



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

---

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE  
DEL GUARUMBO (*Cecropia peltata*) PARA LA  
REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN AGUA”**

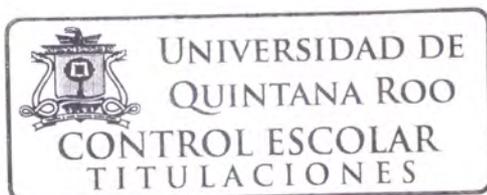
---

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA**  
ÁNGEL IVÁN VALLE BORGES

**DIRECTOR**  
DRA. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA

**ASESORES**  
M.I. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO  
DR. JOSÉ ALFONZO CANCHÉ UUH  
BIOL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO  
DR. RICARDO ENRIQUE VEGA AZAMAR



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2018



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DEL GUARUMBO (*Cecropia peltata*)  
PARA LA REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN AGUA”

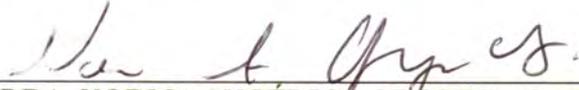
ELABORADO POR  
ÁNGEL IVÁN VALLE BORGES

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

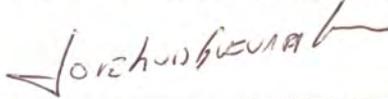
INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ DE TESIS

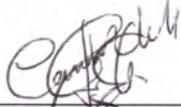
DIRECTOR:

  
DRA. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA

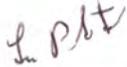
ASESOR:

  
M.I. JOSÉ LUIS GUEVARA FRANCO

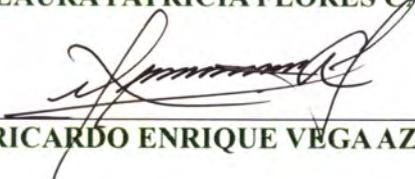
ASESOR:

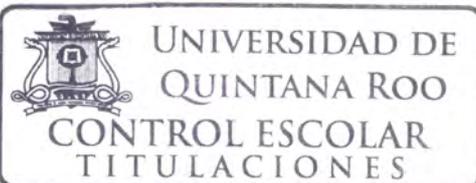
  
DR. JOSÉ ALFONZO CANCHÉ UUH

ASESORA:

  
BIOL. LAURA PATRICIA FLORES CASTILLO

ASESOR:

  
DR. RICARDO ENRIQUE VEGA AZAMAR



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2018.



## **Agradecimientos**

### **A la Dra. Norma Angélica Oropeza García**

Por toda la ayuda y recomendaciones que me otorgó durante la realización de este trabajo, además del interés y el tiempo que siempre tuvo por atender mis dudas y por las facilidades que me brindó a lo largo de toda esta investigación.

### **Al M. I. José Luis Guevara Franco**

Por sus recomendaciones y correcciones, que me ayudaron a mejorar el contenido de esta investigación.

### **Al Dr. José Alfonso Canché Uuh**

Por las observaciones y consejos que me dio para concluir de la mejor manera con este trabajo, además de siempre contagiar su pasión e interés por la ciencia.

### **A la Bióloga Laura Patricia Flores Castillo**

Por el interés que siempre demostró y el conocimiento que me compartió y que me permitió corregir ciertos aspectos de esta investigación.

### **Al Dr. Ricardo Enrique Vega Azamar**

Por la atención y el tiempo que otorgó para ayudar en la conclusión de este trabajo.

### **A mi madre, María Guadalupe Borges**

Por su apoyo incondicional, sus sacrificios y por toda la motivación que siempre me ha dado para superarme y alcanzar más allá de lo que me proponga.

Por todo el cariño y dedicación que siempre ha dado por sus hijos y su superación.

### **A mis hermanas, Yésica y Leslie**

Por motivarme siempre a ser un hombre de bien y por su apoyo e interés en ver concluir mi carrera universitaria.

### **A mi novia, Rubí Aracely Cab Caamal**

Por toda la ayuda que me otorgó para la conclusión de esta tesis y por ser una de mis motivaciones más grandes para la culminación de mis estudios universitarios.

### **A mis amigos, Luis, Juan y Alejandro**

Por todas las experiencias que tuvimos durante toda la carrera, las salidas de campo, los proyectos y las tareas que nos dejaron momentos que recordaré por siempre.

Su motivación y ayuda durante todo este tiempo fue muy importante para la realización de este trabajo.

# Contenido

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1 <i>CECROPIA PELTATA</i> .....	12
2.2 ADSORBENTES .....	13
2.3 MECANISMOS DE ADSORCIÓN .....	15
2.4 PROPIEDADES DE LOS HIDROCARBUROS .....	16
2.4.1 <i>Aceite usado de motor</i> .....	17
2.4.2 <i>Gasolina</i> .....	17
2.4.3 <i>Queroseno</i> .....	18
2.5 TÉCNICAS DE LIMPIEZA DE HIDROCARBUROS .....	19
2.5.1 <i>Barreras de contención</i> .....	19
2.5.2 <i>Dispersantes químicos</i> .....	20
2.5.3 <i>Recolección mecánica</i> .....	22
2.5.4 <i>Incineración in situ</i> .....	22
2.5.5 <i>Manejo de residuos</i> .....	24
2.6 ANTECEDENTES .....	27
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA</b> .....	<b>29</b>
3.1 MATERIALES Y REACTIVOS .....	30
3.2 PREPARACIÓN DEL MATERIAL ADSORBENTE .....	31
3.3 PRUEBA DE FLOTABILIDAD .....	31
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL ADSORBENTE .....	32
3.5 PRUEBA HIDROFÍLICA .....	32
3.6 PRUEBAS DE ADSORCIÓN .....	33
3.6.1 <i>Prueba de adsorción corta</i> .....	33
3.6.2 <i>Prueba de adsorción larga</i> .....	34
3.6.3 <i>Determinación del tiempo óptimo de contacto</i> .....	34
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>35</b>
4.1 FLOTABILIDAD .....	36
4.2 CARACTERIZACIÓN .....	36
4.2.1 <i>Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)</i> .....	37
4.3 PRUEBA HIDROFÍLICA .....	41
4.4 PRUEBA DE ADSORCIÓN CORTA (15 MIN) .....	42
4.4.1 <i>Aceite de motor usado</i> .....	43
4.4.2 <i>Gasolina</i> .....	44
4.4.3 <i>Queroseno</i> .....	44

