



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BÁSICAS



**CARACTERIZACIÓN DE HIDROCARBUROS NO VOLÁTILES EN AGUAS DE POZO PROFUNDO Y EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO AGUAS SANITARIAMENTE TOLERABLES**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN QUÍMICA APLICADA CON ORIENTACIÓN A FARMACIA**

PRESENTA

L.Q. SOFÍA DEL ROSARIO MUÑOZ DE LA CRUZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DRA. PATRICIA MENDOZA LORENZO

EN CODIRECCIÓN DE:

DR. MIGUEL ÁNGEL VILCHIS REYES

CUNDUACÁN, TABASCO. NOVIEMBRE, 2025

### **Declaración de Autoría y Originalidad**

En la ciudad de Cunduacán, el día 30 del mes de septiembre del año 2025, la que suscribe Sofía del Rosario Muñoz De La Cruz, alumna del programa de la MAESTRÍA EN CIENCIAS EN QUÍMICA APLICADA CON ORIENTACIÓN A FARMACIA con matrícula 172A27006, adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autor de la tesis presentada para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Química Aplicada y titulada CARACTERIZACIÓN DE HIDROCARBUROS NO VOLÁTILES EN AGUAS DE POZO PROFUNDO Y EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO AGUAS SANITARIAMENTE TOLERABLES dirigida por la Dra. Patricia Mendoza Lorenzo y el Dr. Miguel Ángel Vilchis Reyes. 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, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de citas. 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.

Cunduacán, Tabasco a 30 de septiembre 2025.



---

L.Q Sofía del Rosario Muñoz De La Cruz



# UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



División  
Académica  
de Ciencias  
Básicas



2025  
AÑO DE LA  
Mujer  
Indígena

DIRECCIÓN

22 de octubre de 2025

**LIC. SOFÍA DEL ROSARIO MUÑOZ DE LA CRUZ  
EGRESADA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN QUÍMICA APLICADA  
PRESENTE**

Por medio del presente y de la manera más atenta, me dirijo a Usted para hacer de su conocimiento que se le **AUTORIZA** la impresión del trabajo titulado **“CARACTERIZACIÓN DE HIDROCARBUROS NO VOLÁTILES EN AGUAS DE POZO PROFUNDO Y EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO AGUAS SANITARIAMENTE TOLERABLES”** dirigido por la Dra. Patricia Mendoza Lorenzo y el Dr. Miguel Ángel Vilchis Reyes, bajo la modalidad de titulación por Tesis.

La Comisión revisora conformada por el M.C. Daniel Alejandro Vázquez Cahuich, Dr. Carlos Mario Morales Bautista, Dr. Cuauhtémoc Alvarado Sánchez, Dr. Oswaldo Ignacio Hernández Abreu y Dra. Patricia Mendoza Vázquez, aprobó el documento en virtud de reunir los requisitos para el EXAMEN PROFESIONAL y obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Química Aplicada**.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

**DRA. HERMICENDA PÉREZ VIDAL  
DIRECTORA**



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS BÁSICAS

C.C.P.- Archivo.

Dir 'Dra.HPV/JP' Dra.EAM/jkal *J*

|Km.1 Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, A.P. 24, C.P. 86690, Cunduacán, Tab., México.  
Tel/Fax: (993) 3581500 Ext. 6702,6701 E-Mail: direccion.dacb@ujat.mx

www.ujat.mx

## Carta de cesión de derechos

Villahermosa, Tabasco a 30 de septiembre de 2025.

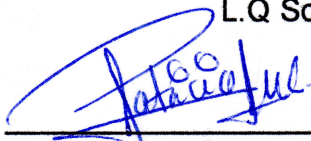
Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTOR y/o Autores en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **CARACTERIZACIÓN DE HIDROCARBUROS NO VOLÁTILES EN AGUAS DE POZO PROFUNDO Y EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO AGUAS SANITARIAMENTE TOLERABLES.**

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 período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

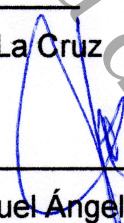
### COLABORADORES



L.Q. Sofía del Rosario Muñoz De La Cruz



Dra. Patricia Mendoza Lorenzo

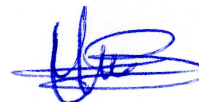


Dr. Miguel Ángel Vilchis Reyes

### TESTIGOS



Dr. Quirino Torres Sauret



José Miguel Pérez Peralta

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por mi formación académica y el uso de su infraestructura.

A la División Académica de Ciencias Básicas, en particular a la Dirección, a la Coordinación de Docencia y a la Coordinación de Posgrado, por el seguimiento durante mis estudios de maestría y las facilidades otorgadas para el uso de las aulas y de los laboratorios.

Al **Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** actualmente como **Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)** por la beca de estudios recibida durante los estudios de posgrado (Maestría en Ciencias en Química Aplicada). No. de becario (863736).

A mis directores de tesis, la **Dra. Patricia Mendoza Lorenzo** y al **Dr. Miguel Ángel Vilchis Reyes**, por la paciencia y todo el apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

Al comité revisor por las recomendaciones que nos permitieron mejorar el presente documento: **Mtro. Daniel Vázquez Cahuich, Dr. Carlos Mario Morales Bautista, Dr. Cuauhtémoc Alvarado Sánchez, Dr. Oswaldo Hernández Abreu.**

A la **Dra. Araceli Olivares Guerrero**, al médico veterinario **MVZ. Alejandro Aburto De la Rosa** y a la **Unidad de Producción, Cuidado y Experimentación Animal (UPCEA)** de la División Académica de Ciencias de la Salud (DACS) por el apoyo y las facilidades otorgadas durante el proceso de evaluación toxicológica en el modelo *BALB/c*.

Al **Dr. Emanuel Hernández Núñez** y al **Departamento de Recursos del Mar del CINVESTAV MÉRIDA**, por el apoyo y colaboración durante el proceso de caracterización de muestras de agua de pozo profundo mediante análisis de cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID).

Al **Dr. Oswaldo Ignacio Hernández Abreu**, por el asesoramiento científico y técnico brindado durante el proceso de evaluación toxicológica del modelo *BALB/c*.

Al **Lic. Joel Flores Jiménez** y **Lic. Wilber Pérez Fuentes** del Laboratorio de Química (LQ3) y al **Dr. Quirino Torres Sauret** del Laboratorio de Microbiología (LQFB1), por el apoyo técnico brindado a este proyecto.

Al **Dr. Francisco Hernández De La Rosa** y al **Dr. José Luís Benítez** por su amable soporte y asesoramiento en el análisis estadístico de los datos.

A los compañeros **Juan Antonio** y **Roberto Gil** por su acompañamiento y apoyo técnico durante el trabajo de campo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## *Dedicatoria*

*Nuevamente a ti, muchas gracias.*

*Para mis inspiraciones, los amo.*

*Familia Muñoz De La Cruz y familia Torres Saurét, gracias por su apoyo incondicional. Gracias a ustedes pude empezar y culminar este hermoso trabajo el cual les dedico con mucho cariño.*

## Tabla de contenido

Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Abreviaturas.....	viii
Símbolos.....	x
Glosario.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
1. Introducción.....	1
CAPÍTULO II.....	3
2. Antecedentes.....	3
2.1. Historial de derrames petroleros en Cumuapa.....	3
2.2. Afectaciones por hidrocarburos.....	5
2.2.1. Ambientales.....	5
2.2.2. Organismos acuáticos.....	6
2.2.3. Salud humana.....	7
2.3. Caracterización de crudos.....	7
CAPÍTULO III.....	10
3. Marco teórico.....	10
3.1. Agua.....	10
3.1.1. Propiedades fisicoquímicas.....	10
3.2. Análisis microbiológico.....	12
3.3. Viabilidad.....	13
3.4. Pozos de agua.....	15
3.5. Pozo artesanal.....	15

3.6	Pozo profundo o “perforado” .....	16
3.6.1.	Características de un pozo profundo .....	17
3.6.2.	Ventajas y desventajas.....	18
3.7.	Nitrógeno.....	19
3.7.1.	Ciclo del nitrógeno.....	20
3.8.	Hidrocarburos .....	23
3.8.1.	Hidrocarburos aromáticos.....	24
3.9.	Toxicidad .....	31
3.9.1.	Aguda.....	31
3.9.2.	Subagudo.....	31
3.9.3.	Subcrónicos.....	31
3.9.4.	Crónicos .....	32
3.10.	Modelos animales.....	32
CAPÍTULO IV.....		35
4.	Justificación .....	35
CAPÍTULO V.....		36
5.	Pregunta de investigación.....	36
CAPÍTULO VI.....		36
6.	Hipótesis.....	36
CAPÍTULO VII.....		37
7.	Objetivo general.....	37
7.1.	Objetivos específicos .....	37
CAPÍTULO VIII.....		39
8.	Metodología .....	39
8.1.	Zona de estudio .....	39

8.3. Análisis microbiológico .....	42
8.4. Evaluación toxicológica .....	43
CAPÍTULO IX.....	46
9. Resultados.....	46
9.2. Análisis microbiológico .....	50
9.3. Evaluación toxicológica .....	54
CAPÍTULO X.....	59
10. Discusión.....	59
CAPÍTULO XI.....	64
11. Conclusiones .....	64
CAPÍTULO XII.....	65
12. Perspectivas .....	65
CAPÍTULO XIII.....	66
13. Bibliografía.....	66
CAPÍTULO XIV .....	72
14. Anexos .....	72

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la localidad de Cumuapa, Cunduacán, Tabasco.	4
<b>Figura 2.</b> Análisis <b>SARA</b> .	8
<b>Figura 3.</b> Elementos de un pozo artesanal.	16
<b>Figura 4</b> Esquema interno de un pozo profundo.	17
<b>Figura 5.</b> Pozo profundo de la comunidad de Cumuapa.	18
<b>Figura 6.</b> Ciclo del nitrógeno.	21
<b>Figura 7.</b> Principales componentes del petróleo crudo.	23
<b>Figura 8.</b> Composición estructural del benceno.	24
<b>Figura 9.</b> Composición estructural del cloruro de bencilo.	25
<b>Figura 10.</b> Composición estructural del etano.	27
<b>Figura 11.</b> Composición estructural del cloruro de metileno.	29
<b>Figura 12.</b> Cepa ( <i>BALB/c</i> ).	34
<b>Figura 13.</b> Diagrama general de trabajo.	38
<b>Figura 14.</b> Puntos de muestreo.	39
<b>Figura 15.</b> Representación gráfica de las concentraciones obtenidas.	48
<b>Figura 16.</b> Cromatograma de la muestra de agua del <b>UPCEA</b> (control).	49
<b>Figura 17.</b> Cromatograma del petróleo crudo (referencia).	49
<b>Figura 18.</b> Cromatograma de la muestra de agua de pozo profundo <b>MAC09</b> .	50
<b>Figura 19.</b> Análisis microbiológico de las muestras de agua de pozo profundo de la localidad de Cumuapa, Cunduacán Tabasco.	51
<b>Figura 20.</b> Análisis microbiológico de <b>MAC13</b> y <b>MAC15</b> en medio selectivo y diferencial bisulfito de bismuto (MSSDbb).	52
<b>Figura 21.</b> Análisis microbiológicos de <b>MAC13</b> y <b>MAC15</b> en medio selectivo y diferencial XLD (MSSDxld).	52
<b>Figura 22.</b> Tinción positiva para microorganismos gramnegativos similares al género de las <i>Salmonellas</i> ( <b>MAC15</b> ).	53
<b>Figura 23.</b> Registro del peso corporal de todos los ratones cepa <i>BALB/c</i> durante el ensayo toxicológico.	54

<b>Figura 24.</b> Seguimiento del peso corporal de los ratones hembra. ....	55
<b>Figura 25.</b> Seguimiento del peso corporal de los ratones macho. ....	55
<b>Figura 26.</b> Patrón de respuesta al tratamiento por sexo. ....	58
<b>Figura 27.</b> Absorbancias obtenidas por espectrofotometría UV-Vis. ....	80
<b>Figura 28.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC1</b> . ....	81
<b>Figura 29.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC2</b> . ....	81
<b>Figura 30.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC3</b> . ....	82
<b>Figura 31.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC4</b> . ....	82
<b>Figura 32.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC5</b> . ....	83
<b>Figura 33.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC6</b> . ....	83
<b>Figura 34.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC7</b> . ....	84
<b>Figura 35.</b> Cromatograma de la muestra control <b>AC8</b> . ....	84
<b>Figura 36.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC01</b> . ....	85
<b>Figura 37.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC02</b> . ....	85
<b>Figura 38.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC03</b> . ....	86
<b>Figura 39.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC04</b> . ....	86
<b>Figura 40.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC05</b> . ....	87
<b>Figura 41.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC06</b> . ....	87
<b>Figura 42.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC07</b> . ....	88
<b>Figura 43.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC08</b> . ....	88
<b>Figura 44.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC10</b> . ....	89
<b>Figura 45.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC11</b> . ....	89
<b>Figura 46.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC12</b> . ....	90
<b>Figura 47.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC13</b> . ....	90
<b>Figura 48.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC14</b> . ....	91
<b>Figura 49.</b> Cromatograma de la muestra <b>MAC15</b> . ....	91
<b>Figura 50.</b> Análisis clínico <b>CH 1</b> . ....	92
<b>Figura 51.</b> Análisis clínico <b>CH 2</b> . ....	93
<b>Figura 52.</b> Análisis clínico <b>MH 1</b> . ....	94
<b>Figura 53.</b> Análisis clínico <b>MH 2</b> . ....	95
<b>Figura 54.</b> Análisis clínico <b>MH 3</b> . ....	96

<b>Figura 55.</b> Análisis clínico <b>CM 1</b> .....	97
<b>Figura 56.</b> Análisis clínico <b>CM 2</b> .....	98
<b>Figura 57.</b> Análisis clínico <b>MM1</b> .....	99
<b>Figura 58.</b> Análisis clínico <b>MM 2</b> .....	100
<b>Figura 59.</b> Análisis clínico <b>MM 3</b> .....	101

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Principales propiedades fisicoquímicas del agua. ....	10
<b>Tabla 2.</b> Límites microbiológicos permisibles en aguas. ....	12
<b>Tabla 3.</b> Ventajas y desventajas de los pozos profundos o perforados. ....	18
<b>Tabla 4.</b> Estados de oxidación del nitrógeno. ....	19
<b>Tabla 5.</b> Compuestos nitrogenados involucrados en procesos ambientales. ....	20
<b>Tabla 6.</b> Determinación de hidrocarburos totales no volátiles en muestras de agua de pozo profundo de Cumuapa (Cunduacán, Tabasco). ....	47
<b>Tabla 7.</b> Diferencia de peso identificada en hembras entre el grupo control y el grupo tratado. ....	54
<b>Tabla 8.</b> Diferencia de peso identificada en machos entre el grupo control y el grupo tratado. ....	55
<b>Tabla 9.</b> Análisis clínicos de la cepa <i>BALB/c</i> al término del ensayo toxicológico..	56
<b>Tabla 10.</b> Resumen comparativo de la respuesta al tratamiento por sexo. ....	57
<b>Tabla 11.</b> Análisis comparativo detallado de parámetros hepáticos. ....	57
<b>Tabla 12.</b> Coeficiente de variación (CV) por grupo y sexo. ....	57
<b>Tabla 13</b> Datos generales de cada pozo muestreado. ....	79

## Abreviaturas

<b>AC</b>	Agua comercial
<b>Ad libitum</b>	Libre demanda
<b>ATSDR</b>	Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
<b>CG-DIF</b>	Cromatografía de gases con detector de ionización de flama
<b>CH</b>	Control hembra
<b>CM</b>	Control macho
<b>DCM</b>	Diclorometano
<b>DNA</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>HA</b>	Hidrocarburos alifáticos
<b>HAP</b>	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ácido nítrico
<b>HS</b>	Hidrocarburos saturados
<b>HTP</b>	Hidrocarburos totales de petróleo
<b>IR</b>	Infrarrojo
<b>IUPAC</b>	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
<b>MAC</b>	Muestra de agua de pozo profundo de Cumuapa, Tabasco
<b>MCBVB</b>	Medio confirmativo bilis verde brillante
<b>MH</b>	Muestra hembra
<b>MM</b>	Muestra macho
<b>MPCL</b>	Medio presuntivo caldo lactosado
<b>mS/cm</b>	Micro siemens por centímetro
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>MSSDbb</b>	Medio sólido selectivo y diferencial de bisulfito de bismuto
<b>MSSDxld</b>	Medio sólido selectivo y diferencial de XLD
<b>N</b>	Normal
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>ppm</b>	Partes por millón

<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>RAE</b>	Real Academia Española
<b>RMN</b>	Resonancia Magnética Nuclear
<b>RMN <sup>1</sup>H</b>	Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno
<b>RMN <sup>13</sup>C</b>	Resonancia Magnética Nuclear de carbono-13
<b>RNA</b>	Ácido ribonucleico
<b>SARA</b>	Saturados, aromáticos, resina y asfaltenos
<b>STD</b>	Sólidos totales disueltos
<b>TGO/AST</b>	Transaminasa glutámica-oxalacética
<b>TGP/ALT</b>	Transaminasa glutámica-pirúvica
<b>UNT</b>	Unidad nefelométrica de turbiedad
<b>UV</b>	Ultravioleta

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Símbolos

$\mu$	Micro
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
$\rho$	Densidad
$\sigma$	Tensión superficial
$s$	Desviación estándar
$\pm$	Más menos que
$<$	Menor que
$>$	Mayor que
$\leq$	Menor o igual que
$\geq$	Mayor o igual que

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Glosario

**Biomonitor:** sistemas vivos que indican la presencia de perturbaciones o contaminantes.

**Brocal:** antepecho alrededor de la boca de un pozo.

**Cromatograma:** gráfico que presenta la separación de una mezcla mediante técnicas cromatográficas

**Endogámico:** unión o reproducción entre individuos de ascendencia en común.

**Hemograma:** descripción y número de las diversas clases de células que se encuentran en una cantidad determinada de sangre y de las proporciones entre ellas.

**Hipertransaminasemia:** elevación de los valores de transaminasas séricas durante un periodo no inferior a seis meses.

**Ictericia:** color amarillento de la piel y de las mucosas.

**Lixiviación:** quím. Tratar una sustancia compleja con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles.

**Orina:** desdoblamiento metabólico de las proteínas.

**Petrogénica:** perteneciente o relativo a la petrología.

**Pirólisis:** degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno.

**Porfiria:** grupo de trastornos provocados por carencia de las enzimas que se encargan de la síntesis del hemo.

**Pozos:** perforación que se hace en la tierra para buscar una vena de agua.

**Pozo artesanal:** pozo artesiano, hoyo profundo que se excava para extraer agua contenida entre dos capas subterráneas impermeables.

**Pozo perforado:** perforación hecha en el terreno a través de diferentes formaciones geológicas, hasta profundidades mayores a los 30 m para captar agua.

**Pozo profundo:** termino regional de la zona Sur-Sureste comúnmente asignado a la perforación del suelo para la obtención de agua subterránea cuya profundidad puede variar entre 10 y 35 m.

**Saprófitas:** planta o microorganismos que se alimenta de materia orgánica en descomposición.

**Sedimento:** conjunto de partículas sólidas que quedan depositadas en el fondo del recipiente que contiene un líquido.

**Teratógeno:** agente que produce malformaciones en el embrión o feto.

**Termotolerantes:** resistente a altas temperaturas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

**CARACTERIZACIÓN DE HIDROCARBUROS NO  
VOLÁTILES EN AGUAS DE POZO PROFUNDO Y  
EVALUACIÓN DE SU VIABILIDAD COMO AGUAS  
SANITARIAMENTE TOLERABLES**

---

## RESUMEN

En el municipio de Cunduacán, Tabasco; se han presentado accidentes por fugas de hidrocarburos. Es por lo que este proyecto tiene como objetivos el realizar análisis fisicoquímicos, microbiológicos y toxicológico de muestras de aguas de pozos profundos de esta localidad. Para ello se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de acuerdo con las recomendaciones establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes. Con un total de ocho muestras control y 15 recolectadas en campo, se procedió con los análisis de los parámetros iniciales como fueron pH, Conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), entre otros análisis, así como la detección de hidrocarburos no volátiles mediante técnicas espectroscópicas, la localización de microorganismos patógenos y la evaluación toxicológica de la muestra que presentó mayor concentración de hidrocarburos. Los análisis físicos de las muestras registraron valores de pH y temperatura dentro de los límites aceptables, a diferencia de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. Se reveló el contenido de derivados de petróleo, presencia de microorganismos patógenos-infecciosos y en el proceso de evaluación toxicológica se descartó un cambio significativo. En conclusión, los análisis muestran que estas aguas no son aptas para consumo humano.

**Palabras claves:** Agua, pozo profundo, contaminación por hidrocarburo.

## ABSTRACT

In the municipality of Cunduacan, Tabasco; incidents have occurred because of hydrocarbon leakage. The objective of this project was to conduct physicochemical, microbiological, and toxicological analyzes of water samples from deep wells in the municipality of Cunduacan. In accordance with the recommendations established in the current Official Mexican Standards, a physicochemical and microbiological characterization was conducted. A total of eight control samples and 15 samples collected in the field were subjected to analysis. The initial parameters, including pH, electrical conductivity (EC), and total dissolved solids (TSD), were evaluated. Additionally, non-hydrocarbon volatile compounds were identified through spectroscopic techniques. The presence of pathogenic microorganisms was determined, and the toxicological assessment was conducted on the sample with the highest concentration of hydrocarbons. The physical analyses of the samples yielded pH and temperature values within acceptable limits, whereas the electrical conductivity and total dissolved solids values fell outside the acceptable range. The presence of petroleum derivatives and pathogenic-infectious microorganisms was confirmed, and a significant change was ruled out in the toxicological evaluation process. Consequently, the analyses indicate that these waters are unsuitable for human consumption.

**Keywords:** Water, deep well, oil pollution.

## CAPÍTULO I

### 1. Introducción

El estado de Tabasco, por su clima cálido-húmedo (INEGI, 2015a) y su ubicación (INEGI, 2015b); permite a sus habitantes realizar una amplia gama de actividades fructíferas, turísticas e industriales (INEGI, 2015a). Estas actividades productivas han propiciado un aumento en la cantidad de contaminantes presentes en el ambiente siendo los suelos y los mantos acuíferos los más afectados.

Son múltiples las causas que generan daños al ambiente (extracción de recursos forestales, pesca, extracción del petróleo, carbón y ocupación de territorios)(Ambiental, 2013), sin embargo, los derramamientos y los vertimientos de petróleo crudo y sus derivados, en suelos y cuerpos de agua dentro de las comunidades, se han convertido en un importante factor de riesgo que amenaza constantemente la salud de las poblaciones y de los ecosistemas de la región sureste de nuestro país. Es larga la lista de casos de derrames de petróleo ocurridos en la región y grandes poblaciones humanas, que ahí habitan, son constantemente expuestas a estos sucesos. De acuerdo con la literatura, la mayoría de los componentes del petróleo y sus derivados, así como la mayoría de los metabolitos que generan, están siendo relacionados con un mayor riesgo a desarrollar enfermedades como obesidad u otras alteraciones relacionadas con el metabolismo de lípidos (Secretaría de salud, 2015; Kim *et al.*, 2014).

La zona de muestreo del presente estudio se encuentra en la localidad de Cumuapa, este sitio pertenece al municipio de Cunduacán, Tabasco, ubicada en una región con alta exposición a derrames por hidrocarburos en la región sureste del país, y las poblaciones humanas que habitan en la zona están constantemente expuestas a la presencia de estos contaminantes en suelo, aire y agua (Agencias, 2006; Pérez, 2017; Tabasco Hoy, 2020; Triano-Coronel, 2012a, 2012b, 2019). De acuerdo con la Secretaría de Salud del Estado, las enfermedades metabólicas como diabetes y obesidad mantienen un incremento constante en la región y los factores de riesgo que pudieran favorecer estas condiciones aún son inciertas (Secretaría de salud, 2015). Estudios previos, han permitido detectar presencia de compuestos químicos en aguas de pozos en comunidades expuestas a

distintos contaminantes, lo cual deja muchas interrogativas sobre los efectos secundarios que estos puedan llegar a ocasionar a los habitantes, animales y plantas debido a su exposición durante periodos de tiempo prolongados.

En la presente investigación se determinaron y caracterizaron hidrocarburos que pudieran estar presentes en aguas de pozo profundo. Adicionalmente, se evaluó su viabilidad como aguas sanitariamente tolerables y establecer su posible asociación con el desarrollo de alteraciones metabólicas entre sus poblaciones. Asimismo, se determinó si son aptas para consumo humano conforme a lo establecido por las normas oficiales mexicanas (NOM).

Los análisis físicos de las muestras registraron valores de pH y temperatura dentro de los límites aceptables, a diferencia de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. Se constató el contenido de derivados de petróleo, la presencia de microorganismos patógenos-infecciosos y en el proceso de evaluación toxicológica los resultados obtenidos al aplicar las pruebas estadísticas no fueron significativos descartando algún daño en el modelo evaluado. En conclusión, los análisis muestran que estas aguas no son aptas para consumo humano.

## CAPÍTULO II

### 2. Antecedentes

#### 2.1. Historial de derrames petroleros en Cumuapa

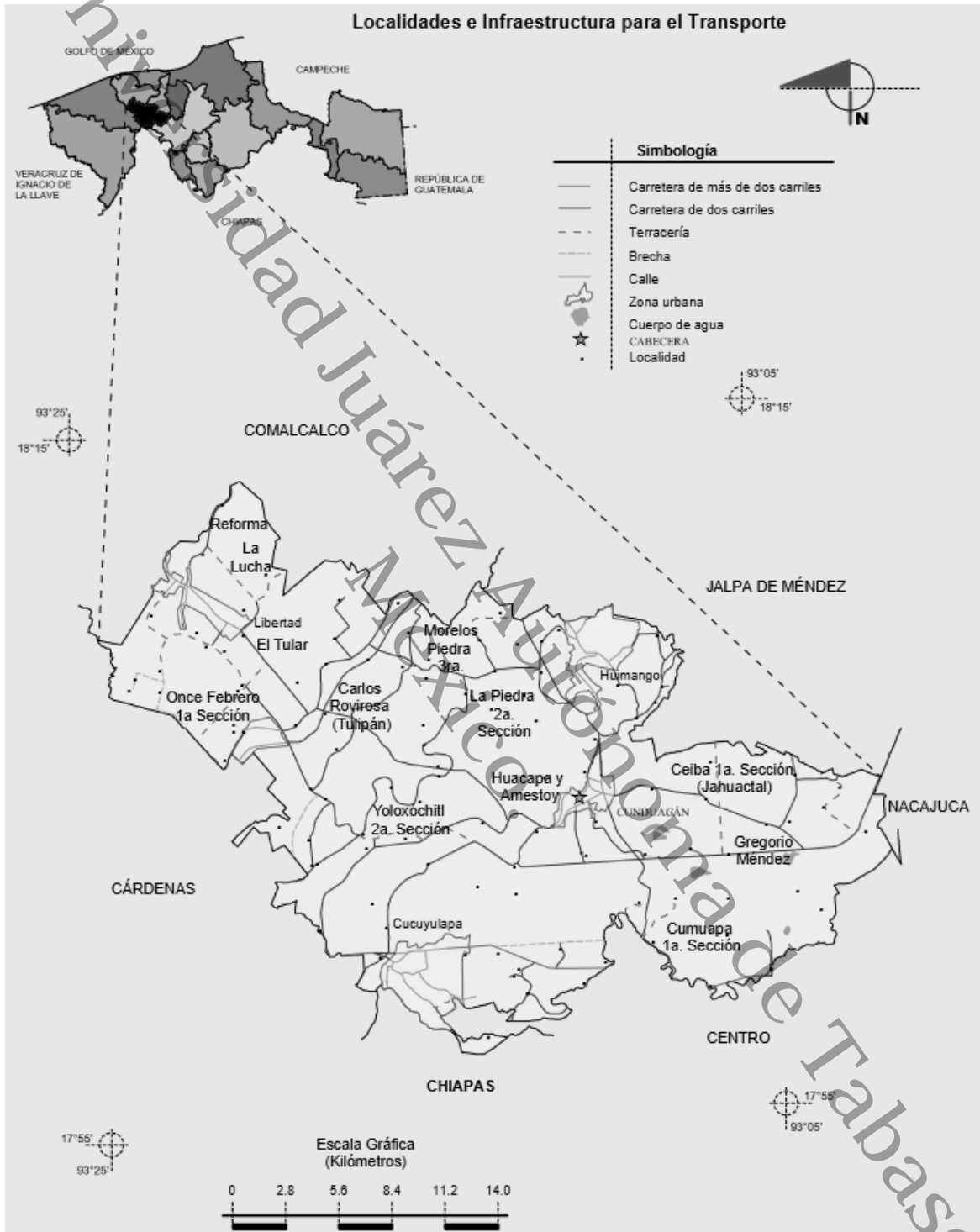
La localidad de Cumuapa, ubicada en el municipio de Cunduacán (**Figura 1**) ha reportado diversos derrames en las últimas décadas (Pérez, 2017; Tabasco Hoy, 2020; Triano-Coronel, 2012a, 2012b, 2019).

Durante 2012 se reportaron dos derrames, uno en Agosto (Triano-Coronel, 2012a) afectando 10 hectáreas de pastizales y otro en diciembre, este último nuevamente de agua salada con hidrocarburo (Triano-Coronel, 2012b).

En 2017, se reportó el tercer derrame en esta comunidad, poniendo en peligro a los pobladores y a las especies que ahí habitan (Pérez, 2017). Uno más en el 2019 derivado de una fuga que duró más de un mes contaminando los drenes cercanos a la zona y acabando con la flora y fauna (Triano-Coronel, 2019). Para el 2020, se suscitó el último incidente de derrame de crudo, por falta de mantenimiento a los ductos de esta zona los cuales fluían en grandes cantidades, dañando nuevamente a pastizales ubicados en las cercanías de la batería petrolera de esta zona (Tabasco Hoy, 2020).

**Figura 1.**

*Ubicación geográfica de la localidad de Cumuapa, Cunduacán, Tabasco.*



Nota. Tomado de INEGI, 2010.

## 2.2. Afectaciones por hidrocarburos

### 2.2.1. Ambientales

En 1971, Levy empleó la espectroscopía UV, para el análisis de aguas contaminadas del este de Canadá, detectando la presencia de aceites y derivados de hidrocarburos (Levy, 1972).

En el 2005, Calva *et al.*, identificaron quince hidrocarburos saturados (HS) en sedimentos superficiales y núcleos sedimentarios en la Laguna Sontecomapan, Veracruz, mediante cromatografía de gases de alta resolución con detector de ionización de flama (CG-DIF). Las concentraciones de los HS registraron rangos entre 0.21 y 12.75  $\mu\text{g g}^{-1}$  en los sedimentos superficiales con presencia de *n*-alcanos como C18, C20, C21, C22 y C23, mientras que para los núcleos sedimentarios oscilaron entre 1.33 y 32.01  $\mu\text{g g}^{-1}$  con presencia de C30, C32, C21, C28, C20, C25, C23, principalmente (Calva B. *et al.*, 2005).

En 2010, González *et al.*, mediante análisis de infrarrojo (IR) y CG-DIF reportaron que las aguas de grifos, pozos y ríos de ciertas zonas de las comunidades de Bolivia, expuestas a la actividad petrolera, presentaban algún tipo de contaminante petroquímico en concentraciones superiores a las establecidas por la normatividad internacional y nacional (hasta en un 76%), siendo los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) los contaminantes más frecuentes, seguidos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hierro, aluminio, arsénico y manganeso (González *et al.*, 2010).

En 2013, en la costa del mediterráneo egipcio, Ahmed *et al.*, analizaron los resultados obtenidos de diez muestras de sedimentos marinos que recolectaron a lo largo de la costa, con el objetivo de conocer si los contaminantes presentes tenían origen petrogénico de fuentes naturales o de actividades antropogénicas, encontrando que los sedimentos marinos contienen compuestos propios de los HAP e hidrocarburos de tipo alifático (HA) provenientes de hidrocarburos (Nemr *et al.*, 2013).

En el 2018, Brewster *et al.*, caracterizaron la parte baja del Río Fox, ubicado en Wisconsin, U.S., reportando la presencia de HAP (24.800  $\text{ng g}^{-1}$  de hidrocarburo policíclico medio), HA de tipo C25 a C35 (3.51 - 117  $\mu\text{g/g}$ ) y carbono orgánico total (COT)

teniendo valores porcentuales oscilando entre 0,73 y 19,9% con un valor promedio de 6,74%, demostrando una abundante entrada de biomasa terrestre, posiblemente por arrastre de partículas y debido los altos pesos moleculares de los HAP se indicó la presencia de hidrocarburos y conocieron la distribución de los contaminantes (Brewster *et al.*, 2018).

Recientemente, en 2018, Muñoz, *et al.*, por medio de resonancia magnética nuclear (RMN) e IR, determinaron la presencia de HTP's en muestras de aguas de pozos artesanales, encontrando concentraciones de HA superiores a las establecidas por la normatividad nacional en sitios con exposición a derrames de petróleo en Cumuapa, Tabasco (Muñoz De La Cruz *et al.*, 2018).

### 2.2.2. Organismos acuáticos

En 1994, Hermida, *et al.*, determinaron los niveles de hidrocarburos alifáticos en mejillones de roca (*Mytilus galloprovincialis*) en las costas de Galicia (España), utilizando a estos organismos como biomonitores debido su capacidad de filtrar y gran tendencia a acumular contaminantes, estos se recolectaron de poblaciones que fueron criadas en balsas a lo largo de 1200 km de la costa, obteniendo los hidrocarburos alifáticos por extracción Soxhlet y posteriormente cuantificado por cromatografía de gases con detector de flama de ionización (CG-FID), logrando detectar la presencia de hidrocarburos alifáticos como C18, C19, C20, C22, C24, C28, C32 y C36 (Hermida Ameijeiras *et al.*, 1994).

