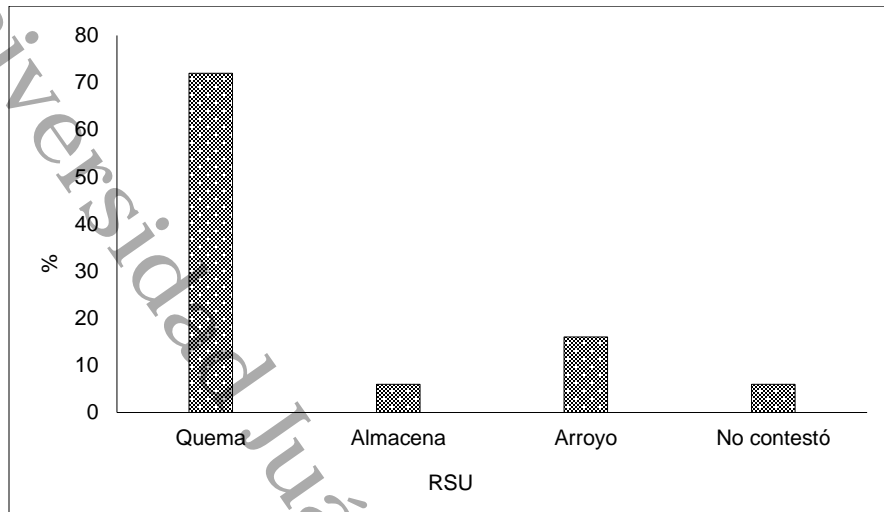
**Figura 45**  
**Agua para consumo**



Con respecto a los residuos sólidos urbanos, el camión recolector pasa una vez por semana y lo hace sólo en la calle principal, por lo que, el 72% de las personas optan por quemar los residuos (**Figura 46**). Las consecuencias de esta mala práctica es la liberación de contaminantes tóxicos al ambiente, sumando efectos al cambio climático (IPCC, 2021).

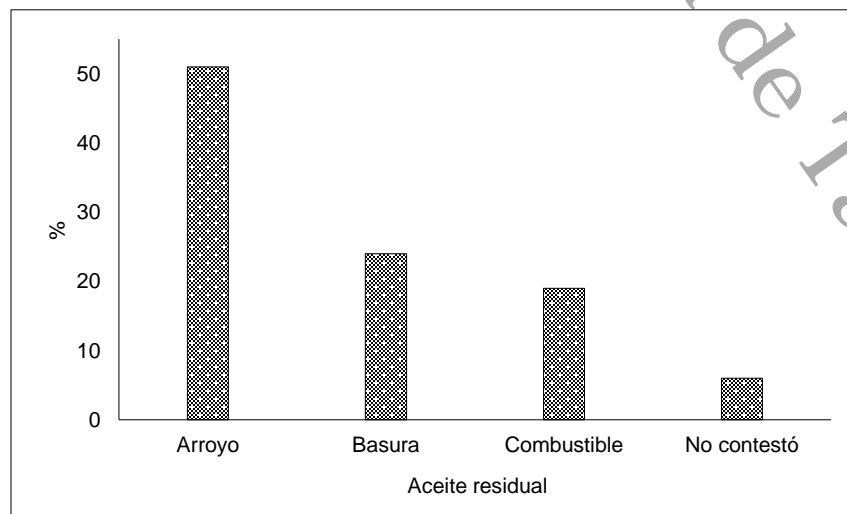


**Figura 46**  
**Disposición Residuos sólidos urbanos (RSU)**



Durante los recorridos, se ubicaron tres tiraderos clandestinos a las orillas del arroyo Santa María, y los residuos que más se observaron fue: vidrios, pañales y PET, este último lo recolectan para venta. Un derivado del petróleo es el aceite automotriz, utilizado para el mantenimiento de motores de carros y lanchas, el cual es depositado junto con el aceite comestible en los patios y fosas sépticas que van directo al arroyo (51%), tiraderos clandestinos o basureros (24%) y/o lo reutilizan como combustible para encender sus fogones o quemar la basura (19%), convirtiendo estas prácticas en una actividad de disposición inadecuada (**Figura 47**).

**Figura 47**  
**Disposición aceite industrial y comestible**



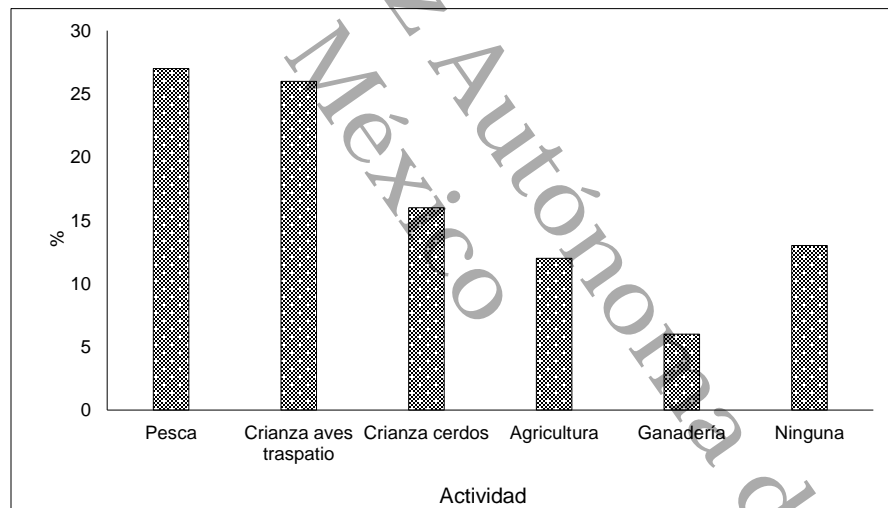


### 8.4.1.3 Actividad productiva

La pesca es la actividad productiva principal (27%), la cría de aves y animales de traspatio (26%) toma un lugar importante ya que es una actividad realizada mayormente por las mujeres a pequeña escala, la agricultura (12%) que no es menos importante, se realiza para autoconsumo y venta, contribuyendo con ello al ingreso familiar.

La alimentación consiste principalmente en pescado, evidentemente por su entorno inmediato, así mismo consumen gallinas y pavos carne de cerdo que ellos mismos crían (16%) y en menor medida consumen carne de res. Su dieta es complementada con frutas y verduras (maíz, plátano, calabazas, mango, coco, limón, naranjas, yuca y algunas especias) cultivadas en sus patios y en los terrenos aledaños al ecosistema de manglar (**Figura 48**).

**Figura 48**  
**Actividad productiva de la población**

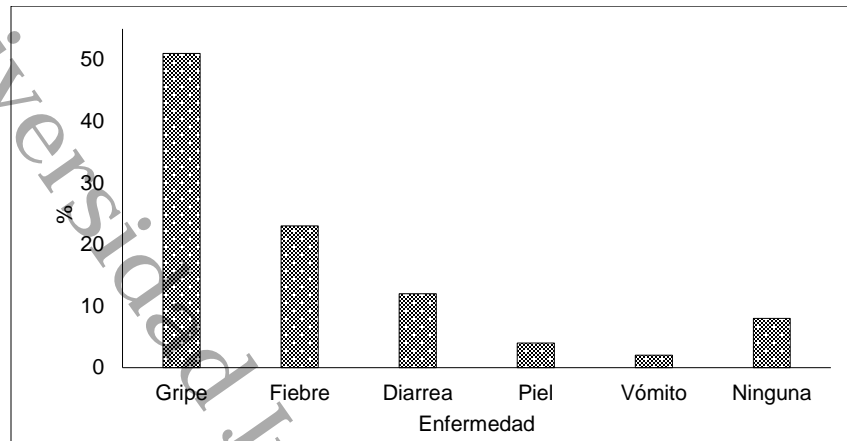


### 8.4.1.4 Salud

En materia de salud, se encontró que las enfermedades más comunes son: gripe 51%, fiebre 23%, diarrea 12%, vómito 2% y en algunos casos enfermedades de la piel 4% (**Figura 49**). Aunque el jefe de familia es quien provee el hogar y éste no cuenta con empleo que le ofrezca servicio médico, los entrevistados mencionaron que cuentan con servicio de ISSET (63%) e IMSS (16%), esto debido a otros familiares que les proporcionan esos servicios, además, cuando se trata de atender una urgencia, se movilizan a la cabecera municipal para su atención.



**Figura 49**  
**Enfermedades más comunes**

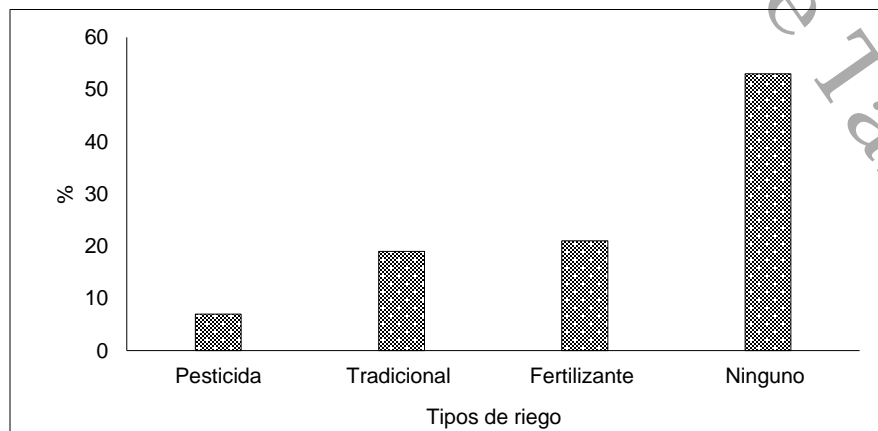


### 8.4.2 Perfil Socioambiental

#### 3.4.2.1 Impacto socio ambiental

Los impactos socio ambientales principalmente en las zonas rurales se debe al rezago socioeconómico, la pobreza alimentaria y la marginación (Gómez et al., 2017). Un impacto al medio ambiente debido a las necesidades de alimentación en la comunidad es el consumo de fauna silvestre con frecuencia, ya que el 29% señaló que se alimentan de iguanas, armadillos, tortugas y lagartos los cuales se encuentran como especies protegidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010). Otro impacto se da por el modo de cultivo, ya que el 28% expresó que utiliza fertilizantes y pesticidas para sus sembradíos (**Figura 50**). Debemos tomar en cuenta que durante las actividades productivas como crianza de animales de corral o traspatio los residuos de excretas y alimentos son descargados directamente al arroyo.

**Figura 50**  
**Métodos de irrigación en la agricultura**



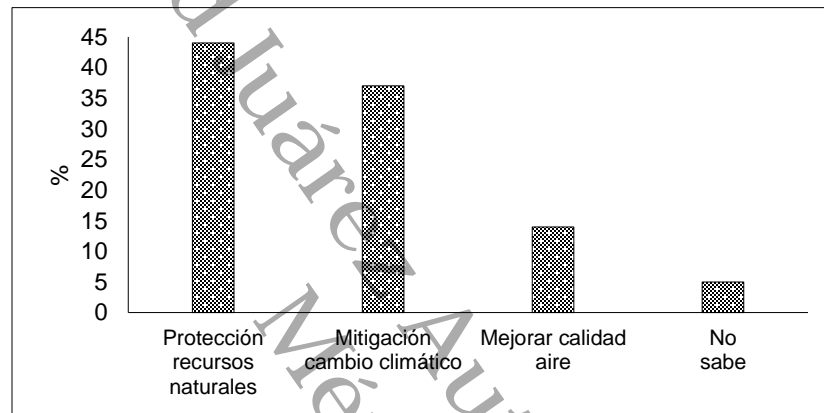


### 8.4.2.1 Recursos y programas ambientales

La proporción de encuestados que corresponde a la población agraria mencionó que tienen acceso a programas gubernamentales donde obtuvieron motores para lanchas, vales de combustible, redes de pesca, lanchas que les facilitó el trabajo en la zona de manglar.

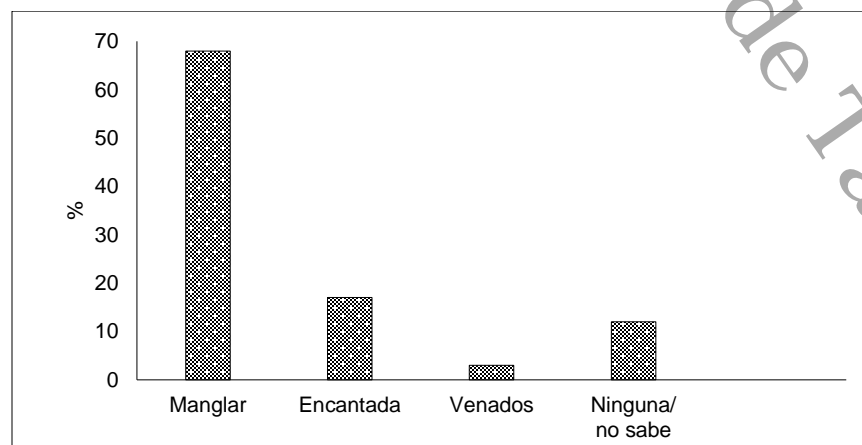
El sitio cuenta con una UMA de mangle que pertenece a un ANP, donde el 44% mencionó que uno de los beneficios de vivir cerca de ella es la protección de los recursos naturales, el 37% mencionó la mitigación del cambio climático y el 14 % mejorar la calidad del aire (**Figura 51**).

**Figura 51**  
**Beneficios del ANP "Parque Laguna Mecoacán"**



Cuando se les preguntó si existía alguna unidad de manejo ambiental (UMA) el 68% mencionó que había una UMA de manglares que pertenece al ejido Úrsulo Galván, el 17% señaló la Encantada, la cual es una granja de tortugas y lagartos y el 3% mencionó una UMA de venados (**Figura 52**).

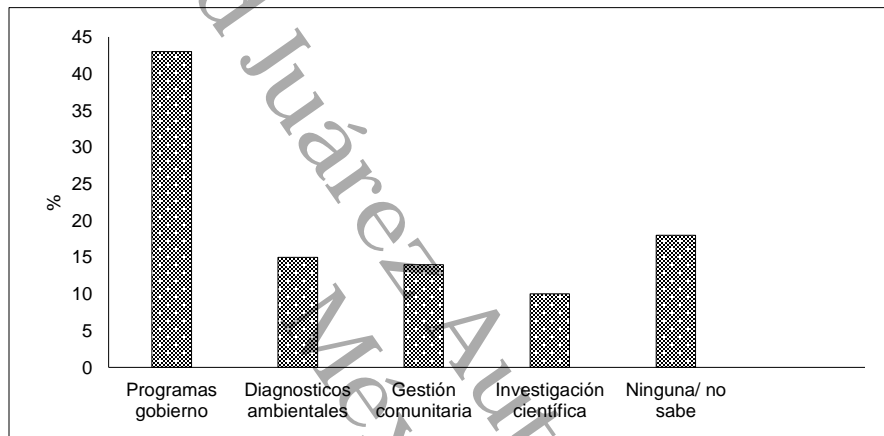
**Figura 52**  
**UMA'S ubicadas en el sitio de estudio**





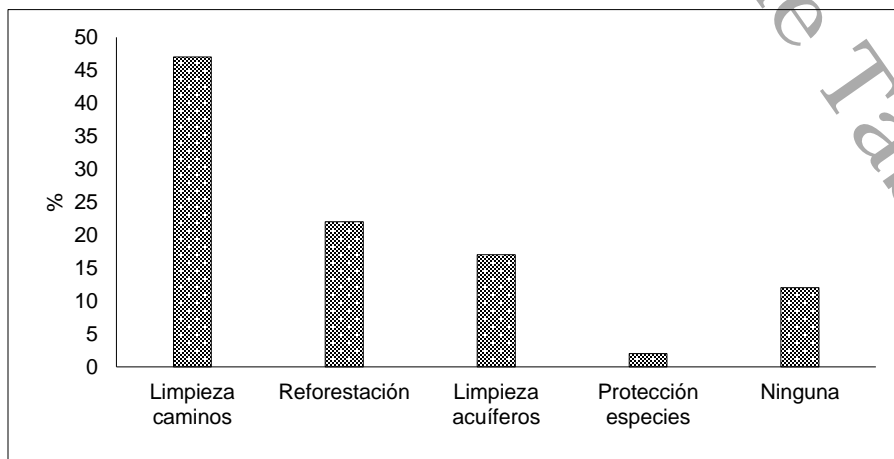
Otras de las actividades a favor del medio ambiente es que el ejido Úrsulo Galván ha alcanzado la primera certificación a nivel estado sobre la venta de bonos de carbono, misma que requiere un trabajo de actividades de manejo y gestión en conjunto ejido-comunidad-gobierno; cuando se preguntó sobre las actividades de protección al ambiente el 43% contestó que se realizan programas de monitoreo por parte del gobierno, el 15% mencionó que realizan diagnósticos ambientales por parte del ejido, el 14% señaló que la población realiza actividades de gestión comunitaria y el 10% dijo que las universidades realizan investigación científica (**Figura 53**).

**Figura 53**  
**Actividades de monitoreo ANP de manglares**



De las actividades en beneficio al medio ambiente en las que han participado, el 47% realizó limpieza de caminos, el 22% reforestación, el 17% limpieza de acuíferos y el 2% trabajos de protección ambiental (**Figura 54**).