Para el año de 1997, Gold-Bouchot *et al.*, realizaron un estudio para determinar el impacto de la contaminación por petróleo crudo en la producción de ostras (*Crassostrea virginica*) ocasionándoles la muerte, donde les determinaron la presencia de residuos de hidrocarburos en las principales lagunas de producción del estado de Tabasco, México: el Carmen, la Machona y Mecoacán reportando que sí se encontró la presencia de hidrocarburos de tipo alifático y aromáticos, pero a esto no se le atribuye la mortalidad de las ostras (Gold-Bouchot *et al.*, 1997).

En el 2018, Magnuson *et al.*, estudiaron la toxicidad del petróleo crudo en peces como el tambor rojo embrionario (*Sciaenops ocellatus*) y el pez carnero (*Cyprinodon*

*variegatus*), después de ser expuestos al agua con contaminantes se empezaron a notar alteraciones como la desregulación de los genes propios del desarrollo y función de los ojos, así como anomalías morfológicas que fueron evaluadas por un optomotor y finalmente con un análisis histológico. Esto se lo atribuyeron a la presencia de HAP presentes en las muestras de agua obtenidas del Golfo de México (Magnuson *et al.*, 2018).

### 2.2.3. Salud humana.

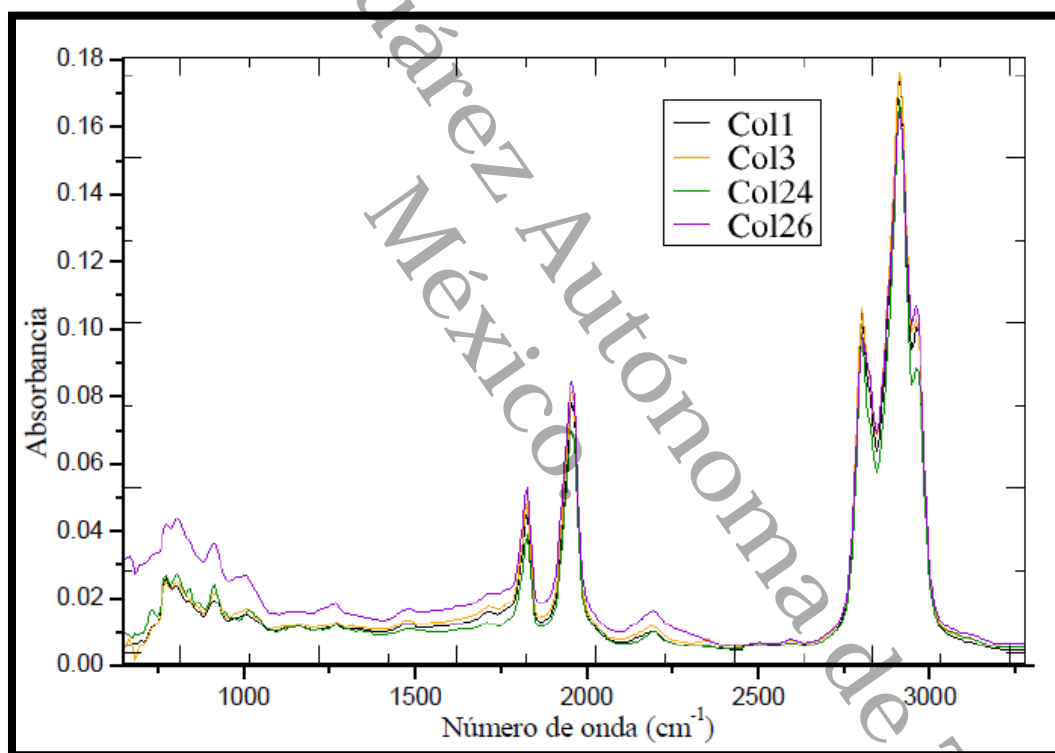
Para el 2016, Pérez, *et al.*, investigaron la presencia de hipertransaminasemia, como expresión bioquímica que muestra daño hepático y poder asociarlo con la exposición a BTX (benceno, tolueno y xileno) a 167 trabajadores de una empresa petroquímica durante 9 meses, de los cuales 95 estuvieron expuestos y 72 trabajadores no lo estuvieron. Del grupo expuesto, 27 individuos (29.4%) y uno del de no expuestos presentaron hipertransaminasemia ( $p=0.001$ ), el resto de las pruebas bioquímicas, hemogramas y de los parámetros analizados no mostraron diferencias significativas entre ambos grupos. De estos 27 pacientes, 14 (51.9%) padecían hígado graso y el individuo del grupo no expuesto que presentó alanino-aminotransferasa (ALAT) elevada, también su ecografía fue compatible con hígado graso. Las cantidades de los compuestos orgánicos ambientales fueron inferiores a las 5 ppm como límite por el periodo estudiado. La odds ratio (OR) en el grupo que desarrolló hipertransaminasemia fue de 27.7 ( $p=0.002$ ) con un intervalo de confianza del 95%, es decirlo que más explica la probabilidad de presentar hipertransaminasemia es la exposición a hidrocarburos (Alberto Pérez *et al.*, 2006).

### 2.3. Caracterización de crudos

En el 2011, Lache-García, *et al.*, confirmaron la utilidad de la combinación de espectroscopía infrarroja en la región media (FTIR-MIR) con reflectancia total atenuada (ATR) para la caracterización de 27 muestras de petróleo crudo provenientes del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) obteniendo resultados favorables (**Figura 2**) en la cuantificación del análisis de saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos conocido como SARA (Lache-García *et al.*, 2011).

En el 2015, Castellanos, M. L., *et al.*, realizaron la evaluación de presencia de los hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) y sus efectos sobre las propiedades del suelo en la zona urbana de Maicao, Colombia. Para ello se obtuvieron un total de 18 muestras de suelo, de las cuales nueve fueron de zonas con derrames históricos y nueve no presentaron contaminantes, a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm, realizando las extracciones de HTP's por el método de reflujo en Soxhlet e identificando por CG-FID, teniendo como resultado altas fracciones de HTP's con efecto diferencial sobre las capas del suelo (Castellanos *et al.*, 2016).

**Figura 2.**  
*Análisis SARA.*



*Nota:* Tomada de *Predicción del análisis SARA de crudos colombianos por métodos Quimiométricos utilizando espectroscopia infrarroja-ATR* (p. 646), por Lache-García, A., *et al.*, (2011). *Revista Colombiana de Física*, 43.

En el 2019, Alegría-Hernández, B. A., *et al.*, propusieron calcular los cambios que mostraban las distintas concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo en muestras de suelo tipo aluvial y lomerío del estado de Tabasco, para determinar si cambian al ser intemperizados y así notar si hay diferencias entre las concentraciones dependiendo el tipo de suelo concluyendo que el tipo de suelo es un factor muy importante para el

proceso de degradación, conversión o lixiviación de los hidrocarburos que están estrechamente asociadas a la retención hídrica y a la compactación del suelo (Alegría-Hernández *et al.*, 2019).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## CAPÍTULO III

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Agua

##### 3.1.1. Propiedades fisicoquímicas

El agua es un compuesto químico que cuenta con propiedades fisicoquímicas definidas, aportando una mejor información al momento de evaluar conforme a lo establecido por las normas. La **Tabla 1** muestra de manera general las principales propiedades fisicoquímicas del agua (Dingman, 2015).

**Tabla 1.**

*Principales propiedades fisicoquímicas del agua.*

Propiedades	Valor en superficie
Punto de fusión	0°C
Punto de ebullición	100°C
Densidad ( $\rho$ )	999.73 kg/m <sup>3</sup> (10°C)
Viscosidad ( $\mu$ )	0.001307 N·s/m <sup>2</sup> (10°C)
Tensión superficial ( $\sigma$ )	0.074201 N/m (10°C)
pH	7
Color	Incoloro

*Nota:* Tomada de (Dingman, 2015).

De acuerdo con la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), al agua se le puede nombrar de otras maneras como oxidano, óxido de dihidrógeno o dihidrógeno de monóxido. Dentro de sus principales características es que es incolora, inodora e insípida y su molécula está conformada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno (H<sub>2</sub>O). Una molécula de agua está cargada electrostáticamente en un extremo una carga negativa y en el otro, dos cargas positivas lo que ocasiona cierta complejidad a diferencia de otros compuestos que tienen un peso molecular similar debido a que las atracciones entre cargas opuestas son más fuertes que las de Van der Waals, esto se conoce como enlaces de hidrógeno (Boyd, 2020).

Otra diferencia que presenta esta molécula de agua ante moléculas de peso molecular similar es que para poder lograr un cambio de fases mediante la reorganización de los enlaces de hidrógeno se necesita una gran entrada o eliminación de energía (calor latente o entalpía) lo suficiente que pueda llegar a producir el cambio de fase (Boyd, 2020).

### 3.2. Análisis microbiológico

Los agentes patógenos como las bacterias, virus, protozoarios, hongos y parásitos que entran en contacto con las aguas, son los principales contaminantes provenientes de desechos orgánicos. También se encuentran los contaminantes químicos inorgánicos que alteran su pureza. Estos tipos de contaminantes son el resultado de actividades humanas y de procesos químicos naturales (CONAGUA, 2004).

La contaminación de las aguas naturales o potables por contenido de coliformes fecales es un punto muy importante para determinar su calidad, estos microorganismos se encuentran de manera natural en intestinos humanos y otros seres vivos de sangre caliente, no suele ser común que se encuentren presentes en el agua (**Tabla 2**) debido a su poca probabilidad de sobrevivir en ella (Secretaría de Economía, 2015)

Los microorganismos de tipo coliformes son de tipo gramnegativos, no esporulados y se caracterizan por ser bacterias bacilares con forma de bastón, son de crecimiento aeróbico, al igual que anaeróbico facultativo si hay presencia de sales biliares. Estas bacterias también pueden ser capaces de fermentar la lactosa y el manitol con producción de gases, ácidos y aldehídos en un periodo de 48 h al ser incubadas a  $35 \pm 0.5$  °C (Secretaría de Economía, 2015).

**Tabla 2.**

*Límites microbiológicos permisibles en aguas.*

Microorganismos	Límite permisible
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

*Nota.* Fuente: Tomada de (Secretaría de salud, 2000)

Otro microorganismo de tipo patógenos que pudiese estar presente en muestras de aguas naturales como de aguas potables son los miembros del género *Salmonella* y se consideran patógenos por encontrarse presentes en alimentos y tienen la capacidad de ocasionar enfermedades al ser humano (Secretaría de salud, 2014).

Se le conoce como *Salmonella* al bacilo gramnegativo, aerobio o anaerobio facultativo, generalmente lactosa negativa y móvil, no esporulado, que al igual que a los seres humanos, puede causar algún daño a otros animales (Secretaría de salud, 2014).

### 3.3 Viabilidad

De acuerdo con la Real Academia Española (RAE), se entiende por viable a un objetivo que por sus circunstancias tiene probabilidades de llevarse a cabo (Real Academia Española, 2018). Por esta razón se han seleccionado un grupo de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) que establecen las condiciones tanto de muestreo, procesamiento y valores de referencias para aguas naturales y potables, Publicadas en el Diario Oficial de la Federación (<https://www.dof.gob.mx>) enlistadas a continuación:

- **Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-000-SSA1-2010.** Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua y requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados, su control y vigilancia. Procedimiento sanitario de muestreo.
- **NMX-AA-005-SCFI-2013.** Análisis de agua medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas– Método de prueba.
- **NMX-AA-042-SCFI-2015.** Análisis de agua -Enumeración de organismos coliformes totales, organismos 7T coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* –Método del número más probable en tubos múltiples.
- **NMX-AA-117-SCFI-2001.** Análisis de agua. Determinación de hidrocarburos totales del petróleo (HTP's) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
- **NOM-012-SSA1-1993.** Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.

- **NOM-014-SSA1-1993.** Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
- **NOM-112-SSA1-1994.** Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.
- **NOM-127-SSA1-1994.** Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- **NOM-179-SSA1-1998.** Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.
- **NOM-210-SSA1-2014.** Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.
- **NOM-230-SSA1-2002.** Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

### 3.4. Pozos de agua

Para las zonas rurales, donde los habitantes carecen de servicio de agua potable, se utiliza mucho la perforación de pozos artesanales (con sistema de alcantarillado y de menor profundidad) y pozos profundos conocidos internacionalmente como “pozos perforados”, cuya extracción requiere el uso de bombas mecánicas o eléctricas para la obtención del recurso vital (Bruni & Spuhler, 2018).

Estas captaciones de aguas provenientes de los mantos acuíferos que se ubican entre dos capas impermeables tienen una alta presión hidrostática lo que les permite salir a gran presión hasta alcanzar la superficie al momento de excavar o perforar un pozo (Valdivielso, 2022). Los pozos son una opción favorable en regiones de tipo áridas y semiáridas, así como en zonas rurales donde el acceso al agua potables es nulo (Chávez *et al.*, 2013).

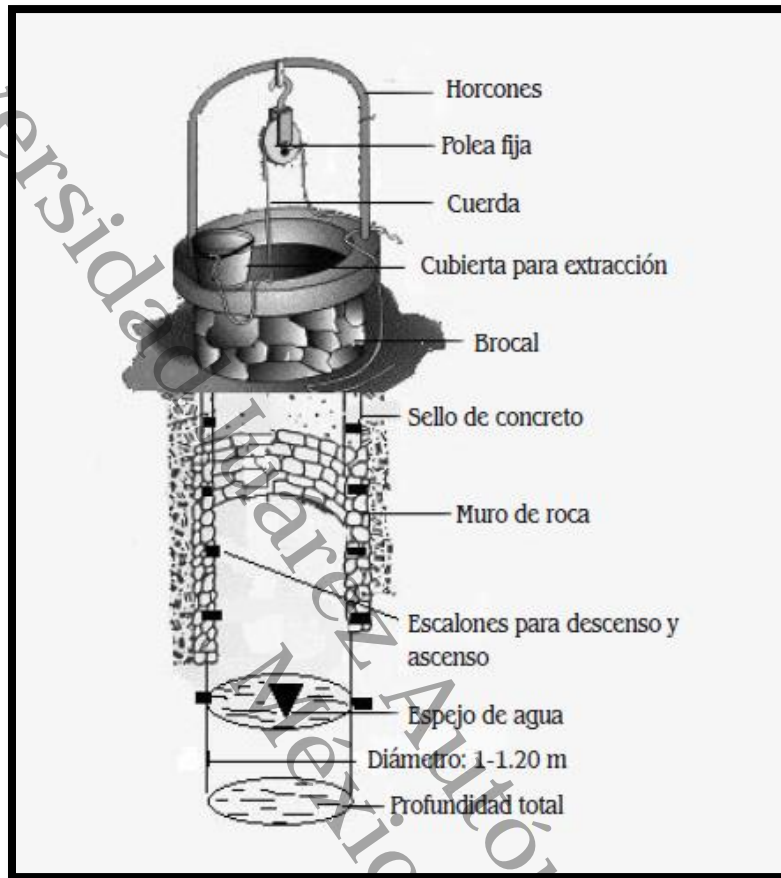
### 3.5 Pozo artesanal

Los pozos artesanales o excavados son huecos en la tierra que se logran hacer al ser perforados con maquinaria (retroexcavadoras) o manualmente (con palas), y tienen un borde de piedras, ladrillos, mosaicos u otros materiales que los protege de derrumbes (**Figura 3**). Estos son poco profundos de entre 3 y 15 metros, aunque presentan un mayor riesgo de contaminación (EPA, 2021).

Por lo general el brocal del pozo se cubre para evitar accidentes o la contaminación del agua. El agua se extrae con la ayuda de una cubeta atada a una soga o por medio de bombas eléctricas de menor tamaño (Chávez *et al.*, 2013).

El nivel freático puede llegar a presentar contaminación por alguna sustancia o por filtración de aguas residuales, siendo esta una de las principales desventajas de los pozos artesanales y así, limitar el uso de este recurso solo para la lavar pisos, ropa, jardinería, etc., por lo que no sería prudente su uso para consumo humano (Chávez *et al.*, 2013).

**Figura 3.**  
Elementos de un pozo artesanal.



Nota. Fuente: Tomada de (Chávez *et al.*, 2013).

### 3.6 Pozo profundo o “perforado”

Se le conoce como pozo profundo en la región Sur-Sureste, a la perforación del suelo de más de 25 metros que se realiza con la finalidad de encontrar agua proveniente de los acuíferos del subsuelo para poder realizar las distintas actividades cotidianas y hasta de consumo (Administración Nacional De Acueductos Y Alcantarillados, 2009).

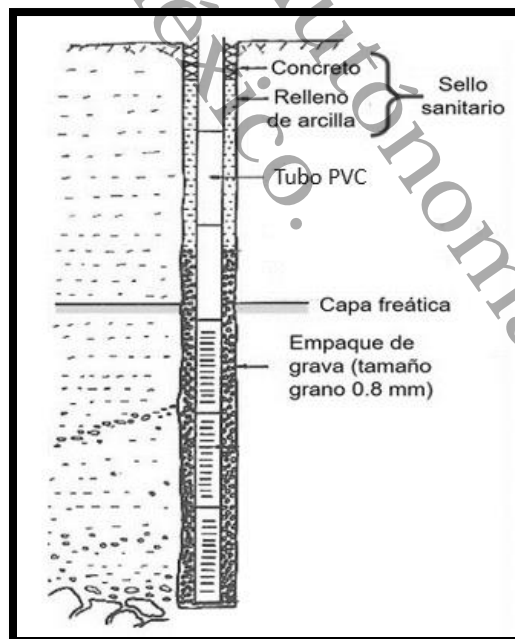
La selección del sitio donde se perforará el pozo es la parte clave, hay que tener en cuenta que cerca del área no haya acumulaciones de agua en malas condiciones. El personal encargado se encargará del diseño y de la perforación del pozo (**Figura 4**), y la operación y el mantenimiento (**Figura 5**) dependerán de la comodidad de los habitantes (Bruni & Spuhler, 2018).

### 3.6.1. Características de un pozo profundo

- La ubicación permite el abastecimiento inmediato.
- Profundidad mayor a 25 m.
- Sistema interno diseñados con tubos de PVC.
- Bomba de extracción puede ser mecánica o eléctrica.
- Sistema de extracción interno de PVC de menor diámetro.
- Parte inferior del pozo con filtro de grava para impedir el paso de lodos u otras sustancias.
- Con perforación manual a percusión (con barrena como herramienta de corte), perforación manual por inyección de agua o por eliminación de lodos (Bruni & Spuhler, 2018).

**Figura 4**

*Esquema interno de un pozo profundo.*



*Nota.* Fuente: tomado de (Bruni & Spuhler, 2018)

**Figura 5.**

*Pozo profundo de la comunidad de Cumuapa.*



*Nota: Diseño original.*

### 3.6.2. Ventajas y desventajas

Los beneficios y las complicaciones frecuentemente reportadas durante la generación y tiempo de vida de los pozos profundos o perforados se enlistan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.**

*Ventajas y desventajas de los pozos profundos o perforados.*

Ventajas	Desventajas
Tamaño menor	Perforación costosa (MXN, \$)
Utiliza tubos de PVC	Contaminación frecuente por arena o lodo.
Menor contacto con contaminantes superficiales	Obstrucción del paso de agua por suelos.
El uso de bomba agiliza la extracción	Requiere energía eléctrica para su funcionamiento
Perforación más rápida que la artesanal	No almacena agua en grandes cantidades.

*Nota. (Bruni & Spuhler, 2018).*

### 3.7. Nitrógeno

Es considerado uno de los gases que se encuentra en mayor proporción en nuestro medio con un 78%. Su función es indispensable para la vida, pues forma parte de los componentes de la vida, como son las proteínas, el DNA y el RNA. Geológicamente se almacena en los reservorios terrestres de nuestro planeta, tanto en la corteza, como en el manto y en el núcleo (Zerkle & Mikhail, 2017). Debido a que solo algunos de sus estados de oxidación naturalmente pueden llegar a lograrse con la participación de organismos vivos, en este caso bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), suele caracterizarse por tener una química algo compleja llegando a ser favorable o contraproducente de acuerdo con las condiciones del medio.

De acuerdo con sus propiedades químicas, el nitrógeno se puede encontrar en siete estados de oxidación enlistados en la **Tabla 4** (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002).

**Tabla 4.**  
Estados de oxidación del nitrógeno.

Compuesto	Estado de oxidación
NH <sub>3</sub>	-III
N <sub>2</sub>	0
N <sub>2</sub> O	I
NO	II
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	III
NO <sub>2</sub>	IV
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V

*Nota.* Tomada de (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002).

Solo cuatro de los estados de oxidación del Nitrógeno (-III, 0, III, V) son de interés para los procesos naturales (**Tabla 5**), a diferencia del I, II y IV sintetizados y modificados por

el hombre (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002). Otra de las características del nitrógeno, es su forma versátil, esto se debe a la formación de enlaces covalentes con el carbono, permitiendo el funcionamiento de las biomoléculas orgánicas (Stüeken *et al.*, 2016).

**Tabla 5.**  
*Compuestos nitrogenados involucrados en procesos ambientales.*

Compuesto	Estado de oxidación
NH <sub>3</sub>	-III
N <sub>2</sub>	0
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	III
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V

*Nota.* Tomado de (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002).

### 3.7.1. Ciclo del nitrógeno

Por lo general, la atmosfera terrestre es la zona que alberga grandes cantidades de los diferentes gases del planeta Tierra (nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etc.). Durante el ciclo del nitrógeno, el proceso conocido como fijación electroquímica sucede cuando, por las descargas eléctricas en la atmosfera, provocando un proceso de oxidación del nitrógeno dando lugar a la formación de pentaóxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) que al mezclarse con el agua da origen al ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) el cuál llega a la litosfera como lluvia ácida.

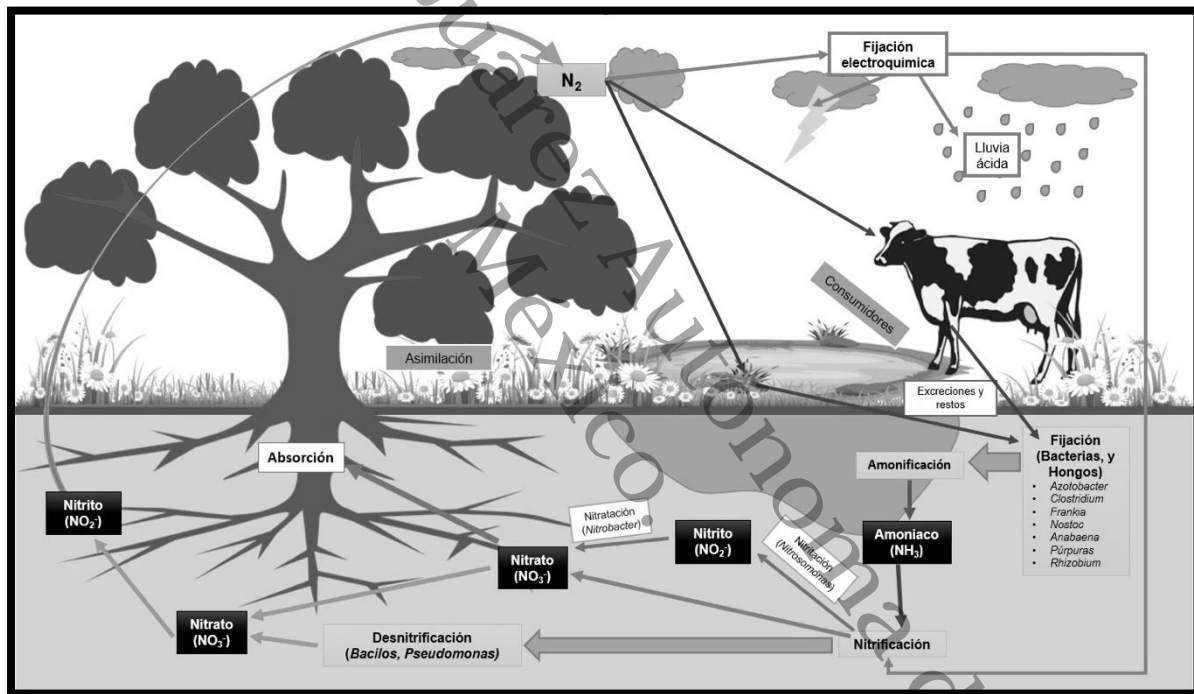
Otra ruta para la **fijación** del nitrógeno en el suelo (**Figura 6**), se origina a partir del consumo de materia vegetal, la excreción de orina (urea) y materia fecal por diversos organismos, la descomposición de materia orgánica y el uso de productos químicos empleados en la agricultura (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002).

En la orina, la urea es hidrolizada por las ureasas a carbonato de amonio [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>]. En las excretas de los animales, hay una gran cantidad de nitrógeno orgánico contenido

en la materia proteica que no son asimilables y que junto con los restos de cadáveres de animales y plantas son transformadas a amoniaco en presencia de bacterias de tipo **saprófitas** (arqueas, protistas y hongos) que se encargan de codificar los complejos enzimáticos de la nitrogenasa, dinitrogenasa y dinitrogenasa reductasa, reaccionando con el hidrógeno y el nitrógeno para dar paso a la **amonificación**. Durante este proceso no todo el nitrógeno es metabolizado y pasa a ser parte del humus del suelo (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002).

**Figura 6.**

*Ciclo del nitrógeno.*



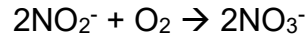
Nota. Modificada de (Stein & Klotz, 2016).

Durante el proceso de **nitrificación**, el amoniaco liberado es oxidado por bacterias nitrificantes autótrofas pertenecientes a las *Nitrosomonas* que son capaces de fijar el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera, para poder realizar sus funciones oxidando el  $NH_3$  a  $NO_2^-$  formando los nitritos ( $NO_2^-$ ) (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002) [Ecuación 1].



[Ecuación 1]

Para la obtención de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), los nitritos son oxidados por las bacterias del género *Nitrobacter* (Pacheco-Ávila *et al.*, 2002) [Ecuación 2].



[Ecuación 2]

Los nitratos ya pueden llegar a ser absorbidos por las plantas como fertilizantes y los producidos por exceso son arrastrados al manto acuífero por filtración de suelos, los nitratos son reducidos a nitritos por hongos y bacterias y a su vez a nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) con la intervención de *bacilos* y *pseudomonas*, cerrando el ciclo al obtener nitritos y a partir de este proceso se le conoce como **desnitrificación** (Stein & Klotz, 2016).

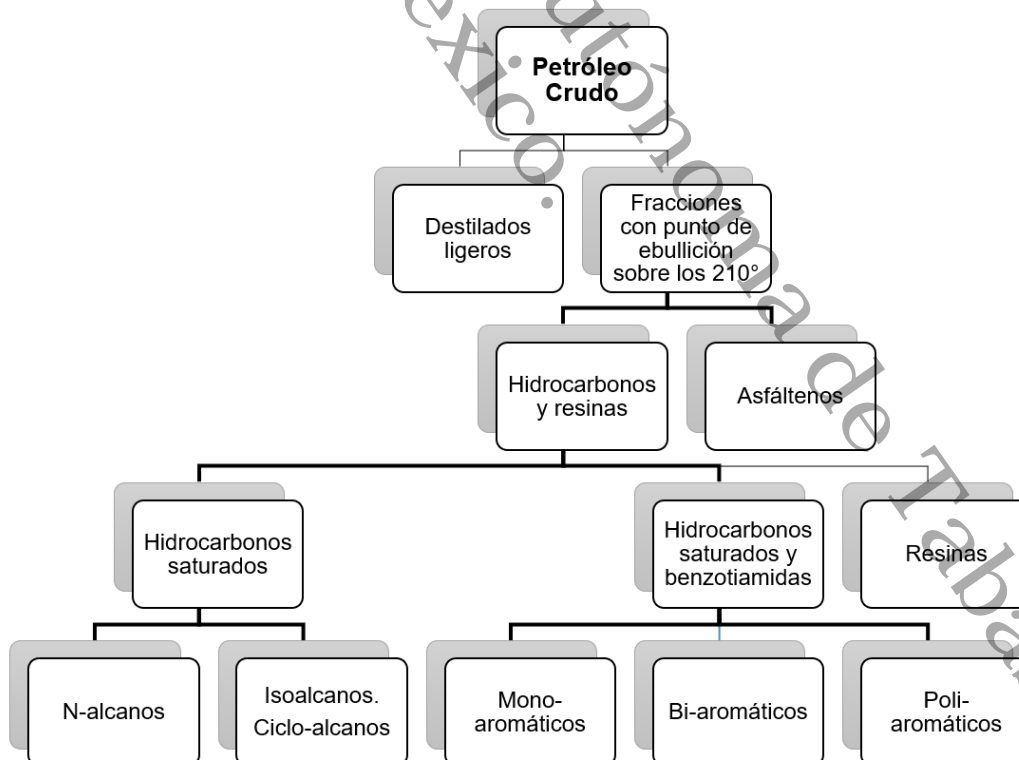
### 3.8. Hidrocarburos

Los hidrocarburos fósiles (el petróleo y el gas natural), están conformados principalmente por hidrocarburos, estos son compuestos orgánicos sencillos o complejos que contienen carbono e hidrógeno, así como una variada mezcla de otros elementos químicos (Silos-Rodríguez, 2008). Estos se pueden encontrar de forma líquida de manera natural como el petróleo, líquida por condensación como por ejemplo los condensados y líquidos de gas natural, de tipo gaseoso como el gas natural y de manera sólida como los hidratos de metano que son en forma de hielo (SENER, n.d.).

El número de carbono y su tipo de estructura química se encarga de determinar su clasificación de acuerdo con lo establecida en “Petroleum Formation and Occurrence” (B.P. Tissot & D. H. Welte) de la siguiente manera (**Figura 7**):

**Figura 7.**

*Principales componentes del petróleo crudo.*



Nota. Tomado de (Silos Rodríguez, 2008).

### 3.8.1. Hidrocarburos aromáticos

Los hidrocarburos de tipo aromáticos y sus derivados poseen anillos que les permite mantenerse estables y por lo general puede reaccionar para formar productos de sustitución y pocas veces puede formar productos de adición. Suelen estar conformados por uno o más anillos bencénicos, los principales son el tolueno y el benceno (**Figura 8**). Estos pueden ser considerados derivados de hidrocarburos dependiendo si cumplen los siguientes requerimientos básicos (Centro de Información Toxicológica de Veracruz, 2017).

- 1) Átomos de hidrógeno sustituidos por radicales de hidrocarburos alifáticos.
- 2) Unión de dos o más anillos de benceno, puede ser directamente o por cadenas alifáticas u otros radicales intermedios.
- 3) Condensación de los anillos bencénicos.

**Figura 8.**  
*Composición estructural del benceno.*



*Nota.* Diseño original.

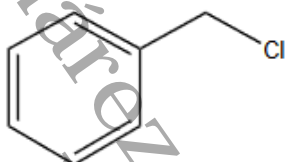
Los hidrocarburos aromáticos se obtienen principalmente de procesos petroquímicos, en especial durante la destilación catalítica y del petróleo crudo, o bien, durante la alquilación de hidrocarburos aromáticos de las series bajas. Estos se emplean principalmente para fabricación de detergentes y explosivos; plásticos y pinturas, o como el tolueno, para pegamentos, adhesivos y lacas. En la atmósfera urbana se puede llegar a encontrar la presencia de hidrocarburos de tipo policíclicos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022c). Estos compuestos son volátiles, de absorción casi inmediata por la mucosa y liposolubles (Centro de Información Toxicológica de Veracruz, 2017). Al entrar en contacto con la piel o con las mucosas pueden llegar a causar irritabilidad o euforia, convulsiones y depresión del sistema nerviosos central con coma, seguido de paro respiratorio. Al ser inhalados pueden causar neumonitis química.

Por otra parte, el tolueno suele ser nefrotóxico, ocasionando acidosis metabólica y alteraciones hidroelectrolíticas. Hasta el momento, no hay antídotos específicos y el tratamiento solo puede ayudar a contrarrestar los efectos secundarios (Centro de Información Toxicológica de Veracruz, 2017).

Los hidrocarburos aromáticos halogenados se caracterizan por contener átomos de halógenos como el cloro, yodo, flúor o bromo en el anillo bencénico. Algunos ejemplos son el DDT, cloruro de bencilo (**Figura 9**) y las dioxinas (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022d).

**Figura 9.**

Composición estructural del cloruro de bencilo.



*Nota.* Diseño original.

La exposición a estos tipos de hidrocarburos halogenados llega a producir un daño significativo. Cuando una persona se expone por inhalación a estos tipos de compuestos presentará irritación aguda en ojos, pulmones y mucosas. En caso de ingesta se presentarán náuseas, cefaleas y depresión del sistema nervioso central. La exposición también puede llegar a producir acné, hepatitis, ictericia, porfiria, abortos, recién nacidos con bajo peso y efectos carcinogénicos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022d). Las dioxinas son productos químicos que contaminan el medio ambiente y se encuentra dentro de los doce productos químicos peligrosos conocidos como contaminantes orgánicos persistentes, una vez que ingresan en los organismos tienen la capacidad de mantenerse dentro por mucho tiempo debido a su gran estabilidad química fijadas en el tejido adiposo donde se van almacenando. La dioxina es un compuesto cuya fórmula es 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-para dioxina (TCDD). También se le denomina de esa manera a un grupo de compuestos constituidos por las dibenzo-para-dioxinas policloradas (PCDD) y los dibenzofuranos policlorados (PCDF). Conforme a esta designación se incluyen también algunos bifenilos policlorados (PCB) que poseen

toxicidad similar debido a que son análogos de las dioxinas (Organización Mundial de la Salud, 2023).

Los hidrocarburos poliaromáticos o aromáticos policíclicos (HAP) se caracterizan por ser compuestos formados por dos o más anillos aromáticos que pueden estar alineados, angulados o racimados, la estructura más sencilla de este apartado es el naftaleno. Dentro de este grupo se encuentran muchos de los compuestos que, por tener entre cuatro y seis anillos de tipo aromático, se consideran cancerígenos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022e).