**Figura 54**  
**Actividades en beneficio del medio ambiente**



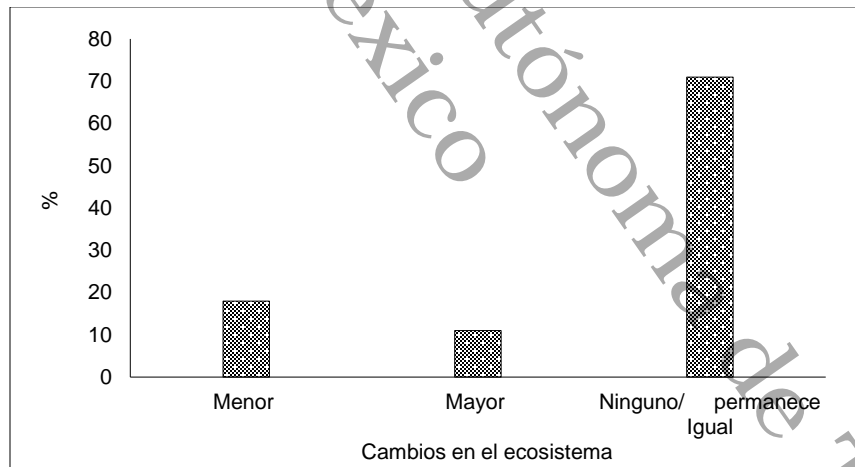


#### 8.4.2.2 Recursos hídricos y su impacto

Es importante que la población conozca su entorno, pues la relación directa o indirecta que pueda tener con el ambiente genera efectos positivos o negativos que lo impacten. El sitio de estudio cuenta con cuerpos de agua de gran importancia estatal y nacional: río Troncón (proviene de Nacajuca), laguna Pomposú, arroyo Santa María, canal El Chinín, Laguna los Caballos y el río Arroyo Hondo que desemboca en la laguna Mecoacán (ANP). Para ingresar a los cuerpos de agua, la principal vía de transporte son lanchas de motor y cayucos.

En cuanto a los cambios ambientales que la población ha observado en el ecosistema los últimos 10 años, el 11% mencionó impactos mayores debido a la contaminación de los cuerpos de agua, principalmente el arroyo Santa María y la laguna Pomposú, con presencia de hidrocarburos provenientes de los pozos petroleros ubicados el municipio de Nacajuca; el 18% señaló reducción de impactos debido a las actividades en beneficio del ambiente que han realizado los ejidatarios y comunidad en conjunto, el 71% dijo que no había observado cambios en el ecosistema (**Figura 55**).

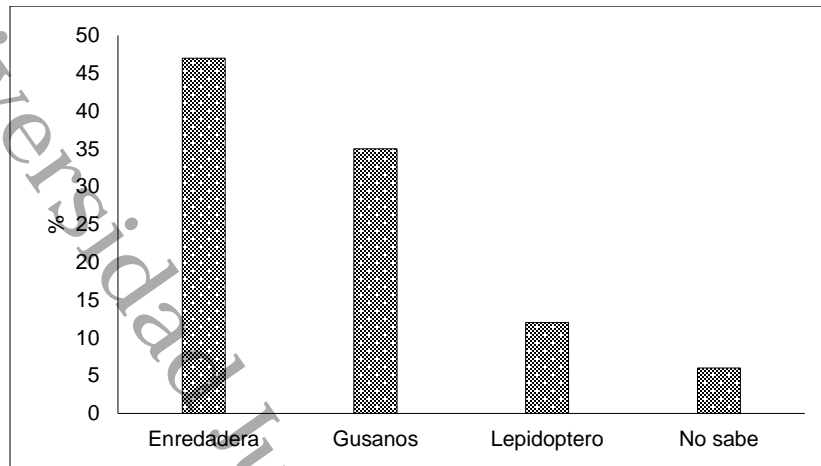
**Figura 55**  
**Impactos en el ecosistema en los últimos 10 años**



Otro impacto al ecosistema son las plagas naturales como los insectos defoliadores de manglar que afectan grandes áreas. El 47% mencionó que algunas parcelas se encontraban afectadas por una enredadera llamada tripa de zopilote, la cual se extiende en la copa de los árboles impidiendo que el árbol reciba la luz solar y consecuentemente se seca y se caen las hojas. El 35% mencionó que existen gusanos verdes come hojas y el 12% mencionó larvas que han acabado con más de 100 hectáreas de manglar en ejidos aledaños, el resto no sabe (**Figura 56**).



**Figura 56**  
**Plagas naturales que afectan el manglar**



### 8.4.3 Perfil Sociocultural

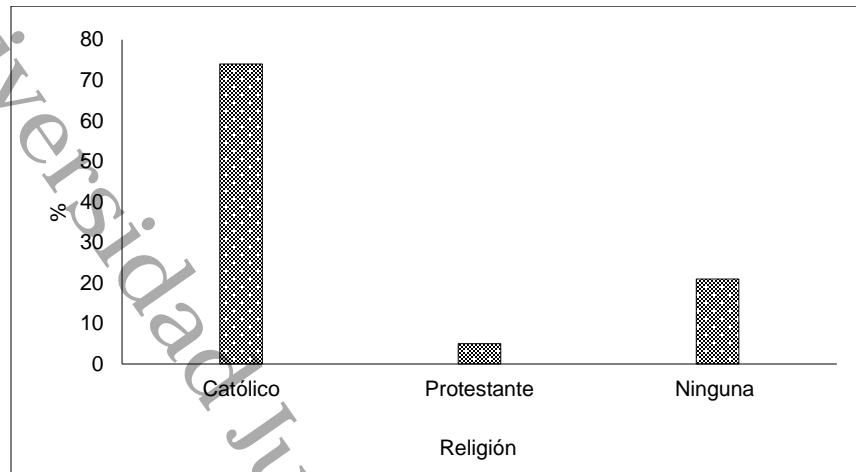
Los encuestados mencionaron que en los últimos cinco años han identificado cambios en la comunidad, uno de ellos ha sido el crecimiento poblacional, que les ha permitido, crear grupos de gestión o unirse a grupos políticos en los que se han visto beneficiados con programas gubernamentales para la construcción y mejora de viviendas, sembrando vida y jóvenes construyendo el futuro. En cuanto a infraestructura de vías públicas se mejoraron y pavimentaron calles y pasos de terracerías.

#### 8.4.3.1 Festividades

En cuanto a religión el 74% profesa la fe católica y el 5% es protestante (**Figura 57**). La festividad más importante en la comunidad es la del “Señor de las Esquipulas” que se celebra cada 15 de enero, en la que se une todo el pueblo para venerar al Cristo negro y llevarlo a pasear por las aguas de la laguna Pomposú, en agradecimiento a la naturaleza y en especial a los manglares porque ahí lo ocultaron para evitar que fuera quemado en tiempos del gobernador Tomás Garrido Canabal.



**Figura 57**  
**Religión practicada en la comunidad**



El cristo negro es una deidad que se asocia con la fertilidad, el agua, la salud, el trabajo, la tierra, el amor, la prosperidad y el bienestar, el dador de lluvia, el controlador de los fenómenos atmosféricos y el protector de las comunidades. La iglesia del señor de las Esquipulas es el edificio que representa la fe católica, el cual a lo largo del tiempo han construido con donaciones como vacas, terrenos, dinero y joyas.

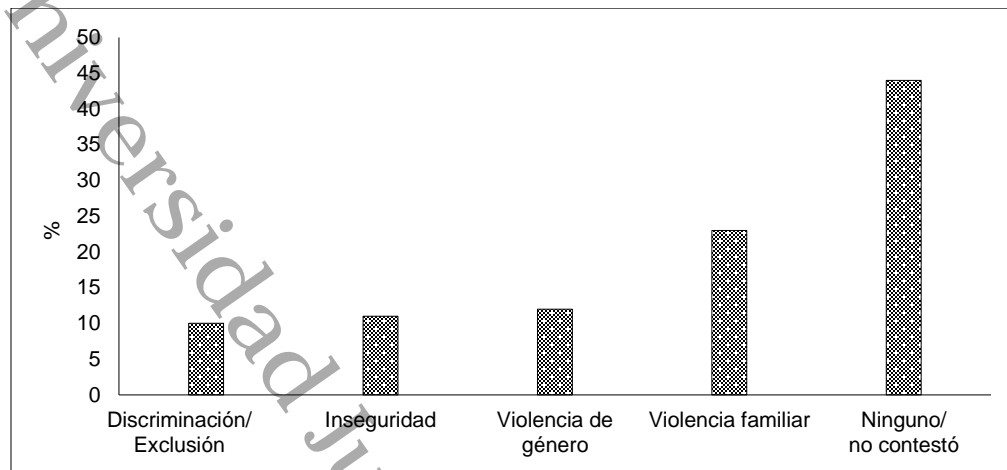
#### 8.4.3.2 Costumbres

El 58% de los encuestados eran mujeres, de las cuales el 50% todavía cocinan en fogón. Ellas son las encargadas de la limpieza de la casa, el cuidado de los niños y la preparación de alimentos. El 58% mencionó que el esposo es la autoridad de la casa, y el 23% que ha vivido violencia familiar. De igual manera hombres y mujeres han sufrido exclusión por no saber leer o escribir (8%) y discriminación en general (1%), el 10% indicó haber sido víctima de asaltos con armas blancas (10%) (**Figura 58**).

Los procesos antropogénicos son la fuente principal de los cambios ambientales, cuyos efectos, resultan en la modificación de los ecosistemas. Hoy en día las actividades encaminadas a disminuir los impactos al ambiente incluyen planes, metodologías, procesos y criterios que contienen, trabajos de remediación y evaluación del grado de contaminación, alteración o pérdida del ecosistema. Las actividades de recuperación y rehabilitación de sitios conservados o declarados como zonas protegidas requieren de normativa específica, investigaciones científicas, ingeniería aplicada y el uso de procedimientos y métodos que garanticen precisión y confiabilidad en los resultados de los trabajos de recuperación de los medios naturales.



**Figura 58**  
**Tipos de violencia**



Para que los contaminantes se puedan desplazar, necesitan un medio que les permita transportarse como el aire, el agua, el suelo, los alimentos, las rocas, los sedimentos, la biota, incluso estructuras creadas por el hombre. Por ello es importante conocer los componentes ambientales del medio para poder identificar los posibles impactos y las zonas o sitios que podrían verse afectadas por las actividades antropogénicas.

Se encontró que los ecosistemas acuáticos de mayor contaminación son las áreas netamente de manglar y de recolección de moluscos. Esto da como resultado la acumulación de los elementos tóxicos sobre sus tejidos, lo que implica el ingreso de metales sobre la cadena alimenticia y fenómenos de bioacumulación-biomagnificación a través de la red trófica. Otras variables que modifican las características edáficas del manglar, son la ausencia de oxígeno, el aumento de acidez y la variación en la salinidad y actividad microbiana, siendo estos factores los que condicionan el comportamiento y disposición de elementos contaminantes en estos sistemas.

### **8.5 Análisis de Componentes Principales (PCA)**

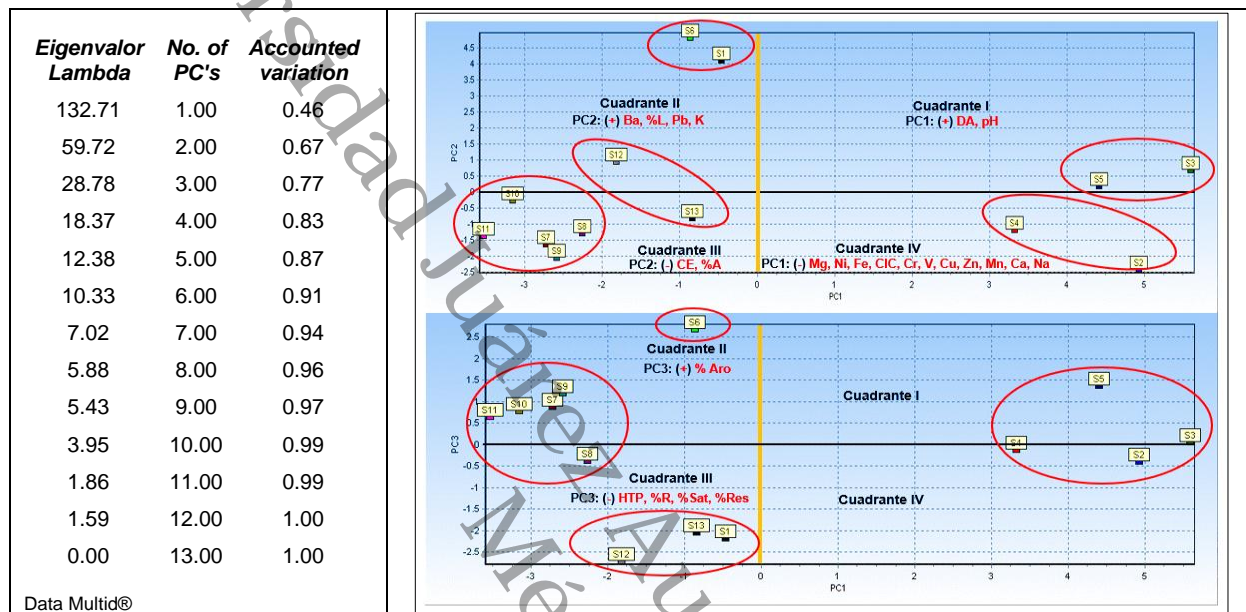
Se tomaron las muestras de suelos y sedimentos y se realizó un análisis de componentes (PCA), donde la metodología se basó en la reducción de la dimensionalidad del conjunto de datos en grupos más pequeños, con el fin de identificar si existe diferencia entre las características físicas y químicas y, con ello, identificar la relación entre las variables.



### 8.5.1 PCA Sedimentos

El análisis de componentes (PCA) en sedimentos se realizó mediante el software Data Multid®, donde se incluyeron las 13 muestras (**Figura 59**).

**Figura 59**  
**Análisis de componentes en sedimentos**



Nota. DA: densidad aparente; pH: potencial de hidrógeno; Ba: bario; Mg: magnesio; Fe: hierro; K: potasio; Pb: plomo; Cr: cromo; V: vanadio; Cu: cobre; Zn: zinc; Mn: manganeso; Ca: calcio; Na: sodio; A: arena; L: limo; R: arcilla; CIC: capacidad de intercambio catiónico; HTP: hidrocarburos totales del petróleo; Sat: saturados; Aro: aromáticos; Res: resinas; Asf: asfaltenos; %: porcentaje.

El análisis del Software consideró 13 componentes para alcanzar la igualdad en la representación de los datos, de los cuáles, los primeros tres, cumplieron con el criterio de Kaiser (*Accounted variation* < 1) (Kaiser, 1958; Romero & Mora, 2020). Este señalamiento explica que un coeficiente es aceptable cuando es mayor al 70% de confianza. Así mismo, tomando el criterio de porcentaje acumulado de varianza explicada, nuevamente se pudo representar el conjunto de datos con el uso de los mismos componentes, con los cuales se justificó el 76.06% de la varianza, asegurando el límite recomendado entre 60-70% de la representación de los datos originales (Hair et al., 2010).

Para interpretar la relación de las variables se utilizaron los *loadings* (cargas factoriales) (**Anexo AE**) los cuales indican las cargas altas por encima del promedio ( $\geq 0.4$ ) para que esa variable contribuya fuertemente al componente, independientemente del tamaño de la muestra (Stevens, 1992; Bryant & Yarnold, 1995) (**Tabla 17**).



**Tabla 17**

**Relación de variables por componentes en muestras de sedimentos**

Relación de variables: componentes 1, 2 y 3			
Muestra	Componente	Eje	Relación de la variable
S2, S3, S4, S5, S7, S8, S9, S10, S11 (Cuadrante I, II y IV)	C1	(+): DA, pH	La proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por las variables que se ubicaron en el eje negativo: Ni, Fe, Mg y CIC con un score= 0.29.
		(-): Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe, V, Na, Mg, Ca, CIC	
S1, S6 (Cuadrante II)	C2	(+): Ba, Pb, %L, K	La proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por el %L (score= 0.38) y el Ba (score= 0.41), siendo este el valor más alto.
		(-): %A, CE	
S12, S13 (Cuadrante III)	C3	(+): %Ar	La proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por %A (score= 0.40), %R (score= 0.42) y HTP (score= 0.53) siendo este el valor más alto.
		(-): HTP, %R, %Sat, %Re	

Nota. DA: densidad aparente; pH: potencial de hidrógeno; Ba: bario; Mg: magnesio; Fe: hierro; K: potasio; Pb: plomo; Cr: cromo; V: vanadio; Cu: cobre; Zn: zinc; Mn: manganeso; Ca: calcio; Na: sodio; A: arena; L: limo; R: arcilla; CIC: capacidad de intercambio catiónico; HTP: hidrocarburo total del petróleo; Sat: saturados; Aro: aromáticos; Res: resinas; Asf: asfaltenos; %: porcentaje.

Con los datos de la **Tabla 17**, se realizó el análisis de relación de las variables. Para el componente 1, las muestras S2, S3, S4, S5, S6 S7, S8, S9, S10 y S11, están muy correlacionadas entre sí, ya que las variables DA y pH, presentaron los Scores más altos positivos, pero no alcanzaron la carga alta por encima del promedio ( $\geq 0.4$ ); en el eje negativo los valores más altos fueron para Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe, V, Na, Mg, Ca, CIC, pero la proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por las variables que se ubicaron en el eje negativo: Ni, Fe, Mg y CIC (score= 0.29).

En el componente 2, las muestras S1 y S6, mostraron valores altos de bario (score= 0.41), pero no sobrepasaron los LMP NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. La proyección de las muestras para el componente 3 estuvo determinado por %A (score= 0.40), %R (score= 0.42) y HTP (score= 0.53), esta última determinó la proyección de los valores más altos para este componente. En los componentes 1 y 2, se identificaron las muestras con alta influencia a metales pesados como



el níquel con valores arriba de lo normal (NOM-021-RECNAT-2000); los valores de hidrocarburos oscilaron entre 4,400 mg/kg y 53,240 mg/kg (NOM NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013) con fracciones de saturados, aromáticos y resinas. Estos resultados se consideran como significativo en el ecosistema, evidenciando un estado avanzado de acumulación de hidrocarburos y metales en el sistema hídrico (Arias, (2017).