Los HAP tienen una gran estabilidad química, a temperatura ambiente se mantienen en estado sólido y presentan poca volatilidad; son solubles en disolventes orgánicos y muy poco solubles en agua y se forman a partir de la pirólisis o combustión incompleta de la materia orgánica. A temperaturas altas, la pirólisis produce fragmentos de moléculas y radicales que se mezclan para dar paso a los HAP. Generalmente, los podemos encontrar en el aire, agua y tierra ya que son depositados natural o antropogénicamente (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022e).

### 3.8.2. Hidrocarburos saturados o alcanos (alifáticos)

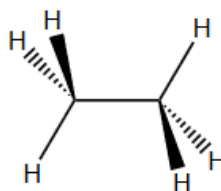
Son compuestos no volátiles de cadena lineal o ramificada y pueden ser alcanos, alquenos y alquinos. Igual lo conforman compuestos de cadenas cíclicas que pueden ser de tipo saturado (cicloalcanos). Conocidos también como **hidrocarburos lineales** están formados por cadenas, como su nombre lo indica de tipo lineales saturadas total o parcialmente de Hidrógenos los cuales pueden llegar a tener ramificaciones, los más comunes son el metano, propano y butano, de uno, tres y cuatro átomos de carbonos respectivamente, llamados de cadena corta. A partir de cinco átomos de carbono se les denominan de cadena larga, nombrándose de acuerdo con la cantidad de carbonos presentes como, por ejemplo: pentano, hexano, octano (Centro de Información Toxicológica de Veracruz, 2017).

Los *n*-alcanos son en su totalidad insolubles en agua (su polaridad es baja) impidiendo la formación de enlaces con el hidrógeno. Los alcanos líquidos suelen ser solubles entre sí, por lo que son miscibles en compuestos de baja polaridad como el

tolueno, tetracloruro de carbono, benceno, entre otros (Olguín & Hernández, María Elizabeth Sánchez-Galván, 2007).

**Figura 10.**

*Composición estructural del etano.*



*Nota. Diseño original.*

La nomenclatura establecida para los hidrocarburos saturados alicíclicos son las siguientes (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022f):

- Parafinas o alcanos ( $C_nH_{2n+2}$ ) – hidrocarburos saturados.
- Olefinas o alquenos ( $C_nH_{2n}$ ) – hidrocarburos insaturados con uno o más enlaces dobles.
- Acetileno o alquinos ( $C_nH_{2n-2}$ ) – hidrocarburos insaturados con uno o más enlaces triples.

Las moléculas de C1 a C4 se encuentran en estado gaseoso, conforme va aumentando su tamaño y su complejidad estructural pasa a estado líquido y van aumentando su viscosidad, las de mayor peso molecular ( $\geq C_{16}$ ) se caracterizan por ser sólidos a temperatura ambiente. Los alifáticos para uso industrial son obtenidos principalmente del petróleo, el cual es una mezcla compleja de hidrocarburos. Para poder obtener este tipo de hidrocarburos se emplean diferentes procesos como son el craqueado, la destilación y el fraccionamiento del crudo (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022f).

Generalmente, los hidrocarburos saturados son empleados en la industria como disolventes, lubricantes y combustibles, por ejemplo, el gas natural, el nonano (componente de la gasolina y de detergentes biodegradables) y el hexano son mayormente usados (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022f).

Cuando se habla de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) se hace referencia al grupo de sustancias químicas derivadas del petróleo. Su composición está integrada por átomos de carbono y de hidrógeno, por eso se les conoce como hidrocarburos, son líquidos incoloros o claros que llegan a evaporarse fácilmente, también hay otros que son líquidos y espesos oscuros o de tipo semisólidos que no llegan a evaporarse. Los productos de HTP's se pueden llegar a incendiar con facilidad. En la actualidad se usan en exceso los productos derivados del petróleo (ej.: gasolina, kerosén, aceites combustibles, aceite mineral y asfalto), por lo que la probabilidad de contaminación por estas sustancias es mayor (Departamento de salud y servicios Humanos de los EE.UU., 2016).

Los HTP's se encuentran en todas partes debido a que provienen de muchas fuentes como de los vapores de gasolina, aceites de motor derramado en el pavimento, productos químicos que se emplean de uso diario en el hogar o en el área de trabajo, como plaguicidas. En el aire puede haber cantidades pequeñas que se pueden llegar a inhalar, si se trabaja en el ámbito petrolero o manipula estos compuestos está siendo expuesto a cantidades más altas de HTP's. Si se vive cerca de almacenajes subterráneos de petróleo o ha ocurrido algún tipo de incidente cerca de la zona donde se dio algún escape accidental podrían estar expuestos por aire, agua y suelo, al inhalar los vapores emitidos, consumir agua de pozos o por manipular el suelo (Departamento de salud y servicios Humanos de los EE.UU., 2016).

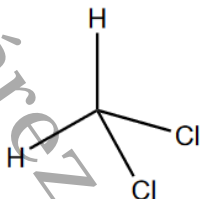
Estos hidrocarburos entran al cuerpo al momento de inhalar, ingerir el agua y alimentos o al momento de tocarlos, pasan a torrente sanguíneo y son degradados rápidamente a sustancias menos tóxicas. Otros compuestos no se degradan tan sencillo pues pueden llegar a ser absorbidos de manera más lenta por la sangre y otros órganos. La mayoría son eliminados por la orina y por el aliento. Los efectos por la exposición de HTP's dependerá del tiempo de exposición y la cantidad de sustancia con la que se entra en contacto, así como el tipo de HTP's al que se está expuesto. Al momento de una intoxicación por estos hidrocarburos se puede presentar, irritación en la piel, garganta y estómago, en las mucosas, puede llegar a afectar el sistema nervioso, fatiga, dolor de cabeza, náuseas, adormecimiento, dificultad para respirar. Algunas fracciones de HTP's

pueden llegar a afectar el sistema inmune, pulmones, baso, riñones, hígado y al feto. No hay pruebas para determinar si se ha estado expuesto a HTP's, en caso de estar expuesto y presentar algunos de los síntomas, acuda a su médico (Departamento de salud y servicios Humanos de los EE.UU., 2016).

Los **hidrocarburos alifáticos halogenados** son productos químicos orgánicos en los que uno o más átomos se sustituyen por halógenos como flúor, cloro, bromo o yodo y pueden contener anillos en sus estructuras, pero estos no son de tipo aromático.

**Figura 11.**

*Composición estructural del cloruro de metileno.*



*Nota. Diseño original.*

En cuanto mayor sea su masa molecular, mayor será su punto de ebullición, esto igual pasa con el contenido de halógenos, entre más cantidad, mayor será el punto de ebullición. A temperatura ambiente los que no tienen un grado de halogenación muy alto como el clorometano, diclorometano, cloroetano, cloroetileno y el bromometano, en su mayoría se hallan en estado líquido, a excepción de los más pesados que se encuentran en su forma sólida. Los aromas tienden a ser desagradables pero un distinguido sabor dulzón. algunos de los ejemplos más conocidos son el cloruro de metilo, diclorometano y el cloruro de vinilo. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022b).

Los hidrocarburos alifáticos y alicíclicos halogenados insaturados se emplean como disolventes, productos químicos intermedios, fumigadores e insecticidas en las industrias, al ser un grupo muy extenso se encuentran en productos químicos, pinturas, barnices, textiles, cauchos, plásticos, colorantes, productos de tipo farmacéuticos y de limpieza.

La toxicidad por hidrocarburos de tipo alifático se da principalmente por aspiración, asociándola con su viscosidad; es decir, cual mayor sea su viscosidad, menor será su

volatilidad y menor será el riesgo de aspiración. <1 ml de hidrocarburo alifático con baja viscosidad, al ser aspirado puede esparcirse por las vías respiratorias dando paso a una neumonitis química. También la toxicidad de este tipo de hidrocarburos se puede dar por medio del uso e ingesta del agua, alimentos y carnes (Medicina interna, 2021).

Al estar expuestos a estos hidrocarburos llegan a producir depresión en el sistema nervioso central, todo dependerá proporcionalmente del número de carbonos de la molécula. Su diagnóstico incluye historia de la exposición y el cuadro clínico compatible. Para el tratamiento se debe detener la exposición y administrar oxígeno suplementario, también se sabe que los alifáticos halogenados tienen propiedades mutagénicas y teratogénicas, así como también efectos neurológicos (Centro de Información Toxicológica de Veracruz, 2017; Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022b).

Los **hidrocarburos insaturados** son de gran importancia para la industria debido a que son materia prima para la obtención de productos químicos y polímeros, entre ellos se destacan los plásticos, cauchos y resinas, algunos ejemplos de estos hidrocarburos son: etileno, isopreno, propileno, etc. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022a).

Los alifáticos insaturados de bajo peso molecular u olefinas son asfixiantes (cualquier gas que diluya el oxígeno que se encuentra en el ambiente y reduzca la cantidad de oxígeno inhalado ( $FiO_2$ ) por debajo del 21%), pero conforme va aumentando sus propiedades narcóticas e irritantes son mayores que las de sus análogos saturados. Por ejemplo, el etileno, el propileno y el amileno son algunos de los compuestos que se han utilizado como anestésicos en cirugía, pero al requerirse grandes cantidades se suele mezclar con el oxígeno (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2022a).

### 3.9. Toxicidad

Para el proceso de evaluación toxicológica *in vivo*, el animal de experimentación es una pieza clave, el modelo debe presentar cualidades estrictamente reguladas para garantizar resultados verificables, reduciendo al mínimo el sufrimiento del animal y asegurando el seguimiento de la normatividad ética de la investigación (Gómez & Más, 2007).

#### 3.9.1. Aguda

Los estudios pueden ser en dosis únicas, conocidos como estudios de toxicidad aguda, los cuales pretenden evaluar los efectos de dosis altas únicas en un periodo no mayor a 24 h, donde es posible evaluar efectos adversos en tiempos cortos (Gómez & Más, 2007). Por otro lado, están los estudios de dosis repetidas donde se administra más de una dosis en tiempo no mayor a 24 h. Generalmente, una vez obtenido los resultados de dosis únicas, se procede con los ensayos de dosis repetidas como **subagudos, subcrónicos y crónicos** (Gómez & Más, 2007).

#### 3.9.2. Subagudo

Son las evaluaciones que presentan efectos tóxicos tras la administración de una sustancia en un periodo de tiempo que oscila entre 14 y 30 días. Este estudio facilita la obtención de información y una mejor elección de los niveles de dosis que se estudiarán en las evaluaciones subcrónicas y crónicas. También se favorece una eficiente identificación de los efectos tóxicos bajo estas condiciones (Gómez & Más, 2007).

#### 3.9.3. Subcrónicos

En este estudio se evalúan las propiedades tóxicas de un producto químico, para ello se utiliza un gran número de dosis periódicas, ya que esta evaluación tiene una duración de 90 días, proporcionando una gran cantidad de información de los riesgos para la salud debido a la exposición repetida por un periodo prolongado (OECD, 2018). Este estudio también muestra las reacciones adversas por toxicidad acumulativa de la sustancia química, así como de sus metabolitos, permitiendo definir la máxima dosis con la que no muestra toxicidad relacionada con el nivel de efecto adverso no observado (NOAEL), al igual que la dosis máxima tolerada (DMT). (Gómez & Más, 2007).

### 3.9.4. Crónicos

El objetivo principal de este estudio es determinar el potencial toxicológico de la sustancia evaluada después de una administración prolongada y repetida. En roedores, su periodo de evaluación es de 6 a 12 meses, aunque en otros modelos puede ser de 9 a 12 meses, tiempos estimados para generar un daño tóxico por exposición continua (Gámez & Más, 2007).

### 3.10. Modelos animales

Los orígenes de la experimentación animal provienen desde los manuscritos de los filósofos y médicos griegos (siglos IV y III a.C.) como Aristóteles quien fue el primero en trabajar disecciones, Erasístrato empleo modelos para experimentación, Galeno realizó disecciones en varias especies y Vesalius implementó las demostraciones anatómicas y posteriormente se le conoció como el fundador de la anatomía moderna en el siglo XVI (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2022). Los modelos animales son la pieza clave para la investigación, pues se requieren para poder evaluar procesos biológicos que tienen lugar en distintas especies, pero con mecanismos similares, los cuáles no sería factible experimentar en humanos (Burgess, 2019).

De acuerdo con algunos autores, se define como modelo animal a una especie no humana que es usada para la investigación médica y puede mostrar aspectos de una enfermedad humana (Burgess, 2019). También se le denomina animal de laboratorio a cualquier especie que se tiene en condiciones controladas y su uso es de tipo científico (S. Hernández, 2006).

De los modelos animales, los ratones son los más utilizado para estudios *in vivo*, ya que permiten identificar la reacción de un mamífero ante una agresión, una intoxicación (aguda, subaguda, crónica o subcrónica) o una infección (parasitaria, bacteriana o vírica), al igual que evaluar reacciones o trastornos inmunológicos, oncológicos, teratológicos y embriológicos (S. Hernández, 2006).

El segundo modelo más usado es la rata, este se utiliza para investigaciones de tipo nutricional, comportamentales y endocrinológicos. Para la producción de antisueros, la farmacología, la toxicología, teratogenicidad y reproducción es preferible utilizar el

conejo. Los cobayos son otro modelo de estudio, con ellos se evalúan estudios inmunológicos, farmacológicos y de nutrición. El hámster se utiliza en procesos de reproducción, citogénesis e inmunología (S. Hernández, 2006).

### **Cepa *BALB/c***

De acuerdo con estudios paleontológicos, los ratones tuvieron su origen en el continente asiático, donde se han descubierto fósiles de aproximadamente siete millones de años llegando a Europa con las invasiones romanas y a América en el siglo XV. Desde hace mucho tiempo atrás, los ratones suelen ser los animales que se han empleado para distintos procesos realizados en los laboratorios, desde un simple control de estrés hasta la evaluación de un complejo fármaco en desarrollo. Por su tamaño, facilidad de monitoreo y similitudes genéticas con el ser humano, es que la especie *BALB/c* es uno de los modelos más utilizados para la caracterización de enfermedades o bien, para la evaluación de patrones patológicos específicos (Olivares Guerrero, 1996).

### **Taxonomía**

La cepa empleada en este estudio fue la *BALB/c* (**Figura 12**), reproducida y caracterizada previamente por la Unidad de Producción, Cuidado y Experimentación Animal (UPCEA) de la UJAT.

Este tipo de especie se emplea en investigación genética, anatomía, fisiología, biología molecular, inmunología, embriología, estudios del cáncer, virología, enfermedades infecciosas, control de calidad de productos biológicos y farmacéuticos y en diagnósticos de enfermedades como la rabia (Olivares Guerrero, 1996).

**Figura 12.**

Cepa (BALB/c).



Nota. Tomado de (The Jackson Laboratory, 2022)

Orden	<i>Eutheria</i>
Suborden	<i>Rodentia</i>
Familia	<i>Miomorfa</i>
Género	<i>Mus</i>
Especie	<i>Musculus</i>
Cepa	<i>BALB/c</i>

Son especies endogámicas para uso común, se utilizan principalmente en la investigación inmunológica y de enfermedades infecciosas y suelen ser susceptibles a desarrollar la enfermedad desmineralizante debido a la infección con el virus de la encefalomiелitis murina de Theiler (The Jackson Laboratory, 2022).

## CAPÍTULO IV

### 4. Justificación

La lucha contra la contaminación ambiental, en particular las afectaciones a la calidad del agua se enlistan entre los retos más importantes a contrarrestar en el siglo XXI. Los grandes avances de la sociedad industrializada y el incremento de núcleos urbanos aumentan la generación de residuos sólidos, aguas residuales y lodos, constituidos por una compleja mezcla de sustancias químicas que se liberan al ambiente e incrementan el riesgo de afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas.

De acuerdo con los hallazgos reportados en diferentes estudios, los abortos, la obesidad, el cáncer, las malformaciones congénitas, los hongos en la piel, la irritación de nariz, ojos y garganta, el dolor de cabeza, el dolor de oídos, la diarrea y la gastritis, entre otras afecciones, podrían estar asociadas a la contaminación ambiental ocasionada por la presencia de sustancias tóxicas derivadas de hidrocarburos (San Sebastián, 2001).

Ante este panorama, el caracterizar a nivel físico, químico y biológico la calidad del agua proveniente de pozo profundo en zonas con potencial riesgo de contaminación ambiental, frecuentemente usadas para actividades domésticas, agrícolas, industriales y de consumo, nos permitirá identificar al menos dos aspectos importantes:

- 1) La cantidad de sustancias químicas, relacionadas con toxicidad en humanos o animales.
- 2) La presencia de microorganismos capaces de modificar la calidad del agua.

Las diferentes actividades productivas realizadas en esta zona a evaluar favorecen la detección de puntos críticos a lo que está expuesta la población por lo que se procederá a realizar el estudio en muestras de aguas de pozo profundo para la detección de contaminantes derivados del petróleo.

## CAPÍTULO V

### 5. Pregunta de investigación

- ¿El consumo del agua de pozos profundos presentes en una zona expuesta a contaminantes derivados de hidrocarburos podrían ocasionar alteraciones metabólicas en seres vivos?

## CAPÍTULO VI

### 6. Hipótesis

El consumo de agua de pozo profundo con exposición a contaminantes derivados de hidrocarburos no volátiles está asociada al desarrollo de alteraciones metabólicas en la cepa *BALB/c*.

## CAPÍTULO VII

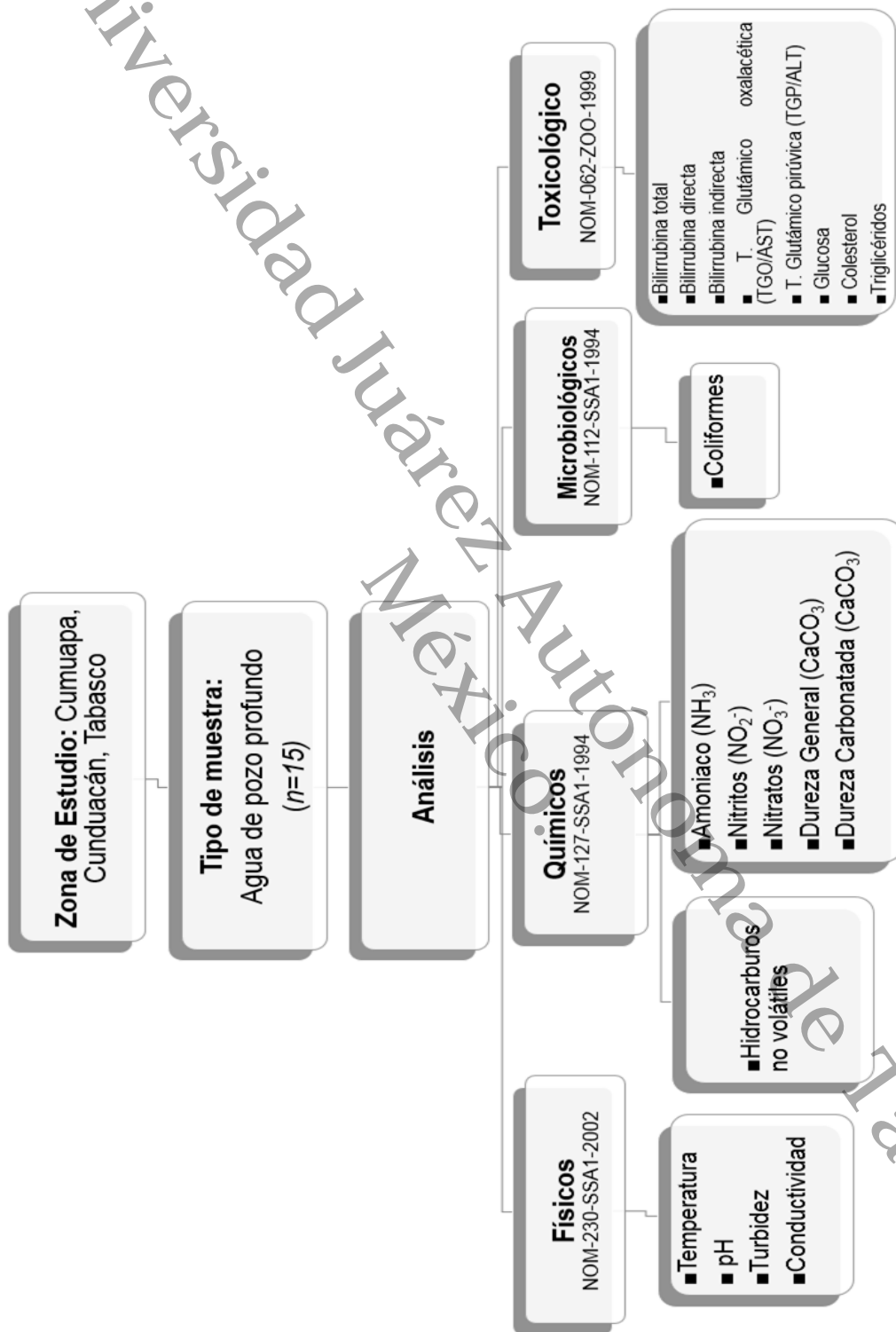
### 7. Objetivo general

Identificar la presencia de hidrocarburos no volátiles en aguas de pozo profundo de la localidad de Cumuapa, Tabasco y evaluar su viabilidad como aguas sanitariamente tolerables.

#### 7.1. Objetivos específicos

- Caracterizar a nivel físico, químico y biológico, muestras de aguas de pozos profundos de una localidad con potencial exposición a derrames por hidrocarburos.
- Determinar la calidad del agua de pozo profundo de acuerdo con la normatividad mexicana vigente NOM-127-SSA1-1994.
- Evaluar la toxicidad subcrónica de las muestras de agua de pozo profundo mediante el uso del modelo murino cepa *BALB/c*.

**Figura 13.**  
Diagrama general de trabajo.



Nota. Diseño original.

## CAPÍTULO VIII

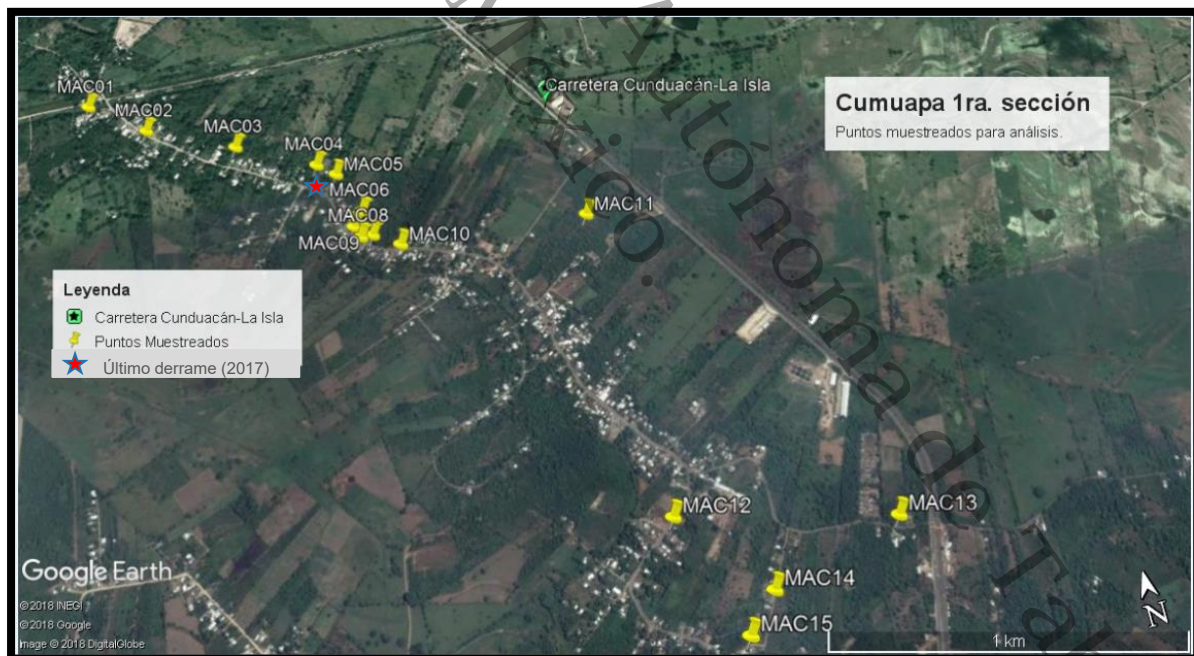
### 8. Metodología

#### 8.1. Zona de estudio

La localidad de Cumuapa está ubicada en las coordenadas Latitud: 17.995785, Longitud: -93.14546, Altitud: 15 m.s.n.m., dentro del municipio de Cunduacán, Tabasco. Debido a que no todos los habitantes de esta comunidad cuentan con fuentes de abastecimiento de agua propias, fue posible muestrear solo 15 pozos profundos en la localidad (**Figura 14**). Los puntos seleccionados incluyeron zonas de alta exposición a contaminantes químicos derivados de derrames de petróleo y zonas de baja exposición a estos compuestos.

**Figura 14.**

*Puntos de muestreo.*



*Nota.* Modificada de Google Earth, 2018.

## 8.2. Análisis fisicoquímicos

### Diseño experimental

Los muestreos de agua de pozo profundo en la localidad de Cumuapa, Cunduacán, Tabasco se realizaron durante el verano del 2018, coincidiendo con los meses de menor precipitación. Esta zona se caracteriza por tener antecedentes de afectación por fuga de hidrocarburos provenientes de las líneas petroleras que atraviesan la región. El muestreo fue realizado en función del conocimiento previo de domicilios con presencia de pozos profundos mediante información directa, o bien, a través de la información compartida por los miembros de la comunidad.

### Recolección de muestras de agua

Todo el material utilizado durante el proceso de muestreo y análisis dentro del laboratorio fue sometido a un riguroso proceso de limpieza y esterilización conforme al punto 7 de la NOM-230-SSA1-2002 (Procedimientos sanitarios para el muestreo) con las respectivas medidas de higiene y seguridad establecidas por la Secretaría de Salud (Secretaría de salud, 2005). En el caso de las aguas comerciales, estas fueron adquiridas en tiendas de conveniencia. Para la colecta de las muestras de agua se cuidó cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- **Pruebas físicas**

Para la recolección de las muestras del agua de pozo profundo se dejó correr el agua por la manguera aproximadamente tres minutos previos a la toma (por triplicado) con la finalidad de liberar cualquier impureza presente en el agua almacenada en la instalación, finalmente se almacenaron en recipientes de plástico estériles con tapa y fueron protegidas en lo posible de la luz solar hasta su procesamiento (Secretaría de salud, 2005).

- **Pruebas químicas**

La recolección y el almacenamiento de las muestras de agua de pozo profundo requirió el uso de frascos de vidrio de boca ancha con tapa, previamente desinfectados con jabón bajo en fosfatos (Hyclin-plus neutro, HYCEL®) y tratados con una solución 0.1 N de ácido nítrico durante 48 h. Posteriormente, cada frasco fue enjuagado con agua desionizada,

secado a 120°C durante 24 h, etiquetado según las indicaciones de la NOM-230-SSA1-2002 (7.5) y envuelto en papel de estraza. Una vez recolectada la muestra, cada una fue fijada con una solución 1:1 de ácido clorhídrico concentrado (HCl) acidificándose hasta lograr un pH de 2. Durante su transporte, todas las muestras fueron almacenadas en hieleras evitando al máximo su exposición a la luz solar. Todas las muestras recolectadas fueron almacenadas a 4°C hasta su procesamiento. Solo las muestras empleadas para la determinación de nitratos, nitritos, dureza general, dureza carbonatada y amoníaco no fueron fijadas (Secretaría de salud, 2005).

- **Microbiológicas**

Estos análisis requirieron el uso de frascos estériles de boca ancha de 50 mL. Cada una de las muestras fue almacenada y transportada en hieleras al laboratorio para su determinación microbiológica. Estas muestras fueron analizadas en un periodo no mayor a 24 h en medios presuntivos y confirmativos, según los hallazgos identificados (Secretaría de salud, 2005).

- **Toxicológicas**

Las aguas de pozo profundo seleccionadas para los ensayos toxicológicos fueron almacenadas en bidones de plástico con capacidad de 20 L (lavados con jabón bajo en fosfatos (HYCEL®), enjuagados con agua desionizada y secados por al menos 24 h). Previo a la recolección, se dejó correr el agua por la manguera por al menos tres minutos. Estas muestras de agua permanecieron en los bidones a  $18\pm 2^\circ\text{C}$  durante el tiempo que duro el ensayo toxicológico (Secretaría de salud, 2005).

### **Determinaciones físicas y químicas de las muestras de agua**

- **Aguas de pozo profundo**

Una vez obtenida la muestra de agua de pozo profundo, se procedió a realizar el análisis físico en el sitio contiguo al punto de perforación y extracción (*in situ*) con la ayuda de un equipo portátil HANNA HI9813-5 multiparamétrico (HANNA® instruments) previamente calibrado registrando pH, conductividad (mS/cm) y sólidos totales disueltos (ppm).

El análisis químico se realizó en tres partes; 1) determinación de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), dureza general (DG) y dureza carbonatada (DK), 2) determinación de hidrocarburos no volátiles mediante espectrofotometría UV-Vis y 3) identificación de hidrocarburos no volátiles mediante cromatografía de ionización de llama (CG-FID):

- La primera parte fue evaluada mediante técnicas colorimétricas semicuantitativas (NUTRAFIN TEST®) específicas para agua dulce según Muñoz-De la Cruz, *et al.* (2021) (Ver **Anexo A**).
- La segunda parte incluyó la fijación con HCl 1:1 y su filtración por gravedad en papel filtro No. 4 (Whatman™, Qualitative, 125 mm de diámetro). Brevemente, cada filtrado fue mezclado con diclorometano (DCM) en proporción 1:1 (50 ml) en un embudo de separación, fue agitado mecánicamente y se dejaron reposar por dos horas a temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Transcurrido el tiempo, cada muestra fue concentrada y analizada en un Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer (Thermo Scientific) a 426 nm para obtener las concentraciones de hidrocarburos totales (Secretaría de Economía (SE), 2001).
- La tercera parte incluyó su procesamiento en un cromatógrafo de gases Agilent serie 7820<sup>a</sup> (Agilent Technologies, EE. UU.) equipado con un detector de ionización de llama (GC-FID) y una columna capilar Agilent HP-5 (30 m x 320  $\mu\text{m}$  x 0.25  $\mu\text{m}$ ). Brevemente, las muestras (2  $\mu\text{L}$ ) fueron inyectadas sin división a  $300^\circ\text{C}$ , usando nitrógeno como gas portador (velocidad de flujo de 1.5 ml/min). Los compuestos fueron analizados de acuerdo con el siguiente programa: temperatura de inicio a  $60^\circ\text{C}/1$  min, calentamiento a  $290^\circ\text{C}/6^\circ\text{C}/\text{min}$  y manteniéndose a  $290^\circ\text{C}/5$  min.

### 8.3. Análisis microbiológico

Para la determinación de coliformes, se dio seguimiento a la NOM-112-SSA1-1994, que establece el uso de un medio presuntivo y un medio confirmativo. Inicialmente, para el medio presuntivo se disolvió caldo lactosado (MPCL) en 1 L de agua (pH:  $6,9 \pm 0,2$  a  $25^\circ\text{C}$ ) siguiendo las instrucciones del fabricante (BD Bioxon®, lote: 7089801). Este medio

fue distribuido en tubos de 16x160 mm (6 ml; controles) y de 20x200 mm (10 ml; problema) con su respectiva campana de Durham. Una vez esterilizados en autoclave (15 minutos a  $121\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ ), todos los tubos se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, a cada tubo se le adicionaron 10 ml de muestra de agua de pozo profundo, (NOM-110-SSA1-1994) en análisis por triplicado, e incubó a  $35\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por 24 h. Los tubos que presentaron formación de gas al interior de la campana de Durham fueron considerados como positivos a crecimiento bacteriano, aunque transcurrido el tiempo, todos los tubos fueron analizados mediante espectrofotometría UV-Vis (Secretaría de salud, 1995).

Analizados los resultados del medio presuntivo, se procedió a la preparación de medio confirmativo. Inicialmente, para el medio confirmativo se disolvió caldo bilis verde brillante al 2% (MCBVB) en 1 L de agua (pH:  $7.2\pm 0.2$  a  $25^{\circ}\text{C}$ ) siguiendo las instrucciones del fabricante (DIBICO ®, Lote:12889058). Este medio fue distribuido en tubos de 20x200 mm con su respectiva campana de Durham. De cada tubo que presentó formación de gas en el medio presuntivo, se tomó una azada y se procedió a resembrar por triplicado en tubos con medio confirmativo los cuales fueron incubados a  $35\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas (Secretaría de salud, 1995). Los tubos con resultados positivos en medio confirmativo (con formación de burbujas), también fueron resembrados en cajas Petri con medios sólidos selectivos y diferenciales de bisulfito de bismuto (MSSDbb) y XLD (MSSDxld), específicos para patógenos entéricos gramnegativos como *Salmonella* y *Shigella* (Secretaría de salud, 2014).

#### 8.4. Evaluación toxicológica

De acuerdo con los resultados obtenidos por espectrofotometría UV-Vis, la muestra de agua de pozo profundo con clave **MAC09** fue seleccionada para realizar la evaluación toxicológica subcrónica al registrar la mayor concentración de hidrocarburos no volátiles. Cabe resaltar que lo anterior se vio reforzado por la escasa disponibilidad de especímenes en existencia por la Unidad de Producción, Cuidado y Experimentación Animal (UPCEA) de la DACS, UJAT en los tiempos establecidos por el programa de posgrado. La recolección de la muestra **MAC09** se llevó a cabo en los puntos: Latitud

17°59'28.95'' N, Longitud 93°8'28.17'' O de la localidad de Cumuapa en Cunduacán, Tabasco, la cual fue analizada *in situ* y almacenada en garrafas de 20L a 20±2,0°C.

- Cepa *BALB/c*: los ensayos fueron realizados de acuerdo con la NOM-062-ZOO-1999 (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2001). Todos los especímenes fueron producidos y tratados en la UPCEA. El ensayo toxicológico fue desarrollado en ratones *BALB/c* de ambos sexos, de entre 20 y 26 g de peso corporal con la alimentación y suministro de agua *ad libitum*. Pevio a la evaluación toxicológica, todos los especímenes fueron examinados físicamente. Durante el periodo experimental, la temperatura (22±2°C) y los ciclos de luz-oscuridad (12/12 h) fueron controlados manteniendo tres ratones por jaula. La alimentación incluyó una dieta estándar para roedores LABDIET® LABORATORY RODENT DIET de uso común por la UPCEA (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2001).
- Evaluación subcrónica: se trabajó con cuatro grupos (n=10), dos controles (1 y 2) y dos expuestos (3 y 4). La distribución de especímenes fue la siguiente: control 1 (dos hembras), control 2 (dos machos), expuesto 3 (tres hembras) y expuesto 4 (tres machos). El agua de bebida a los organismos experimentales fue suministrada *ad libitum* por la UPCEA cada tercer día, incluyendo limpieza del bebedero y relleno del líquido vital a su máxima capacidad (250 ml). Los grupos control fueron suministrados con agua de uso común por la UPCEA, mientras que los grupos expuestos fueron suministrados con la muestra de agua problema (**MAC09**). El periodo de evaluación fue de 90 días, al término del cual se realizó la obtención del mayor volumen de sangre de los especímenes por punción cardiaca para dar continuidad a las determinaciones clínicas subsecuentes.
- Bioquímica clínica: la elección de los análisis bioquímicos a determinar se vio limitada por el volumen final de muestra sanguínea recuperada. En este contexto, se decidió priorizar el análisis de los siguientes elementos glucosa,

triglicéridos, colesterol y perfil hepático - I [Bilirrubinas (BT-BD-BI), TGO, TGP] realizados en un laboratorio de análisis clínicos

- Análisis estadístico: para la generación de la base de datos y los análisis estadísticos se empleó el software IBM SPSS Statistics v.22. Para contrastar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y como test final una prueba T-Student. Los resultados fueron expresados como la media $\pm$ DE con un intervalo de confianza del 95% ( $p\leq 0.05$ ).

## CAPÍTULO IX

### 9. Resultados

#### Obtención de muestras

Se realizaron tres muestreos de campo a la localidad de Cumuapa, Cunduacán, Tabasco, obteniendo muestras de un total de quince pozos profundos (la ubicación precisa de cada punto de muestreo se reporta en el **Anexo B**). En el caso de los análisis físicos, químicos y microbiológicos fue posible recolectar hasta 2 L de agua para su caracterización según la NOM-230-SSA1-2002 (Secretaría de salud, 2005). En el caso del agua de pozo profundo seleccionada para el ensayo toxicológico, esta fue muestreada en bidones de 20 L de capacidad (3 unidades), la cual fue mantenida a  $18^{\circ}\text{C}\pm 2$  durante todo el tiempo que duró la evaluación subcrónica.

#### 9.1. Análisis fisicoquímicos

##### Determinaciones físicas y químicas de las muestras de agua

1) Las determinaciones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), dureza general (DG) y dureza carbonatada (DK) se llevaron a cabo de acuerdo con lo reportado por Muñoz De La Cruz *et al.* (2021), disponible en [https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista\\_TeDIQ\\_2021.pdf](https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2021.pdf) (ver **Anexo A**).

##### Hidrocarburos totales no volátiles

2) Los resultados de la determinación de hidrocarburos no volátiles mediante espectrofotometría UV-Vis se reporta en la **Tabla 6** y **Figura 15**. Brevemente, a partir de una curva de calibración con valores conocidos de petróleo crudo (Petróleo del campo Iríde 532 ubicado en el Campo Samaria-Luna), disueltos en diclorometano (**Anexo C**), se estimó la concentración de hidrocarburos totales no volátiles presentes en las muestras de agua de pozo profundo muestreadas en la localidad de Cumuapa (Cunduacán, Tabasco). De acuerdo con los valores registrados en la **Tabla 6** y graficados en la **Figura 15**, la muestra **MAC09** registró la mayor concentración de hidrocarburos totales no volátiles.

**Tabla 6.**

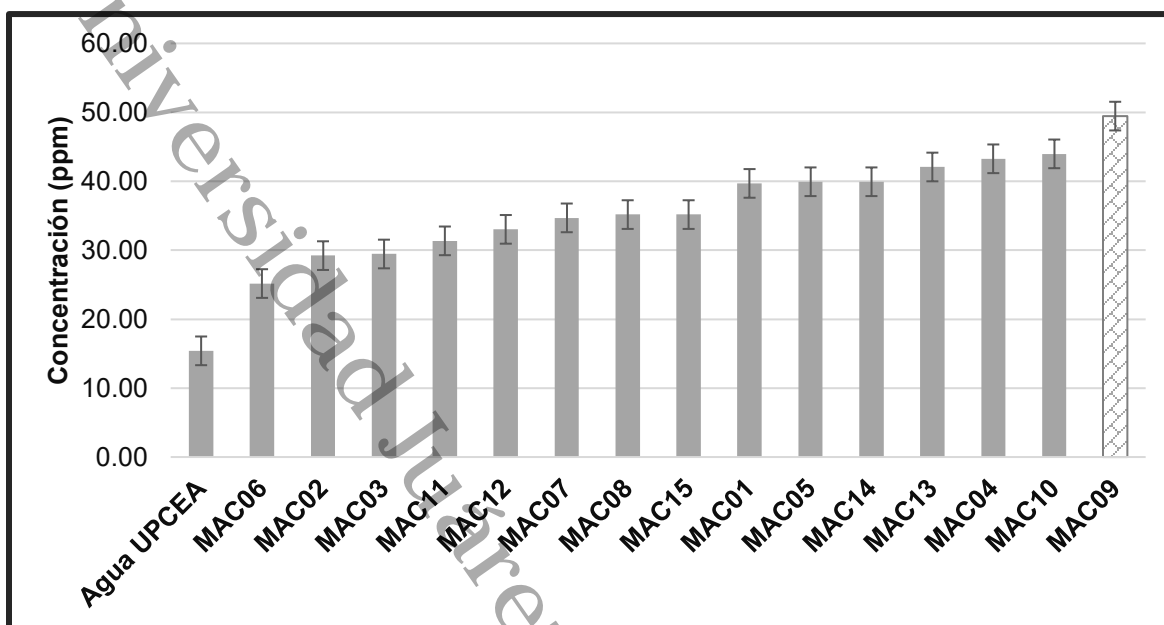
*Determinación de hidrocarburos totales no volátiles en muestras de agua de pozo profundo de Cumuapa (Cunduacán, Tabasco).*

<b>MUESTRAS</b>	<b>PPM±DE</b>
MAC06	25.17±2.51
MAC02	29.21±1.23
MAC03	29.45±2.06
MAC11	31.36±0.71
MAC12	33.02±2.30
MAC07	34.69±2.30
MAC08	35.17±6.44
MAC15	35.17±2.97
MAC01	39.69±2.51
MAC05	39.93±3.78
MAC14	39.93±0.71
MAC13	42.07±2.47
MAC04	43.26±2.06
MAC10	43.98±1.49
<b>MAC09</b>	<b>49.45±5.07</b>

*Nota:* Diseño original

**Figura 15.**

Representación gráfica de las concentraciones obtenidas.

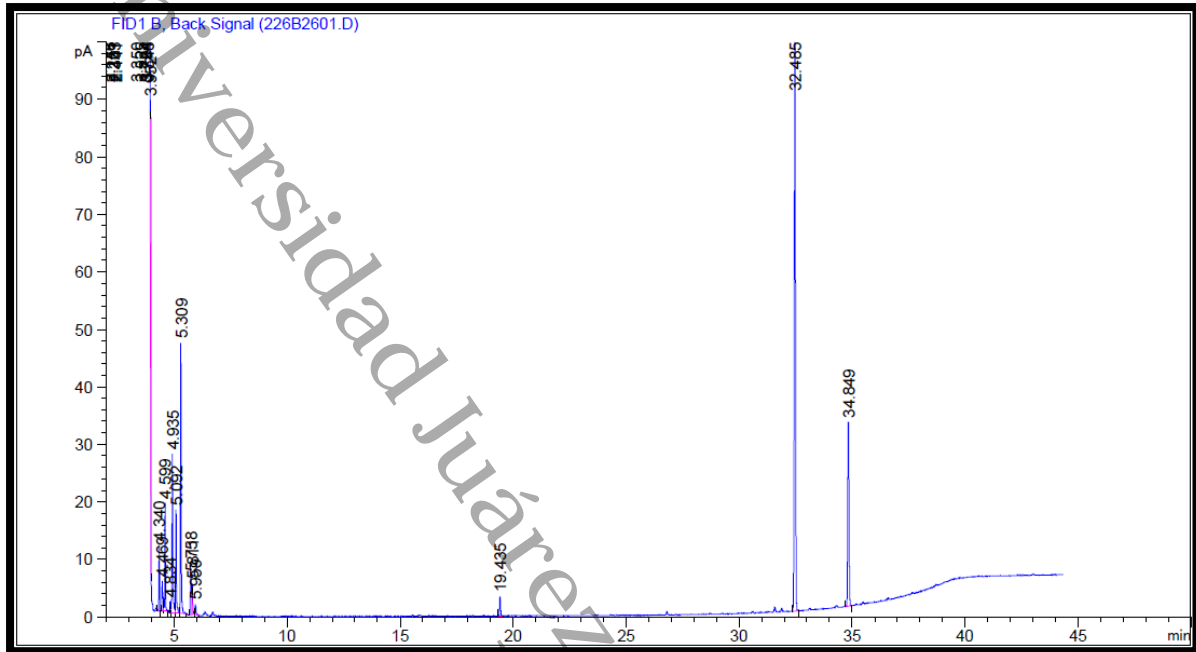


Nota: Diseño original

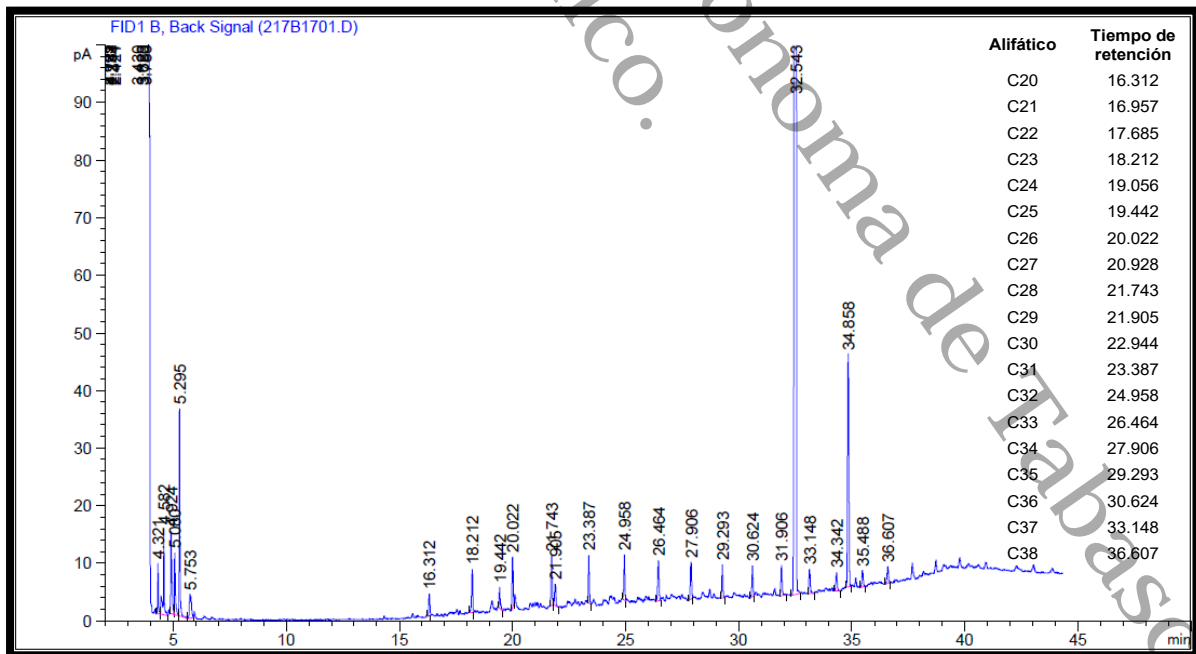
### Cromatografía de gases

3) La identificación de hidrocarburos no volátiles se realizó mediante cromatografía de ionización de llama (CG-FID). Todos los cromatogramas obtenidos durante la CG-FID se muestran en el **Anexo D** a excepción de las muestras de interés para el ensayo toxicológico (**agua del UPCEA** y **MAC09**), las cuales se reportan en las **Figuras 16 a 18** (se incluye el cromatograma del petróleo crudo solo como referencia). Cabe mencionar, que algunos tiempos de retención en los cromatogramas pueden estar asociados a la presencia de contaminantes (disolventes u otros compuestos asociados al proceso de extracción).

**Figura 16.**  
Cromatograma de la muestra de agua del UPCEA (control).

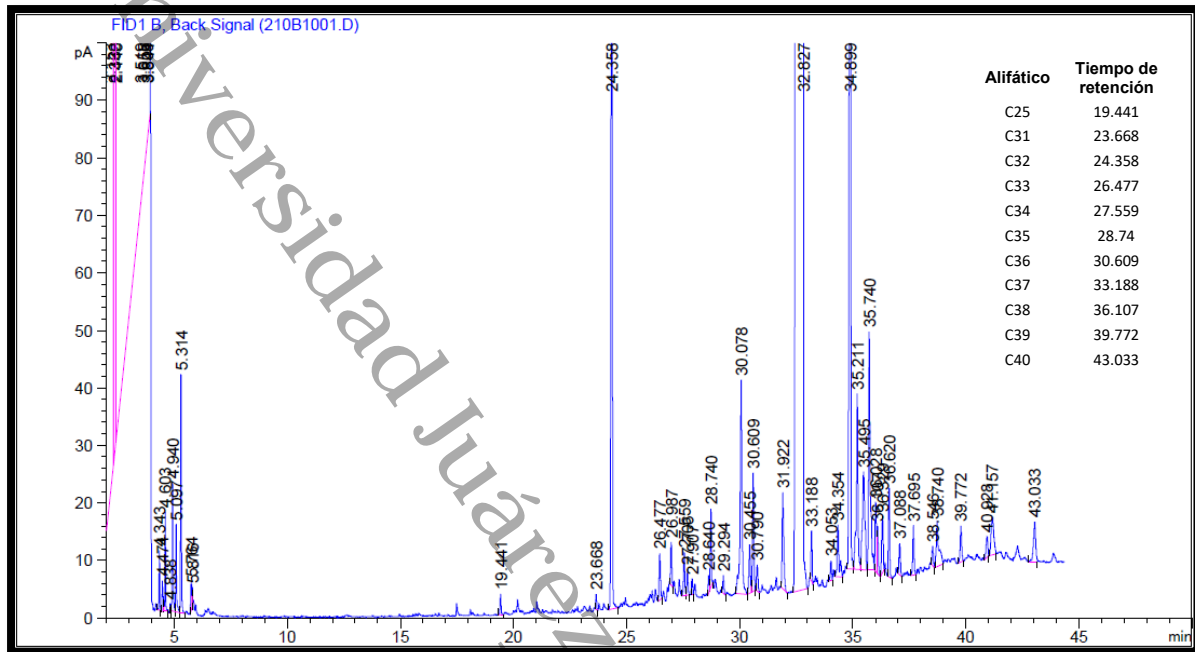


**Figura 17.**  
Cromatograma del petróleo crudo (referencia).



**Figura 18.**

Cromatograma de la muestra de agua de pozo profundo **MAC09**.

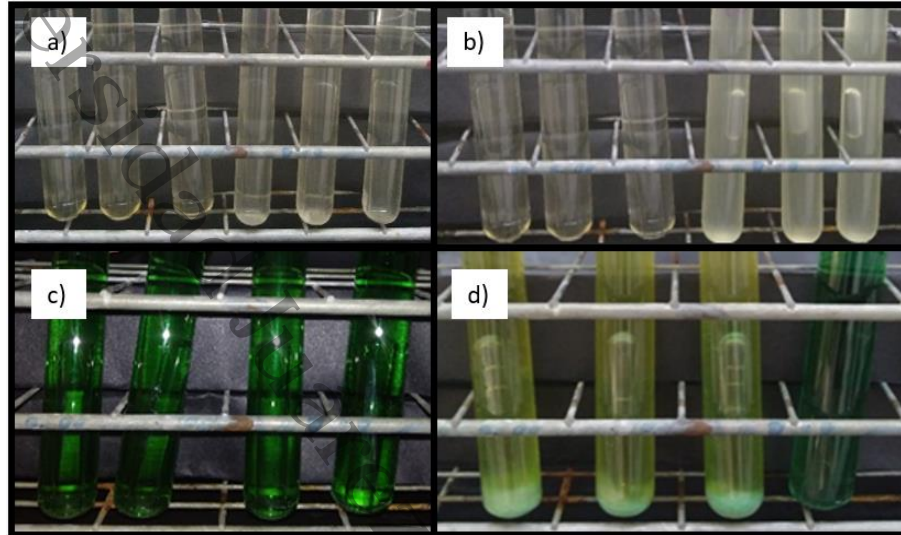


## 9.2. Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico realizado a las muestras de aguas de pozo profundo de la localidad de Cumuapa se muestran en la **Figura 19**. En las **Figuras 19a** y **19b** se muestran los tubos con resultados negativos (**MAC11**) y positivos (**MAC15**) en medio presuntivo (MPCL), mientras que en las **Figura 19c** y **19d** se muestran los tubos con resultados negativos (**MAC12**) y positivos (**MAC13**) para medio confirmativo (MCBVB), respectivamente. De acuerdo con el análisis microbiológico cualitativo, solo el 13% de las muestras de aguas de pozos presentaron producción de gas en los medios presuntivos o confirmativos registrado a través de la presencia de burbujas en las campanas de Durham y del análisis de turbidez por UV-Vis. Estos resultados sugieren la presencia de microorganismos generadores de gas tales como coliformes.

**Figura 19.**

Análisis microbiológico de las muestras de agua de pozo profundo de la localidad de Cumuapa, Cunduacán Tabasco.

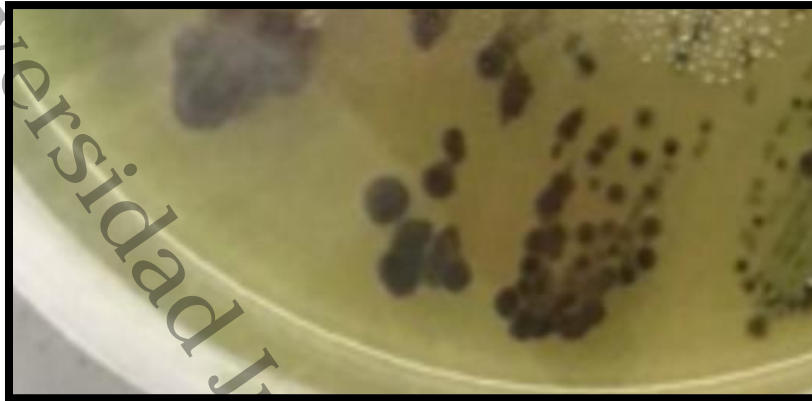


Nota. a) Muestra negativa **MAC11** en medios presuntivos (MPCL), b) Muestra positiva **MAC15** en medios presuntivos (MPCL), c) Muestra negativa **MAC12** en medios confirmativos (MCBVB), d) muestra positiva **MAC13** en medios confirmativos (MCBVB).

Continuando con la determinación de microorganismos patógenos en las muestras de agua de pozo profundo, se obtuvo que tanto la muestra **MAC13** como la **MAC15** presentaron crecimiento bacteriano en MSSDbb y MSSDxd específicos para patógenos entéricos gramnegativos como *Salmonella* y *Shigella* (Figuras 20 y 21).

**Figura 20.**

Análisis microbiológico de **MAC13** y **MAC15** en medio selectivo y diferencial bisulfito de bismuto (MSSDbb).



Nota Diseño original

**Figura 21.**

Análisis microbiológicos de **MAC13** y **MAC15** en medio selectivo y diferencial XLD (MSSDxld).

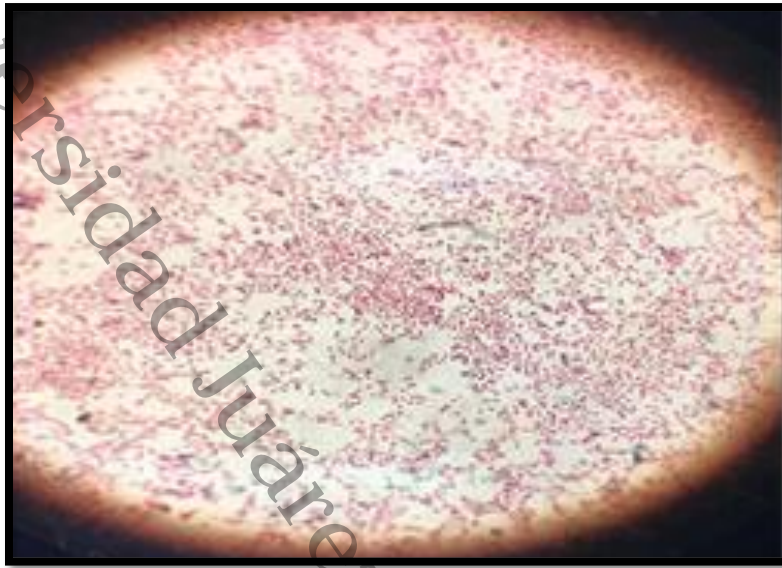


Nota: Diseño original

Para confirmar la presencia de los microorganismos antes mencionados, se procedió a realizar un frotis para identificar mediante tinción Gram el tipo de bacteria. La muestra se tomó de los medios selectivos y diferenciales a partir de la muestra **MAC15** y del medio confirmativo XLD. Como se esperaba, se observó tinción para microorganismos gramnegativos similares al género de las *Salmonellas* (Figura 22).

**Figura 22.**

*Tinción positiva para microorganismos gramnegativos similares al género de las Salmonellas (MAC15).*



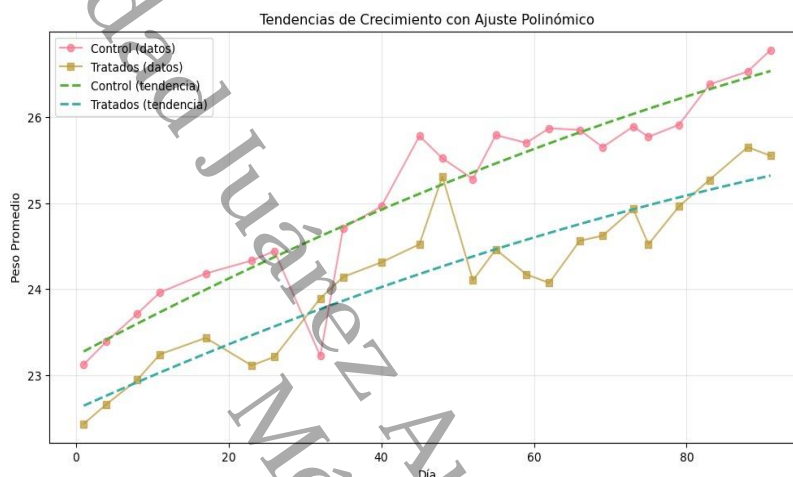
Nota: Diseño original

### 9.3. Evaluación toxicológica

El registro del peso corporal de los animales en experimentación (cepa *BALB/c*) durante el periodo de evaluación toxicológica se resumen en lo general en la **Figura 23** (n=10).

**Figura 23.**

*Registro del peso corporal de todos los ratones cepa **BALB/c** durante el ensayo toxicológico.*



Nota: Diseño original

El análisis estadístico se reporta por sexo debido a la naturaleza de los datos obtenidos, resaltando diferencias importantes en la respuesta al tratamiento aplicado. En este contexto, la **Tabla 7** y la **Figura 24** registran las diferencias de peso identificadas en las hembras entre el grupo control y el grupo tratado, mientras que la **Tabla 8** y la **Figura 25** registran esas mismas diferencias, pero en los machos.

**Tabla 7.**

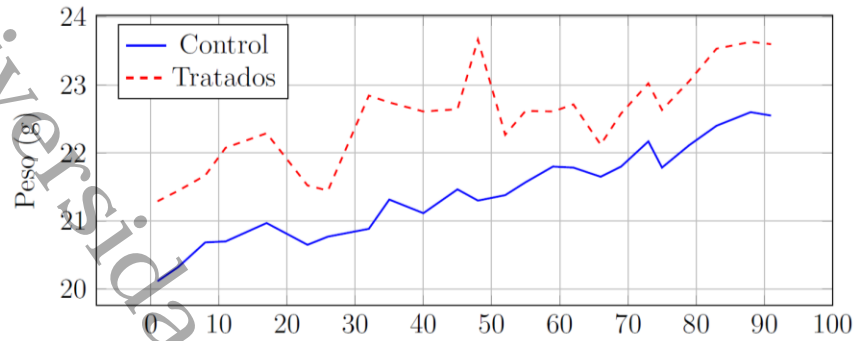
*Diferencia de peso identificada en hembras entre el grupo control y el grupo tratado.*

Estadístico	Control (g)	Tratados (g)	Diferencia
<b>Media</b>	21.39	22.62	1.23
<b>Desv. Estándar</b>	0.72	0.70	-
<b>Mínimo</b>	20.12	21.29	1.17
<b>Máximo</b>	22.60	23.67	1.07
<b>Rango</b>	2.49	2.38	-0.11

Nota: Diseño original

**Figura 24.**

*Seguimiento del peso corporal de los ratones hembra.*



Nota: Diseño original

- **Prueba t:**  $t \approx 5.92$ ,  $gl \approx 46$
- **Valor p:**  $p < 0.0001$ ; Teniendo como resultado una diferencia altamente significativa.

**Tabla 8.**

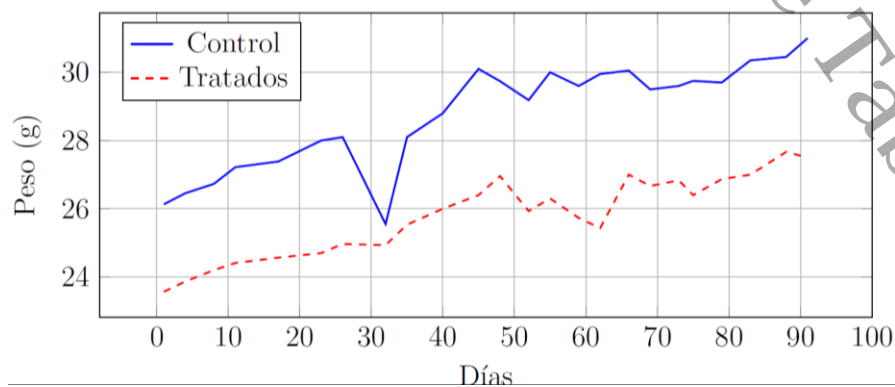
*Diferencia de peso identificada en machos entre el grupo control y el grupo tratado.*

Estadístico	Control (g)	Tratados (g)	Diferencia
<b>Media</b>	28.83	25.88	-2.95
<b>Desv. Estándar</b>	1.56	1.24	-
<b>Mínimo</b>	26.13	23.57	-2.56
<b>Máximo</b>	31.00	27.67	-3.33
<b>Rango</b>	4.87	4.10	-0.77

Nota: Diseño original

**Figura 25.**

*Seguimiento del peso corporal de los ratones macho.*



Nota. Diseño original.

- **Prueba t:**  $t \approx 7.25$ ,  $gl \approx 46$
- **Valor p:**  $p < 0.0001$ , mostrando una diferencia altamente significativa.

El análisis estadístico de los datos derivados del perfil hepático y la química sanguínea se reportan en la **Tabla 9**, **Tabla 10**, **Tabla 11**, **Tabla 12** y **Figura 26**.

**Tabla 9.**

*Análisis clínicos de la cepa BALB/c al término del ensayo toxicológico.*

	<b>CONTROLES (n=4)</b>	<b>TRATADOS (n=6)</b>	<b>VALOR DE REFERENCIA*</b>
	<b>PROMEDIO±DE</b>	<b>PROMEDIO±DE</b>	
<b>Perfil hepático (mg/dL)</b>			
<b>Bilirrubina total</b>	1.00±0.18	<b>1.30±0.37</b>	0.3-1 mg/dL
<b>Bilirrubina directa</b>	0.10±0.00	0.10±0.00	0.1-0.3 mg/dL
<b>Bilirrubina indirecta</b>	0.90±0.18	1.20±0.37	0.2-0.7 mg/dL
<b>T. Glutámico oxalacética (TGO/AST)</b>	350.50±155.75	615.33±382.61	10-45 UI/L
<b>T. Glutámico pirúvica (TGP/ALT)</b>	77.25±9.84	93.50±28.17	10-60 UI/L
<b>Química sanguínea (mg/dL)</b>			
<b>Glucosa</b>	153±17.78	134.00±12.54	≤80-110 mg/dL
<b>Colesterol total</b>	87±24.92	81.00±10.41	<200-239 mg/dL
<b>Triglicéridos</b>	148±39.64	163.00±34.56	<150-200 mg/dL

Nota. Diseño original.

**Tabla 10.**  
Resumen comparativo de la respuesta al tratamiento por sexo.

Colesterol	Hembras	Machos	Diferencia Sexual	Interpretación
<b>Bilirrubina Total</b>	+80%	-7	87%	Susceptibilidad femenina
<b>TGO / AST</b>	+208%	-12	220%	Daño severo en hembras
<b>TGP / ALT</b>	+38%	+2%	36%	Daño moderado en Hembras
<b>Glucosa</b>	-14%	-11%	3%	Similar ambos sexos
<b>Colesterol</b>	+10%	-17%	27%	Mejoría en machos
<b>Triglicéridos</b>	+35%	-9%	44%	Esteatosis en hembras

Nota: Diseño original

**Tabla 11.**  
Análisis comparativo detallado de parámetros hepáticos.

Parámetro	H. Control	H. Tratada	M. Control	M. Tratados	p (H)	p (M)
<b>Bilirrubina (mg / dL)</b>	0.85 ± 0.05	1.53 ± 0.40	1.15 ± 0.05	1.07 ± 0.10	0.05	NS
<b>TGO /AST (U / L)</b>	278.5 ± 67.5	858.0 ± 275.1	422.5 ± 146.5	372.7 ± 321.8	0.01	NS
<b>TGO / ALT (U / L)</b>	80.0 ± 10.0	110.7 ± 17.0	74.5 ± 5.5	76.3 ± 27.0	0.05	NS
<b>Relación TGO / TGP</b>	3.48	7.75	5.67	4.88	123%	-14%

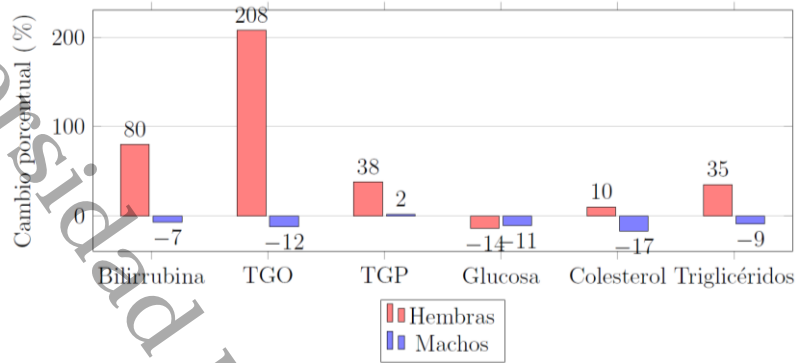
Nota: Diseño original

**Tabla 12.**  
Coeficiente de variación (CV) por grupo y sexo.

Grupo	CV TGO	CV Bilirrubina	CV Triglicéridos	Consistencia
<b>Hembras control</b>	34%	8%	7%	Alta
<b>Hembras Tratadas</b>	32%	26%	18%	Alta
<b>Machos Control</b>	49%	6%	33%	Moderada
<b>Machos Tratados</b>	75%	10%	27%	Baja

Nota: Diseño original

**Figura 26.**  
*Patrón de respuesta al tratamiento por sexo.*



Nota. Diseño original.

## CAPÍTULO X

### 10. Discusión

La problemática del suministro de agua potable en la zona donde se realizó el presente estudio se ha mantenido durante los últimos años, un hecho que ha favorecido la obtención del vital líquido mediante la generación de pozos tradicionales y la perforación de pozos profundos en la región. En este contexto, la localidad de Cumuapa en Cunduacán, Tabasco, como muchos otros sitios en el estado, recurren a la creación de pozos de agua (tradicionales o profundos) para solventar sus necesidades de consumo y uso general tanto en el hogar, como en las diferentes actividades económicas que se practican en la zona (agricultura, ganadería, pesca, petrolera, etc.) (INEGI, 2010). Inicialmente se identificó la carencia de agua potable en los diferentes sitios de muestreo en Cumuapa (Cunduacán, Tabasco), un hecho que fue confirmado por los pobladores del lugar quienes argumentaron que, si bien se contaba con la infraestructura necesaria para el abastecimiento del vital líquido, su disponibilidad era prácticamente nula la mayor parte del año.

Desde enero de 2015, la Comisión de Agua Potable, Drenaje, Alcantarillado, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales en el marco de su 4to informe trimestral de octubre-diciembre de 2014 notificó que “de acuerdo a los reportes operativos de SAS, deslaves en las orillas del Río Carrizal provocaron la separación de una línea perteneciente al circuito Cunduacán, lo que afectó el suministro de agua en la zona”, la cual abastece a las comunidades de Cumuapa 1ra y 2da sección, entre algunas otras. Según registros de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) existe una propuesta de “elaboración de estudio y proyecto ejecutivo para la construcción del sistema integral de agua potable, planta potabilizadora en la R/a. Cumuapa 1ra Sección, Zona Sur y centro poniente, Municipio de Cunduacán, Tabasco” sometida en agosto de 2019, por lo cual podría estar relacionado con la falta de recursos económicos para el abastecimiento de este vital líquido en la localidad. Cabe resaltar que, hasta octubre del 2022, la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento se deslinda del desabasto constante de agua en varios municipios del estado a consecuencia de fallas en los suministros eléctricos de la región (Padilla Herrera, 2021).