En este análisis, la composición textural de la mayoría de los sedimentos fue arenosa, con altos niveles de sodio que contribuyen a una condición salina generalizada. En cuanto a los nutrientes esenciales, se identificaron concentraciones significativas de cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y potasio (K) con pH ácido y una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo cual favorece la retención de elementos traza y compuestos orgánicos dando lugar al proceso de biomagnificación en el ecosistema (Serra, 2022).

Asimismo, se detectaron concentraciones cuantificables de metales pesados como cromo (Cr), vanadio (V), bario (Ba), plomo (Pb) y níquel (Ni), este último excediendo los 50 mg/kg establecidos como límite en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

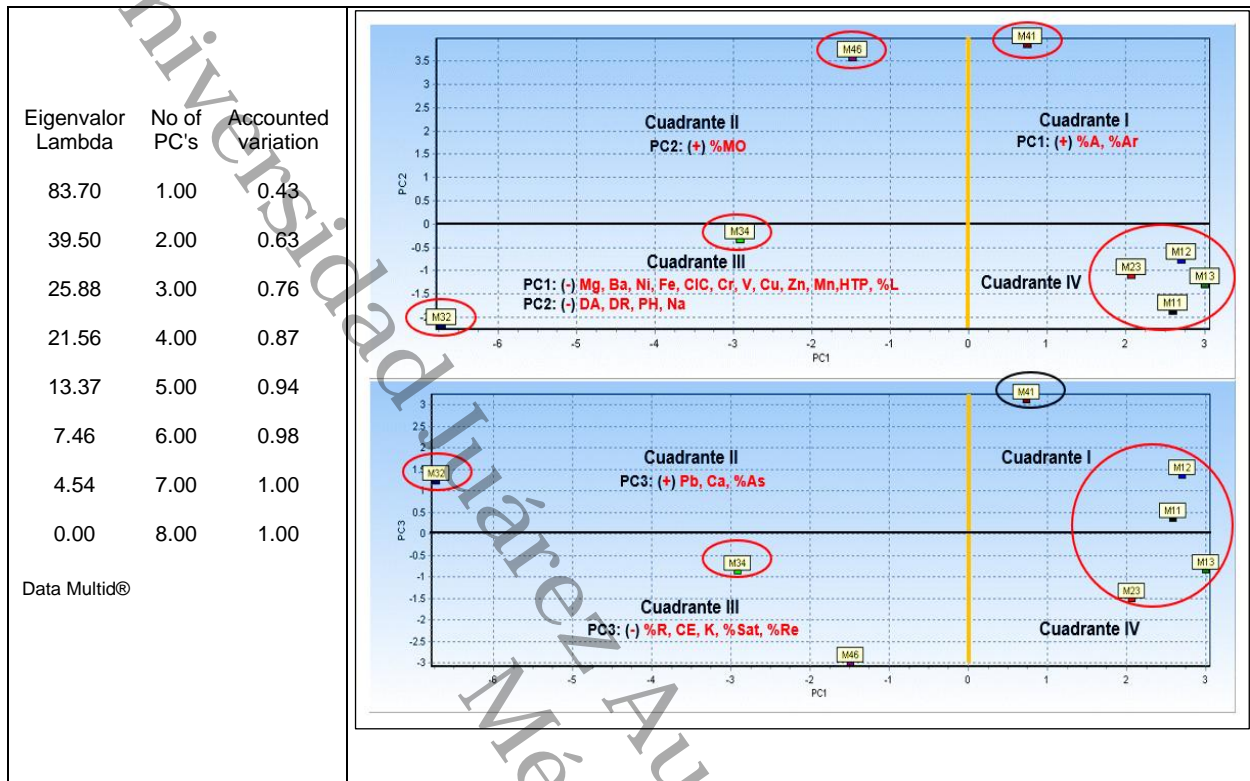
En este sentido, las concentraciones registradas en zonas adyacentes al desarrollo poblacional ubicado a orillas del sistema hídrico en estudio podrían tener un origen externo como las actividades relacionadas a la refinería olmeca y los pozos petroleros alrededor, y/o local tomando como referencia la información obtenida a partir del balance de contaminantes y las encuestas socioambientales aplicadas a la población circundante (**sección 3.4**).

### **8.5.2 PCA en suelos**

El análisis de componentes (PCA) en suelos, se realizó con la finalidad de relacionar la igualdad entre las características físicas y químicas de las variables y cómo éstas son de alta influencia para identificar las fuentes de contaminación del sitio (**Figura 60**).



**Figura 60**  
**Análisis de componentes de suelos**



Nota. DA: densidad aparente; pH: potencial de hidrógeno; Ba: bario; Mg: magnesio; Fe: hierro; K: potasio; Pb: plomo; Cr: cromo; V: vanadio; Cu: cobre; Zn: zinc; Mn: manganeso; Ca: calcio; Na: sodio; A: arena; L: limo; R: arcilla; CIC: capacidad de intercambio catiónico; HTP: hidrocarburos totales del petróleo; Sat: saturados; Aro: aromáticos; Res: resinas; Asf: asfaltenos; %: porcentaje.

Con respecto a las muestras de suelos, se tomaron los mismos criterios de los sedimentos para la selección de componentes. El análisis del software al realizar la relación de variables consideró seis componentes para alcanzar la igualdad en la representación de los datos, de los cuáles, los primeros tres, cumplieron con el criterio de Kaiser (*Accounted variation* < 1). El segundo criterio, coincidió con el porcentaje acumulado, con el cual se justificó que el conjunto presentó un 77% de la varianza a partir del tercer componente. Así mismo, para interpretar la relación de las variables, se utilizaron las cargas factoriales (Stevens, 1992; Bryant & Yarnold, 1995) (**Anexo AF**) (**Tabla 18**).

**Tabla 18****Relación de variables por componentes en muestras de suelos**

Relación de variables: componentes 1, 2 y 3			
Muestra	Componente	Eje	Relación de la variable
M11, M12, M13, M23, M32, M34 (Cuadrante III y IV)	C1	(+): %A, %Aro	La proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por las variables que se ubicaron en ambos ejes: A%, Ni, %L y Mg con un <i>score</i> = 0.28.
		(-): Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe, V, Ba, %L, Mg, CIC, HTP	
M41, M46 (Cuadrante I y II)	C2	(+): %MO	La proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por el eje negativo DA ( <i>score</i> = 0.40) y DR ( <i>score</i> = 0.41), siendo este el valor más alto.
		(-): DA, DR, pH, Na	
	C3	(+): Pb, Ca, %Asf	Para el componente 3 las demás variables estuvieron por debajo de las cargas altas (>0.4)
		(-): %R, CE, K, %Sat, %Re	

Con los datos de la **Tabla 18**, se realizó el análisis de relación de las variables. Para el componente 1, las muestras M11, M12, M13, M23, M32, M34, están muy correlacionadas entre sí, ya que las variables A%, Ni, %L y Mg, presentaron los *Scores* más altos positivos (*score*= 0.28), pero no alcanzaron la carga alta por encima del promedio ( $\geq 0.4$ ); en el eje negativo los valores más altos fueron para Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe, V, Ba, %L, Mg, CIC y HTP. La proyección de las muestras para este componente estuvo determinada por las variables que se ubicaron en ambos ejes: A%, Ni, %L y Mg con un *score*= 0.28.

En el componente 2, las muestras M41, M46, mostraron valores altos de DA (*score*= 0.40) y DR (*score*= 0.41). La proyección de las muestras para el componente 3 estuvo determinado por %A (*score*= 0.40), %R (*score*= 0.42) y HTP (*score*= 0.53), esta última determinó la proyección de los valores más altos para este componente. En el componente 1, se identificó la muestra con alta influencia a metales pesados como el níquel con valores arriba de lo normal (NOM-021-RECNAT-2000). Las muestras con concentraciones altas de hidrocarburos oscilaron entre 4,400 mg/kg y 53,240 mg/kg (NOM NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013) con fracciones de saturados, aromáticos y resinas.

La relación de las variables por componentes para suelos logró relacionar los polígonos 2 y 4. En el polígono 2, la matriz edáfica se clasificó como suelo tipo Fluvisol Eutri-Gléyico, muy



ligeramente salino, caracterizado por textura arenosa. Además, se observó que el contenido más bajo de materia orgánica fue en un sitio que presentó relleno, mientras que el Ca y Mg estuvieron presente en sitios de quema de RSU. Se identificaron lugares expuestos a posibles cambios en su equilibrio ecológico debido a los residuos generados por la cría de animales de traspatio (26%) y cerdos (16%) en los que éstos influyen directamente en los procesos fisicoquímicos del agua y el suelo (Vega et al, 2022). Los valores de CIC fueron los más altos para estos polígonos.

En el polígono 4, la matriz del suelo se identificó dentro del subgrupo Gleysol Mólico con textura arenosa y densidad aparente elevada atribuida a las características estructurales del perfil edáfico. Se reportó alto contenido de materia orgánica, concentraciones elevadas de sodio y conductividad eléctrica (CE) fuertemente salina. En ambos polígonos, se identificaron niveles detectables de metales pesados como cromo (Cr), vanadio (V), bario (Ba) y plomo (Pb). En cuanto a los nutrientes esenciales, se presentaron concentraciones apreciables de cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y potasio (K) bajo condiciones de pH ácido y alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que puede influir en la movilidad y retención de elementos traza y compuestos orgánicos. El níquel (Ni) superó los LMP por arriba de las concentraciones normales, siendo éste un metal peligroso.

Los niveles de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) superaron los valores de referencia aceptables para estos compuestos de 4,400mg/kg a 34,500mg/kg en su valor más alto, indicando una fuerte presencia de fracciones aromáticas, saturadas y resinas. Este comportamiento sugiere un grado avanzado de acumulación de hidrocarburos complejos en la matriz del suelo, lo que representa un indicador relevante en términos de contaminación crónica y riesgo ambiental asociado (Cavazos-Arroyo et al., 2014).

En el polígono 3, se estudió un sitio con suelo moderadamente salino tipo Solonchak, caracterizado por textura arenosa, con presencia de macronutrientes, destacando el calcio (Ca) y el potasio (K); alto contenido de materia orgánica, con variedad de especie mangle rojo, blanco y negro. El análisis de suelo HTP detectó valores por encima de la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 (SEMARNAT, 2013), con tendencia a la adsorción y acumulación de asfaltenos y resinas. Además, se registró la presencia de metales como plomo (Pb), cobre, (Cu), níquel (Ni), zinc (Zn), manganeso (Mn), vanadio (V) y bario (Ba), cuyas concentraciones resultaron por debajo del LMP, pero con la posibilidad de un proceso de bioacumulación, lo que sugiere un riesgo potencial para los organismos acuáticos y la cadena trófica.



## 9. Conclusiones y recomendaciones

El análisis integrado de cambios de uso de suelo, dinámica hidrológica y caracterización fisicoquímica de suelos y sedimentos en el manglar del ejido Úrsulo Galván, permitió confirmar que las actividades antropogénicas, particularmente las relacionadas con la industria petrolera, están afectando la funcionalidad ecológica del ecosistema. El modelo numérico bidimensional lluvia-escurrimiento demostró una alta conectividad hidrológica entre zonas de escurrimiento superficial y el área de manglar, facilitando el transporte de contaminantes asociados a sedimentos.

Las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) y metales pesados como Ni, Pb, V y Ba, se encuentran en concentraciones cercanas o por encima del límite máximo permisible de las normas mexicanas NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 y NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, lo que indica un potencial de riesgo ecológico y toxicológico para el ecosistema. Se identificaron impactos sinérgicos y acumulables, que dependen de la hídrica y de las actividades desarrolladas en el sitio, por lo que se sugiere que hay biomagnificación de estos contaminantes.

La medición de carbono orgánico reveló una reducción significativa en áreas con mayor exposición a contaminantes y cambios de uso de suelo, lo que sugiere un deterioro en la capacidad del manglar para actuar como sumidero de carbono. No obstante, la magnitud de estos impactos depende de otros factores como las propiedades de los suelos, las actividades antropogénicas, la gestión inadecuada de residuo y la variedad del manglar.

Además, el análisis cualitativo de percepciones y prácticas locales mostró diversas fuentes de contaminación que no han sido consideradas en planes de gestión del manglar. Estos resultados respaldan la hipótesis del estudio, al evidenciar que la alteración del uso de suelo y la contaminación por hidrocarburos y metales pesados comprometen la estabilidad del sistema de captura de carbono orgánico.

Se concluye que la conservación del ecosistema de Manglar de Úrsulo Galván requiere una readecuación de la gestión integral del territorio. Por las actividades petroleras y las propias del sitio se sugiere el monitoreo de contaminantes, la regulación del desarrollo urbano e industrial, y la restauración de áreas degradadas, a fin de preservar los servicios ecosistémicos clave que ofrecen estos ecosistemas.



## 10. Referencias citadas

1. (GET, 2019). Gobierno del Estado de Tabasco. Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Tabasco 2019-2024. Recuperado de: <https://tabasco.gob.mx/plan-estatal-de-desarrollo-2019-2024>.
2. Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., & Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27(12), 686-690.
3. Adebangbe, S. A., Dixon, D., & Barrett, B. (2025). *Geo-computation techniques for identifying spatio-temporal patterns of reported oil spills along crude oil pipeline networks*. *International Journal of Digital Earth*, 18(1), 2448218.
4. Aguilar, V.; M. Herzig & A. Córdoba. (2007). Propuesta de clasificación de humedales para el Inventario Nacional de Humedales. Documento de trabajo para el Grupo Interinstitucional del Inventario Nacional de Humedales. México. Citado por CONABIO (2009). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.
5. Alongi, D. M. (2008). *Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change*. *Estuarine, coastal and shelf science*, 76(1), 1-13.
6. Alongi, D. M. (2009). *The Energetics of Mangrove Forests*. New York: Springer.
7. Alongi, D. M. (2014). *Carbon cycling and storage in mangrove forests*. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195-219.
8. Álvarez-Coronel, G., Domínguez-Rodríguez, V. I., Adams, R. H., López, D. J., & Zavala-Cruz, J. (2020). *The Role of Soil Clays in Mitigating or Exacerbating Impacts to Fertility in Crude Oil-contaminated Sites*. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 43(2).
9. Arellano, A. (2022). Mongabay. Úrsulo Galván: la comunidad que se organizó para revivir a sus manglares en México. Recuperado de: <https://es.mongabay.com/2022/03/ursulo-galvan-la-comunidad-que-se-organizo-para-revivir-a-sus-manglares-en-mexico/>



10. Arias C., 2014. La pesquería mexicana del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) del Golfo de México: Limitantes de su desarrollo. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana.
11. Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). *The value of estuarine and coastal ecosystem services*. Ecological.
12. Basile, P. A., Riccardi, G., Peruzzo, F., & Garcia, M. (2016). Modelación hidrodinámica bidimensional del río Paraná inferior.
13. Beltrán, J., Villasol, A., Botello, A. V., & Palacios, F. (2005). Condición actual del ambiente marino-costero de la región del Gran Caribe. Golfo de México, Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México, 1-24.
14. Betoulle, J. L., F. Fromard, A. Fabre et H. Puig. 2001. *Caractérisation des chutes de litière et des apports au sol en nutriments dans une mangrove de Guyane française*. Canadian Journal of Botany 79:238-249.
15. BGS (2021) World Magnetic Model 2015. [http://www.geomag.bgs.ac.uk/data\\_service/models\\_compass/wmm\\_calc.html](http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/wmm_calc.html). Consultado en : mayo 1, 2021.
16. Bohn, H. L., McNeal, B. L., & O Connor, G. A. (1993). Química del suelo.
17. Bonte, M., Dijkema, J., & Baveco, P. J. (2023). *Heavy hydrocarbon fate and transport in the environment. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 56(1), 1–17. <https://doi.org/10.1144/qjegh2016-142>.
18. Botello, A. V. (Ed.). (2005). Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Univ. J. Autónoma de Tabasco.
19. Botello, A. V., de la Lanza Espino, G., Fragoso, S. V., & Velez, G. P. (2020). *Pollution Issues in Coastal Lagoons*. Lagoon Environments Around the World: A Scientific Perspective, 3.
20. Botello, V. (2004). Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México.



21. Camacho-Rico, A., Herrera-Silveira, J., Caamal-Sosa, J. P., & Teutli-Hernández, C. (2021). Influencia de la salinidad en el almacén y flujos de carbono en manglares de franja de una zona cárstica. *Madera y bosques*, 27(SPE).
22. CARRERAS, L. P., GARCÍA, A. M., & Parra, J. G. (1995). Influencia de las fracciones arcilla y arena en el contenido y disponibilidad de metales pesados en suelos. *Edafología*, 1(1), 83-89.
23. Chibuiké, G. U., & Obiora, S. C. (2014). *Heavy metal polluted soils: effect on plants and bioremediation methods*. *Applied and environmental soil science*, 2014(1), 752708.
24. Crespo, G. R., do Espírito, A. D. A., Mesa, R. S., Junco, O. D., & Thi, T. N. (2015). Estrategia viable de restauración ecológica de manglares en áreas deterioradas del sector Cortés, Pinar del Río, Cuba. *Avances*, 17(1), 101-111.
25. Criado, A., Cárdenas, S., Gallego, M., & Valcárcel, M. (2000). *Continuous flow spectrophotometric determination of paracetamol in pharmaceuticals following continuous microwave assisted alkaline hydrolysis*. *Talanta*, 53(2), 417-423.
26. Cuadrado, S., & Lorenzo Martín, L. F. (1980). Estudio del suelo.
27. Davis, D. A., & Gatlin III, D. M. (1996). *Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans*. *Reviews in Fisheries Science*, 4(1), 75-99.
28. De La Cruz-Landero, N., ÁNGEL ALDERETE, C. H. Á. V. E. Z., & Leal, S. L. (2013). Acumulación de metales pesados en sedimentos del ecosistema manglar en Laguna de Términos, Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 15(1), 25-30.
29. De la Lanza Espino, G. & Aguirre, S. G. (1999). Físicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *CIENCIA ergo-sum*, 6(2), 147-153.
30. de los Metales, E. (2005). Páez-Osuna, F., 2005. Efectos de los metales, p. 343-360. In: AV Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p. Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias, 343.



31. de Tabasco, G. D. E. (2019). Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024. Gobierno del Estado de Tabasco.  
Recuperado de:
32. Delgado, E. A. L., López-Hernández, E. S., Sánchez, G. G., Ricalde, C. D. L., & Luna, A. R. R. (2011). Educación ambiental para la sustentabilidad, un paradigma que se reinventa después de treinta años. *Horizonte sanitario*, 10(1), 32-48.
33. Diario oficial de la federación (1994). PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, Bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos fresco-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias).
34. Diario Oficial de la Federación (2000). NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
35. Diario Oficial de la Federación (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
36. Diario oficial de la federación (2004).-NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
37. Diario Oficial de la Federación, (DOF) 2005. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
38. Domínguez, J. C., Sánchez, A. J., Florido, R., & Barba, E. (2003). Distribución de macrocrustáceos en Laguna Mecoacán: al sur del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 13(2), 127-135.
39. Domínguez, S. A. (2023). Análisis de Componentes Principales Comunes con R.
40. Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., & Martínez-Zurimendi, P. (2011). Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México.



41. Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). *Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics*. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297.
42. Echeverría-Ávila, S., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Canales-Delgadillo, J., Brito-Pérez, R., Merino-Ibarra, M., & Vovides, A. (2019). *Natural regeneration of degraded mangrove sites in response to hydrological restoration*. *Madera y bosques*, 25(1).
43. Ferreyra, L. D., & LÓPEZ, D. T. G. (2020). El manglar frente a los derrames de hidrocarburos en México: un enfoque desde el derecho<sup>1</sup>. *Revista de la Escuela Jacobea de Posgrado* <http://revista.jacobeas.edu.mx>, (18), 63-78.
44. Fialho, L. L., de Souza, J. M., dos Santos, A. C. A., & da Silva, F. S. (2022). *Distribution and geochemical behavior of trace metals in crude oil-contaminated soils*. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17), 25530–25544.
45. Filcheva, E., & Chakalov, K. (2016). *Soil fertility management with zeolite amendments. I. Effect of zeolite on carbon sequestration: A review*. *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*, 247-252.
46. Frías-Espericueta, M. G., Bautista-Covarrubias, J. C., Osuna-Martínez, C. C., Delgado-Alvarez, C., Bojórquez, C., Aguilar-Juárez, M., ... & Páez-Osuna, F. (2022). *Metals and oxidative stress in aquatic decapod crustaceans: A review with special reference to shrimp and crabs*. *Aquatic Toxicology*, 242, 106024.
47. García Pinto, C. L. (2021). Interacciones tóxicas entre contaminantes ambientales y el hombre.
48. García, M., & Pérez, L. (2018). Impacto de las aguas residuales no tratadas en los ecosistemas acuáticos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 12(3), 45-58.
49. Gómez Oliver, L., & Tacuba Santos, A. (2017). La política de desarrollo rural en México. ¿Existe correspondencia entre lo formal y lo real?. *Economía UNAM*, 14(42), 93-117.
50. González-Fierro, A., Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S., & Ponce-Vélez, G. (2016). Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. *HIDROBIOLÓGICA*, 4(1, 2), 35–43.



51. González-Hernández, L., Sol-Sánchez, Á., Pérez-Vázquez, A., & Obrador-Olan, J. J. (2016). Sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en plantaciones reforestadas y regeneración natural. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE14), 2769-2782.
52. Grishchenkova, I. V., & Salminen, E. (2000). *Weathering and degradation of hydrocarbons in oiled mangrove sediments*. *Marine Pollution Bulletin*, 40(6), 507-514.
53. Gutiérrez, M. del C., & Zavala, J. (2002). Rasgos hidromórficos de suelos tropicales contaminados con hidrocarburos. *Terra Latinoamericana*, 20(2), 101-111.
54. Guzmán-Osorio, F.J., Adams, R.H., DomínguezRodríguez, V.I., Lobato-García, C.E., GuerreroPeña, A., Barajas-Hernández, J.R. and BaltierraTrejo, E. (2019). *Alternative method for determining API degrees of petroleum in contaminated soil by FTIR*. *Egyptian Journal of Petroleum* 29(1), 29-44.
55. Hair Jnr, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis*.
56. Herrera Silveira, J. A., & Teutli-Hernández, C. (2017). Carbono azul, manglares y política pública. *Elementos para Políticas Públicas*, 1(1), 43-52.
57. Holguin, G., Vázquez, P., & Bashan, Y. (2001). *The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview*. *Biology and Fertility of Soils*, 33(4), 265–278.
- [https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/planeacion\\_spf/PLED-202019-2024](https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/planeacion_spf/PLED-202019-2024).
58. IMP. Instituto Mexicano del Petróleo. 2019. Manifestación de Impacto ambiental de modalidad regional. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/474070/Cap\\_tulo\\_IV\\_MIA\\_11-06-2019\\_\\_5.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/474070/Cap_tulo_IV_MIA_11-06-2019__5.pdf)
59. INEGI, 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Jalpa de Méndez, Tabasco.
60. IPCC. (2021). Resumen para responsables de políticas. En: Informe de evaluación del cambio climático 2021. Intergubernamental Panel on Climate Change.



61. Jiménez, C. G. V., Manzano, N. P. B., Falcón, P. M. V., García, M. A. P., & Bernat-Rodríguez, J. (2021). Metales pesados en agua y sedimentos de dos lagunas costeras de Tabasco, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5993-6002.
62. Johnson, R., and Wichern, D. (1999). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall, Fourth Edition. New Jersey.
63. Kaiser, H.F. (1958). *The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis*. *Psychometrika*, 23, 187-200.
64. Kauffman, JB, Donato, DC y Adame, MF (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares (Vol. 117).
65. Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). *Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review*. *Aquatic Botany*, 89(2), 128-137.
66. Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., & Marchand, C. (2008). *Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review*. *Aquatic Botany*, 89(2), 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
67. Kundu, A., Harrisson, O., & Ghoshal, S. (2022). *Evaluating the impact of nutrient doses on biostimulation of petroleum hydrocarbon biodegradation in cold region soils*. *ACS ES&T Engineering*, 2(12), 2287-2300.
68. Lanfranco, J. W., Pellegrini, A., & Cattani, V. M. (2014). Contenidos de edafología: Génesis, evolución y propiedades físico químicas del suelo.
69. LANRESC (2022). Laboratorio de resiliencia costera. Tarjeta de Reporte “Dos Bocas”. Recuperado de: [https://www.lanresc.mx/publicaciones/tarjetas\\_reporte/tarjeta-de-reporte-dos-bocas-2022/](https://www.lanresc.mx/publicaciones/tarjetas_reporte/tarjeta-de-reporte-dos-bocas-2022/)
70. León, Cuauhtémoc. 2014. Diagnóstico de la dinámica y motores de cambio de los manglares de las lagunas La Palma y Mecoacán-Julivá Santa Anita. Centro de Especialistas en Gestión Ambiental S.C. Informe final SNIBCONABIO, proyecto No KE011. México D.F.



71. Lovindeer, R., Mynott, S., Porobic, J., Fulton, E. A., Hook, S. E., Pethybridge, H., ... & Melbourne-Thomas, J. (2023). *Ecosystem-level impacts of oil spills: a review of available data with confidence metrics for application to ecosystem models*. *Environmental Modeling & Assessment*, 28(6), 939-960.
72. Lustosa, S. M., & Palanisamy, P. (2018). *Petroleum hydrocarbon degradation by isolated mangrove bacteria*. *Revista Peruana de Biología*, 25(4), 441-456. <https://doi.org/10.15381/rpb.v25i4.175>ResearchGate
73. Manahan, S. E. (2006). *Introducción a la química ambiental*. Reverté.
74. 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, 55-64.
75. Martínez, V. E. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra latinoamericana*, 19(1), 9-17.
76. Mataix Solera, J. (2000). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales: contribución a su conservación y regeneración.
77. Mataix-Solera, J., & Guerrero, C. (2007). Efectos de los incendios forestales en las propiedades edáficas. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*, 5-40.
78. Melendez, L. V., Lache, A., Orrego-Ruiz, J. A., Pachón, Z., & Mejía-Ospino, E. (2012). *Prediction of the SARA analysis of Colombian crude oils using ATR-FTIR spectroscopy and chemometric methods*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 90, 56-60.
79. Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis*. World Resources Institute.
80. Mitchell, J. K. (1964). *Shearing resistance of soils as a rate process*. *Journal of the Soil Mechanics and foundations Division*, 90(1), 29-61.
81. Molina-Santos, M., Terneus-Jácome, E., Yáñez-Moretta, P., & Cueva-Sánchez, M. (2018). Resiliencia de la comunidad fitoplanctónica en la laguna andina de Papallacta y sus afluentes, ocho años después de un derrame petrolero. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 28(2), 67-83.



82. Montalvo, C., Aguilar, C. A., Amador, L. E., Cerón, J. G., Cerón, R. M., Anguebes, F., & Cordova, A. V. (2014). *Metal contents in sediments (Cd, Cu, Mg, Fe, Mn) as indicators of pollution of palizada river, Mexico*. *Environment and Pollution*, 3(4), 89-98.
83. 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, 2689-2696.
84. Morales-Bautista, C. M., Méndez-Olán, C., López-Martínez, S., & Ojeda-Morales, M. E. (2020). *Design of experiments to optimize soxhlet-HTP method to establish environmental diagnostics of polluted soil: Optimization of the soxhlet-HTP method by DOE*. In *Design of experiments for chemical, pharmaceutical, food, and industrial applications* (pp. 33-52). IGI Global.
85. Moreno-Cáliz, E.; J. Zavala-Cruz; R. Martínez-González y A. D. Vázquez-Lule. (2009). *Caracterización del sitio de manglar Laguna La Palma*. En: CONABIO (2009). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO, México, D.F
86. Moreno-Casasola, P., & Infante-Mata, D. M. (2016). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos*. Instituto de Ecología, AC, ITTO, CONAFOR, Xalapa, Veracruz, 2.
87. Moreno-Martínez, A., Álvarez-Arteaga, G., & Orozco-Hernández, M. E. (2021). *Heterogeneidad ambiental y alteraciones antrópicas en comunidades de manglar en el pacífico sur de México*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(1), 70-85.
88. MUÑOZ, K. E. G., & Torres, J. L. A. (2024). *El mangle negro, el árbol más salado*. Desde El Herbario CICY, 16, 68–71, 2024.
89. Murray, B. C., & Vegh, T. (2012). *Incorporating blue carbon as a mitigation action under the United Nations Framework Convention on Climate Change technical issues to address*.
90. Niu, X., Ho, S. S. H., Ho, K. F., Huang, Y., Sun, J., Wang, Q., ... & Cao, J. (2017). *Atmospheric levels and cytotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons and oxygenated-*



PAHs in PM<sub>2.5</sub> in the Beijing-Tianjin-Hebei region. *Environmental pollution*, 231, 1075-1084.

91. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, protección ambiental-lodos y biosólidos-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
92. 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.
93. Pérez Cruz, B. (2007). *Tasa de depuración de toxinas paralíticas producidas por *Gymnodinium catenatum* (Graham, 1943) en la almeja chocolate *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835)* (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
94. Pérez-Cruz, Y. G., Rangel-Ruiz, L. J., & Gamboa-Aguilar, J. (2013). Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de "la Biósfera" Pantanos de Centla" Tabasco, México. *Hidrobiológica*, 23(1), 01-08.
95. Pérez-Rojas, A., Torres-Orozco, R., Morales-Gutiérrez, E., & Pérez-Méndez, E. (2000). Textura, composición y contenido de materia orgánica de los sedimentos recientes de un lago tropical de México. *Hidrobiológica*, 10(1), 41-50.
96. Periódico Oficial del estado de Tabasco, 2019. Órgano de Difusión Oficial del Gobierno Constitucional del Estado Libre y Soberano de Tabasco. Ejemplo: (Decreto número 270, de fecha 2012-12-26, publicado en el Periódico Oficial del Estado de Tabasco, número 7336).
97. Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA) en 1993.
98. 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.
99. Popic, J. M., Haanes, H., Di Carlo, C., Nuccetelli, C., Venoso, G., Leonardi, F., ... & Fevrier, L. (2023). *Tools for harmonized data collection at exposure situations with*



- naturally occurring radioactive materials (NORM)*. Environment International, 175, 107954.
100. Posada, M. I., & Arroyave, M. D. P. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. Revista EIA, (6), 57-67.
101. Priego-Hernández, G., Rubio-Arias, H., & Rivera-Trejo, F. (2019). ADCP, multi-frequency analysis for flow measurements in rivers. Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus, 18(1).
102. Respondek, Z., Jerz, D., Świsłowski, P., & Rajfur, M. (2022). Active *biomonitoring of heavy metal concentrations in aquatic environment using mosses and algae*. Water, 14(20), 3335.
103. Ríos Quijano, J. L. (2012). Influencia del proceso de acorazamiento en el arrastre de sedimentos.
104. Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., ... & Galindo-Leal, C. (2013). Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México DF, 128.
105. Rodríguez-Zúñiga, M. T., Villeda Chávez, E., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., Cruz-López, M. I., Olgúin, M., ... & Flores, R. (2018). Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Ciudad de México, México, 272.
106. Romero, K. P., & Mora, O. M. (2020). Análisis factorial exploratorio mediante el uso de las medidas de adecuación muestral kmo y esfericidad de bartlett para determinar factores principales. Journal of science and research, 5(CININGEC), 903-924.
107. Saldívar, B. R., Rodríguez, R., & Linares, R., (2009). Características físicas del perfil del suelo laterítico "in situ": relación con el contenido de níquel, cobalto, hierro y cromo. Ejemplo del yacimiento Moa, Holguín. Cuba.
108. Sánchez, R. R., Brito-Manzano, N. P., Vargas-Falcón, P. M., & Bernat-Rodríguez, J. (2022). Pb, Cr, Zn, Cd y Cu en el ostión *Crassostrea virginica* en tres lagunas costeras de



- Tabasco, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 266-278.
109. Sánchez, R. R., Brito-Manzano, N. P., Vargas-Falcón, P. M., & Bernat-Rodríguez, J. (2022). Pb, Cr, Zn, Cd y Cu en el ostión *Crassostrea virginica* en tres lagunas costeras de Tabasco, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 266-278.
110. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre de 2010.
111. Ségalen, P. (1968). *Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux*. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol*, 6(1), 105-126.
112. Siddique, A., Al Disi, Z., Al Ghouti, M., & Zouari, N. (2024). *Diversity of hydrocarbon-degrading bacteria in mangroves rhizosphere as an indicator of oil-pollution bioremediation in mangrove forests*. *Marine Pollution Bulletin*, 205, 116620. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116620>ResearchGate
113. Sun, R., Sun, Y., Li, Q. X., Zheng, X., Luo, X., & Mai, B. (2018). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and marine organisms: Implications of anthropogenic effects on the coastal environment*. *Science of the Total Environment*, 640, 264-272.
114. TABASCO, C. (2012). Metales pesados en suelos cultivados con caña de azúcar en la. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 119-130.
115. Thom, B. G. (1967). *Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tabasco, Mexico*. *Journal of Ecology*, 55(2), 301-343.
116. Torres, J. R., Infante-Mata, D., Sánchez, A. J., Espinoza-Tenorio, A., & Barba, E. (2018). Degradación de hojarasca y aporte de nutrientes del manglar en la Laguna Mecocacán, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 892-907.



117. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2000). "Toxicological Review of Barium and Compounds in Support of Summary Information."
118. Ugarte, O. M., Alfaro, M. R., Álvarez, A. M., Álvarez, J. E., de Aguiar Accioly, A. M., & Do Nascimento, C. W. A. (2015). El Níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36, 25-33.
119. Ulloa, C., Pazmiño, K., Cárdenas, D., & Arcos, C. (2014). Desarrollo de repelencia al agua en suelos afectados por incendios, en una zona del parque metropolitano del distrito metropolitano de Quito
120. Vázquez-Vázquez, L. L., García-Zaleta, D. S., Torres-Sánchez, S. A., López-Martínez, S., Hernández-Nuñez, E., Zurita-Macias-Valadez, M., & Morales-Bautista, C. M. (2023). Variability of the components of oil drilling waste according to the treatment temperature. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 22(1), IA3039-IA3039.
121. Velázquez-Salazar, S., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Alcántara-Maya, J. A., Villeda-Chávez, E., Valderrama-Landeros, L., Troche-Souza, C., ... & Muñoa-Coutiño, J. H. (2021). Manglares de México. Actualización y análisis de los datos, 168.
122. Villanueva, F. S., & Botello, A. V. (2005). Vigilancia y presencia de metales tóxicos en la laguna El Yucateco, Tabasco, México. *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias*, 407-430.
123. Villanueva, S., & Botello, A. V. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 8(1), 47-61.
124. Yao, L., He, M., Jiang, S., Li, X., & Shui, B. (2025). Spatiotemporal Characteristics of Bacterial Communities in Estuarine Mangrove Sediments in Zhejiang Province, China. *Microorganisms*, 13(4), 859. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13040859>
125. Yzquierdo-Ruíz, M. M., Torres-Sánchez, S. A., De la Garza-Rodríguez, I. M., Ojeda-Morales, M. E., Hernández-Nuñez, E., Lobato-García, C. E., ... & Morales-Bautista, C. M. (2022). Pre-evaluation of contaminated soil for oil field reactivation in Moloacan, Veracruz, Mexico. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(2), IA2753-IA2753.