Este desabasto de agua potable en la mayoría de las comunidades ha promovido un incremento en el uso de pozos profundos, cuyas aguas requieren ser investigadas respecto a sus propiedades físicas y químicas, al ubicarse en zonas de riesgo por contaminación ambiental. En este contexto, se propuso analizar muestras de agua comercial de la región (ocho marcas en total) y una adicional del UPCEA, las cuales sirvieron para validar su uso en los ensayos toxicológicos al cumplir con lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de salud, 2000), aunque solo la proveniente del UPCEA fue considerada como control negativo. En términos generales, aunque las aguas comerciales se ajustan a la mayoría de los parámetros que marcan las normas (NOM-000-SSA1-2010 y NOM-127-SSA1-1994), dos muestras provenientes de pozo profundo tuvieron valores de pH ligeramente ácidos (**MAC03 y MAC10**) cuyos valores fueron de 6.3 y 6.4, respectivamente (Secretaría de salud, 2000, 2010). Aunque esta diferencia de pH pueda ser considerada mínima, con respecto a lo establecido por las normas, a nivel químico y molecular los cambios en pH pueden alterar la concentración de otras sustancias en el agua modificando su nivel de toxicidad.

De igual manera, aunque la conductividad en la mayoría de los puntos de muestreo fue buena o permisible según la normatividad, las muestras **MAC07** y la **MAC09** registraron valores por encima de lo establecido, una propiedad que se puede ver alterada por la naturaleza de las actividades agrícolas propias de la región, al incremento de la temperatura, o bien, a procesos de filtración dependientes del tipo de suelo en la zona de estudio. Dentro de las propiedades físicas, la turbiedad también registró un incremento de sólidos dispersos y partículas en suspensión en las muestras **MAC06**, **MAC07** y **MAC09**, siendo esta última la de mayor concentración ( $1735 \text{ UTN} \pm 5.0$ ), un factor relacionado con contaminación microbiológica y que también propicia la adhesión de metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas (Higiene Ambiental, 2018).

El consumo de estas aguas de pozo profundo puede llegar a ocasionar diversos tipos de daño a la población, ya que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Virus de la Hepatitis de tipo A (VHA) causante de la inflamación hepática puede ser transmitido a través del consumo de aguas o alimentos contaminados (Organización

Mundial de la Salud, 2022) En el 2019 la Secretaría de Salud (SSA), notificó un brote de Hepatitis A en 15 infantes de la comunidad de Cumuapa, la cual probablemente fue adquirida debido al consumo de alimentos contaminados (F. Hernández, 2019), lo que resalta la importancia de realizar análisis físicos, químicos y biológicos a alimentos y aguas de la región.

Los resultados de las pruebas químicas realizadas a las muestras de agua del grupo control mostraron cumplimiento de los estándares de calidad establecidos en la normatividad mexicana descartando la presencia de amoníaco, nitritos y nitratos (**ver anexos A, Tabla 2**). Lo anterior siguiendo las recomendaciones de la OMS que menciona todas “las intervenciones para mejorar la calidad del agua de consumo humano proporcionan beneficios significativos para la salud”.

De acuerdo con el análisis químico, según la OMS también “puede darse un número apreciable de problemas graves de salud como resultado de la contaminación química del agua de consumo humano”. En este contexto, la norma establece que, compuestos como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) no pueden superar los 0.50 mg/L, sin embargo, un total de nueve muestras de agua de pozo profundo superaron los límites permisibles con valores entre los 0.5 y 6.10 mg/L, siendo la **MAC09** la muestra que presentó la mayor concentración. Una exposición crónica de amoníaco puede estar relacionada con un mayor riesgo de padecer cáncer, además de afectar la salud reproductiva y otras alergias de tipo asmático (Organización Mundial de la Salud, 2022).

En el caso de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) el límite establecido en la NOM-127-SSA1-1994 no debe exceder los 10.00 mg/L, siendo la muestra **MAC02** la única que superó esta concentración con 20 mg/L, un factor de riesgo cuya exposición crónica debido principalmente a la absorción mediante la ingesta de verduras, carne o agua puede estar asociado con las infecciones gastrointestinales (Organización Mundial de la Salud, 2011). Esta misma norma establece que para nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) la concentración límite permitida es de 1.00 mg/L, mientras que para la dureza general ( $\text{CaCO}_3$ ) es de 500.00 mg/L, ambos indicadores registraron valores menores a los límites permisibles en las 15 muestras de agua de pozo profundo que fueron evaluadas.

La presencia de hidrocarburos totales de tipo alifático que han sido detectados en sedimentos de ríos, estuarios y mares a causa de las actividades petroleras o por las distintas actividades antropogénicas (Ahumada *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2015). En este proyecto se registró la presencia de algunos de estos hidrocarburos por encima de los límites permitidos en la normatividad en las 15 muestras de las aguas de pozo profundo al superar las 20 ppm de hidrocarburos totales no volátiles de tipo alifáticos siendo la muestra **MAC09** la que presentó la mayor concentración. Inicialmente, el análisis de la muestra de petróleo crudo de referencia mostró la presencia de C20, C23, C25, C26, C28, C29, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37 y C38, así como la presencia de contaminantes o picos pertenecientes a los disolventes empleados para el proceso de extracción de la muestra. Los *n*-alcanos C20, C21, C24, C28, C30 y C32 ya habían sido previamente identificados en muestras de sedimento provenientes de lagunas (Calva B. *et al.*, 2005).

Al análisis de la muestra de mayor concentración de hidrocarburos **MAC09**, registró la presencia de hidrocarburos alifáticos de tipo C25, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C39 y C40. De acuerdo con la literatura los C25, C27 y los C29 provienen de plantas terrestres. (Kim *et al.*, 2017), reporta que la bioacumulación por contaminantes procedentes de derivados de hidrocarburos en los organismos que conforman la cadena alimenticia puede llegar a alterar nuestra salud si llegamos a consumirlos, debido a que estos contaminantes tienen la capacidad de almacenarse en tallos, raíces y hojas, al igual que en tejido adiposo de distintas especies animales al ingerir agua.

De acuerdo con los datos derivados del análisis estadístico, las hembras muestran cambios positivos consistentes en marcadores de daño hepático, mientras los machos presentan cambios menores y variables. En las hembras la toxicidad fue consistente, se identificó un aumento del 208% en TGO/AST indicando daño hepatocelular severo, elevación del 80% en la bilirrubina sugiriendo ictericia moderada, un incremento del 35% en triglicéridos compatible con esteatosis hepática y una consistencia alta, debido a que los tres individuos afectados mostraron un patrón similar. En los machos la respuesta fue heterogénea, con un cambio global mínimo (-12% en TGO/AST), una alta variabilidad individual (CV 75% en TGO) y respuestas variables entre los especímenes (2/3 mejoran,

1/3 empeora). Por lo tanto, los resultados obtenidos en este proyecto de investigación demuestran que las aguas extraídas de pozos profundos de la localidad de Cumuapa, Tabasco no son aptas para consumo humano y que su consumo podría ser considerado un factor de riesgo importante para el desarrollo de diversas enfermedades.

## CAPÍTULO XI

### 11. Conclusiones

- Las aguas de pozo profundo de la localidad de Cumuapa, Tabasco, presentan contaminación por presencia de hidrocarburos no volátiles.
- Las aguas de los pozos profundos de la localidad de Cumuapa, Tabasco no son viables para consumo humano debido a que no cumplen con lo establecido por la normatividad nacional vigente (NOM-127-SSA1-1994 y proyecto de norma NOM-000-SSA1-2010).
- Se registró un dimorfismo sexual marcado en la cepa *BALB/c* en relación con la respuesta hepatotóxica al agua contaminada con hidrocarburos no volátiles.
- Las hembras de la cepa *BALB/c* mostraron toxicidad severa y consistente con daño hepatocelular, aunque es necesario dar seguimiento al proyecto con un número mayor de muestras.

## CAPÍTULO XII

### 12. Perspectivas

- Poder caracterizar las cepas bacterianas detectadas en los análisis microbiológicos de las aguas de pozo profundo de la localidad de Cumuapa (Cunduacán, Tabasco).
- Dar seguimiento al proyecto, incrementar el tamaño de muestra del modelo *BALB/c* y medir algunos marcadores hormonales para confirmar alteraciones metabólicas originadas por el agua de pozo con exposición a hidrocarburos no volátiles.
- Identificar posibles metabolitos derivados de hidrocarburos no volátiles en habitantes de la localidad de Cumuapa (Cunduacán, Tabasco).

## CAPÍTULO XIII

### 13. Bibliografía

- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2009). *Norma técnica para la perforación de pozos profundos en la administración nacional de acueductos y alcantarillados*. Gerencia Técnica Del Departamento de Normas Técnicas. <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/perf-pozos.pdf>
- Ahumada, R., Jago, M., Rudolph, A., & Loyola, R. (2008). hidrocarburos lineales como marcadores en el sedimento de procesos naturales y contaminación. *Cienc. Tecnol. Mar*, 31(1), 53–65.
- Alberto Pérez, C., Daniel Bosia, J., Sandra Cantore, M., Chiera, A., Ricardo Cocozzella, D., Eduardo Adrover, R., Borzi, S., & Oscar Curciarelo, J. (2006). Daño hepático en trabajadores expuestos a hidrocarburos. *Gastroenterología y Hepatología*, 29(6), 334–337. <https://doi.org/10.1157/13089716>
- Alegría-Hernández, B. A., Morales-Bautista, C. M., Torres-Sánchez, S. A., & Alor-Chávez, M. de J. (2019). Evaluación de los cambios en las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo en dos tipos de suelos. *JEEOS*, 3(2), 19–32. <https://doi.org/10.19136/Jeeos.a3n2.3406>
- Ambiental, S. G. (2013). *Tipos de impactos ambientales*. Impacto Ambiental. <https://www.sema.gob.mx/SGA-IMPACTO-INDEX.htm>
- Boyd, C. E. (2020). *Water Quality*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>
- Brewster, C. S., Sharma, V. K., Cizmas, L., & McDonald, T. J. (2018). Occurrence, distribution and composition of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment cores from the Lower Fox River, Wisconsin, US. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 4974–4988. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0819-z>
- Bruni, M., & Spuhler, D. (2018). *Pozos perforados (pozo profundo)*. Sustainable Sanitation and Water Management. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/pozos-perforados-%28pozo-profundo%29>
- Burgess, S. (2019). *Modelo animal*. National Human Genome Research Institute. <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Modelo-animal>
- Calva B., L. G., Botello, A. V., & Ponce vélez, G. (2005). Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la laguna Sontecomapan, Ver., México. *Hidrológica*, 15, 97–108.
- Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, julio M. (2016). Evaluación de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11–17. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55605>
- Centro de Información Toxicológica de Veracruz. (2017). *Hidrocarburos*. Guía de Hidrocarburos. <https://www.ssaver.gob.mx/citver/files/2017/04/GUIA-DE-HIDROCARBUROS-CLASIFICACION.pdf>

- Chávez, M., Rivera, G., Romero, T., & Vizcarra, I. (2013). El pozo: usos, seguridad y tradición en la subcuenca del río San Javier. *Estudios Sociales*, 41, 206–207.
- CONAGUA. (2004). *Situación de los recursos hídricos. En Estadísticas del agua en México.*
- Departamento de salud y servicios Humanos de los EE.UU. (2016). Resúmenes de salud pública - Hidrocarburos totales del petróleo (TPH). *ATSDR*. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs123.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html)
- Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology* (3th ed.). <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=rUUaBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=hydrology&ots=7nLKlIdmfP&sig=rslEaZVBIKBuOLJoE8ga9Gj5KU#v=onepage&q&f=false>
- EPA. (2021). *Acerca de los pozos de agua privados.*
- Gámez, R., & Más, R. (2007). Aspectos generales de los estudios toxicológicos preclínicos más empleados. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 38(3), 204–208. <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/sites/default/files/articulos/CB-2007-3-204-208.pdf>
- Gold-Bouchot, G., Zavala-Coral, M., Zapata-Pérez, O., & Ceja-Moreno, V. (1997). Hydrocarbon Concentrations in Oysters (*Crassostrea virginica*) and Recent Sediments from Three Coastal Lagoons in Tabasco, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 59, 430–437. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s001289900496.pdf>
- González, S., Steban-Hernández, J., Valcárcel, Y., Hernandez-Barrera, V., & Gil, Á. (2010). Contaminación del agua en fuentes cercanas a campos petrolíferos de Bolivia. *Rev. Panam Salud Pública*, 28(4), 235–243.
- Hermida Ameijeiras, A., Simal Gándara, J., López Hernández, J., & Simal Lozano, J. (1994). Classification of the coastal waters of Galicia (NW Spain) on the basis of total aliphatic hydrocarbon concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Marine Pollution Bulletin*, 28, 396–398. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90280-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90280-1) et rights and content
- Hernández, F. (2019). Detectan brote de Hepatitis A. *El Heraldo*.
- Hernández, S. (2006). El modelo animal en las investigaciones biomédicas. *BIOMEDICINA*, 2(3), 252–256.
- Higiene Ambiental. (2018). *¿Qué nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?* <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable#:~:text=A mayor turbiedad%2C mayor particulado,el organismo diana a eliminar>
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Cunduacán Tabasco.* [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/27/27006.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27006.pdf)
- INEGI. (2015a). *Clima de Tabasco.* Información Por Entidad. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&e=27>
- INEGI. (2015b). *México en cifras.* Tabasco Resumen. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=27>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022a). Hidrocarburos alifáticos insaturados. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 275–281).

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022b). Hidrocarburos, alifáticos y halogenados. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 249–274).
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022c). Hidrocarburos aromáticos. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 282–295). <https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022d). Hidrocarburos aromáticos halogenados. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 296–309). <https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022e). Hidrocarburos poliaromáticos. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 310–319). <https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022f). Hidrocarburos saturados y alicíclicos. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 235–248).
- Kim, A. W., Vane, C. H., Moss-Hayes, V., Engelhart, S. E., & Kemp, A. C. (2017). PAH, PCB, TPH and mercury in surface sediments of the Delaware River Estuary and Delmarva Peninsula, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 129, 835–845. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.008>
- Lache-García, A., Meléndez-Correa, L. V., Orrego, J. A., Mejía-Ospino, E., Pachón, Z., & Cabanzo, R. (2011). Predicción Del Análisis SARA De Crudos Colombianos Por Métodos Quimiométricos Utilizando Espectroscopia Infrarroja–ATR. *Revista Colombiana de Física*, 43, 643–647.
- Levy, E. M. (1972). *The identification of petroleum products in the marine environment by absorption spectrophotometry*. 6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313547290173X>
- Magnuson, J. T., Khursigara, A. J., Allmon, E. B., Esbaugh, A. J., & Roberts, A. P. (2018). Effects of Deepwater Horizon crude oil on ocular development in two estuarine fish species, red drum (*Sciaenops ocellatus*) and sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 166, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.087>
- Medicina interna. (2021). *Hidrocarburos alifáticos*. <https://empendium.com/manualmibe/chapter/B34.II.20.14>.
- Muñoz De La Cruz, S. del R., Morales-Bautista, C. M., & Mendoza-Lorenzo, P. (2018). *Determinación de grasas y aceites en agua de pozo de la localidad de Cumuapa, Tabasco con posible exposición a contaminantes ambientales*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Muñoz De La Cruz, S. del R., Vilchis Reyes, M. Á., & Mendoza Lorenzo, P. (2021). Estudio químico preliminar de aguas de pozo profundo con riesgo de exposición a derrame por hidrocarburo.

- Tendencias En Docencia e Investigación En Química*, 7(7), 161–166. [https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista\\_TeDIQ\\_2021.pdf](https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2021.pdf)
- Nemr, A. El, El-Sadaawy, M. M., Khaled, A., & Draz, S. O. (2013). Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of the Mediterranean: assessment and source recognition of petroleum hydrocarbons. *Environ Monit Assess*, 185, 4571–4589. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2889-1>
- OECD. (2018). *Test No. 408: Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents*. 1–16. <https://doi.org/10.1787/9789264070707-en>
- Olguín, E. J., & Hernández, María Elizabeth Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 23(3), 139–154.
- Olivares Guerrero, A. (1996). *Manual para el manejo de animales de laboratorio* (1ra.). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Nitratos. In *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Cuarta edi, pp. 494–473).
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Hepatitis A*. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a>
- Pacheco-Ávila, J., Pat Canul, R., & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73–81. [http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/analisis nitrogeno.pdf](http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/analisis%20nitrogeno.pdf)
- Padilla Herrera, A. (2021). El problema no es con CFE, sino con la directiva en Tabasco: CEAS. *El Heraldo*.
- Pérez, F. (2017). Derrame en Cumuapa 2da sección. *Tabasco Hoy*. [https://twitter.com/alerta\\_th/status/914190736597413891?lang=es](https://twitter.com/alerta_th/status/914190736597413891?lang=es)
- Real Academia Española. (2018). *Viabilidad*. Diccionario de La Lengua Española. <https://dle.rae.es/?id=biZYVX4%7Cbia2X1Q>
- San Sebastian, M. (2001). Exposures and cancer incidence near oil fields in the Amazon basin of Ecuador. *Occupational and Environmental Medicine*, 58(8), 517–522. <https://doi.org/10.1136/oem.58.8.517>
- Secretaría de Economía. (2001). *NMX-AA-117-SCFI-2001, Análisis de agua - determinación de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba*. SEMARNAT. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO106.pdf>
- Secretaría de Economía. (2015). *NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua -Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli –Método del número más probable en tubos múltiples*. Diario Oficial de La Federación (DOF). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>

- Secretaría de salud. (1995). *Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable*. Diario Oficial de La Federación. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html>
- Secretaría de salud. (2000). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Diario Oficial de La Federación. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>
- Secretaría de salud. (2005). *Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muest.* Diario Oficial de La Federación. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/230ssa102.html>
- Secretaría de salud. (2010). *NOM-000-SSA1-2010*. Diario Oficial de La Federación. [https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjgseuRxdrYAhUFRFMKHSM\\_AWgQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ecomexsa.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F08%2Ftemas-de-interes.pdf&usq=AOvVaw2jxSKhI5d50YzxO64BGhFz](https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjgseuRxdrYAhUFRFMKHSM_AWgQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ecomexsa.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F08%2Ftemas-de-interes.pdf&usq=AOvVaw2jxSKhI5d50YzxO64BGhFz)
- Secretaría de salud. (2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos*. Diario Oficial de La Federación (DOF). [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&fecha=26/06/2015)
- Secretaría de salud. (2015). *Estrategia estatal para la prevención y el control de sobrepeso, la obesidad y la diabetes*. Estrategia SOD Tabasco. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25081/EstrategiaSODTabasco.compressed.pdf>
- SENER. (n.d.). *¿Qué son los hidrocarburos?* Gobierno de México. Retrieved May 22, 2022, from <https://www.gob.mx/sener/articulos/que-son-los-hidrocarburos>
- Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2001). *NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. Diario Oficial de La Federación. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999\\_220801.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf)
- Silos-Rodríguez, J. M. (2008). *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos* (Primera). [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=kU90SzZc\\_TAC&oi=fnd&pg=PA17&dq=clasificación+de+hidrocarburos&ots=FEL795nvxm&sig=hO7ez6nlcOXopzkrurDodX\\_g69E#v=onepage&q=clasificación+de+hidrocarburos&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=kU90SzZc_TAC&oi=fnd&pg=PA17&dq=clasificación+de+hidrocarburos&ots=FEL795nvxm&sig=hO7ez6nlcOXopzkrurDodX_g69E#v=onepage&q=clasificación+de+hidrocarburos&f=false)
- Stein, L. Y., & Klotz, M. G. (2016). The nitrogen cycle. *Current Biology*, 26, 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.021>
- Stüeken, E. E., Kipp, M. A., Koehler, M. C., & Buick, R. (2016). The evolution of Earth's biogeochemical nitrogen cycle. *Earth-Science Reviews*, 160, 220–239. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.007>
- Tabasco Hoy. (2020, September 10). Evacúan familias por derrames de crudo en Cunduacán. *Tabasco Hoy*. <https://www.tabascohoy.com/evacuan-familias-por-derrames-de-crudo-en-cunduacan/>

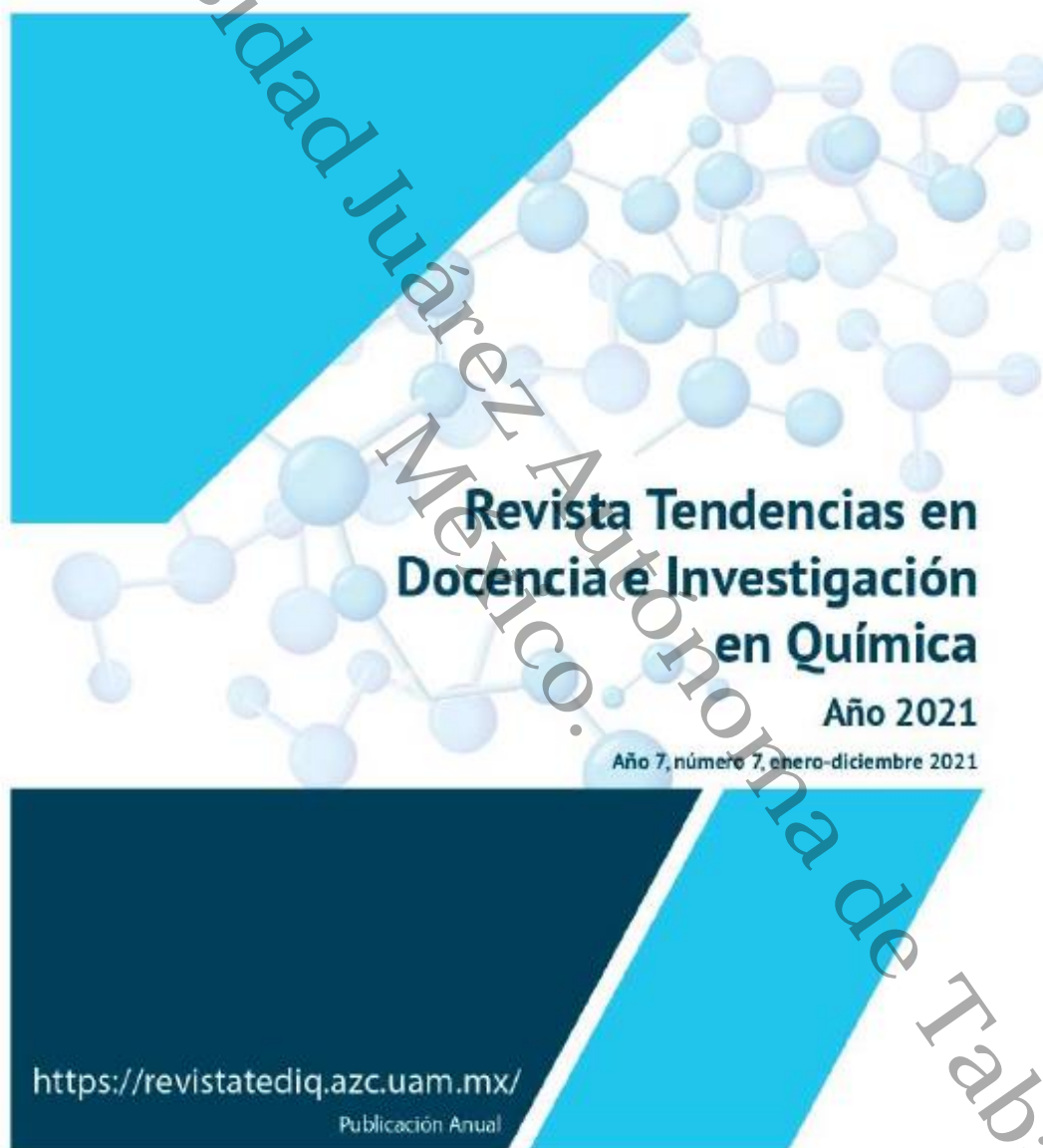
- The Jackson Laboratory. (2022). *BALB/c mice*. How It's Made. <https://www.jax.org/strain/000651>
- Triano-Coronel, F. (2012a). *Derrame de crudo y gas en Cumuapa, Cunduacán*. Tabasco Hoy. <http://www.tabascohoy.com/nota/84166/derrame-de-crudo-y-gas-en-cumuapa-cunduacan>
- Triano-Coronel, F. (2012b). *Mortífero derrame en Cumuapa*. Tabasco Hoy. <http://www.tabascohoy.com/nota/51743/mortifero-derrame-en-cumuapa>
- Triano-Coronel, F. (2019). En Cumuapa se extiende derrame de crudo. *Tabasco Hoy*. <https://www.tabascohoy.com/nota/485947/en-cumuapa-se-extiende-derrame-de-crudo>
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2022). *Animales de experimentación*. Bioterio. [https://www.uaeh.edu.mx/bioterio/animales\\_expe.html](https://www.uaeh.edu.mx/bioterio/animales_expe.html)
- Valdivielso, A. (2022). *¿Qué son los pozos artesianos?* Iagua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-pozo-artesiano>
- Wang, M., Wang, C., Hu, X., Zhang, H., He, S., & Lv, S. (2015). Distributions and sources of petroleum, aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Bohai Bay and its adjacent river, China. *Marine Pollution Bulletin*, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.11.017>
- Zerkle, A. L., & Mikhail, S. (2017). The geobiological nitrogen cycle: From microbes to the mantle. *Geobiology*, 15(3), 343–352. <https://doi.org/10.1111/gbi.12228>

## CAPÍTULO XIV

### 14. Anexos

#### A. Artículo original publicado.

ISSN: 2448-6663



Universidad  
Autónoma  
Metropolitana  
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

**CBI** DIVISIÓN DE  
CIENCIAS BÁSICAS  
E INGENIERÍA  
UAM - AZCAPOTZALCO



## Estudio químico preliminar de aguas de pozo profundo con riesgo de exposición a derrame por hidrocarburo

Muñoz De La Cruz Sofia Del Rosario\*, Vilchis Reyes Miguel Ángel, Mendoza Lorenzo Patricia

Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT), División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1 Col. La Esmeralda CP. 86690 Cunduacán, Tabasco, México.

\*Autor para correspondencia: sofiamunozdelacruz@hotmail.com

Recibido:  
12/junio/2021

Aceptado:  
23/octubre/2021

Palabras clave:  
Agua, pozo profundo,  
contaminación por  
hidrocarburo

Keywords:  
Water,  
deep well,  
oil pollution

### RESUMEN

El objetivo fue caracterizar las propiedades físicas y químicas de muestras de agua de pozo profundo con riesgo de exposición a hidrocarburos en una localidad de Cunduacán, Tabasco. Se analizaron 15 pozos profundos cercanos al Activo Integral Samaria-Luna. La toma de muestra se realizó según NOM-230-SSA1-2002. El pH, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura fueron determinadas *in situ* con un medidor portátil HANNA HI9813-5. El amoníaco, nitritos, nitratos, dureza general y dureza carbonatada se analizaron por técnicas colorimétricas. Resultados preliminares y según NOM-127-SSA1-1994b y PROY-NOM-127-SSA1-2017, los SDT y el amoníaco fueron los que con mayor frecuencia excedieron los límites permisibles de la calidad del agua. La caracterización de aguas de pozo profundo usadas comúnmente en actividades domésticas, agrícolas, industriales o de consumo, en zonas con potencial riesgo de contaminación, permitirá valorar su calidad e identificar factores de riesgo que modifiquen el estado de salud de sus pobladores.

### ABSTRACT

The objective was to characterize the physical and chemical properties of deep well water samples at risk of exposure to hydrocarbons in a locality of Cunduacán, Tabasco. Fifteen deep wells near the Samaria-Luna Integral Asset were analyzed. Sampling was performed according to NOM-230-SSA1-2002. The pH, conductivity, total dissolved solids and temperature were determined *in situ* with a HANNA HI9813-5 portable meter. Ammonia, nitrites, nitrates, general hardness and carbonate hardness were analyzed by colorimetric techniques. Preliminary results and according to NOM-127-SSA1-1994b and PROY-NOM-127-SSA1-2017, SDT and ammonia were the most frequently exceeded permissible water quality limits. The characterization of deep well water commonly used in domestic, agricultural, industrial, or consumer activities in areas with a potential risk of contamination will make it possible to assess its quality and identify risk factors that modify the health status of its inhabitants.

## Introducción

Una amplia variedad de compuestos tóxicos presentes en el aire, agua, suelo y sedimentos han sido asociados con un gran número de alteraciones fisiológicas en diversos organismos y con daños severos en diferentes ecosistemas (OMS, 1992). Se ha reportado que sustancias químicas derivadas de los procesos de extracción de combustibles fósiles, petroquímicos y ciertos derrames podrían ocasionar alteraciones metabólicas en ciertas poblaciones, cuya exposición crónica podría favorecer la acumulación de grasas en el cuerpo e inducir fenotipos obesos (OMS, 2003; Kim et al., 2014). La distribución de los contaminantes en el ambiente es ubicua, sin embargo, las actividades industriales y los procesos químicos que ahí se realizan incrementan las emisiones de estos contaminantes al ambiente facilitando su incorporación al agua, aire, suelo y alimentos. Por su naturaleza, estas sustancias pueden ser transportadas a grandes distancias por los vientos y pueden incorporarse al cuerpo humano por ingestión, inhalación o absorción dérmica, razón por la cual, cada vez es más frecuente identificarlos en niveles significativos en el agua que tomamos, en la comida que ingerimos y en el aire que respiramos.

Nuestro país cuenta con regiones de alta exposición a sustancias químicas en aire, agua, suelo y alimentos. Tabasco se ubica en una de las regiones con las tasas más altas de exposición a contaminantes ambientales a consecuencia de sus principales actividades económicas y productivas, derrames de petróleo y otras actividades antropogénicas y culturales. Adicionalmente, se ha reportado que una tercera parte del agua dulce de México se concentra en este estado debido a los sistemas fluviales y las abundantes lluvias en la región, factores que sin duda modifican la distribución y/o bioacumulación de estos contaminantes ambientales (CONAGUA, 2017; FES, 2017).

Existen comunidades rurales en el estado de Tabasco donde el acceso al sistema de agua potable es limitado o no cuentan con este servicio por lo que sus pobladores cubren sus necesidades básicas a partir de las fuentes de agua disponibles como ríos, lagos y particularmente, pozos tradicionales (10 m de profundidad) o pozos profundos (25-30 m profundidad) para la obtención de este vital líquido. Durante años, el agua de estos pozos, tanto tradicionales, como profundos, representan una importante fuente de abastecimiento para estas comunidades (CONEVAL, 2020). De hecho, hasta hace algunos años se creía que entre más profundo era el pozo de donde se obtenía el agua, mayor era su calidad y menor sus índices de contaminación, sin embargo, con el paso de los años, el incremento de las actividades petroleras e industriales han modificado la presencia de estos contaminantes en los cuerpos de agua de la región

y desconocemos las implicaciones que esto conlleve sobre la salud de sus poblaciones y el equilibrio de sus ecosistemas. Hasta la fecha, son limitados los estudios enfocados a caracterizar la calidad de agua en la región.

A Tabasco lo integran 17 municipios, entre ellos, Cunduacán resulta de gran interés por su activa participación en el sector secundario, representado por la industria petrolera (INEGI, 2021). Este municipio abarca el 2.54 % del territorio total del estado y al menos el 50% de su superficie alberga algún tipo de instalación de PEMEX. La gran cantidad de ductos que atraviesan sus localidades, incrementan el riesgo de derrames cuyos efectos colaterales han sido poco explorados. Cunduacán incluye localidades que por su ubicación geográfica y su cercanía con el Activo Integral Samaria-Luna, presentan un mayor riesgo de exposición a estos derrames como es el caso de Cumuapa. En este contexto, la presente investigación pretende caracterizar a nivel físico y químico la calidad del agua de pozo profundo en regiones expuestas a derrames por hidrocarburo para evaluar su calidad y su viabilidad como aguas sanitariamente tolerables.

## Metodología

### Área de estudio

El estudio es considerado un ensayo piloto de tipo exploratorio. La localidad de Cumuapa se ubica en el municipio de Cunduacán, Tabasco en las coordenadas Latitud: 17.995785, Longitud: -93.14546, Altitud: 10 metros. Debido a su actividad económica, esta zona ha sido expuesta a derrames por hidrocarburos y aunque cuenta con accesos limitados a pozos de agua en general, fue posible ubicar 15 pozos profundos (rango 15-33 m). En 2019 se obtuvo una muestra representativa de agua en cada uno de estos pozos profundos y se procedió a su caracterización física y química. Las ubicaciones geográficas de los puntos de muestreo se reportan en la Figura 1, cabe mencionar que estos sitios se corresponden con las áreas de mayor densidad poblacional.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de agua de pozo profundo en Cumuapa (Cunduacán, Tabasco).  
Fuente: Google Earth

### Análisis físicos y químicos

La toma de muestra de agua de pozo profundo se realizó según lo establecido en la NOM-230-SSA1-2002. La recolección, conservación y almacenamiento de las muestras de pozo profundo se llevó a cabo en frascos de vidrio de boca ancha previamente lavados y desinfectados con detergente neutro concentrado (Hyclin-plus neutro, HYCEL®). Cada frasco fue sumergido en una solución de HNO<sub>3</sub> 0.1 N durante 48 h a temperatura ambiente. Posteriormente se enjuagaron con agua desionizada y se secaron a 120 °C por 24 h. Una vez secos, cada frasco fue etiquetado, envuelto en papel estroza y almacenado a temperatura ambiente hasta el día del muestreo. Una vez realizado el muestreo de las aguas de pozo profundo, éstas fueron almacenadas y transportadas en hielo al laboratorio, evitando en la medida de lo posible, su exposición a la luz solar. Todas las muestras de agua recolectadas fueron almacenadas a 4 °C hasta su procesamiento.

El pH, la conductividad, los sólidos disueltos totales y la temperatura fueron determinadas *in situ* con un equipo portátil HANNA HI9813-5 multiparamétrico sumergiendo la punta del electrodo (≈4cm) dentro de cada una de las muestras y seleccionando la variable correspondiente. La lectura fue registrada tras un par de minutos para su estabilización. El amoníaco (método de Indofenol modificado), los nitritos y los nitratos (método de disociación modificado en presencia de ácido 4-aminobencensulfónico), la dureza general o GH y la dureza carbonatada o KH (método titrimétrico modificado) se analizaron siguiendo las recomendaciones del proveedor (Hagen® [USA]).

### Determinación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) no volátiles

Inicialmente y como parte de la validación de muestras de referencia en estudios toxicológicos futuros, se llevó a cabo un análisis preliminar a ocho marcas de agua comercial (AC1 a AC8) y a una muestra de agua proveniente de la Unidad de Producción, Cuidado y Experimentación Animal de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UPCEA-UJAT).

Previo a su procesamiento, todas las muestras de agua fueron filtradas por gravedad en papel filtro No. 4 (Whatman™, Qualitative, 125 mm de diámetro). En una primera etapa se tomaron 200 mL del filtrado y se colocaron en un embudo de separación de 500 mL. Posteriormente se adicionaron 200 mL de diclorometano (DCM) y se procedió a agitar la mezcla de forma manual y vigorosa durante 30 s, eliminando los gases del interior por tres veces consecutivas. Finalmente, la mezcla se dejó reposar por 2 h a temperatura ambiente (25 ± 2 °C).

En una segunda etapa, se recuperaron ambas fases por separado. Para los fines de este estudio se recuperó la fase orgánica en un matraz de balón esmerilado para obtener los hidrocarburos totales de petróleo (HTP), los cuales posteriormente fueron concentrados en un rotavapor. Una vez concentradas, cada muestra fue sometida a determinación de HTP no volátiles en un UV-Vis (GENESYS 10S UV-Vis spectrophotometer, Thermo Scientific™) a 426nm.

## Resultados y discusión

### Análisis físicos y químicos

#### Muestras de referencia: aguas embotelladas comerciales y del UPCEA-UJAT

Los resultados del análisis de validación a las muestras de agua comercial para su uso futuro en ensayos toxicológicos como muestras de referencia se reportan en la Tabla 1 y 2, respectivamente.

**Tabla 1.** Análisis físicos y químicos realizados a muestras de agua comercial y del UPCEA-UJAT para validar su uso en ensayos toxicológicos futuros. (Parte I).

Folio	Temperatura máx. (°C)	pH	SDT (ppm)	Conductividad máx. (µS/cm a 25 °C)
NOM	25	6.5-8.5	1000	1250 excelente
AC1	13.70 ± 0.20	7.80 ± 0.00	65.00 ± 5.00	80 ± 0.00
AC2	12.00 ± 0.00	7.50 ± 0.10	109.00 ± 3.00	140 ± 10
AC3	10.70 ± 0.10	7.60 ± 0.10	86.00 ± 6.00	110 ± 10
AC4	10.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	53.00 ± 1.00	60 ± 0.00
AC5	10.20 ± 0.20	7.00 ± 0.10	118.00 ± 2.00	160 ± 20
AC6	12.10 ± 0.20	7.80 ± 0.10	0.54 ± 0.00	60 ± 0.00
AC7	10.80 ± 0.10	7.50 ± 0.30	0.88 ± 0.00	110 ± 10
AC8	10.80 ± 0.00	7.80 ± 0.00	32.00 ± 1.00	30 ± 0.00
UPCEA	18.27 ± 0.25	7.93 ± 0.06	113.00 ± 9.85	240 ± 20

Los datos se reportan como el Promedio ± Desviación Estándar.

**Tabla 2.** Análisis físicos y químicos realizados a muestras de agua comercial y del UPCEA-UJAT para validar su uso en ensayos toxicológicos futuros. (Parte II).

Folio	Amoníaco (NH <sub>3</sub> ) (0.0-6.1 mg/L)	Nitratos (NO <sub>3</sub> -) (0.0-110.0 mg/L)	Nitritos (NO <sub>2</sub> -) (0.0-3.3 mg/L)	Dureza general (GH) (0.0-500mg/L)	Dureza carbonatada (KH) (0.0-80 mg/L)
NOM	0.5	11	0.9	500	-
AC1	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	30
AC2	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	10
AC3	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	20
AC4	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	50
AC5	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	10
AC6	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	10
AC7	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	40
AC8	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	10
UPCEA	<0.0-6.1	<0.0-110.0	<0.0-3.3	20	60

De acuerdo con los resultados registrados en la Tablas 1, Tabla 2 y conforme a lo establecido en la normatividad mexicana en lo referente a agua para uso y consumo humano (NOM-230-SSA1-2002 y PROY-NOM-127-SSA1-2017) todas las muestras de agua analizadas, tanto comerciales (AC1-AC8), como la proveniente del UPCEA-

UJAT, cumplen con las especificaciones sanitarias físicas y químicas preliminares que aseguran su calidad, por lo que cualquiera de ellas podría ser usada en estudios toxicológicos futuros como muestras de referencia.

### Muestras de agua de pozo profundo

Las Tablas 3 y 4 muestran los análisis físicos y químico preliminares que han sido realizadas a las muestras de aguas provenientes de pozos profundos de la localidad de Cumuapa, un poblado cercano al Activo Integral Samaria-Luna en Cunduacán Tabasco.

**Tabla 3.** Análisis preliminar a muestras de agua de pozo profundo de la localidad de Cumuapa en Cunduacán, Tabasco. (Parte I).

Folio	Pozo profundo (m)	Temperatura máx. (°C)	pH	SDT (ppm)	Conductividad máx. (µS/cm a 25 °C)
NOM		25	6.5-8.5	1000	250 - 750 buena 75-2000 permisible
MAC01	30	30.3 ± 1.0	7.1 ± 0.1	912 ± 2.0	1270 ± 30
MAC02	15	32.0 ± 2.0	6.6 ± 0.2	911 ± 0.0	1290 ± 30
MAC03	16	29.4 ± 1.2	6.3 ± 0.0	626 ± 2.0	860 ± 60
MAC04	21	30.4 ± 1.0	6.5 ± 0.0	828 ± 1.0	1210 ± 0.0
MAC05	33	30.4 ± 0.8	7.0 ± 0.1	742 ± 0.0	1020 ± 40
MAC06	33	31.2 ± 0.0	7.0 ± 0.0	1029 ± 2.0	1420 ± 20
MAC07	25	30.8 ± 1.0	7.0 ± 0.0	1633 ± 1.0	2190 ± 40
MAC08	22	32.0 ± 0.0	6.6 ± 0.06	941 ± 0.0	1310 ± 0.00
MAC09	25	31.8 ± 0.0	6.9 ± 0.06	1735 ± 5.0	2600 ± 30
MAC10	22	32.0 ± 1.0	6.4 ± 0.06	761 ± 0.0	1050 ± 60
MAC11	25	31.2 ± 0.0	6.5 ± 0.0	716 ± 0.0	1000 ± 0.00
MAC12	25	41.0 ± 2.0	6.6 ± 0.06	961 ± 2.0	1330 ± 20
MAC13	30	34.5 ± 0.0	6.9 ± 0.06	678 ± 2.0	990 ± 10
MAC14	20	34.1 ± 0.9	6.6 ± 0.12	655 ± 5.0	910 ± 0.00
MAC15	18	33.6 ± 0.0	6.7 ± 0.0	663 ± 3.0	920 ± 50

Los datos se reportan como el Promedio ± Desviación Estándar.

**Tabla 4.** Análisis preliminar a muestras de agua de pozo profundo de la localidad de Cumuapa en Cunduacán, Tabasco. (Parte II).

Folio	Amoníaco (NH <sub>3</sub> ) (0.0-6.1 mg/L)	Nitros (NO <sub>2</sub> ) (0.0-110.0 mg/L)	Nitritos (NO <sub>2</sub> ) (0.0-3.3 mg/L)	Dureza general (GH) (0.0-200mg/L)	Dureza carbonatada (KH) (0.0-80 mg/L)
NOM	0.5	11	0.9	500	-
MAC01	0.00	0.00	0.00	180	290
MAC02	0.10	20.00	0.10	260	350
MAC03	1.20	0.00	0.00	240	190
MAC04	0.60	5.00	0.30	140	240
MAC05	0.30	0.00	0.00	140	240
MAC06	3.70	5.00	0.00	320	330
MAC07	2.40	10.00	0.10	320	330
MAC08	0.10	5.00	0.30	160	330
MAC09	6.10	10.00	0.10	420	300
MAC10	1.20	0.00	0.00	220	220
MAC11	0.60	0.00	0.00	260	240
MAC12	0.30	0.00	0.00	240	140
MAC13	1.20	5.00	0.30	120	190
MAC14	0.30	0.00	0.00	140	210
MAC15	0.60	0.00	0.10	200	250

Al comparar los análisis físicos y químicos preliminares realizados a las muestras de agua de pozo profundo de la localidad de Cumuapa con respecto a lo establecido en la normatividad mexicana referente a la calidad del agua para uso y consumo humano (NOM-230-SSA1-2002 y PROY-NOM-127-SSA1-2017) podemos resaltar alteraciones en la Tabla 1 que sobrepasan los límites

permisibles de la calidad del agua en variables como los SDT y Conductividad, los cuales podrían afectar su calidad y condicionar su aplicación para uso y consumo humano, sin embargo es necesario dar seguimiento al resto de las determinaciones químicas para poder tener una mayor certeza con respecto a su calidad. Actualmente y tras el distanciamiento social de los últimos años, se está dando seguimiento a las determinaciones de HTP para complementar la información aquí presentada.

Las alteraciones en las concentraciones de SDT en el agua podrían ser un indicador de un exceso de sales, minerales, metales o cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico disuelto en el agua, lo que podría sugerir posible contaminación ambiental, aunque será necesario continuar con las determinaciones químicas para tener una mayor certeza y poder valorar objetivamente su calidad.

Los análisis químicos de las muestras de agua de pozo profundo de la localidad de Cumuapa, también registraron alteraciones en lo referente al nitrógeno amoniacal de acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 4. La contaminación de aguas subterráneas debido a un incremento en las concentraciones de nitrógeno y sus derivados, ha sido reportada desde hace varias décadas (Rodríguez-Eugenio N, 2019). Entre los problemas ambientales generados por estos compuestos de nitrógeno se reporta un aumento en la acidez y eutrofización de las aguas, factores que disminuyen su calidad y limitan su uso como agua potable o para la obtención de alimentos (Rodríguez-Eugenio N, 2019).

En su conjunto, el amonio ionizado y no ionizado, el nitrito y el nitrato son considerados como nitrógeno inorgánico y su presencia, especialmente la del amonio y la del nitrito, tiene reconocidos efectos tóxicos sobre especies acuáticas. La forma no ionizada del amonio resulta ser más tóxica para organismos acuáticos (Cárdenas y Sánchez, 2013).

El panorama de toxicidad por compuestos nitrogenados no es exclusivo de organismos acuáticos, para el ser humano la ingesta de nitritos y nitratos, puede inducir efectos adversos en la salud. Entre las enfermedades asociadas se reporta la metahemoglobinemia en bebés, linfomas y cánceres, enfermedades coronarias, infecciones del tracto respiratorio, malformaciones en recién nacidos, abortos espontáneos, nacimientos prematuros y retardo en el crecimiento intrauterino (Cárdenas y Sánchez, 2013).

### Determinación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) no volátiles

Los resultados de las determinaciones de HTP no volátiles para las muestras de agua comercial y aquellas derivadas del UPCEA-UJAT que fueron analizadas para garantizar su calidad y uso como muestras de referencia en análisis toxicológicos futuros se reportan en la Figura 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos y conforme a lo establecido en la normatividad mexicana en lo referente a agua para uso y consumo humano (NOM-230-SSA1-2002 y PROY-NOM-127-SSA1-2017) todas las muestras de agua analizadas, tanto comerciales (AC1-AC8), como la proveniente del UPCEA-UJAT, cumplen con las especificaciones sanitarias físicas y químicas preliminares que validan su calidad, por lo que cualquiera de ellas podría ser usada como muestras de referencia en estudios toxicológicos futuros.

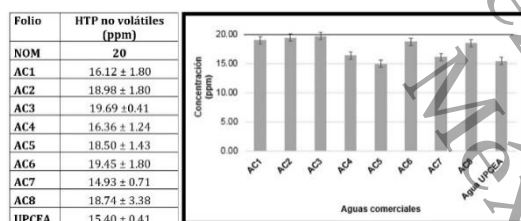


Figura 1. Determinación de HTP no volátiles a muestras de agua comercial y del UPCEA-UJAT.

### Perspectivas

Dar seguimiento a las determinaciones de hidrocarburos en las muestras de agua de pozo profundo mediante espectroscopia de infrarrojo (FTIR). Dar seguimiento al estudio a diferentes periodos de tiempo para poder realizar un comparativo sobre la calidad y la seguridad del agua de los pozos profundos de la localidad.

### Conclusiones

El análisis preliminar de las muestras de agua de pozo profundo provenientes de zonas con potencial riesgo de exposición a derrames por hidrocarburo presenta propiedades físicas y químicas que sobrepasan los límites permisibles establecidos en la normatividad mexicana vigente en materia de aguas para uso y consumo humano, sin embargo, es necesario continuar con las determinaciones químicas y microbiológicas necesarias para validar su calidad. La falta de financiamientos limita el desarrollo de otras técnicas analíticas especializadas, por lo que será necesario reforzar algunas determinaciones en estudios posteriores.

### Agradecimientos

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por la infraestructura y el uso de sus instalaciones académicas y de investigación, a CONACYT por la beca para estudios de maestría de Muñoz de la Cruz Sofía del Rosario, a Mendoza Martínez Efrén y Gil Domínguez Roberto por el apoyo recibido durante el trabajo de campo.

### Referencias

Cárdenas G.L., Sánchez I.A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Rev. Univ salud.* 2013;15(1) 72 – 88.

Comisión Nacional del Agua, CONAGUA. (2017) Estadísticas del agua en México. Edición 2017. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Recuperado el día 19 de junio del 2021, de [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2017.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf)

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, CONEVAL. (2020). Informe de pobreza y evaluación 2020 Tabasco. Ciudad de México, México. Recuperado el día 19 de junio del 2021, de [https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes\\_de\\_pobreza\\_y\\_evaluacion\\_2020\\_Documentos/Informe\\_Tabasco\\_2020.pdf](https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobreza_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Tabasco_2020.pdf)

Rodríguez-Eugenio N., McLaughlin M., Pennock D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma. FAO. ISBN 978-92-5-131639-9. Recuperado el día 11 de septiembre del 2021, de <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

Fundación Friedrich-Ebert Stiftung, FES (2017). Proyecto Regional Transformación Social-Ecológica. El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. Fundación Friedrich Ebert, Ciudad de México, México. Recuperado el día 19 de junio del 2021, de [http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/libro/agua\\_en\\_mexico.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/libro/agua_en_mexico.pdf)

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. (2021). Cuéntame de México. Consultado el día 19 de junio del 2021, de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/default.aspx?tema=me&e=27>

Google Earth 2021. Versión 9.139.0.0. Consultado el día 20 de junio del 2021, de <https://earth.google.com/web/search/Cumuapa+1na+Secci%3f%3n,+Tab./@17.98580445,-93.1380556,16.41316113a,5371.12212794d,35y,0h,45t,0r/data=CoUBGlsSVQolMHg4NwVjMmE1N2UwYzFjZThtOjB4YjQ3MGMwYjVmN2YzNDY3ORlPRCOXfwxQCHm>

wSfn1UhXwCqaQ3VtdWFwYSAxcmEuIFNlY2Npw7NuL  
 CBUYWIYAIBHfYKJkRRZt392LRvxFSA1x3r1hFwBn47  
 b4GS2RWQCgGp6020887QCgC7hl=es

Kim H.W., Kam S., Lee D.H. (2014). Synergistic interaction between polycyclic aromatic hydrocarbons and environmental tobacco smoke on the risk of obesity in children and adolescents: The U.S. National Health and Nutrition Examination Survey 2003-2008. *Environmental Research*, 12 Nov 2014, 135:354-360. Recuperado el 19 de junio del 2021, de <https://europepmc.org/article/med/25462685>

NORMA Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. Consultada el día 20 de junio del 2021, de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2081772&fecha=12/07/2005](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2081772&fecha=12/07/2005)

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-127-SSA1-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Consultada el día 20 de junio del 2021, de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5581179&fecha=06/12/2019)

Organización Mundial de la Salud, OMS. (1992). 45 (14), 1-15. Recuperado el 19 de junio del 2021, de [file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/WHA45\\_1992-REC-1\\_spa.pdf](file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/WHA45_1992-REC-1_spa.pdf)

Organización Mundial de la Salud, OMS. (2003). *Serie de Informes Técnicos 2003*. 916, 152. Recuperado el 19 de junio del 2021, de [https://www.who.int/nutrition/publications/obesity/WHO\\_TRS\\_916\\_spa.pdf](https://www.who.int/nutrition/publications/obesity/WHO_TRS_916_spa.pdf)

## B. Datos generales de los pozos profundos

**Tabla 13**

*Datos generales de cada pozo muestreado.*

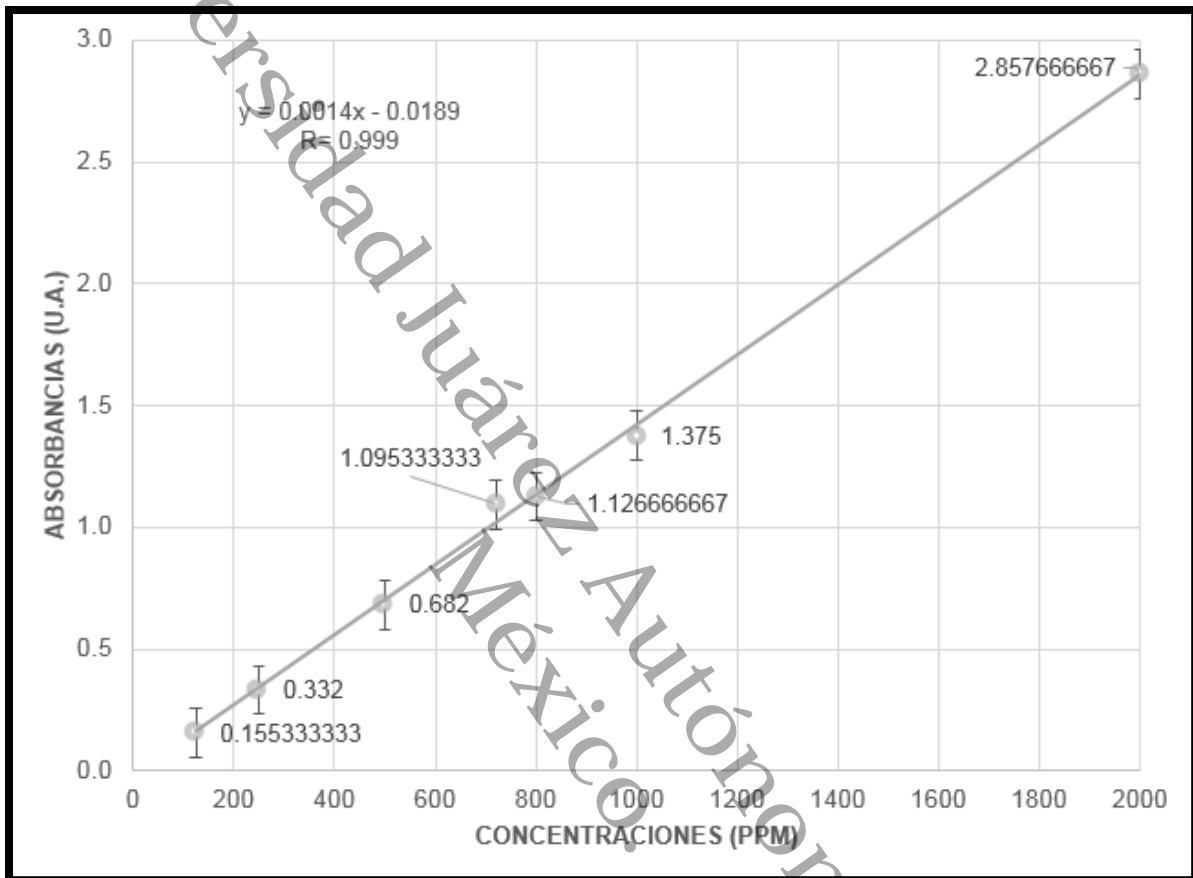
FOLIO	PROPIETARIO	UBICACIÓN		ANTIGÜEDAD (AÑOS)	PROFUNDIDAD (m)
		LATITUD	LONGITUD		
MAC01	PÉREZ SUÁREZ MARÍA JESÚS	17°59'54.03'' N	93°8'57.77'' O	8	30
MAC02	MAZÓ MARÍA TRINIDAD	17°59'48.99'' N	93°8'51.44'' O	10	15
MAC03	MARIN ALMEIDA VERÓNICA	17°59'44.12'' N	93°8'41.56'' O	4	16
MAC04	MARTINEZ MARIA VICTORIA	17°59'39.38'' N	93°8'32.80'' O	0.33	21
MAC05	SAUCEDO ALMEIDA PEDRO (FILTRO)	17°59'37.62'' N	93°8'30.85'' O	12	33
MAC06	ALMEIDA LEON ROBERTO	17°59'32.13'' N	93°8'28.79'' O	6	33
MAC07	IGLESIA: NUESTRA SEÑORA DE GUADALUPE	17°59'30.45'' N	93°8'30.01'' O	6	25
MAC08	MENDOZA YEDRA BENITO	17°59'29.01'' N	93°8'29.48'' O	0.58	22
MAC09	ORAMAS SÁNCHEZ YAZMIN	17°59'28.95'' N	93°8'28.17'' O	6	25
MAC10	ARIAS ALMEIDA JUANA	17°59'27.04'' N	93°8'25.35'' O	2	22
MAC11	VASCONCELOS ALMEIDA AMANCIO	17°58'38.78'' N	93°8'4.39'' O	7	25
MAC12	LEÓN ALMEIDA HEBER	17°58'51.24'' N	93°8'5.09'' O	2	25
MAC13	MARTINEZ MANRIQUE	17°58'45.82'' N	93°7'43.45'' O	8	30
MAC14	MARTINEZ DOLORES	17°58'42.31'' N	93°7'57.77'' O	4	20
MAC15	VAZCONCELOS MORALES GONZALO	17°58'39.03'' N	93°8'1.37'' O	5	18

Diseño original.

### C. Curva de calibración del petróleo crudo.

Figura 27.

Absorbancias obtenidas por espectrofotometría UV-Vis.

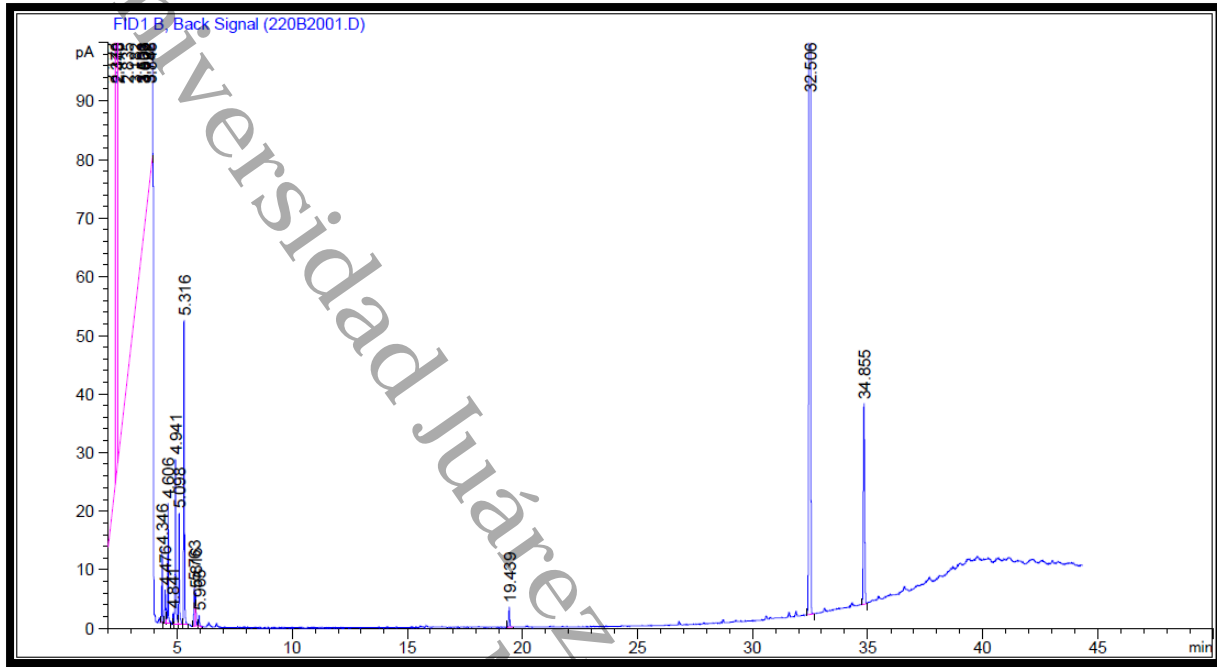


Nota. Diseño original.



**Figura 30.**

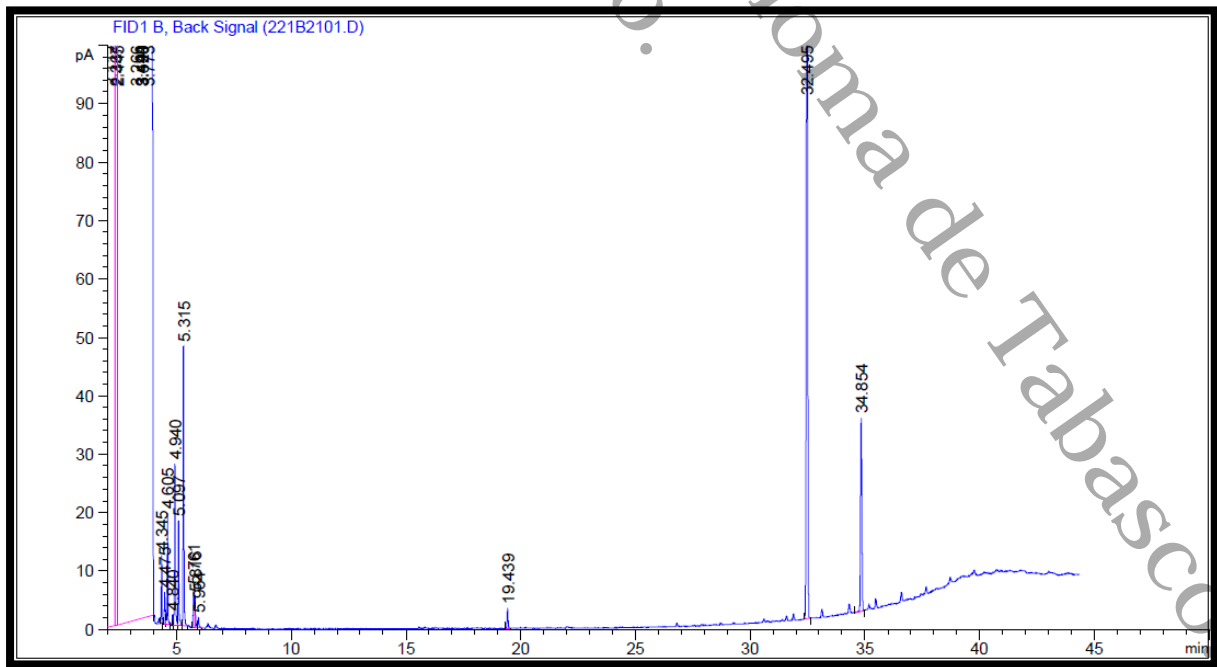
*Cromatograma de la muestra control AC3.*



Nota. Diseño original.

**Figura 31.**

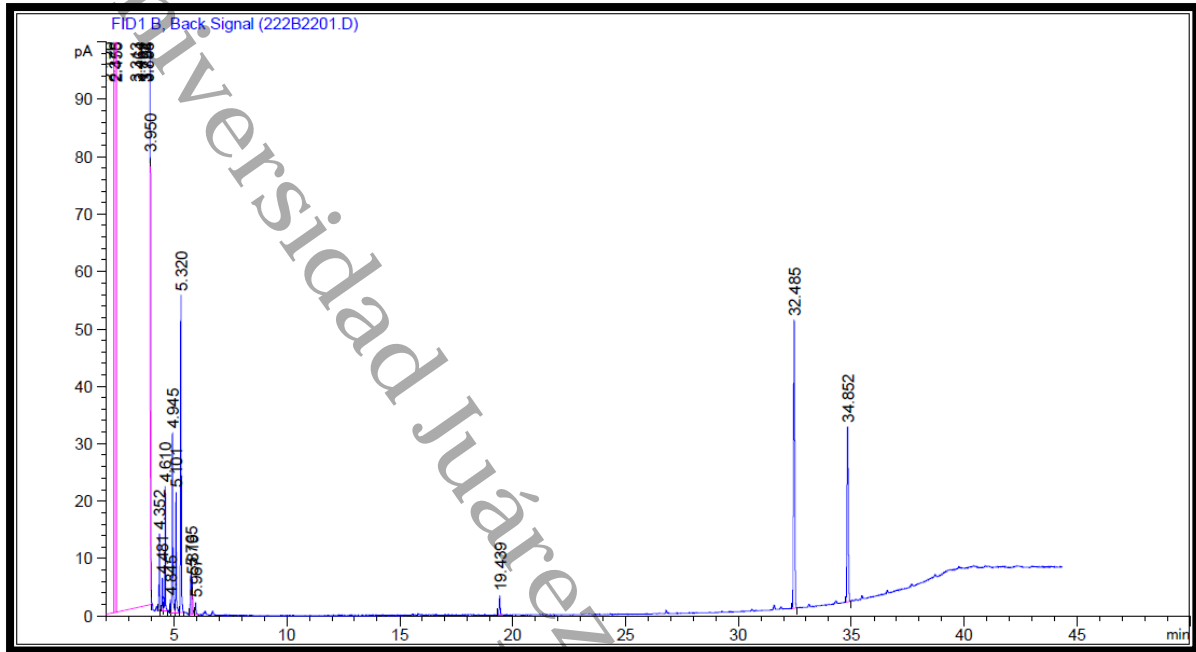
*Cromatograma de la muestra control AC4.*



Nota. Diseño original.

**Figura 32.**

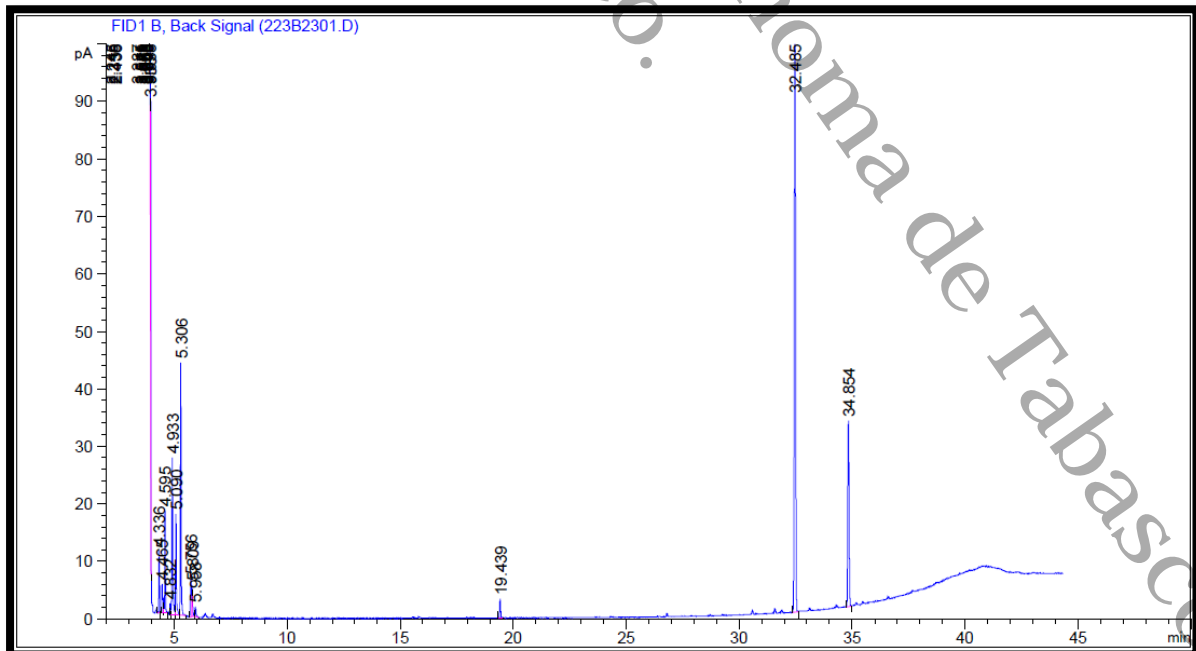
Cromatograma de la muestra control AC5.



Nota. Diseño original.