## 11. Anexos

### Anexo A. Perfil edáfico, muestra de suelo testigo, Fluvisol Eutri-Gléyico, (polígono 2)

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-60	Color base del suelo en húmedo pardo (10YR 5/3). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de motas ni cutáneas. Hojarasca y raíces abundantes (pélico), otras largas moderadas de 14 cm con 1 mm de grosor. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados color pardo (7.5YR 5/3) de 0 a 5mm de grosor). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Presencia de una tapa de envase PET. Se observaron hormigas escasas. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 60-86	Color base del suelo en húmedo pardo (10YR 4/3). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presencia de motas color rojo (10R 4/8). Hojarasca y raíces de 8 cm de largo, menor a 1mm de grosor. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Presencia de residuos sólidos urbanos (bolsa de polietileno baja densidad, retazos costal, carbón orgánico). No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H3 86-120	Color base del suelo en húmedo pardo claro (7.5YR 6/3). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presencia de motas color rojo (10R 4/8). Hojarasca y raíces de 8 cm de largo, menor a 1mm de grosor. Presencia de materia orgánica (reactividad media con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No se observó biota.
<p><b>Perfil edáfico ubicado a orillas de la laguna Pomposú</b>, 10 metros de la Laguna Pomposú. Se identificó flora y fauna nativa, como manglar rojo y blanco, chicharras, ardillas, perros, garzas, tábanos y mosquitos. El paisaje presentó cercas de alambre y viveros de pescado, construcciones de madera, concreto y barro. Se observó tráfico de vehículos con combustible fósil. Las condiciones meteorológicas fueron soleadas con vientos del norte. Coordenadas: 15Q 0495523/ UTM 2027077.</p>		

Nota. H: horizonte edáfico. Elaborado a partir de: Palma-López, (2007).

### Anexo B. Muestra M11, Fluvisol Eutri-Gléyico, polígono 2

	Profundidad Cm	Descripción
A	H1 0-54	Color base del suelo en húmedo gris pardo muy oscuro (2.5Y 3/2). Sin motas ni cutáneas. Textura arenosa al tacto (arenillas). Sin presencia de raíces. Presencia de materia orgánica con baja reactividad al peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Agregados de 3 a 6mm y de 1-4 cm. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido. Presencia de residuos sólidos urbanos (plásticos, metal, vidrio, madera, tela, pañales, hilo de pesca, hueso de animal, textil, pañales desechables y envolturas de aluminio). No se observó biota. transición a la siguiente capa es tenue.
B	H2 54-76	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/6). Sin motas ni cutáneas. Textura arenosa al tacto (arenillas). Raíces escasas, delgadas. Rreactividad media con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Agregados de 3 a 5mm de diámetro; Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. Presencia de residuos sólidos urbanos (envolturas de aluminio, bolsas de polietileno), residuos biológico infeccioso (envase vidrio). No se observó biota. transición a la siguiente capa es tenue.
C	H3 76-93	Color base del suelo en húmedo negro (5Y 2.5/2). Sin motas ni cutáneas. Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Raíces escasas, delgadas. Alta reactividad con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. Presencia de residuos sólidos urbanos (envolturas de aluminio, envases de PET, red de pesca), residuos orgánicos (hueso de animal), residuos Biológico infeccioso (envase de medicamento de vidrio). No se observó biota.
<p><b>Patio de vivienda.</b> El terreno presenta relleno, se realiza quema de residuos sólidos urbanos, descarga de aguas negras que va directo al arroyo Santa María. Coordenadas: 15Q495034/UTM 2027327</p>		

Nota. Se muestra en la presente imagen el núcleo edafológico completo en dónde A, B y C indican los horizontes y su longitud, los residuos de material antropogénico, biológico y orgánicos son señaladas por D, F y G. H: horizonte edáfico. Elaborado a partir de: Palma-López, (2007).

### Anexo C. Muestra M12, Fluvisol Eutri-Gléyico, polígono 2

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-43	Color base del suelo en húmedo amarillo gris pardo (10 YR 6/8). Sin motas ni cutáneas. Textura arenosa al tacto, consistencia suelta similar a las arenillas. Sin presencia de raíces. Alta reactividad con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. Presencia de residuos sólidos urbanos (plásticos, vidrios), residuos biológico-infeccioso (envase de vidrio con medicamento). No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 43-82	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10YR 4/6). Sin moteas ni cutáneas. Textura arenosa al tacto similar a las arenillas. Sin presencia de raíces. Presencia de materia orgánica (reactividad media con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. Presencia de residuos sólidos urbanos envolturas de aluminio, envases de PET, red de pesca), biológico-infeccioso, residuos orgánicos (hueso de animal). No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H3 82-115	Color base del suelo en húmedo gris oscuro (5 Y 4/1). Sin motas ni cutáneas. Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de raíces. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. Presencia de residuos sólidos urbanos (envolturas de aluminio, bolsas de polietileno), biológico-infeccioso (envase de vidrio con medicamento). No se observó biota.
<p><b>Basurero.</b> El terreno se ubica en el puente tres y está a orillas del arroyo Santa María. Hay presencia de flora acuática como lirio y lechuga, zapote de agua y árboles frutales como coco y guayaba. Coordenadas: 15Q495029/UTM 2027302.</p>		

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

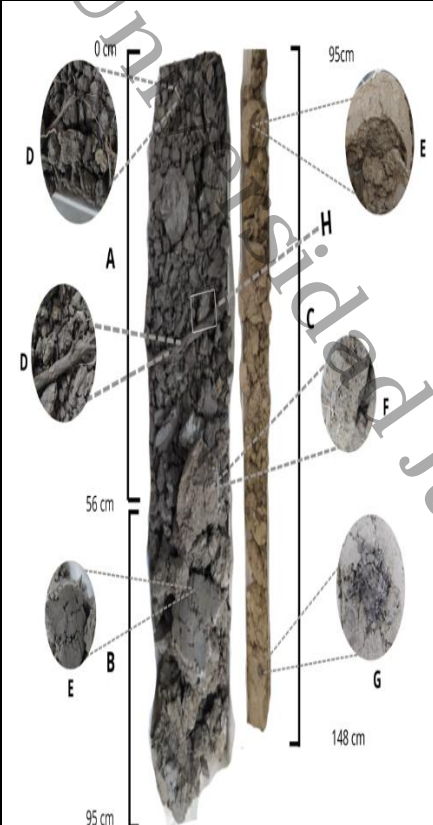
### Anexo D. Muestra M31, Fluvisol Eutri-Gléyico, polígono 2

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-39	<p>Color base del suelo en húmedo, pardo (10YR 5/4), y en seco (10 YR 5/2) pardo grisáceo, presenta una textura arcillosa al tacto, Presencia de motas color rojo en seco 10R 4/8 y en húmedo 10 YR 6/4. Raíces muy finas (VF) y comunes (C) así como finas (F) y muy pocas (V), abundante presencia de pélicos, y pasto seco. Pequeños fragmentos de hoja, Reactividad baja con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), negativa con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color pardo (105YR 5/4) de 0 a 5mm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota. Transición a la siguiente capa es gradual ondulada de 11 cm de diámetro</p>
H2 39-99	<p>Color base del suelo en húmedo pardo claro (7.5YR 6/4) y en seco (10 YR 6/3) pardo claro. Textura arcillosa al tacto en húmedo característico de las arcillas, Presencia de motas color rojo en seco 10R 4/8 y 7.5 YR 5/6. Raíces escasas muy pocas(V) y muy finas (VF), Presencia de pasto abundante en la superficie, Presencia de materia orgánica baja, reactividad media con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), negativa con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color pardo (7.5YR 5/4) de 0 a 5mm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota, sin presencia de grietas.</p>	

**Sitio con actividades ganaderas.** En el paisaje se observó pasto grueso, ganado vacuno, suelo bajo, casas alrededor y presencia de transporte de combustible fósil. Coordenadas: 15Q 0492753/UTM 22025755.

Nota. Se muestra en la presente imagen el perfil Edafológico completo en dónde A y B indican los horizontes y su longitud, el pasto presente en el primer horizonte y las raíces presentes son señaladas por C, las de menor longitud y pelicos D, las moteas más vistosas señaladas por E y F, y los agregados por H, finalmente I señala una fase de transición gradual ondulada presente en el perfil. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo E. Muestra M32, Fluvisol Eutri-Gléyico, polígono 2

	Profundidad cm	Descripción
	<b>H1</b> 0-56	Color base del suelo en húmedo pardo oscuro (7.5YR 3/3) y negro (7.5 YR 4/1) en seco, presenta humedad alta al ser de textura arcillosa, Presencia de motas color rojo en húmedo (10R 4/8) y en seco café fuerte (7.5 YR 5/6). Raíces delgadas cortas moderadas, pasto abundante, raíces muy finas (VF) pocas y una gruesa (c) de 5 mm aproximadamente. Presencia positiva de materia orgánica al tener reactividad baja con peróxido de hidrógeno(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), muy baja con Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) y negativa con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color pardo (7.5YR 3/3) en suelo húmedo y en seco 7.5 YR 3/1 de 0 a 1 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota. Transición a la siguiente capa es denso.
	<b>H2</b> 56-95	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10YR 5/6) y en seco Marrón grisáceo 10 YR 4/2, humedad alta al ser de textura arcillosa. Presencia de motas color rojo (10R 4/8) en húmedo y (10 YR 7/4) en seco. Raíces muy finas (VF) pocas (F), presencia escasa de pélicos de 5 a 10 cm de longitud. Presencia de materia orgánica positiva; reactividad baja con peróxido de hidrógeno, (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), muy baja con Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) y negativa con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color amarillo pardo (10YR 5/6) en húmedo y 10YR 5/5 en seco de 0 a 5 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	<b>H3</b> 95-148	Color base del suelo en húmedo pardo amarillo (10YR 6/6) y marrón (10 YR 5/3) en seco, humedad alta al ser de textura arcillosa, Presencia de motas color rojo (10YR 4/8) en húmedo y dos tonalidades diferentes en húmedo abundantes Marrón amarillento (10 YR 5/6) y gris oscuro (10 YR 4/1), raíces escasas delgadas muy finas (VF), presencia de pélico de 4–7 mm de longitud. Presencia de materia orgánica positiva, pero con reactividad baja con peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), muy baja con Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) y negativa con Ácido Clorhídrico (HCl). Sin agregados. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota.
<p><b>Sitio con actividades piscícola.</b> En el paisaje se observó pasto grueso, ganado vacuno, viveros de mojarra y Pejelagarto. Sembradíos de plátano, árbol de mango, coco, ciruela, milpa y árboles maderables como cedro y macuilis. Presenta suelo bajo, con presencia con hierba acuática como lirio y matorral. 20 metros de la carretera con coordenadas 15Q 0493338/UTM 2025947.</p>		

Nota. Se muestra en la presente imagen el perfil Edafológico completo en dónde A, B y C indican los horizontes y su longitud, las raíces tanto finas como gruesas y pelicos presentes son señaladas por D, las dos tonalidades de moteas en el tercer horizonte señaladas por E, y los agregados en el segundo horizonte por F, y finalmente G señala presencia de raíces fasciculadas en descomposición presente en el perfil. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo F. Muestra M33, Fluvisol Eutri-Gléyico, polígono 2

Profundidad cm	Descripción
	<p>H1 0-60</p> <p>Color base del suelo en húmedo amarillo claro pardo (10YR 6/4) y 7.5 YR 5/3 en seco, presenta humedad alta por ser textura arcillosa. Presencia de motas color rojo (10R 4/8) en húmedo y 7.5 YR 4/6 en seco. Raíces moderadas muy finas (VF) de forma pélico, astillas de árbol muy pocas (v) casi imperceptibles y fracciones de conchas de caracol. Presencia de materia orgánica con reactividad baja con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), baja con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y muy baja con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color amarillo claro pardo en húmedo (10YR 6/4) y (10YR 6/2) en seco, de 0 a 3 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Presencia de residuos sólidos urbanos como papel aluminio y resto de envoltura de producto antropogénico e hilo henequén. Sin presencia de biota, presenta un diámetro de 10 cm de transición a la siguiente capa, tenue (suave) y gradual.</p>
<p>H2 70-120</p>	<p>Color base del suelo en húmedo amarillo claro pardo (10YR 6/4) y en seco (7.5 YR 4/3), presenta humedad alta por ser de textura arcillosa. Presencia de motas color rojo (10R 4/8) en húmedo y 7.5 YR 5/2 en seco. Raíces escasas (V) de forma delgadas o finas (F) y cortas. Presencia de materia orgánica por reactividad baja con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), baja con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y muy baja con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color amarillo claro pardo (10YR 6/4) en húmedo de 0 a 3 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Presencia de hormigas negras (<i>Monomorium minimum</i>, Formicidae) en proporción escasas, sin presencia de grietas.</p>
<p><b>Patio de vivienda con relleno.</b> En el paisaje se observó pasto grueso, aves de corral, sembradíos de plátano, árbol de mango, coco, milpa y árboles maderables como cedro y macuilís. Coordenadas: 15Q 0493477, 2026909</p>	


Nota: Se muestra en la presente imagen el perfil Edafológico completo en dónde **A y B** indican los horizontes identificados y su longitud, mientras que **C** la fase de transición de 10 cm de longitud, las raíces tanto finas como gruesas y pelicos presentes son señaladas por **D**, El material antropogénico es señaladas por **E**, y agregados y moteas presentes en los horizonte por **F y H**, y finalmente **G** señala presencia de fracciones de materia orgánica como lo son fracciones de conchas de caracol calcificadas. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo G. Muestra M34, Fluvisol Eutri-Gléyico, polígono 2

Muestra	Profundidad cm	Descripción
	<p><b>H1</b> 0-33</p>	<p>Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4) y 7.5 6/4 en seco. Humedad al tacto moderadamente alta con textura arcillosa. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de pasto y hojarasca en proporción moderada; raíces comunes en proporción y delgadas (F) de 0,5- 2 mm de diámetro y de entre 5-12 cm longitud y medias (M) de 3mm diámetro. Presencia de materia orgánica positiva por reactividad baja con peróxido de hidrógeno, (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), baja con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y muy baja con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color pardo (7.5 YR 5/4) de 0 a 3 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota, Presencia muy escasa de hojarasca. Transición a la siguiente capa es tenue y abrupta.</p>
	<p><b>H2</b> 33-76</p>	<p>Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4) y 7.5 6/3 en seco. Humedad al tacto moderadamente alta con textura arcillosa. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de pasto y hojarasca en proporción moderada; raíces escasas(V) en proporción, gruesas (c) y largas entre 15-20 cm de longitud, presencia de pelicos de 5 cm de longitud aproximadamente. Presencia de materia orgánica por reactividad media con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), baja con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y muy baja con Ácido Clorhídrico (HCl); Presenta agregados color pardo (7.5 YR 5/4) de 0 a 5 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta. Sin presencia de biota. Transición a la siguiente capa es tenue y gradual de entre 5-6 cm de longitud muy difusa.</p>
	<p><b>H3</b> 76-140</p>	<p>Color base del suelo en húmedo pardo claro 7.5YR 6/4 en húmedo y 7.5 7/3 en seco. Humedad alta característico de las arcillas. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción escasa; raíces muy finas (VF) de &lt; 0,5 mm de diámetro abundantes(C) largas; Presencia de materia orgánica por reactividad media con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), media con Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) y muy baja con Ácido Clorhídrico (HCl). Presenta agregados color pardo claro (7.5 YR 6/4) de 0 a 8 cm de grosor. Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota.</p>
<p><b>Sitio con actividades avícola.</b> En el paisaje se observó pasto grueso, aves de corral, sembradíos de plátano, árbol de mango, coco, milpa y árboles maderables como cedro y macuilís. Coordenadas: 15Q 0494555/UTM 2027159.</p>		

Nota. Se muestra en la presente imagen el perfil Edafológico completo en dónde **A, B y C** indican los horizontes identificados y su longitud, las raíces finas y gruesas, así como los pelicos presentes son señaladas por **D, E y F**, respectivamente; los agregados del tercer horizonte presentes son señalado por **G**, y **H** señala presencia de fracciones de hojarasca. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

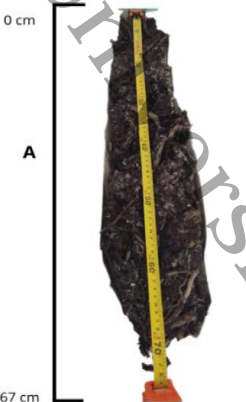
### Anexo H. Perfil edáfico, muestra de suelo testigo, Solonchak Gléyico (Polígono 3)

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-12	Color base del suelo en húmedo negro (10YR 2/1). Textura arenosa al tacto (arenillas). Presenta moteas color rojo (10R 4/8). Raíces gruesas, largas y abundantes. Reactividad alta con peróxido de hidrógeno. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es denso.
	H2 12-30	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10YR 4/6). Textura arcillosa al tacto cuya consistencia es muy compacta. No presenta motas ni cutáneas. Raíces delgadas, largas y abundantes. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota.