**Figura 33.**

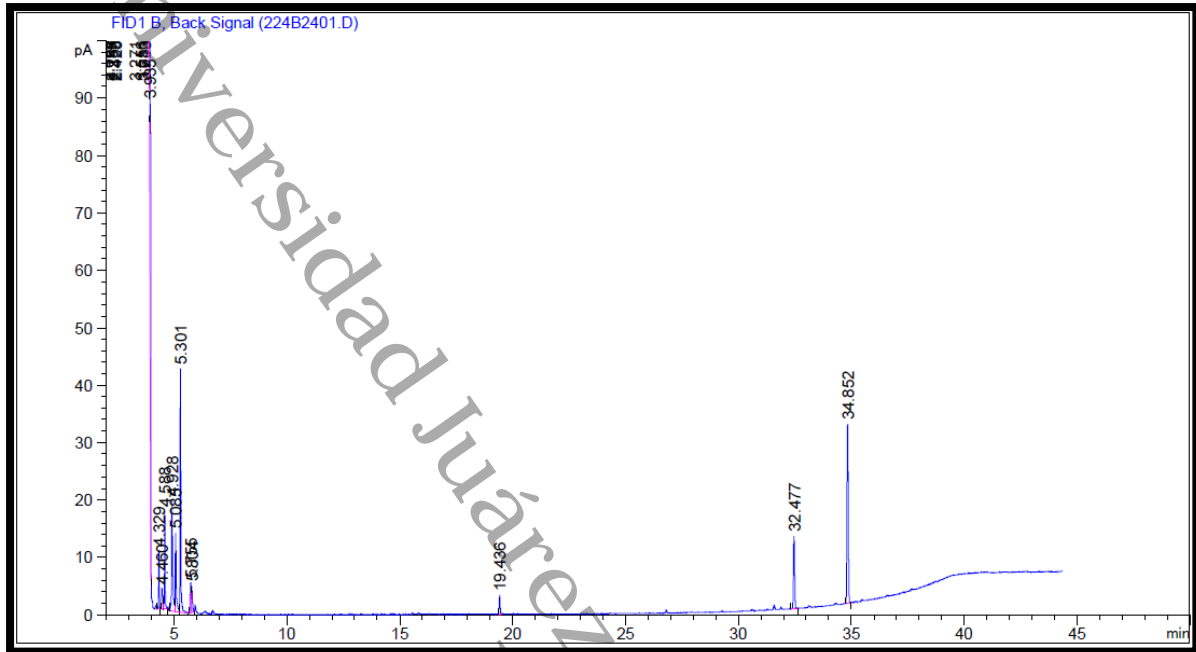
Cromatograma de la muestra control AC6.



Nota. Diseño original.

**Figura 34.**

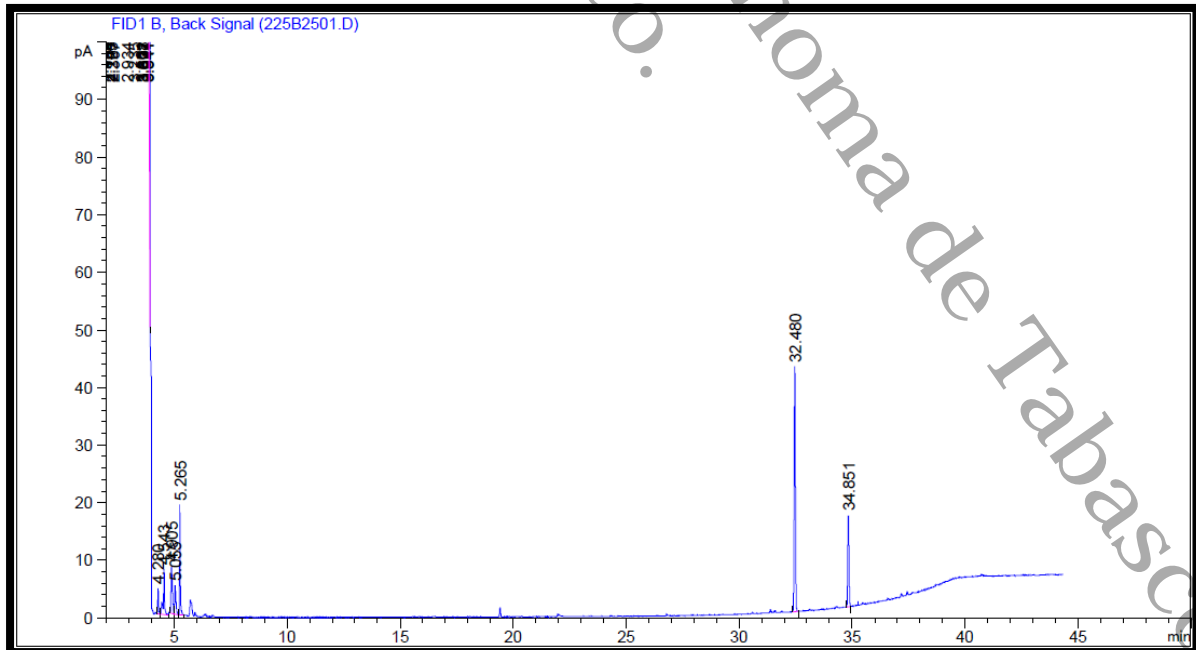
Cromatograma de la muestra control AC7.



Nota. Diseño original.

**Figura 35.**

Cromatograma de la muestra control AC8.

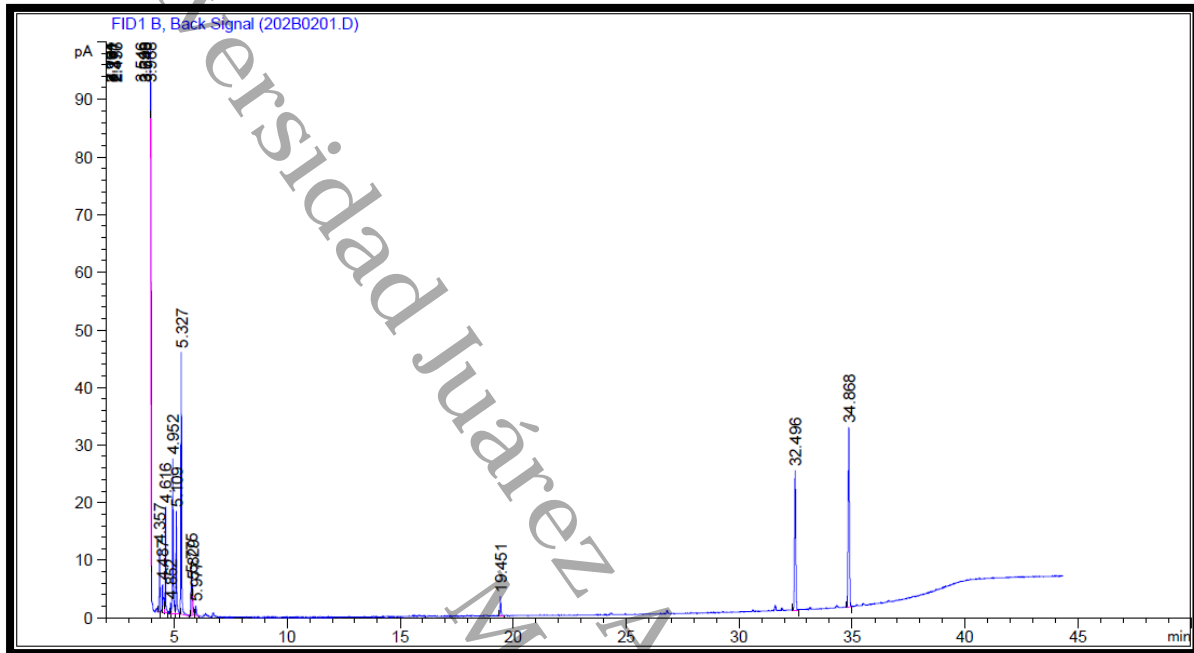


Nota. Diseño original.

## Muestras de aguas de pozo profundo

Figura 36.

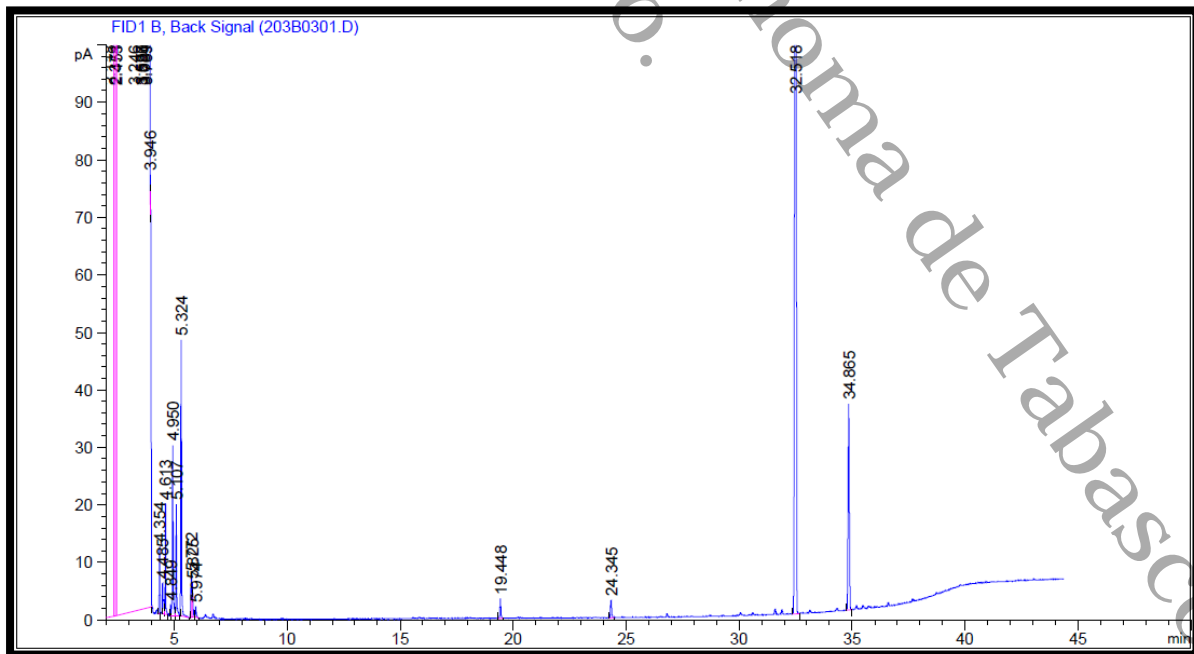
Cromatograma de la muestra **MAC01**.



Nota. Diseño original.

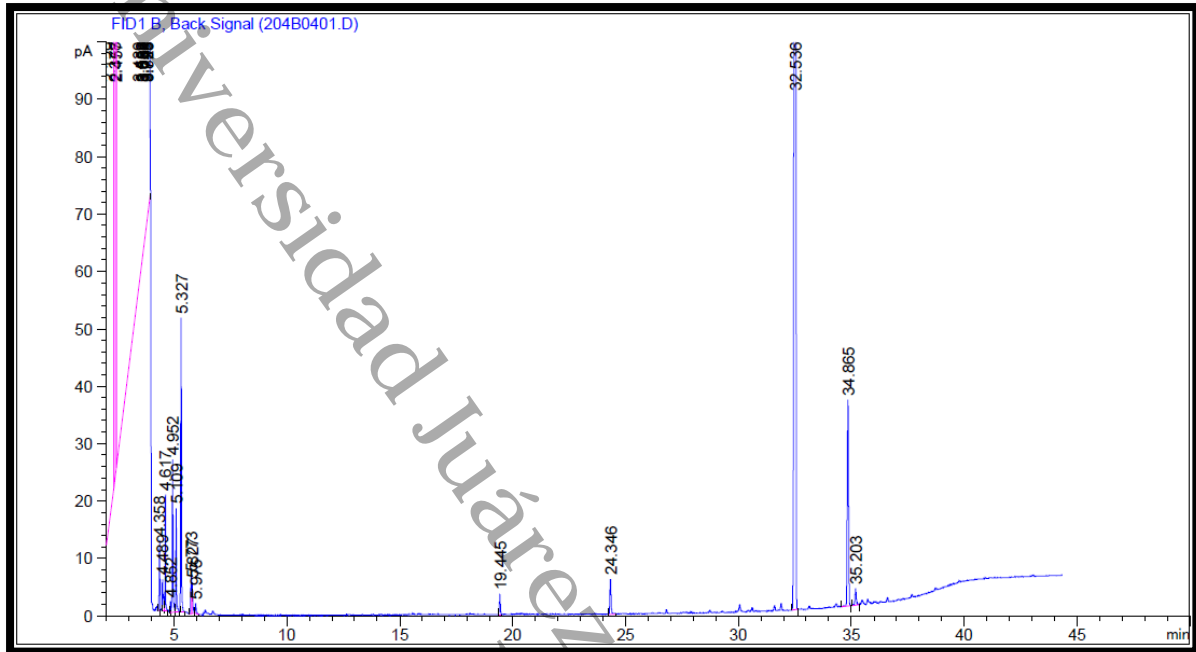
Figura 37.

Cromatograma de la muestra **MAC02**.



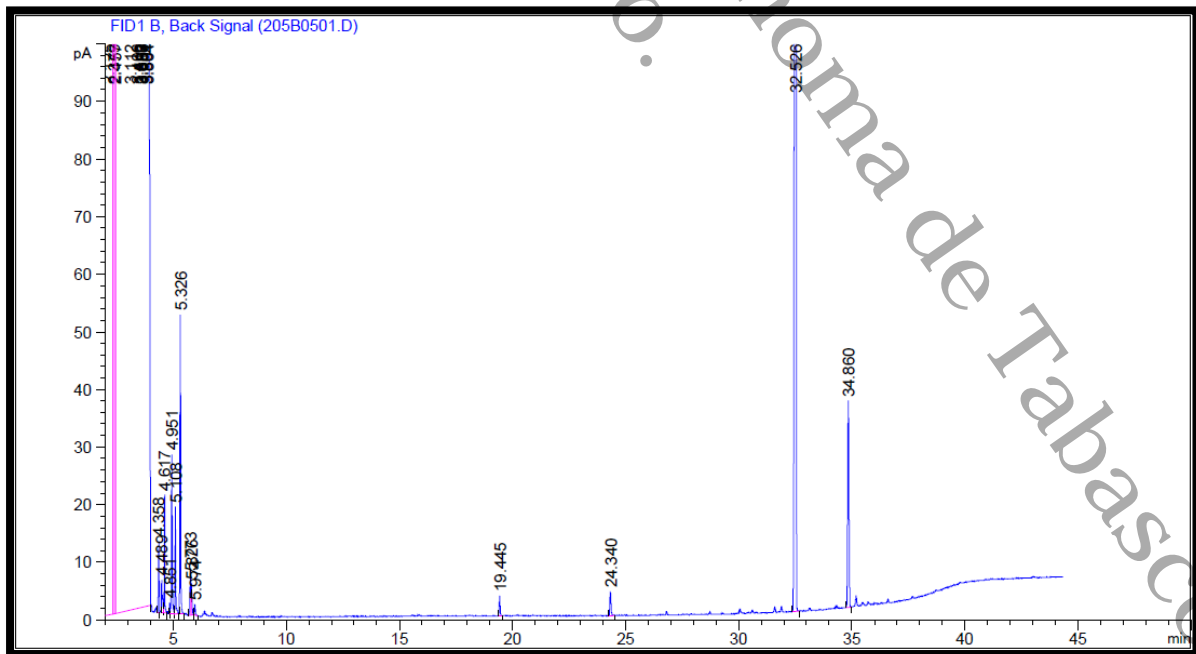
Nota. Diseño original.

**Figura 38.**  
Cromatograma de la muestra **MAC03**.



Nota. Diseño original.

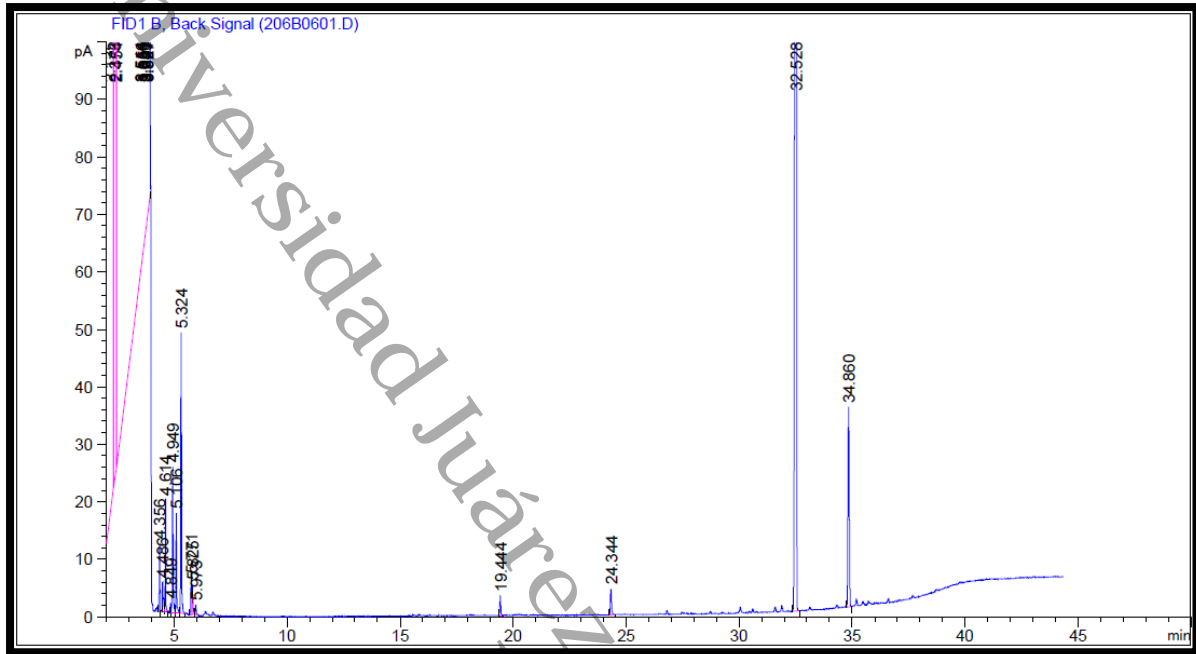
**Figura 39.**  
Cromatograma de la muestra **MAC04**.



Nota. Diseño original.

**Figura 40.**

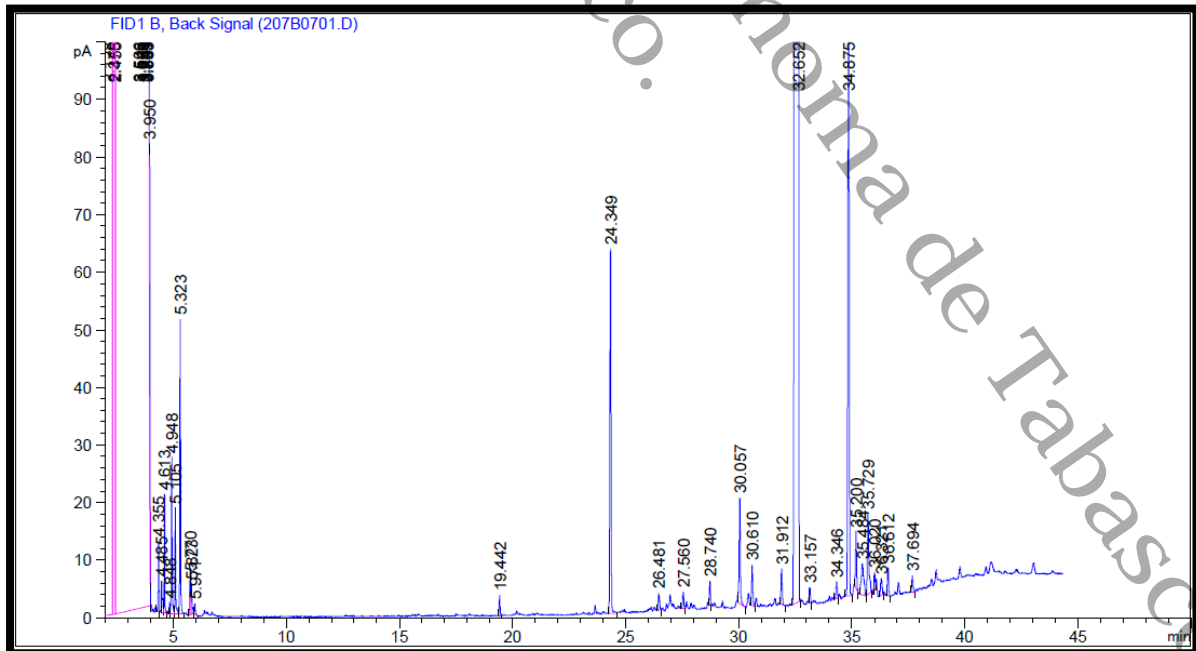
Cromatograma de la muestra **MAC05**.



Nota. Diseño original.

**Figura 41.**

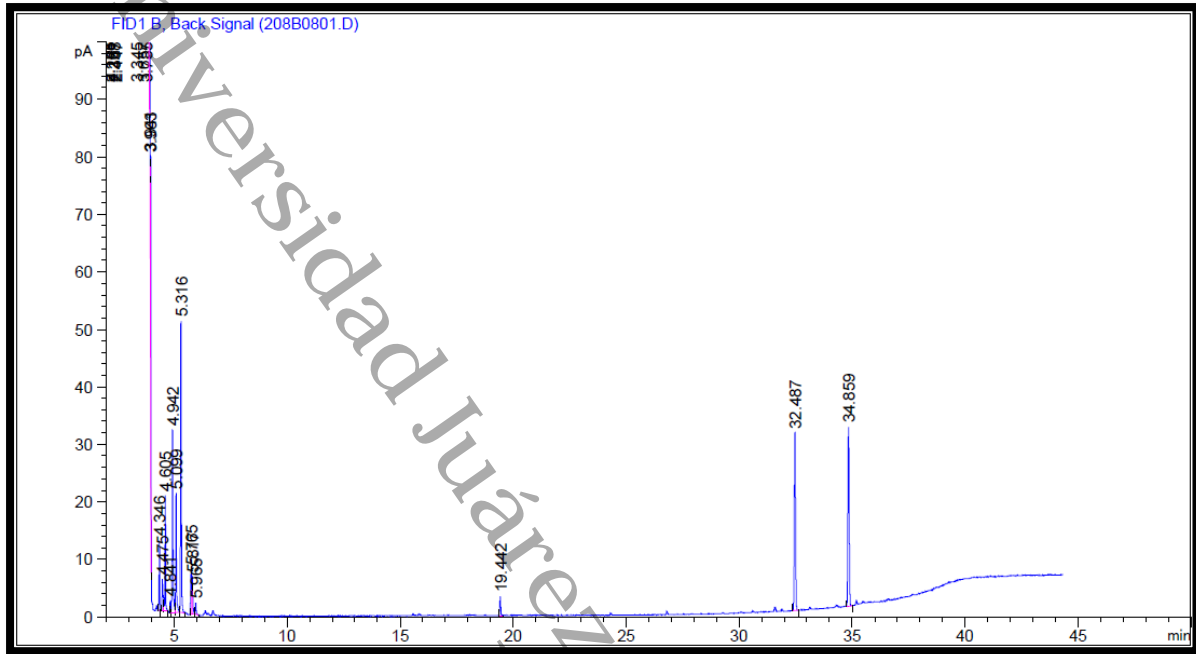
Cromatograma de la muestra **MAC06**.



Nota. Diseño original.

**Figura 42.**

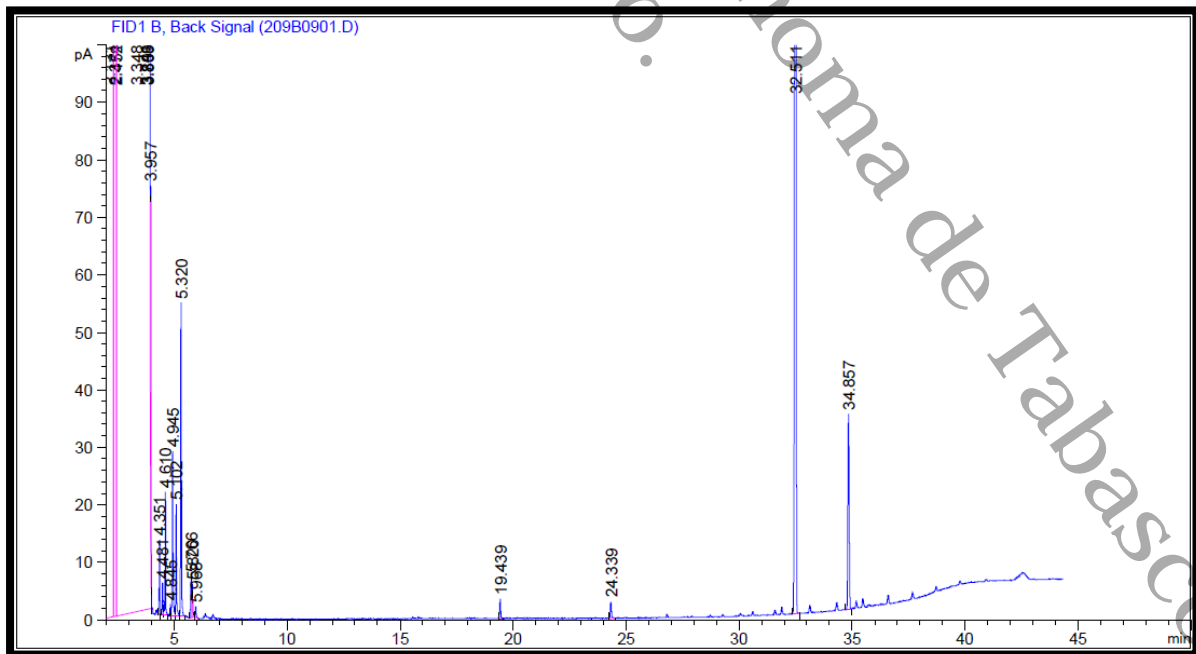
Cromatograma de la muestra **MAC07**.



Nota. Diseño original.

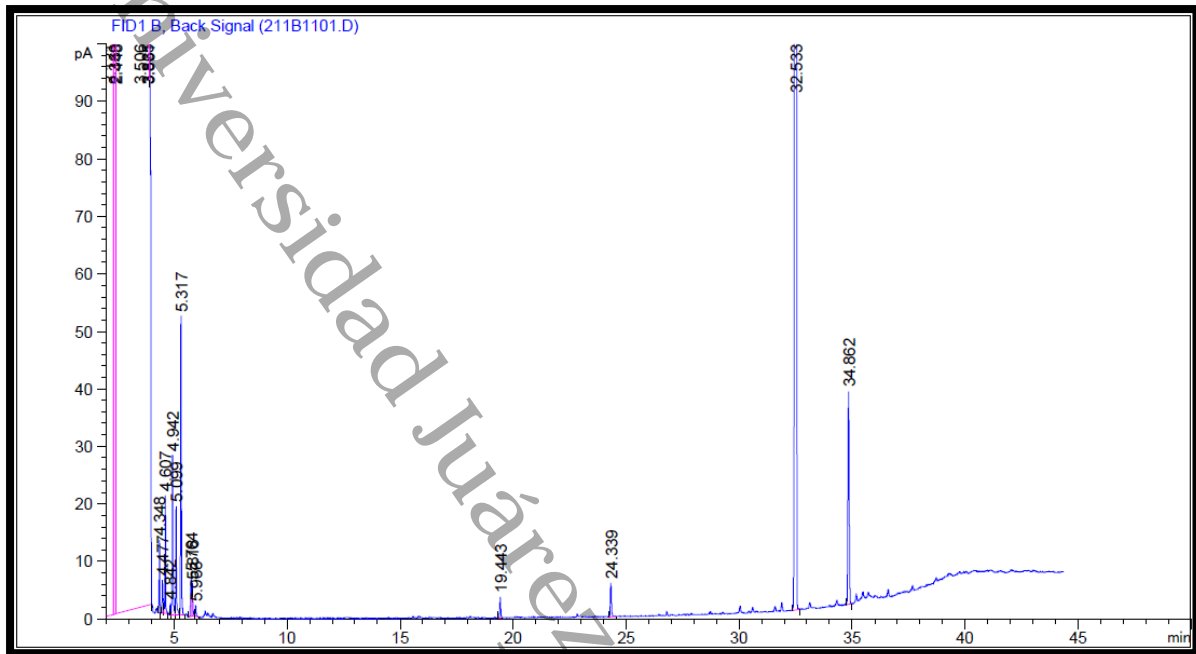
**Figura 43.**

Cromatograma de la muestra **MAC08**.



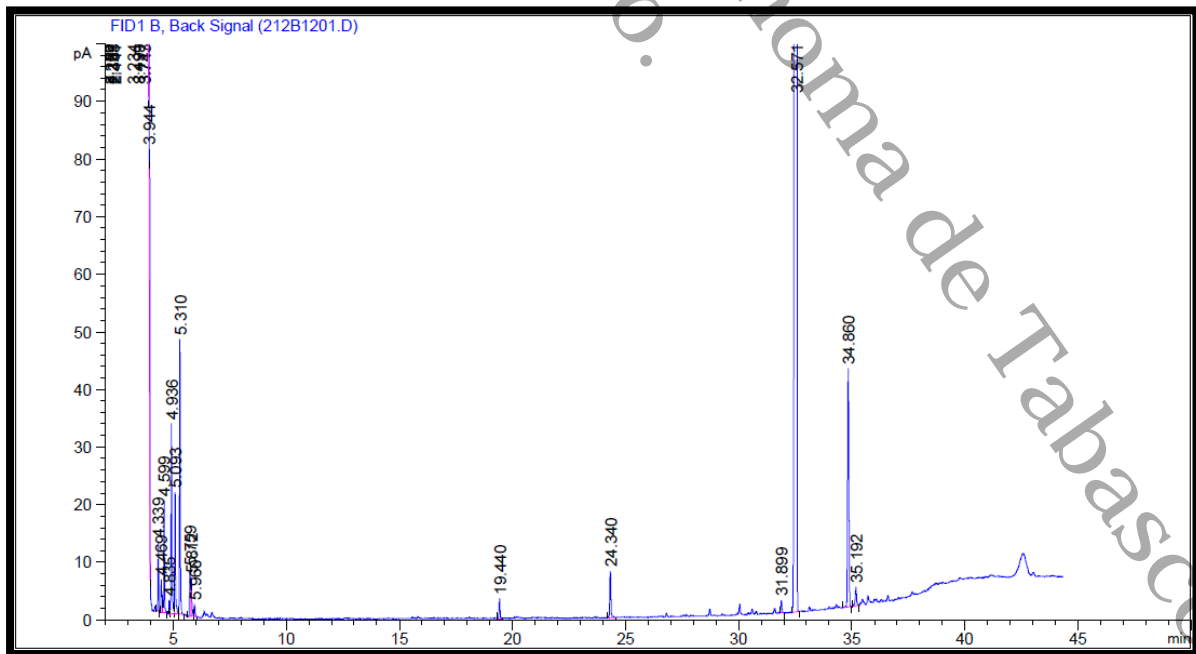
Nota. Diseño original.

**Figura 44.**  
Cromatograma de la muestra **MAC10**.



Nota. Diseño original.

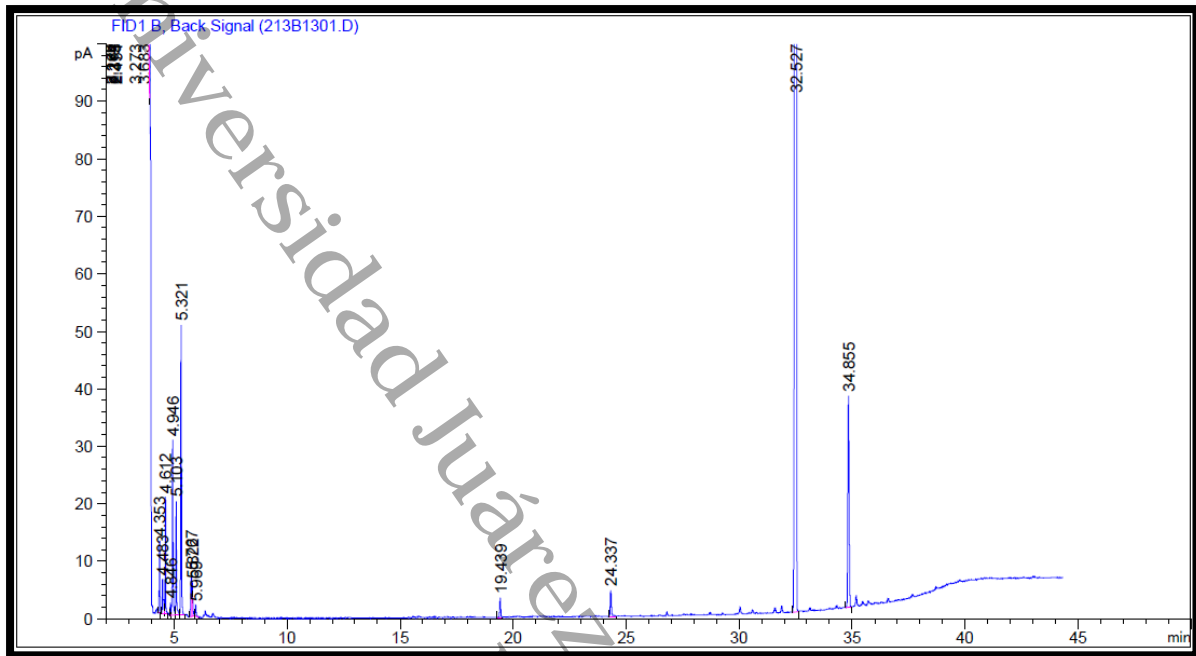
**Figura 45.**  
Cromatograma de la muestra **MAC11**.



Nota. Diseño original.