**Perfil edáfico de un bosque de manglar.** Suelo con ganado bovino se encontraron especies inducidas como palmeras de coco (*Cocos nucifera*), especies nativas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*) y negro (*Avicennia germinans*); plantas como: abrazame si puedes, lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), molinillo, espadaño (*Typha latifolia*), mucal (*Dalbergia brownii*); fauna silvestre: ardilla negra (*Ratufa bicolor*), mapaches (*Procyon*), ratas (*Apodemus sylvaticus*). Reptiles como iguanas (*Iguana iguana*), y serpientes oracioneras (*Oxyvelis fulgidus*); lagartos (*Ouroborus cataphractus*) y especies de agua dulce como mojarra, pochitoque (*Cryptochelys acuta*) e hicotea (*Trachemys callirostris*); aves chejé (*Centurus aurifrons*), zopilotes (*Coragyps atratus*), Martín pescador (*Ceryle torquata*), pea (*Psilorhinus morio*), garza blanca (*Casmerodius sp*), pijije (*Dendrocygna autumnales*), pato cuervo, viuda, y algunos insectos como tábanos (*Tabanidae*), mosquitos (*Culícido*), grillos (*Gryllidae*), hormigas, libélulas (*Insecta odonata*). Coordenadas: Q0493606/UTM 2031793.

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

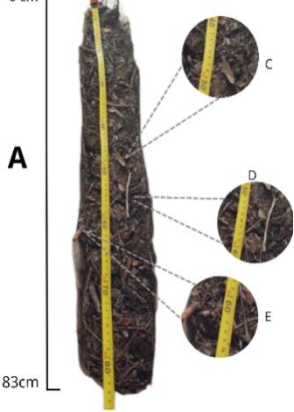
### Anexo I. Muestra M41, Solonchak Gléyico, polígono 3

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-67	Color base del suelo en húmedo negro (10YR 2/1). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Raíces largas abundantes). Raíces muy finas (VF) <0.5 mm de diámetro y muy pocas (V) y Finas (F) de 0.5 mm a 1 mm, poca abundancia (V) y raíces gruesas de 2 cm de diámetro aproximadamente. Sin agregados. Presencia de materia orgánica Reactividad a Peróxido de Hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) baja, con Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) baja, con y Ácido Clorhídrico (HCl) baja. Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Sin presencia de biota, sin presencia de grietas (N).

**Muestra obtenida de un mangle negro (*Avicennia germinans*).** Se encontraron plantas herbáceas como mondonguillo (lirio acuático pequeño), lechuga de río, se identificó flora nativa, como manglar rojo, blanco y negro (presencia de suelo salino), se observó diversidad de fauna como: chicharras, pespitas, gavilancillo peregrino, garzas, tábanos y mosquitos. el paisaje presentó cercas de acotamiento para el manejo de ganado bovino; las condiciones meteorológicas fueron soleado con vientos del norte. 15Q 0497492/UTM 2031836.

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

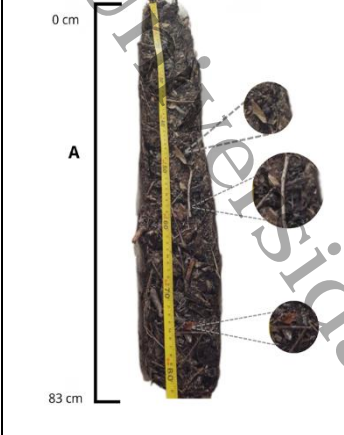
### Anexo J. Muestra M42, Solonchak Gléyico, polígono 3

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-83	Color base del suelo en húmedo negro (10YR 2/1). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Raíces largas abundantes. Sin agregados. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), muy baja con Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH), y muy baja con Ácido Clorhídrico (HCl). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Sin presencia de biota.

**Muestra obtenida de un mangle blanco (*Laguncularia racemosa*).**

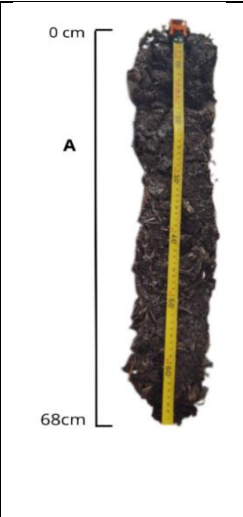
Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo K. Muestra M43, Solonchak Gléyico, polígono 3

	cm	Descripción
	H1 0-83	<p>Color base del suelo en húmedo negro (10YR 2/1). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción abundante, corteza de árbol; raíces en proporción abundante gruesas y largas de 1-25 cm de longitud y con un diámetro de 1-3 cm largas abundantes. Sin agregados. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Se observó un colémbolo ciego.</p> <p><b>Muestra obtenida de un mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>).</b></p>

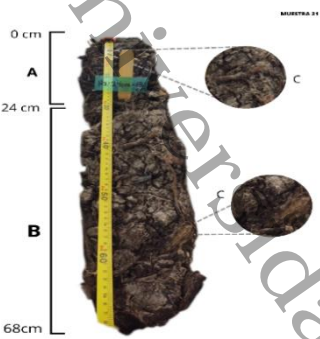
Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo L. Muestra M44, Solonchak Gléyico, polígono 3

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-68	<p>Color base del suelo en húmedo negro (10YR 2/1). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción abundante, corteza de árbol; raíces en proporción abundante gruesas y largas de 1-25 cm de longitud y con un diámetro de 1-3 cm. Presencia de materia orgánica (actividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Se observó un colémbolo ciego.</p> <p><b>Muestra obtenida de un mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>).</b> El muestreo se ubica, en la reforestación denominada de Velsa, en el cual se sembraron 20 hectáreas de manglar en el año 2015, tiene coordenadas 15Q 0497492/UTM 2031836 +/-1msnm y se realizó a las 09:30 h; en el paisaje se observó suelo inundado, se encontraron especies nativas de mangle rojo, negro y blanco, lirio acuático, espadaño, zapote de agua, y se observó fauna como garzas, pájaros, tortugas y huevo de caracol. Las condiciones meteorológicas fueron soleadas con vientos del norte.</p>

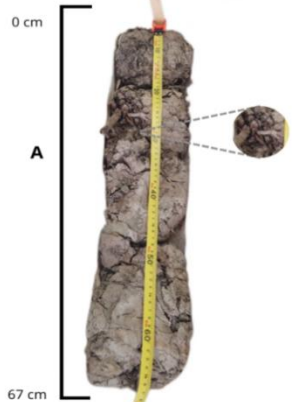
Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo M. Muestra M45, Solonchak Gléyico, polígono 3

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-24	Color base del suelo en húmedo pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción abundante, corteza de árbol; raíces en proporción abundante delgadas y largas de 0.5-10 cm de longitud. Presencia de materia orgánica (actividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Se observó un colémbolo ciego. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 24-68	Color base del suelo en húmedo pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/3). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción abundante, corteza de árbol; raíces en proporción abundante delgadas y largas de 0.5-10 cm de longitud. Presencia de materia orgánica (actividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. No se observó biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>).</b>

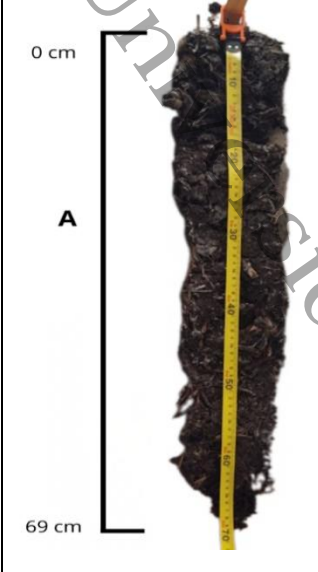
Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo N. Muestra M46, Solonchak Gléyico, polígono 3

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-67	Color base del suelo en húmedo gris (7.5YR 5/1). Textura arcillosa. Presenta motas y cutáneas color pardo fuerte (7.5YR 5/8). Presencia de hojarasca en proporción abundantes, raíces delgadas y largas de 1-10 cm de longitud. Presencia de materia orgánica (actividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, fuerte. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Sin presencia de biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>).</b>

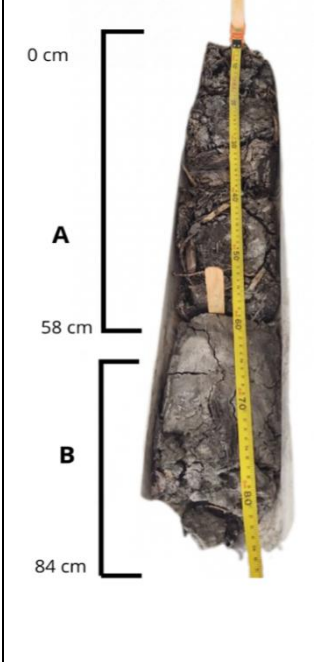
Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo O. Muestra M47, Solonchak Gléyico, polígono 3

		Profundidad cm	Descripción
		H1 0-69	Color base del suelo en húmedo pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2). Textura presenta un horizonte orgánico originado del detritus depositado. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción escasa, corteza de árbol; raíces en proporción abundante delgadas y largas de 1 a 3 cm de longitud. Presencia de materia orgánica (actividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Se observó un colémbolo ciego.
<p><b>Muestra obtenida de un mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>).</b> Dren Chilapa a 5 km del paradero, donde se reforestarán 100 hectáreas de manglar, se observó suelo inundado donde se encontraron especies inducidas como palmeras de coco, lirio acuático, molinillo y espadaño, se observaron hormigas, mosquitos y garzas. Las condiciones meteorológicas fueron soleadas con vientos del norte. Coordenadas: 15Q 049492, 2029737.</p>			

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo P. Muestra M48, Solonchak Gléyico, polígono 3

		Profundidad cm	Descripción
		H1 0-58	Color base del suelo en húmedo pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2). Textura limosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. No presenta motas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción escasa, corteza de árbol; raíces en proporción escasas delgadas de 2 cm de longitud. Presencia de materia orgánica (actividad baja con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, débil. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. Se observó unos algunos organismos edáficos.
H2 58-84	Color base del suelo en húmedo gris oscuro (7.5YR 2.5/2). Textura limosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. No presenta moteas ni cutáneas. Presencia de hojarasca en proporción escasa, corteza de árbol; raíces en proporción escasas. Presencia de materia orgánica (actividad alta con peróxido de hidrógeno). Grado de desarrollo, medio. Permeabilidad baja ya que el suelo se encuentra saturado. No se observó biota.		
<p><b>Muestra obtenida de un mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>).</b></p>			

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

**Anexo Q. Perfil edáfico, muestra de suelo testigo, Gleysol Mólico (polígono 4)**

	Profundidad cm	Descripción
	<p>H1 0-35</p>	<p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Raíces abundantes (pélico), muy finas y largas. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Sin moteas ni cutáneas. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H2 35-60</p>	<p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/4). Moteas y cutáneas finas y medianas color rojo (2.5YR 5/8). Textura arenosa al tacto con consistencia similar a la arenilla. Raíces abundantes (pélico), escasas y largas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H3 60-101</p>	<p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/4). Moteas finas y medianas color rojo (2.5YR 5/8) y gris pardo claro (10 YR 6/2), cutáneas color rojo (2.5YR 5/8). Textura arenosa al tacto con consistencia similar a la arenilla. Raíces cortas, escasas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H4 101-123</p>	<p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/3). Moteas finas y medianas color rojo (2.5YR 5/8) y gris pardo claro (10 YR 6/2), cutáneas color rojo (2.5YR 5/8). Textura arenosa al tacto con consistencia similar a la arenilla. Raíces cortas, escasas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H5 123-140</p>	<p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 3/2). Moteas finas y medianas color rojo (2.5YR 5/8) y gris pardo claro (10 YR 6/2), cutáneas color rojo (2.5YR 5/8). Textura arenosa al tacto con consistencia similar a la arenilla. Raíces oscuras, gruesas y largas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota.</p>
<p><b>Perfil de un sitio con actividades ganaderas y presencia de bosque de manglar.</b> El terreno se ubica a 100 m de la carretera Chichicapa-Chiltepec, donde se encuentra una línea de Pemex pijije-dos bocas y una trampa corrida de diablo, el suelo presenta relleno. Se encontraron plantas herbáceas como mondonguillo (lirio acuático pequeño), lechuga de río, se identificó flora nativa, como manglar rojo, blanco y negro (presencia de suelo salino), se observó diversidad de fauna como: chicharras, pezpitas, gavilancillo peregrino, garzas, tábanos y mosquitos. El paisaje presentó cercas de acotamiento para el manejo de ganado bovino; las condiciones meteorológicas fueron soleado con vientos del norte. 15Q0493566/ UTM 2031790.</p>		

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo R. Muestra M13, Gleysol mólico, polígono 4

cm	Descripción
	<p>H1 0-16</p> <p>Color base del suelo en húmedo pardo muy oscuro (10YR 2/2). Textura arenosa al tacto (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Reactividad baja con peróxido de hidrógeno. Sin moteas ni cutáneas. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H2 16-56</p> <p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10YR 3/6). Textura arenosa al tacto (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Reactividad media con peróxido de hidrógeno. Sin moteas ni cutáneas. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. Presentó conchas de caracol. Transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H3 56-77</p> <p>Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10YR 3/6). Textura arenosa al tacto (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Reactividad alta a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Sin moteas, ni cutáneas. Presencia de agregados color gris (10YR 6/1). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.</p>
	<p>H4 77-144</p> <p>Color base del suelo en húmedo pardo pálido (10YR 6/3). Textura arenosa al tacto (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Alta reactividad con a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Sin moteas ni cutáneas. Presencia de agregados color gris (10YR 6/1) gruesos y moderados de origen geológico de 1 a 5 mm y de 1.5 a 2 cm. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.</p>
<p><b>Sitio con paso de ganado.</b> El muestreo se ubica a 60 metros de la carretera con coordenadas 15Q49563/UTM 2031730.</p>	

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo S. Muestra M14, Gleysol mólico, polígono 4

	cm	Descripción
A 0-20	H1 0-20	Color base del suelo en húmedo pardo muy oscuro (10YR 2/2). Textura arenosa (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Presencia de materia orgánica (reactividad media con peróxido de hidrógeno). Sin motas ni cutáneas. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es denso.
B 20-52	H2 20-52	Color base del suelo en húmedo pardo amarillo claro (10YR 6/4). Textura arenosa (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Presenta motas amarillo rojizo (7.5YR 6/8). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. Se observaron lombrices escasas. Presencia de conchas de caracol. Transición a la siguiente capa es tenue.
C 52-114	H3 52-114	Color base del suelo en húmedo pardo amarillo claro (10YR 6/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Raíces gruesas, escasas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno). Presenta moteas color rojo (10R 4/8) y amarillo rojizo (7.5YR 6/8). Presenta agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota.

Sitio a orillas de un sitio inundado. A 100 metros de la carretera con coordenadas de 15Q493489/UTM 2031788

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo T. Muestra M15, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-17	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 3/6). Textura arenosa al tacto (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas, pasto. Reactividad baja con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Sin motas ni cutáneas. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 17-24	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 3/6). Textura arenosa (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Motas color rojo (10R 4/8), no presenta cutáneas. Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H3 24-35	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/6). Textura arenosa (arenillas). Raíces abundantes (pélico) y cortas. Reactividad baja con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Motas color rojo (10R 4/8), no presenta cutáneas. Presenta agregados y grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H4 35-54	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/6). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Raíces abundantes (pélico) y cortas. Reactividad baja a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Moteas color rojo (10R 4/8), no presenta cutáneas. Presenta agregados color gris (10YR 4/1). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H5 54-90	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4/6). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Raíces abundantes (pélico) y cortas. Presencia de materia orgánica (reactividad media con peróxido de hidrógeno H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ). Motas color rojo (10R 4/8), no presenta cutáneas. Presenta agregados color gris (10YR 4/1) muy grandes. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota.

**Muestra obtenida de un mangle blanco (*Laguncularia racemosa*).** 150 metros de la carretera Chichicapa-Chiltepec. Suelo con ganado bovino se encontraron especies inducidas como palmeras de coco (*Cocos nucifera*), especies nativas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), blanco (*Laguncularia racemosa*) y negro (*Avicennia germinans*); se realizó a las 12:40 hrs, con una profundidad de 43 cm y presenta cinco horizontes. Este punto tiene coordenadas de 15Q493617/UTM 2031753 +/-3.

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007

### Anexo U. Muestra M21, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-43	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de motas ni cutáneas. Raíces abundantes (pélico) gruesas, largas, moderadas, hojarasca. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. Presencia de una lámina de metal de 5 cm de alto por 2mm de grosor.
<p><b>Muestra obtenida de un mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>). 500 metros de la carretera. 15Q0493606/UTM 2031793</b></p>		


Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007

### Anexo V. Muestra M22, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-31	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 4/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de motas ni cutáneas. Presenta hojarasca y raíces abundantes (pélico), otras delgadas abundantes, gruesas largas moderadas. Reactividad alta al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue
	H2 31-73	Color base del suelo en húmedo (7.5YR 6/6). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Moteas color rojo (10R 4/8). Presenta raíces gruesas largas, abundantes. Reactividad alta al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
H3 73-100		Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Motas color rojo (10R 4/8). Presenta raíces gruesas, cortas, escasas; largas delgadas, abundantes. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados gruesos color pardo (7.5YR 5/4). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. No se observó biota.
<p><b>Muestra obtenida de un mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>). Coordenadas. 15Q0493478/UTM 2031792</b></p>		


Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo W. Muestra M23, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-29	Color base del suelo en seco negro (2.5Y 2.5/1) Textura arenosa al tacto (arenilla)s. Presencia de motas muy pocas (V). Presenta hojarasca y raíces muy abundantes (pélico), otras delgadas abundantes, gruesas largas moderadas. Reactividad baja al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. Presencia de gusanos, escasos. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 29-70	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 6/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de moteas ni cutáneas. Presenta hojarasca y raíces abundantes (pélico), gruesas largas moderadas, corteza de árbol. Reactividad baja al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No presenta biota. Transición a la siguiente capa es medio.
	H3 70-97	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/3). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de moteas ni cutáneas. Presenta raíces cortas delgadas moderadas. Reactividad baja al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta. No presenta biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>).</b> Coordenadas: 15Q493478/UTM 2031792


Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo X. Muestra M24, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-40	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo (10YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presenta motas color rojo (10R 4/8). Raíces largas, delgadas abundantes. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta debido a que el suelo no está saturado. Presencia de gusanos, escasos. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 40-100	Color base del suelo en húmedo amarillo pardo (10YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presenta motas color rojo (10R 4/8). Raíces largas y gruesas. Presencia de materia orgánica (reactividad baja con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No presenta biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>).</b> Coordenadas: 15Q 493493/UTM 2031737


Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

### Anexo Y. Muestra M25, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-29	Color base del suelo en seco (10YR 3/1). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Motas muy escasas (V). Raíces abundantes (pélico), otras largas y gruesas, hojarasca. Presencia de materia orgánica Reactividad media a Peróxido de Hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), y negativa con Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) y Ácido Clorhídrico (HCl). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No presenta biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 26-76	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presenta motas color rojo (10R 4/8). Raíces abundantes (pélico), otras largas y gruesas, hojarasca. Presencia de materia orgánica (reactividad media con peróxido de hidrógeno). Sin agregados. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No presenta biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H3 76-105	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 4/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presenta motas color rojo (10R 4/8). Raíces abundantes (pélico), otras largas y gruesas, hojarasca. Presencia de materia orgánica (reactividad media con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados color pardo (7.5YR 4/4). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No presentó biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>).</b> Coordenadas: 15Q0493493/UTM 2031737

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.