**Figura 46.**

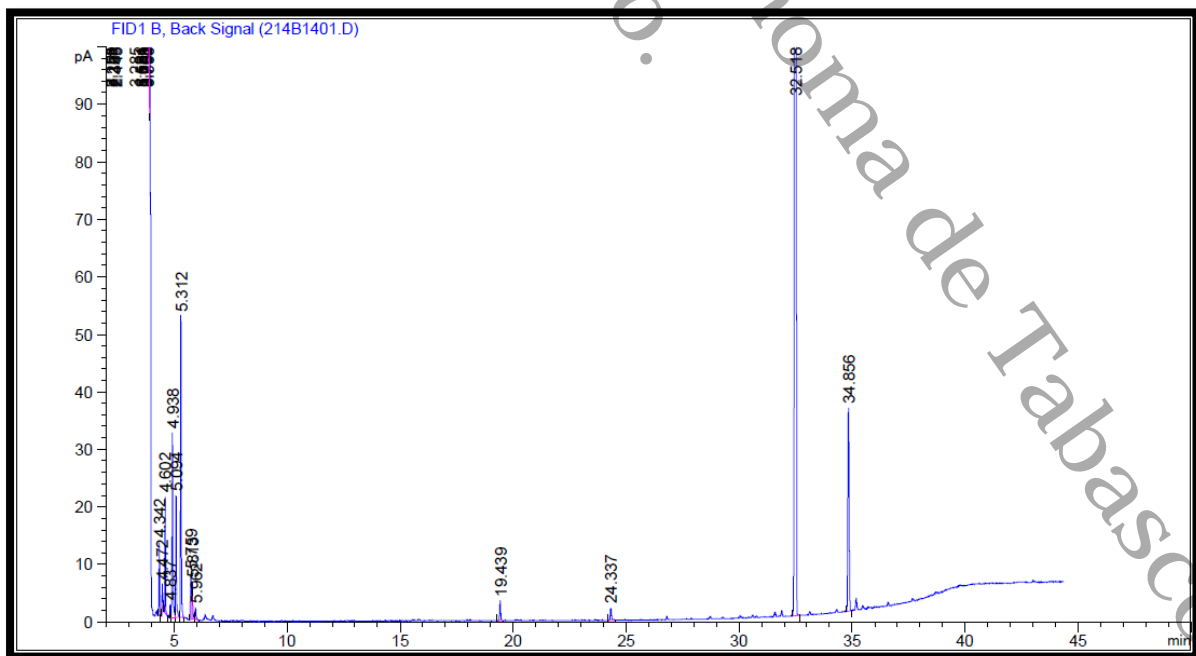
Cromatograma de la muestra **MAC12**.



Nota. Diseño original.

**Figura 47.**

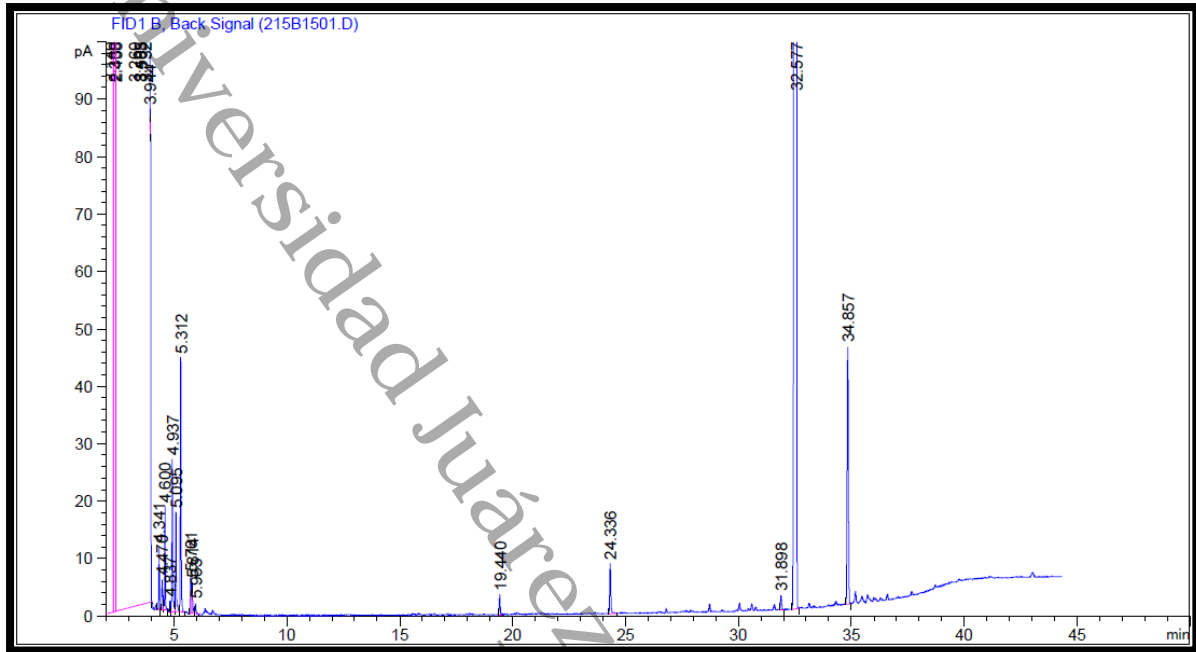
Cromatograma de la muestra **MAC13**.



Nota. Diseño original.

**Figura 48.**

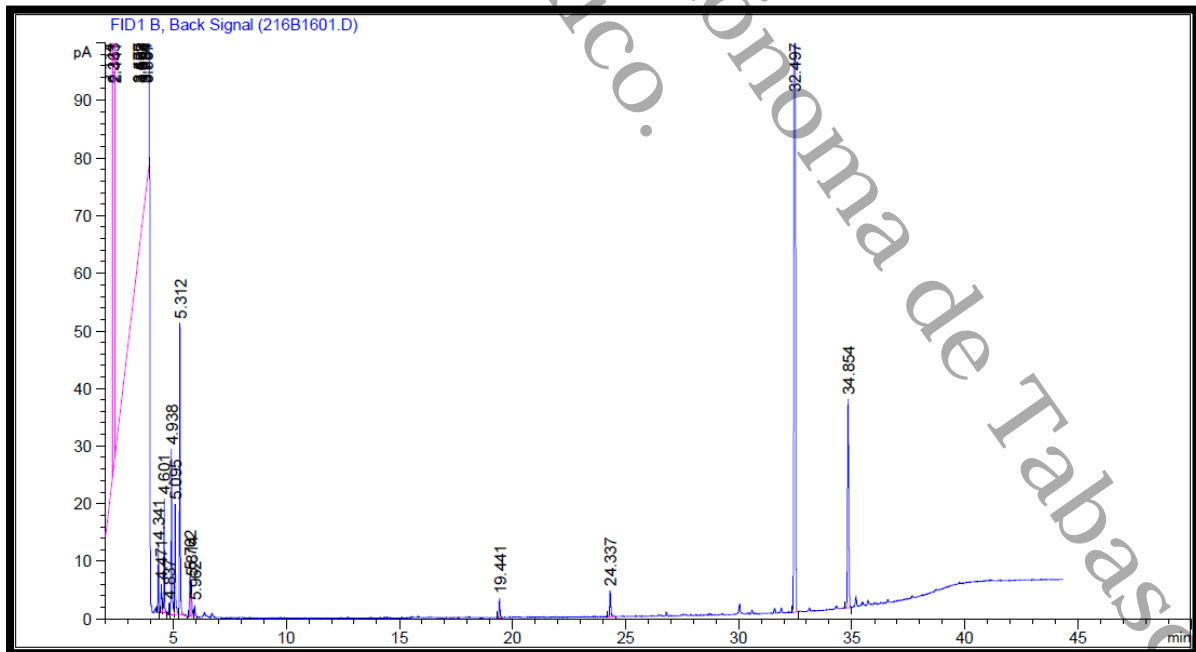
Cromatograma de la muestra **MAC14**.



Nota. Diseño original.

**Figura 49.**


Cromatograma de la muestra **MAC15**.



Nota. Diseño original.


**E. Análisis clínicos**

**Figura 50.**  
Análisis clínico CH 1.



**Laboratorios  
Dicitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Atención al paciente  
Q.F.B. Nelson Díaz Ornela  
CED. PROF. 1714435

PACIENTE: ROEDOR CH 1	EDAD: 1 año	
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA	FECHA: 07/03/2019	FOLIO: 19001907

**PERFIL HEPATICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	0.80 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	0.70 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	346 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	90 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

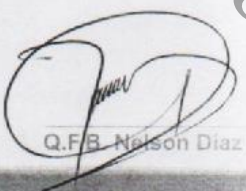
Observaciones:

**QUIMICA SANGUINEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	130 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	62 mg/dL	40 - 102
TRIGLICERIDOS	122 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:



Q.F.B. Nelson Díaz Ornela

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: dicitab@hotmail.com

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

**Figura 51.**  
Análisis clínico CH 2.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: diclitab@hotmail.com

Q.F.B. Nelson Díaz Ornela  
CED. PROF. 1714437

PACIENTE: ROEDOR CH 2  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001908

**PERFIL HEPATICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	0.90 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	0.80 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	211 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	70 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUIMICA SANGUINEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	166 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	73 mg/dL	40 - 102
TRIGLICERIDOS	134 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz Ornela

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

Figura 52.  
Análisis clínico MH 1.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Alfonso Villanueva  
Q.F.B. Nelson Díaz Oueda  
CED. PROF. 1714430

PACIENTE: ROEDOR MH 1  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001904

**PERFIL HEPATICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.10 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	1.00 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	725 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	96 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUIMICA SANGUINEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	139 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	71 mg/dL	40 - 102
TRIGLICERIDOS	153 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

Figura 53.

Análisis clínico MH 2

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Q.F.B. Nelson Díaz Orta  
CED. PROF. 17144

PACIENTE: ROEDOR MH 2  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001905

**PERFIL HEPÁTICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.60 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	1.50 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	654 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	106 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUÍMICA SANGUÍNEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	112 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	77 mg/dL	40 - 102
TRIGLICÉRIDOS	157 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz Orta

Confianza y servicios con calidad

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB. MEXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: diclitab@hotmail.com

Nota. Diseño original

Figura 54.

Análisis clínico MH 3.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Análisis Clínico  
Q.FB. Nelson Díaz Ornelas  
CED. PROF. 171447

PACIENTE: ROEDOR MH 3  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001906

**PERFIL HEPÁTICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.90 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	1.80 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	1,195 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	130 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUÍMICA SANGUÍNEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	130 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	74 mg/dL	40 - 102
TRIGLICÉRIDOS	209 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.FB. Nelson Díaz Ornelas

AV. FIDENCIA FERNÁNDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACÁN TAB, MÉXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: diclitab@hotmail.com

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original

**Figura 55.**  
Análisis clínico CM 1.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos clínicos de Tabasco

Q.F.B. Nelson Díaz Ornelas  
CED. PROF. 1714423

PACIENTE: ROEDOR CM 1      EDAD: 1 año  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA      FECHA: 07/03/2019      FOLIO: 19001909

**PERFIL HEPÁTICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.20 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	1.10 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	569 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	80 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUÍMICA SANGUÍNEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	148 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	118 mg/dL	40 - 102
TRIGLICÉRIDOS	207 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz Ornelas

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB. MEXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: diclitab@hotmail.com

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

Figura 56.  
Análisis clínico CM 2.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Q.F.B. Nelson Díaz Ornela  
CED. PROF. 1714437

PACIENTE: ROEDOR CM 2  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001910

**PERFIL HEPATICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.10 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	1.00 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	276 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	69 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUIMICA SANGUINEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	168 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	96 mg/dL	40 - 102
TRIGLICERIDOS	129 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: diclitab@hotmail.com

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

**Figura 57.**  
Análisis clínico MM1.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Q.F.B. Nelson Díaz Domínguez  
CED. PROF. 1714433

PACIENTE: ROEDOR MM 1  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001901

**PERFIL HEPÁTICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.00 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	0.90 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	183 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	54 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUÍMICA SANGUÍNEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	133 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	88 mg/dL	40 - 102
TRIGLICÉRIDOS	137 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:


Q.F.B. Nelson Díaz Domínguez

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932  
E-mail: diclitab@hotmail.com

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

**Figura 58.**  
Análisis clínico MM 2.




**Laboratorios  
Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Analista: Nelson Díaz Orta  
Q.F.B. Nelson Díaz Orta  
CED. PROF. 171433

**PACIENTE: ROEDOR MM 2**  
**DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA**

**EDAD: 1 año**  
**FECHA: 07/03/2019**



**FOLIO: 19001902**

**PERFIL HEPÁTICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.00 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	0.90 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	192 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	67 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia


Observaciones:

**QUÍMICA SANGUÍNEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	142 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	99 mg/dL	40 - 102
TRIGLICÉRIDOS	201 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz Orta

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932

Confianza y servicios con calidad

NOTA. DISEÑO ORIGINAL.

Figura 59.  
Análisis clínico MM 3.

**Laboratorios Diclitab**  
Diagnósticos Clínicos de Tabasco

Alcaldía Municipal  
Q.F.B. Nelson Díaz González  
CED. PROF. 1714996

PACIENTE: ROEDOR MM 3  
DOCTOR(A): A QUIEN CORRESPONDA

EDAD: 1 año  
FECHA: 07/03/2019

FOLIO: 19001903

**PERFIL HEPÁTICO - I (ROEDOR)**  
(Bilirrubinas (BT- BD - BI), TGO, TGP)

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
BILIRRUBINA TOTAL	1.20 mg/dL	0.00 - 0.50
BILIRRUBINA DIRECTA	0.10 mg/dL	0.00 - 0.10
BILIRRUBINA INDIRECTA	1.10 mg/dL	0.00 - 0.40
T. GLUTAMICO OXALACETICA (TGO/AST)	743 UI/L	43 - 276
T. GLUTAMICO PIRUVICA (TGP/ALT)	108 UI/L	20 - 84

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

**QUÍMICA SANGUÍNEA DE 3 ELEMENTOS (ROEDOR)**  
(Glucosa, Colesterol, Triglicéridos).

ANALITO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
GLUCOSA	148 mg/dL	43 - 190
COLESTEROL TOTAL	79 mg/dL	40 - 102
TRIGLICÉRIDOS	123 mg/dL	24 - 133

Técnica utilizada: Espectrofotometría de Reflectancia

Observaciones:

Q.F.B. Nelson Díaz

AV. FIDENCIA FERNANDEZ No. 72  
CENTRO CUNDUACAN TAB, MEXICO.  
TEL: 914 33 60932

Confianza y servicios con calidad

Nota. Diseño original.

**F. Carta de la revisión ética del proyecto**

Cunduacán, Tabasco a 24 de octubre de 2025.

**A quien corresponda:**

Ante todo, les saludo esperando gocen de bienestar. Sirva la presente para hacer de su conocimiento que como responsable técnico y directora de tesis del proyecto de la Maestría en Ciencias en Química Aplicada (MCQA, UJAT) titulado **“Caracterización de hidrocarburos no volátiles en aguas de pozo profundo y evaluación de su viabilidad como aguas sanitariamente tolerables”** solicite ante las instancias correspondientes la revisión ética del presente documento, sin embargo, a causa de la pandemia por COVID-19 todas las gestiones relacionadas y durante un periodo de aproximadamente 3 años fueron suspendidas en diversas Instituciones. En este contexto, declaramos que, si bien no fue posible tener el acceso a la dictaminación ética institucional correspondiente en su momento, el proyecto fue desarrollado en apego a la normativa vigente y contó con el apoyo de colaboradores expertos en el manejo del modelo animal y de la Unidad de Producción, Cuidado y Experimentación Animal de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UPCEA, UJAT), sitio donde fue desarrollada la parte experimental.

Cualquier asunto relacionado quedo a sus órdenes. Reciban un saludo cordial.

**ATENTAMENTE**

**DRA. PATRICIA MENDOZA LORENZO**  
PROFESOR INVESTIGADOR TITULAR B TC  
patricia.mendoza@ujat.mx  
[b.patricia.mendoza@gmail.com](mailto:b.patricia.mendoza@gmail.com)

### G. Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
<b>Título de Tesis:</b>	Caracterización de hidrocarburos no volátiles en aguas de pozo profundo y evaluación de su viabilidad como aguas sanitariamente tolerables
<b>Autor(a) o autores(ras) de la tesis:</b>	L.Q. Sofía Del Rosario Muñoz De La Cruz
<b>ORCID:</b>	0000-0001-6212-4445
<b>Resumen de la tesis:</b>	<p>En el municipio de Cunduacán, Tabasco; se han presentado accidentes por fugas de hidrocarburos. Es por lo que este proyecto tiene como objetivos el realizar análisis fisicoquímicos, microbiológicos y toxicológico de muestras de aguas de pozos profundos de esta localidad. Para ello se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de acuerdo con las recomendaciones establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes. Con un total de ocho muestras control y 15 recolectadas en campo, se procedió con los análisis de los parámetros iniciales como fueron pH, Conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), entre otros análisis, así como la detección de hidrocarburos no volátiles mediante técnicas espectroscópicas, la localización de microorganismos patógenos y la evaluación toxicológica de la muestra que presentó mayor concentración de hidrocarburos. Los análisis físicos de las muestras registraron valores de pH y temperatura dentro de los límites aceptables, a diferencia de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos. Se reveló el contenido de derivados de petróleo, presencia de microorganismos patógenos-infecciosos y en el proceso de evaluación toxicológica se descartó un cambio significativo. En conclusión, los análisis muestran que estas aguas no son aptas para consumo humano. •</p>

<b>Palabras claves de la Tesis:</b>	<b>Palabras claves:</b> Agua, pozo profundo, contaminación por hidrocarburo.
<b>Referencias citadas:</b>	<p>Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2009). <i>Norma técnica para la perforación de pozos profundos en la administración nacional de acueductos y alcantarillados</i>. Gerencia Técnica Del Departamento de Normas Técnicas. <a href="http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/perf-pozos.pdf">http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/perf-pozos.pdf</a></p> <p>Ahumada, R., Jago, M., Rudolph, A., &amp; Loyola, R. (2008). hidrocarburos lineales como marcadores en el sedimento de procesos naturales y contaminación. <i>Cienc. Tecnol. Mar</i>, 31(1), 53–65.</p> <p>Alberto Pérez, C., Daniel Bosia, J., Sandra Cantore, M., Chiera, A., Ricardo Cocozzella, D., Eduardo Adrover, R., Borzi, S., &amp; Oscar Curciarello, J. (2006). Daño hepático en trabajadores expuestos a hidrocarburos. <i>Gastroenterología y Hepatología</i>, 29(6), 334–337. <a href="https://doi.org/10.1157/13089716">https://doi.org/10.1157/13089716</a></p> <p>Alegría-Hernández, B. A., Morales-Bautista, C. M., Torres-Sánchez, S. A., &amp; Alor-Chávez, M. de J. (2019). Evaluación de los cambios en las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo en dos tipos de suelos. <i>JEEOS</i>, 3(2), 19–32. <a href="https://doi.org/10.19136/Jeeos.a3n2.3406">https://doi.org/10.19136/Jeeos.a3n2.3406</a></p> <p>Ambiental, S. G. (2013). <i>Tipos de impactos ambientales</i>. Impacto Ambiental. <a href="https://www.sema.gob.mx/SGA-IMPACTO-INDEX.htm">https://www.sema.gob.mx/SGA-IMPACTO-INDEX.htm</a></p> <p>Boyd, C. E. (2020). <i>Water Quality</i>. Springer International Publishing. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8">https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8</a></p> <p>Brewster, C. S., Sharma, V. K., Cizmas, L., &amp; McDonald, T. J. (2018). Occurrence, distribution and composition of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment cores from the Lower Fox River, Wisconsin, US. <i>Environmental Science and Pollution Research</i>, 25, 4974–4988. <a href="https://doi.org/10.1007/s11356-017-0819-z">https://doi.org/10.1007/s11356-017-0819-z</a></p> <p>Bruni, M., &amp; Spuhler, D. (2018). <i>Pozos perforados (pozo profundo)</i>. Sustainable Sanitation and Water Management. <a href="https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/pozos-perforados-%28pozo-profundo%29">https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/pozos-perforados-%28pozo-profundo%29</a></p> <p>Burgess, S. (2019). <i>Modelo animal</i>. National Human Genome Research Institute. <a href="https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Modelo-animal">https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Modelo-animal</a></p> <p>Calva B., L. G., Botello, A. V., &amp; Ponce vélez, G. (2005). Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la laguna Sontecomapan, Ver., México. <i>Hidrológica</i>, 15, 97–108.</p>

Castellanos, M. L., Isaza, R. J., & Torres, julio M. (2016). Evaluación de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11–17. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n3.55605>

Centro de Información Toxicológica de Veracruz. (2017). *Hidrocarburos*. Guía de Hidrocarburos. <https://www.ssaver.gob.mx/citver/files/2017/04/GUIA-DE-HIDROCARBUROS-CLASIFICACION.pdf>

Chávez, M., Rivera, G., Romero, T., & Vizcarra, I. (2013). El pozo: usos, seguridad y tradición en la subcuenca del río San Javier. *Estudios Sociales*, 41, 206–207.

CONAGUA. (2004). *Situación de los recursos hídricos. En Estadísticas del agua en México*.

Departamento de salud y servicios Humanos de los EE.UU. (2016). Resúmenes de salud pública - Hidrocarburos totales del petróleo (TPH). *ATSDR*. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs123.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs123.html)

Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology* (3th ed.). <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=rUUaBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=hydrology&ots=7nLKlIdmfP&sig=rsIEaZVBIKBuOLJoE8ga9Gj5KU#v=onepage&q&f=false>

EPA. (2021). *Acerca de los pozos de agua privados*.

Gámez, R., & Más, R. (2007). Aspectos generales de los estudios toxicológicos preclínicos más empleados. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 38(3), 204–208. <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/sites/default/files/articulos/CB-2007-3-204-208.pdf>

Gold-Bouchot, G., Zavala-Coral, M., Zapata-Pérez, O., & Ceja-Moreno, V. (1997). Hydrocarbon Concentrations in Oysters (*Crassostrea virginica*) and Recent Sediments from Three Coastal Lagoons in Tabasco, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 59, 430–437. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s001289900496.pdf>

González, S., Steban-Hernández, J., Valcárcel, Y., Hernandez-Barrera, V., & Gil, Á. (2010). Contaminación del agua en fuentes cercanas a campos petrolíferos de Bolivia. *Rev. Panam Salud Pública*, 28(4), 235–243.

Hermida Ameijeiras, A., Simal Gándara, J., López Hernández, J., & Simal Lozano, J. (1994). Classification of the coastal waters of Galicia (NW Spain) on the basis of total aliphatic hydrocarbon concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Marine Pollution Bulletin*, 28, 396–398.

	<p><a href="https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90280-1">https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90280-1</a> et rights and content</p> <p>Hernández, F. (2019). Detectan brote de Hepatitis A. <i>El Herald</i>.</p> <p>Hernández, S. (2006). El modelo animal en las investigaciones biomédicas. <i>BIOMEDICINA</i>, 2(3), 252–256.</p> <p>Higiene Ambiental. (2018). <i>¿Qué nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?</i> <a href="https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable#:~:text=A mayor turbiedad%2C mayor particulado,el organismo diana a eliminar">https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable#:~:text=A mayor turbiedad%2C mayor particulado,el organismo diana a eliminar</a></p> <p>INEGI. (2010). <i>Compendio de información geográfica municipal 2010, Cunduacán Tabasco</i>. <a href="https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27006.pdf">https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27006.pdf</a></p> <p>INEGI. (2015a). <i>Clima de Tabasco</i>. Información Por Entidad. <a href="http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&amp;e=27">http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&amp;e=27</a></p> <p>INEGI. (2015b). <i>México en cifras</i>. Tabasco Resumen. <a href="https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=27">https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=27</a></p> <p>Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022a). Hidrocarburos alifáticos insaturados. In <i>Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo</i> (pp. 275–281).</p> <p>Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022b). Hidrocarburos, alifáticos y halogenados. In <i>Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo</i> (pp. 249–274).</p> <p>Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022c). Hidrocarburos aromáticos. In <i>Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo</i> (pp. 282–295). <a href="https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas">https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas</a></p> <p>Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022d). Hidrocarburos aromáticos halogenados. In <i>Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo</i> (pp. 296–309). <a href="https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas">https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados++-+Hidrocarburos+poliaromáticos++-+Isocianatos+-+Cetonas</a></p>
--	---

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022e). Hidrocarburos poliaromáticos. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 310–319).  
<https://www.insst.es/documents/94886/162038/6.+Hidrocarburos+aromáticos+-+Hidrocarburos+aromáticos+halogenados+-+Hidrocarburos+poliaromáticos+-+Isocianatos+-+Cetonas>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2022f). Hidrocarburos saturados y alicíclicos. In *Enciclopedia de Salud y de Seguridad en el Trabajo* (pp. 235–248).

Kim, A. W., Vane, C. H., Moss-Hayes, V., Engelhart, S. E., & Kemp, A. C. (2017). PAH, PCB, TPH and mercury in surface sediments of the Delaware River Estuary and Delmarva Peninsula, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 129, 835–845. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.008>

Lache-García, A., Meléndez-Correa, L. V., Orrego, J. A., Mejía-Ospino, E., Pachón, Z., & Cabanzo, R. (2011). Predicción Del Análisis SARA De Crudos Colombianos Por Métodos Quimiométricos Utilizando Espectroscopia Infrarroja-ATR. *Revista Colombiana de Física*, 43, 643–647.

Levy, E. M. (1972). *The identification of petroleum products in the marine environment by absorption spectrophotometry*. 6.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313547290173X>

Magnuson, J. T., Khursigara, A. J., Allmon, E. B., Esbaugh, A. J., & Roberts, A. P. (2018). Effects of Deepwater Horizon crude oil on ocular development in two estuarine fish species, red drum (*Sciaenops ocellatus*) and sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 166, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.087>

Medicina interna. (2021). *Hidrocarburos alifáticos*.  
<https://empendium.com/manualmibe/chapter/B34.II.20.14>.

Muñoz De La Cruz, S. del R., Morales-Bautista, C. M., & Mendoza-Lorenzo, P. (2018). *Determinación de grasas y aceites en agua de pozo de la localidad de Cumuapa, Tabasco con posible exposición a contaminantes ambientales*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Muñoz De La Cruz, S. del R., Vilchis Reyes, M. Á., & Mendoza Lorenzo, P. (2021). Estudio químico preliminar de aguas de pozo profundo con riesgo de exposición a derrame por hidrocarburo. *Tendencias En Docencia e Investigación En Química*, 7(7), 161–166.  
[https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista\\_TeDIQ\\_2021.pdf](https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2021.pdf)

	<p>Nemr, A. El, El-Sadaawy, M. M., Khaled, A., &amp; Draz, S. O. (2013). Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of the Mediterranean: assessment and source recognition of petroleum hydrocarbons. <i>Environ Monit Assess</i>, 185, 4571–4589.  <a href="https://doi.org/10.1007/s10661-012-2889-1">https://doi.org/10.1007/s10661-012-2889-1</a></p> <p>OECD. (2018). <i>Test No. 408: Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents</i>. 1–16. <a href="https://doi.org/10.1787/9789264070707-en">https://doi.org/10.1787/9789264070707-en</a></p> <p>Olguín, E. J., &amp; Hernández, María Elizabeth Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. <i>Rev. Int. Contam. Ambient.</i>, 23(3), 139–154.</p> <p>Olivares Guerrero, A. (1996). <i>Manual para el manejo de animales de laboratorio</i> (1ra.). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.</p> <p>Organización Mundial de la Salud. (2011). Nitratos. In <i>Guías para la calidad del agua de consumo humano</i> (Cuarta edi, pp. 494–473).</p> <p>Organización Mundial de la Salud. (2022). <i>Hepatitis A</i>. OMS.  <a href="https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a">https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-a</a></p> <p>Pacheco-Ávila, J., Pat Canul, R., &amp; Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. <i>Ingeniería</i>, 6(3), 73–81.  <a href="http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/analisis_nitrogeno.pdf">http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/analisis_nitrogeno.pdf</a></p> <p>Padilla Herrera, A. (2021). El problema no es con CFE, sino con la directiva en Tabasco: CEAS. <i>El Herald</i>o.</p> <p>Pérez, F. (2017). Derrame en Cumuapa 2da sección. <i>Tabasco Hoy</i>.  <a href="https://twitter.com/alerta_th/status/914190736597413891?lang=es">https://twitter.com/alerta_th/status/914190736597413891?lang=es</a></p> <p>Real Academia Española. (2018). <i>Viabilidad</i>. Diccionario de La Lengua Española. <a href="https://dle.rae.es/?id=biZYVX4%7Cbia2X1Q">https://dle.rae.es/?id=biZYVX4%7Cbia2X1Q</a></p> <p>San Sebastian, M. (2001). Exposures and cancer incidence near oil fields in the Amazon basin of Ecuador. <i>Occupational and Environmental Medicine</i>, 58(8), 517–522. <a href="https://doi.org/10.1136/oem.58.8.517">https://doi.org/10.1136/oem.58.8.517</a></p> <p>Secretaría de Economía. (2001). <i>NMX-AA-117-SCFI-2001, Análisis de agua - determinación de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba</i>. SEMARNAT.  <a href="http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/D0106.pdf">http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/D0106.pdf</a></p>
--	---

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); opacity: 0.3; font-size: 2em; font-weight: bold;">Universidad Autónoma de Tabasco</p>	<p>Secretaría de Economía. (2015). <i>NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua - Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli –Método del número más probable en tubos múltiples</i>. Diario Oficial de La Federación (DOF).  <a href="https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf">https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf</a></p> <p>Secretaría de salud. (1995). <i>Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable</i>. Diario Oficial de La Federación.  <a href="http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html">http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html</a></p> <p>Secretaría de salud. (2000). <i>Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización</i>. Diario Oficial de La Federación.  <a href="http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html">http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html</a></p> <p>Secretaría de salud. (2005). <i>Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muest</i>. Diario Oficial de La Federación.  <a href="http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/230ssa102.html">http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/230ssa102.html</a></p> <p>Secretaría de salud. (2010). <i>NOM-000-SSA1-2010</i>. Diario Oficial de La Federación.  <a href="https://www.google.com.mx/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=1&amp;cad=rja&amp;uact=8&amp;ved=0ahUKEwjgseuRxdYAhUFRFMKHSM_AWgQFggoMAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.ecomexsa.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F08%2Ftemas-de-interes.pdf&amp;usg=AOvVaw2jxSKh15d50YzxO64BGhFz">https://www.google.com.mx/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=1&amp;cad=rja&amp;uact=8&amp;ved=0ahUKEwjgseuRxdYAhUFRFMKHSM_AWgQFggoMAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.ecomexsa.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F08%2Ftemas-de-interes.pdf&amp;usg=AOvVaw2jxSKh15d50YzxO64BGhFz</a></p> <p>Secretaría de salud. (2014). <i>NORMA Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos</i>. Diario Oficial de La Federación (DOF).  <a href="http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&amp;fecha=26/06/2015">http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5398468&amp;fecha=26/06/2015</a></p> <p>Secretaría de salud. (2015). <i>Estrategia estatal para la prevención y el control de sobrepeso, la obesidad y la diabetes</i>. Estrategia SOD Tabasco.  <a href="https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25081/EstrategiaSODTabasco.compressed.pdf">https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/25081/EstrategiaSODTabasco.compressed.pdf</a></p>
---	--

SENER. (n.d.). *¿Qué son los hidrocarburos?* Gobierno de México. Retrieved May 22, 2022, from <https://www.gob.mx/sener/articulos/que-son-los-hidrocarburos>

Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2001). *NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. Diario Oficial de La Federación. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999\\_220801.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf)

Silos-Rodríguez, J. M. (2008). *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos* (Primera). [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=kU90SzZc\\_TAC&oi=fnd&pg=PA17&dq=clasificación+de+hidrocarburos&ots=FEL795nvxm&sig=hO7ez6nlcOXopzkrurDodX\\_g69E#v=onepage&q=clasificación+de+hidrocarburos&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=kU90SzZc_TAC&oi=fnd&pg=PA17&dq=clasificación+de+hidrocarburos&ots=FEL795nvxm&sig=hO7ez6nlcOXopzkrurDodX_g69E#v=onepage&q=clasificación+de+hidrocarburos&f=false)

Stein, L. Y., & Klotz, M. G. (2016). The nitrogen cycle. *Current Biology*, 26, 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.021>

Stüeken, E. E., Kipp, M. A., Koehler, M. C., & Buick, R. (2016). The evolution of Earth's biogeochemical nitrogen cycle. *Earth-Science Reviews*, 160, 220–239. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.007>

Tabasco Hoy. (2020, September 10). Evacúan familias por derrames de crudo en Cunduacán. *Tabasco Hoy*. <https://www.tabascohoy.com/evacuan-familias-por-derrames-de-crudo-en-cunduacan/>

The jackson Laboratory. (2022). *BALB/c mice*. How It's Made. <https://www.jax.org/strain/000651>

Triano-Coronel, F. (2012a). *Derrame de crudo y gas en Cumuapa, Cunduacán*. Tabasco Hoy. <http://www.tabascohoy.com/nota/84166/derrame-de-crudo-y-gas-en-cumuapa-cunduacan>

Triano-Coronel, F. (2012b). *Mortífero derrame en Cumuapa*. Tabasco Hoy. <http://www.tabascohoy.com/nota/51743/mortifero-derrame-en-cumuapa>

Triano-Coronel, F. (2019). En Cumuapa se extiende derrame de crudo. *Tabasco Hoy*. <https://www.tabascohoy.com/nota/485947/en-cumuapa-se-extiende-derrame-de-crudo>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (2022). *Animales de experimentación*. Bioterio. [https://www.uaeh.edu.mx/bioterio/animales\\_expe.html](https://www.uaeh.edu.mx/bioterio/animales_expe.html)

	<p>Valdivielso, A. (2022). ¿Qué son los pozos artesianos? Iagua. <a href="https://www.iagua.es/respuestas/que-es-pozo-artesiano">https://www.iagua.es/respuestas/que-es-pozo-artesiano</a></p> <p>Wang, M., Wang, C., Hu, X., Zhang, H., He, S., &amp; Lv, S. (2015). Distributions and sources of petroleum, aliphatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments from Bohai Bay and its adjacent river, China. <i>Marine Pollution Bulletin</i>, 88–94. <a href="https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.11.017">https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.11.017</a></p> <p>Zerkle, A. L., &amp; Mikhail, S. (2017). The geobiological nitrogen cycle: From microbes to the mantle. <i>Geobiology</i>, 15(3), 343–352. <a href="https://doi.org/10.1111/gbi.12228">https://doi.org/10.1111/gbi.12228</a></p>
--	--