### Anexo Z. Muestra M26, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad cm	Descripción
	H1 0-43 cm	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presenta motas color rojo (10R 4/8). Raíces gruesas, cortas, abundantes, hojarasca. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados color pardo (7.5YR 4/4). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No presenta biota. Transición a la siguiente capa es tenue.
	H2 43-67 cm	Color base del suelo en húmedo pardo (7.5YR 5/4). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Presenta motas color rojo (10R 4/8). Raíces gruesas, cortas, abundantes, pasto y hojarasca. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados color pardo (7.5YR 4/4) de 0-3mm diámetro. Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. No presentó biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>).</b> Coordenadas: 15Q 0493457/UTM 2031782

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.



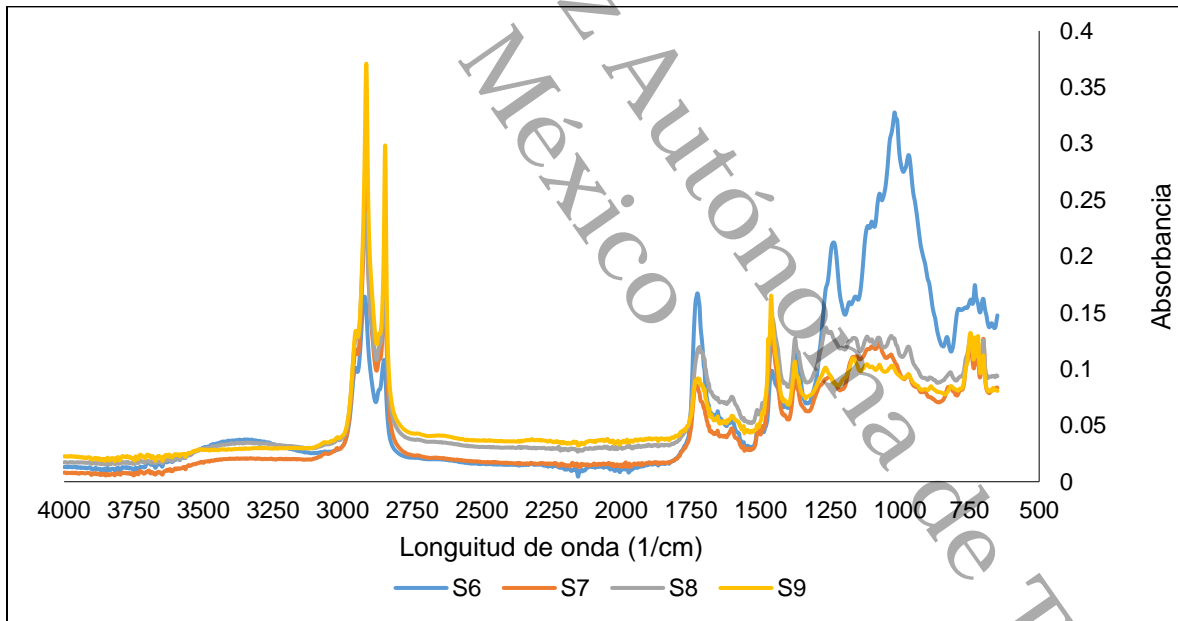
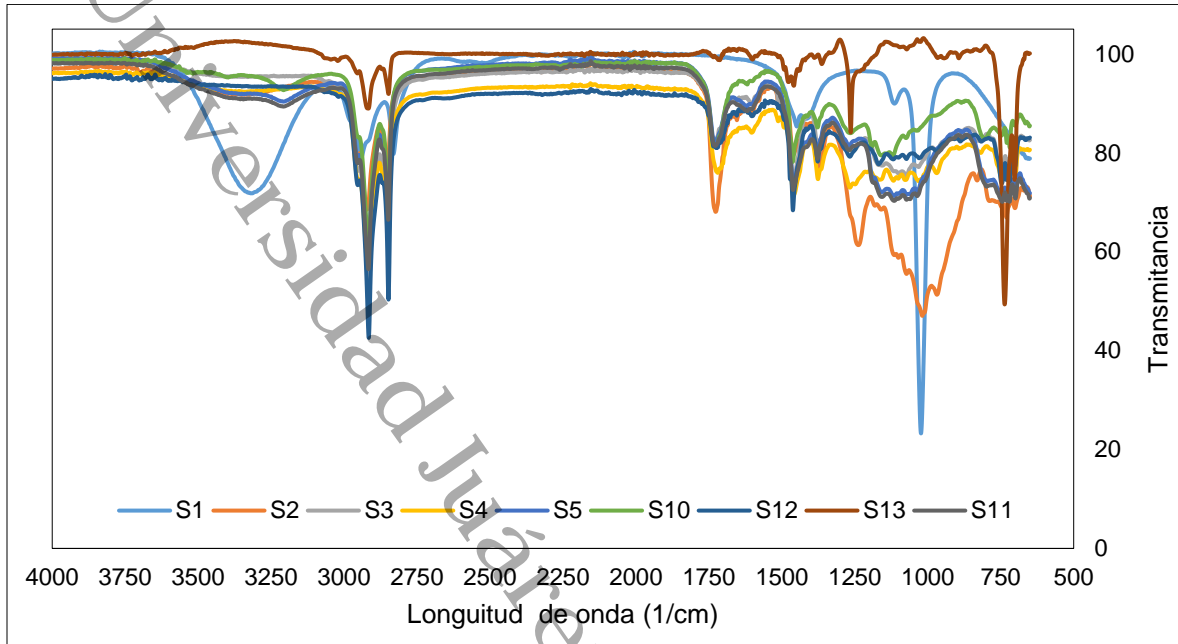
### Anexo AA. Muestra M27, Gleysol mólico, polígono 4

	Profundidad Cm	Descripción
	H1 0-37	Color base del suelo en húmedo pardo oscuro (7.5YR 3/3). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de motas ni cutáneas. Raíces gruesas, cortas moderadas, hojarasca y conchas de caracol. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados color pardo (7.5YR 4/4). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Se observaron hormigas escasas. Transición a la siguiente capa es tenue.
H2 37-66	Color base del suelo en húmedo pardo oscuro (7.5YR 3/3). Textura arenosa al tacto cuya consistencia es muy suelta similar a las arenillas. Sin presencia de motas ni cutáneas. Raíces gruesas, largas hojarasca y corteza de árbol. Presencia de materia orgánica (reactividad alta con peróxido de hidrógeno). Presenta agregados color pardo (7.5YR 4/4). Grado de desarrollo débil. Permeabilidad alta ya que el suelo no está saturado. Sin presencia de biota.  <b>Muestra obtenida de un mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>).</b>	

Nota. H: horizonte edáfico. El tipo de suelo se obtuvo de la clasificación de Palma-López, 2007.

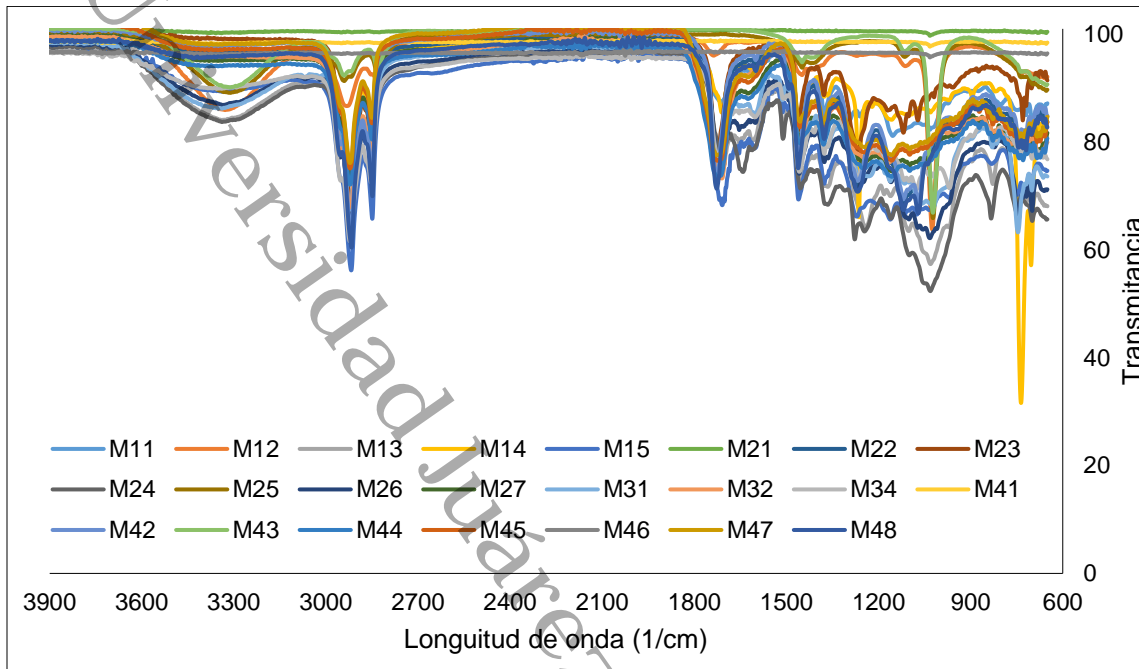


### Anexo AB. FTIR de extractos HTP en Sedimentos






### Anexo AC. FTIR de extractos HTP en suelos



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México




## Anexo AD. Instrumento cualitativo para evaluar impactos ambientales (encuesta)



Encuesta

Evaluación de hidrocarburos y metales pesados de suelo de manglar del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, para medir variación de carbono orgánico



**PRESENTACIÓN**

Buenos días/tardes. Mi nombre es:  diga su nombre  y soy investigador/técnico del Proyecto: Evaluación de hidrocarburos y metales pesados de suelo de manglar del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, para medir variación de carbono orgánico. Quisiera contar con su valiosa participación. Lo que usted diga solo será utilizado para fines de investigación, no será revelado a ninguna persona y su identidad no será conocida.

<b>Perfil sociodemográfico</b>	P06. Grado de estudios (H1= hijo 1, H2= hijo 2).									
P01. Edad: 15 a 20 años (1) 21 a 30 años (2) 31 a 40 años (3) 41 a 50 años (4) Mayor de 51 años (5)	Grado de estudio	Padre	Madre	H1	H2	H3	H4	H5	H6	
P02. Sexo: Femenino (1) Masculino (2)	No estudio									1
P03. Ocupación: Asalariado (1) Pescador (2) Comerciante (3) Campesino (4) Ejidatario (5) Otro. Especificar (6)	Primaria incompleta									2
Actividad principal: _____ _____ _____	Primaria completa									3
	Secundaria incompleta									4
	Secundaria completa									5
	Preparatoria incompleta									6
	Preparatoria completa									7
	Licenciatura incompleta									8
	Licenciatura completa									9
	Posgrado									10
	No sabe/no contesto									11
P07. ¿Es originario de esta comunidad? Si (1) No (2)  Describir: _____  ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la comunidad?  _____  ¿Forma parte de la comunidad ejidal?  _____	P10. ¿Con cuáles servicios cuenta su comunidad? Escuela (1) Alumbrado (2) Agua potable (entubada) (3) Pavimento (4) Drenaje (5) Tiendas (6) Servicio de internet (7) Talleres (artesanía, _____)									



<p>P04. Lugar que ocupa en la familia:</p> <p>Padre (1) Madre (2) Hijo (a) (3) Otro (4)</p>	<p>P08. Tipo de vivienda es:</p> <p>De madera con piso de tierra (1) De madera con piso de cemento (2) De material con techo de lámina y piso de tierra (3) De material con techo de lámina y piso de cemento (4) De material con techo de concreto y piso de tierra (5) De material con techo de concreto y piso de cemento (6) Otra, especifique (7)</p>	<p>carpinterías, herrería, entre otros) (8) Servicios de recolección de basura (9) Todos los anteriores (10)</p>
<p>P05. Aproximadamente ¿De cuánto es su ingreso y en qué periodo lo percibe?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>¿Algún otro Integrante de su familia que aportan al ingreso familiar?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>*Nota: Semanal, quincenal, mensual, temporal</p>	<p>P09. ¿Con cuántos baños completos con regadera y baños cuenta dentro de su vivienda? Ninguno, se encuentran fuera de la vivienda (1)</p> <p>1 (2) 2 (3) 3 (4) Más de 3 (5)</p> <p>¿Dónde se realiza la descarga de aguas?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Qué hace con la basura, en caso de no contar con el servicio recolector:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>¿Reutiliza o recicla algún residuo orgánico e inorgánico?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>¿Qué hace con el aceite residual?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

P11. Mencione seis componentes de su dieta y con qué frecuencia lo consume, autoconsumo o lo compra.

Componente	Diario	Tres veces por semana	Una vez por semana	De vez en cuando
Peces				
Aves de corral				
Cerdo/carne de res				
Fauna silvestre				
Frutas				
Verduras y legumbres				
Otros				

¿Dónde compra su despensa? Definir en proporción el porcentaje de compra.

Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



\*Nota: en la localidad, supermercado, mercado municipal, comunidad aledaña, abarrotes, entre otros.

Eje económico		
<p>P12. ¿Cuál es la actividad principal del jefe de la familia?</p> <p>Campesino (1) Pescador (2) Ganadero (3) Asalariado (4) Obrero (5) Comerciante (6) Jornalero (7) Otro (8)</p>	<p>P15. La actividad productiva que desarrolla ¿apoya a su economía familiar?</p> <p>Si (1) No (2)</p> <p>Ingreso aproximado: _____</p>	<p>P18. ¿Cuenta con algún servicio médico? Si, ¿cuál? (1) No (2)</p> <p>¿cuáles son las enfermedades más comunes?</p> <p>¿Cuándo se enferma, dónde se atiende?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>P13. ¿Cuenta con algún tipo de cultivo en su predio o en el ejido? Si su respuesta es sí, mencione tipo de cultivo y extensión.</p> <p>Si (1) No (2)</p> <p>Especificar: _____</p> <p>_____</p> <p>¿Cómo les da mantenimiento, de manera manual o utiliza algún fertilizante o pesticida? Nota: Identificar *Nota: identificar qué tipo, nombre y cada cuanto lo aplica.</p>	<p>P16. Además de la actividad productiva ¿realiza alguna otra actividad para la obtención de ingresos?</p> <p>Manufactura artesana (1) Emprendedor (2) Comerciante (3) Venta de alimento (4) Otro, Especifique (5)</p>	<p>P19. ¿Percibe algún tipo de ingreso económico por parte del gobierno u otros organismos no gubernamentales?</p> <p>Si (1) No (2)</p> <p>¿Cuál? Especifique: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>¿Desde cuándo?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>P14. ¿Realiza alguna actividad productiva?</p> <p>Ganadería (1) Agricultura (2) Pesca (alimento) (3) Crianza de aves de traspatio (4) Cerdo (5)</p> <p>Especifique la herramienta utilizada y mantenimiento: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>*Nota: pastura, alimento, desparasitantes, fertilizantes, entre otros.</p>	<p>P17. ¿Ha identificado, cambios en su comunidad en los últimos 5 años?</p> <p>Mayor impacto (1) Menor impacto (2) Igual (3)</p> <p>A qué lo atribuye: _____</p> <p>*Nota: servicios públicos, población, actividades recreativas, escuelas, iglesia, entre otros</p>	<p>*Nota: (DIF, Sembrando Vida, Conafor, Pro Árbol, ayuntamiento, Bienestar, JCF, JEC, ONG)</p>



P20. ¿Pertenece a algún grupo social organizado?

Organización	Actividades que realizan	Líderes

\*Nota: diversidad de comités a nivel local, municipal, estatal obras públicas, DIF, vigilancia, padres de familia, entre otros.

**Eje ambiental**

P21. ¿Cuáles son actualmente los **tres principales problemas** medioambientales que presenta su comunidad? Indique del 1 al 3, **el 1 el más preocupante** y **3 el menos importante**.

- Contaminación aire (1)
- Contaminación agua (2)
- Ruido (3)
- Malos Olores (4)
- Gestión de residuos (5)
- Alumbrado Público (6)
- Transporte (7)
- Limpieza vial (8)
- Falta de espacios de encuentro (9)
- Falta de hábitos de consumo sostenibles (10)
- Depuración aguas residuales (11)
- Paisaje urbano (12)
- Limpieza de zonas verdes (13)
- Otros (14) ¿Cuál?

P25. ¿Conoce o sabe de alguna estrategia aplicada para el control o monitoreo de la ANP?

- Planes y programas gubernamentales (1)
- Diagnósticos ambientales (2)
- Investigación científica (3)
- Gestión comunitaria (4)
- Ninguna (5)

P29. ¿Ha identificado, cambios en el ecosistema manglar en los últimos 10 años?

- Mayor impacto (1)
- Menor impacto (2)
- Igual (3)

A qué lo atribuye:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

\*Nota: Describir detalladamente

P22. ¿Ha recibido algún curso de capacitación?

- Captura carbono (1)
- Seguridad y Salud (2)
- Género (3)
- Emprendimiento (4)
- Ambiental (5)
- Alfabetización (6)

P30. ¿Conoce la distribución de los cuerpos lagunares dentro de la ANP?

- Si (1)
- No (2)

P23. ¿Ha participado en actividades en beneficio del medio ambiente?

- Reforestación (1)
- Limpieza de acuíferos (2)

P27. ¿Conoce cuáles son los servicios ambientales que ofrecen los manglares?

- Si (1)
- No (2)

P31. ¿Cómo prepara sus alimentos?

- Agua de llave (1)
- Pozo (2)
- Fogón (3)



<p>Capacitaciones (3) Otros (4)</p> <p>Especifique:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Describe el proceso:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Estufa (4)</p> <p>¿Cuál es su fuente de calor para cocinar? Especifique _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>*Nota: leña (cuál), gas Lp.</p>
<p>P24 ¿Sabe usted qué es un Área Natural Protegida y que vive cerca de una?</p> <p>Si (1) No (2)</p> <p>¿Conoce el beneficio?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>P28. ¿Identifica usted algún tipo de plaga que afecte al manglar? ¿Cuál? ¿En qué temporada?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>P32. ¿Cuenta con vehículo de motor?</p> <p>Lancha (1) Automovil (2) Moto (3) Otros (4) Especificar _____</p> <p>¿Dónde realiza el servicio de mantenimiento a su vehículo y que disposición le da?</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p><b>Eje sociocultural</b></p> <p>P33. ¿Qué tipo de religión profesa su familia?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>P35. ¿De qué manera las mujeres participan en la gestión comunitaria?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>P37. En el desarrollo de su vida cotidiana ¿cuáles son los principales riesgos a su integridad física?</p> <p>Violencia intrafamiliar (1) Violencia de género (2) Discriminación (3) Inseguridad (4) Analfabeto (5) Otro (6)</p>
<p>P34. ¿En la comunidad realizan alguna tradición o festividad?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>P36. ¿De qué manera las mujeres participan en la conservación de los ecosistemas?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	



### Anexo AE. Relación de proyección de las muestras en análisis por componentes en sedimentos

Muestra	Scores1	Scores 2	Scores 3
S1	-0.46	<b>4.12</b>	-2.16
S2	<b>4.93</b>	-2.40	-0.37
S3	<b>5.59</b>	0.70	0.07
S4	<b>3.32</b>	-1.16	-0.10
S5	<b>4.41</b>	0.21	1.38
S6	-0.87	<b>4.84</b>	2.70
S7	<b>-2.73</b>	-1.60	0.89
S8	<b>-2.26</b>	-1.26	-0.36
S9	<b>-2.59</b>	-2.02	1.21
S10	<b>-3.16</b>	-0.25	0.79
S11	<b>-3.53</b>	-1.36	0.65
S12	-1.82	0.98	<b>-2.69</b>
S13	-0.84	-0.79	<b>-2.02</b>
Variable	Loadings1	Loadings 2	Loadings 3
Cu	-0.27	0.14	0.00
Ni	-0.29	0.03	-0.10
Zn	-0.27	0.10	-0.04
Pb	-0.10	0.24	-0.03
Cr	-0.28	0.06	-0.09
Mn	-0.25	-0.05	-0.22
Fe	-0.29	0.05	-0.09
V	-0.27	0.05	0.07
Ba	-0.06	<b>0.41</b>	-0.03
%R	0.05	-0.15	<b>-0.42</b>
%L	0.08	0.38	-0.05
%A	-0.08	-0.35	0.14
DA	0.24	0.04	-0.16
pH	0.21	0.16	-0.15
CE	-0.20	-0.23	0.18
Na/mol	-0.21	-0.11	0.20
K/mol	-0.19	0.24	-0.02
Mg/mol	-0.29	0.06	-0.07
Ca/mol	-0.22	-0.14	-0.01
CIC	-0.29	-0.02	0.07
HTP	-0.06	0.20	<b>-0.53</b>
%Sat	-0.04	-0.34	-0.36
%Ar	0.03	0.32	<b>0.40</b>
%Re	0.07	0.10	-0.15

Nota. DA: densidad aparente. pH: potencial de hidrógeno. Ba: bario. Mg: magnesio. Fe: hierro. K: potasio. Pb: plomo. Cr: cromo. V: vanadio. Cu: cobre. Zn: zinc. Mn: manganeso. Ca: calcio. Na: sodio. A: arena. L: limo. R: arcilla. CIC: capacidad de intercambio catiónico. HTP: hidrocarburo total del petróleo. Sat: saturados. Aro: aromáticos. Res: resinas. Asf: asfaltenos. %: porcentaje.



### Anexo AF. Relación de proyección de las muestras en análisis por componentes en suelos

Muestra	Scores 1	Scores 2	Scores 3
M11	2.59	-1.85	0.38
M12	<b>2.70</b>	-0.76	1.37
M13	<b>3.01</b>	-1.29	-0.83
M23	<b>2.07</b>	-1.09	-1.48
M32	<b>-6.72</b>	-2.15	1.24
M34	<b>-2.91</b>	-0.32	-0.84
M41	0.74	<b>3.88</b>	3.14
M46	-1.48	<b>3.59</b>	-2.98
Variable	Loadings 1	Loadings 2	Loadings 3
Cu	<b>-0.25</b>	0.02	-0.07
Ni	<b>-0.28</b>	-0.07	0.00
Zn	<b>-0.14</b>	-0.11	0.05
Pb	-0.10	-0.17	<b>0.33</b>
Cr	<b>-0.26</b>	-0.05	-0.17
Mn	<b>-0.27</b>	-0.10	0.15
Fe	<b>-0.24</b>	-0.01	-0.22
V	<b>-0.22</b>	0.18	0.05
Ba	<b>-0.25</b>	0.10	0.19
%R	-0.16	0.12	<b>-0.28</b>
%L	<b>-0.28</b>	-0.03	-0.03
%A	<b>0.28</b>	0.04	0.05
DA	0.01	<b>-0.40</b>	-0.08
DR	0.02	<b>-0.41</b>	-0.06
pH	0.02	-0.31	0.23
CE	0.04	0.11	<b>-0.13</b>
%MO	-0.11	<b>0.37</b>	-0.09
Na	0.00	<b>-0.15</b>	-0.13
K	-0.20	0.17	<b>-0.25</b>
Mg	<b>-0.28</b>	-0.02	0.00
Ca	-0.14	0.10	<b>0.39</b>
CIC	<b>-0.24</b>	-0.11	-0.06
HTP	<b>-0.23</b>	-0.16	0.10
%Sat	-0.15	-0.22	<b>-0.23</b>
%Ar	<b>0.16</b>	-0.14	-0.11
%Re	0.07	0.10	<b>-0.38</b>
%As	-0.12	0.18	<b>0.32</b>

Nota. DA: densidad aparente. pH: potencial de hidrógeno. Ba: bario. Mg: magnesio. Fe: hierro. K: potasio. Pb: plomo. Cr: cromo. V: vanadio. Cu: cobre. Zn: zinc. Mn: manganeso. Ca: calcio. Na: sodio. A: arena. L: limo. R: arcilla. CIC: capacidad de intercambio catiónico. %: porcentaje.

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	“Diagnóstico socioambiental en manglar para medir variación de carbono orgánico, ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez”.
Autores de la Tesis:	M.I. Leydi Lorena Vázquez Vázquez Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna Dr. Carlos Mario Morales Bautista
ORCID:	<u>0000-0002-8301-738X</u>
Resumen de la Tesis:	<p>La presente investigación realizó un diagnóstico de impacto ambiental, de actividades antropogénicas en el ecosistema de manglar del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco. Mediante un enfoque multidisciplinario, se realizaron análisis geoquímicos y se aplicaron herramientas con enfoque socioambiental. Se determinó la dinámica del arrastre de contaminantes, recolectando 27 muestras de suelo y 13 de sedimentos, que fueron analizados mediante pruebas de pH, conductividad eléctrica, textura, capacidad de intercambio catiónico, metales pesados, sodio intercambiable, mineralogía, hidrocarburos totales del petróleo (HTP), fracciones SARA y carbono orgánico total (COT) (DOF, 2000; DOF, 2002).</p> <p>Se detectaron metales como plomo, vanadio, bario, cobalto y níquel, este último cercano sobrepasando los límites normales permitidos (DOF, 2005). También se identificó la presencia de fracciones de hidrocarburos como resinas, asfaltenos y aromáticos, principalmente en sedimentos cercanos a ductos y embarcaderos. La mineralogía reveló cuarzo, anortita, hematita y alunógeno, minerales asociados a la adsorción de contaminantes. Además, se observó que actividades como ganadería y piscicultura afectan la capacidad del manglar para capturar carbono, debido a la</p>

	<p>homogenización de horizontes, deforestación e inadecuada gestión de residuos. En esta última, se incinera al aire libre, actividad que expone a animales y cultivos familiares y paralelamente pone en riesgo la salud de la población.</p> <p>El diagnóstico socioambiental mostró que la comunidad participa activamente en acciones de conservación, impulsadas por proyectos de bonos de carbono, lo cual ha derivado en reconocimiento nacional por su manejo forestal. Se concluye que es prioritario fortalecer estrategias de conservación y mitigación, con base en la participación comunitaria, la educación ambiental y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.</p>
<p>Palabras claves de la Tesis:</p>	<p>Manglares, metales, hidrocarburos, carbono orgánico, ejido.</p>
<p>Referencias citadas:</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diario Oficial de la Federación (2000). NORMA Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.</li> <li>2. Diario Oficial de la Federación (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.</li> <li>3. Diario Oficial de la Federación, (DOF) 2005. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.</li> </ol>

## Nombre del artículo:

Áreas afectadas por el defoliador (*Hylesia colimatifex*) en zona de manglar de la Laguna Mecoacán, Tabasco

## Autores:

Leydi Lorena Vázquez-Vázquez<sup>1</sup>, Nelly del Carmen Jiménez-Pérez<sup>1</sup>, Yadeneyro De la Cruz-Elizondo<sup>2</sup>, Ana Rosa Rodríguez-Luna<sup>1</sup>, Carlos Mario Morales-Bautista<sup>1</sup>.

## Resumen:

Los manglares son ecosistemas susceptibles a cambios provocados por fuentes antropogénicas o naturales, en los que destacan los derrames de contaminantes, plagas y fenómenos atmosféricos. En este trabajo se identificaron larvas del insecto defoliador y las áreas de manglares que este organismo afectó en Paraíso, Tabasco, a finales del 2020. La metodología se basó en la delimitación y cuantificación de zonas afectadas por defoliación, así como en la captura y observación del desarrollo del insecto. Se encontraron siete áreas afectadas, sumando un total de 116 ha. Los árboles mayormente afectados fueron *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, cuya localización estaba cerca de efluentes salobres. La especie fue identificada como *Hylesia colimatifex* (*Saturniidae*), la cual apareció y desapareció en paralelo con las inundaciones en el sitio.

**Palabras clave:** Insectos; manglares; temporales.

## Institución de adscripción de cada autor:

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. CP. 86150. Villahermosa, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Facultad de Biología. Campus Xalapa. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

## Nombre del artículo:

**Variability of the components of oil drilling waste according to the treatment temperature**

## Autores:

**L.L. Vázquez-Vázquez<sup>1</sup>** , D.S. García-Zaleta<sup>1</sup> , S.A. Torres-Sánchez<sup>2</sup> , S. López-Martínez<sup>1</sup> , E. Hernández-Nuñez<sup>3</sup> , M. Zurita-Macias-Valadez<sup>1</sup> , C. M. Morales-Bautista<sup>1</sup>

## Resumen:

En el sector de hidrocarburos de México, los residuos de perforación representan un problema porque las técnicas para tratarlos aumentan los costos de producción. Al respecto, la desorción térmica representa una buena opción, aunque presente variaciones en las remociones de hidrocarburos, lo cual causa costos agregados ya que algunos residuos necesitan ser tratados nuevamente. Es por esto, que el objetivo del presente trabajo fue identificar estas variaciones según la temperatura de tratamiento (< 320 °C) a escala de laboratorio. Los resultados mostraron que las muestras tenían minerales en común (cuarzo, barita y anhidrita) que no variaron después de los tratamientos. Sin embargo, se encontraron otros minerales en algunas muestras, que no estaban presentes en otras. Los hidrocarburos disminuyeron con respecto a los cambios de temperatura. Sin embargo, al comparar los porcentajes removidos y las fracciones, fueron diferentes entre sí. Además, se detectó Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, V, Ba, Fe y Mn, pero su concentración en los lixiviados fue baja. Se concluyó que la variación en los constituyentes de los recortes de perforación podría depender de la fuente de generación y que este factor podría influir en las propiedades finales del sólido tratado ya que, si bien se logra la remoción de hidrocarburos, las fracciones presentes y la concentración de metales fueron diferentes entre las muestras.

**Palabras clave:** Hidrocarburo, Metales, Mineralogía, Residuo

**Institución de adscripción de cada autor:**

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1 Col. La Esmeralda C. P. 86690. Cunduacán, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Álvaro Obregón 64, Centro, 78300 San Luis, S.L.P. México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Departamento de Recursos del Mar. Antigua carretera a Progreso Km. 6, C.P. 97310. Mérida, Yucatán, México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## **Nombre del artículo:**

**Fracciones de hidrocarburos en la evaluación del impacto ambiental de suelos contaminados**

## **Autores:**

**Leydi L. Vázquez-Vázquez;** Marcia E. Ojeda-Morales; María E. Macías-Valadez Treviño; Irma Sánchez-Lombardo; Marcela Zurita Macías-Valadez; Candelario Méndez-Olán; Carlos M. Morales-Bautista.

## **Resumen:**

El sureste mexicano es uno de los mayores productores del hidrocarburo del país. Paralelamente, es una de las regiones con muchos derrames de este recurso natural y sus derivados. Debido a que actualmente, en esta región, se desarrollan diversos proyectos que combinan activadas petroleras y agropecuarias, es preciso establecer herramientas de evaluación para reducir riesgos al medio ambiente y a la salud pública, así como garantizar la producción de alimentos. Por esto, se expresa la pertinencia de incluir el tipo de suelo y las variaciones de las fracciones de los hidrocarburos en las leyes y normas que se emplean en las evaluaciones ambientales. En consecuencia, se contaminaron experimentalmente en el laboratorio, con petróleo crudo pesado, tres suelos del estado de Tabasco. Se analizó la fertilidad de suelos, la concentración de hidrocarburos y las variables de respuesta: tiempo de intemperizado (1 año), Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) y las fracciones de hidrocarburos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA). Los resultados muestran que hay diferencia en las concentraciones de HTP después de intemperizar los suelos, en los que, propiedades como arcilla y acidez participan en las variaciones de las fracciones SARA, de tal modo, que los menos arcillosos presentan mayores degradaciones de saturados, aromáticos y resinas, pero el suelo arcilloso posee baja degradación de estas fracciones. En cuanto a los impactos, los suelos con bajo contenido en arcilla poseen repelencia al agua y los arcillosos corren el riesgo de biomagnificar fracciones aromáticas.

**Palabras clave:** Suelos, asfaltenos, aromáticas, arcillas, pH.

## **Institución de adscripción de cada autor:**

División Académica de Ciencias Básicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

## Nombre del artículo:

**Métodos aplicados en Líneas Base Ambientales del sector energético mexicano**

## Autores:

L.L. Vázquez-Vázquez<sup>1</sup>, I.M. de la Garza-Rodríguez<sup>2</sup>, A.R. Rodríguez-Luna<sup>1</sup>, D.S. García-Zaleta<sup>1</sup>, Méndez-Olán<sup>1</sup>, C.M. Morales-Bautista<sup>1</sup>.

## Resumen:

En México, para reactivar las instalaciones petroleras se implementan Líneas Bases Ambientales o LBA, pero cuando se aplican en sitios con presencia de derrames añejos, estas presentan grandes restos en el muestreo, determinación de hidrocarburos y la comparativa con el uso de suelo. En este trabajo, se presenta un modelo para implementar LBA considerando dos aspectos importantes: modificaciones en el método de determinación de hidrocarburos, los cambios en las propiedades de los suelos debido a la presencia de hidrocarburos. En los resultados, se observó que el solvente halogenado mostró mejores resultados que el hexano, ya que el primero encontró más sitios por encima del límite permisible o LMP (4400 mg/Kg). Además, se encontró una relación entre los Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP) y los cambios en las propiedades de los suelos, tales como un aumento en densidad aparente y real (DA y DR, respectivamente), así como de conductividad eléctrica (CE) y el porcentaje de arenas (% A), y la disminución de capacidad de campo y el contenido de arcillas (CC y % R, respectivamente). Es importante señalar que, CC, pH y CE, aumentan cuando los hidrocarburos superan el límite permisible para uso agrícola.

**Palabras clave:** suelo, hidrocarburos, diagnóstico, contaminación.

## Institución de adscripción de cada autor:

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Básicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Facultad de Química, Universidad Autónoma de Coahuila, 25280, Saltillo, Coahuila, México.