4.5	PRUEBA DE ADSORCIÓN LARGA (24 H) .....	46
4.5.1	<i>Aceite de motor usado</i> .....	46
4.5.2	<i>Gasolina</i> .....	46
4.5.3	<i>Queroseno</i> .....	47
4.6	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO .....	47
4.6.1	<i>Aceite de motor usado</i> .....	47
4.6.2	<i>Gasolina</i> .....	48
4.6.3	<i>Queroseno</i> .....	49
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>50</b>
CONCLUSIONES .....		51
RECOMENDACIONES .....		52
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>56</b>

## Índice de figuras

FIGURA 1. HOJA DE GUARUMBO – VISTA FRONTAL.....	12
FIGURA 2. HOJA DE GUARUMBO – VISTA DORSAL.....	12
FIGURA 3. COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA BARRERA DE CONTENCIÓN (CASADO FERREIRO, 2013).....	19
FIGURA 4. FUNCIONAMIENTO DE UNA BARRERA DE CONTENCIÓN (MINISTERIO DE AGRICULTURA, S.F.).....	20
FIGURA 5. PROCESO DE DISPERSIÓN QUÍMICA (ITOPF, 2011C) .....	20
FIGURA 6. ROCIADO DEL DISPERSANTE DESDE UNA EMBARCACIÓN (ARPEL, 2007) .....	21
FIGURA 7. ROCIADO DESDE UN HELICÓPTERO (ARPEL, 2007).....	21
FIGURA 8. RECOLECCIÓN MECÁNICA DE HIDROCARBUROS (ITOPF, 2011A).....	22
FIGURA 9. EJEMPLO DE OPERACIÓN DE UNA QUEMA IN SITU (EXXONMOBIL, 2008).....	23
FIGURA 10. CONTENCIÓN E INCINERACIÓN IN SITU DE HIDROCARBUROS (BELTRA, 2010) .....	23
FIGURA 11. DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA POR ETAPAS .....	30
FIGURA 12. ADSORBENTE PREPARADO .....	31
FIGURA 13. PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS DE ADSORCIÓN.....	33
FIGURA 14. ESTRUCTURA FIBROSA DEL MATERIAL .....	36
FIGURA 15. FIBRA DEL MATERIAL VISTA A 100X .....	36
FIGURA 16A. MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DEL ADSORBENTE.....	37
FIGURA 17. FIBRA DEL GUARUMBO.....	38
FIGURA 18. FIBRA DE CAÑA (CASTILLO, 2017) .....	38
FIGURA 19. REGIÓN DE ANÁLISIS EDX 1 .....	39
FIGURA 20. REGIÓN DE ANÁLISIS EDX 2.....	39

## Índice de tablas

TABLA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INCINERACIÓN .....	25
TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DISPOSICIÓN FINAL EN VERTEDEROS. ....	26
TABLA 3. COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE LA SUPERFICIE DEL GUARUMBO (CECROPIA PELTATA) .....	39
TABLA 4. MAPEO POR ABUNDANCIA DE ELEMENTOS.....	40
TABLA 5. SORCIÓN DE AGUA.....	41
TABLA 6. ADSORCIÓN DE ACEITE USADO DE MOTOR .....	43
TABLA 7. ADSORCIÓN DE GASOLINA .....	44
TABLA 8. ADSORCIÓN DE QUEROSENO .....	44
TABLA 9. ADSORCIÓN MÁXIMA DE ACEITE DE MOTOR .....	46
TABLA 10. ADSORCIÓN MÁXIMA DE GASOLINA.....	46
TABLA 11. ADSORCIÓN MÁXIMA DE QUEROSENO.....	47
TABLA 12. TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO CON ACEITE DE MOTOR .....	47
TABLA 13. TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO CON GASOLINA .....	48
TABLA 14. <i>TIEMPO ÓPTIMO DE CONTACTO CON QUEROSENO</i> .....	49

# **CAPÍTULO 1:**

## **Introducción**

## 1.1 Introducción

La contaminación de cuerpos de agua superficiales o subterráneos por hidrocarburos es uno de los principales problemas ambientales que actualmente afectan a los ecosistemas. Estas sustancias pueden alterar de manera significativa la calidad de este recurso y, por lo tanto, ocasionar graves daños al equilibrio del ecosistema aun cuando se encuentran en pequeñas cantidades, además, su eliminación del medio puede representar un verdadero reto.

Los efectos que estas sustancias pueden provocar a los ecosistemas depende del tipo de hidrocarburo y de su procedencia, así como de las cantidades que se liberan. Los hidrocarburos pesados, como el petróleo, permanecen durante mucho tiempo en la zona del derrame, mientras que los livianos como la gasolina se evaporan más rápido, lo que los hace más tóxicos.

Son distintas las maneras en las que los hidrocarburos pueden llegar a los cuerpos de agua, ya sea por infiltraciones desde el suelo, por derrames que ocurren directamente en aguas abiertas o por medio del aire, el cual los transporta hasta depositarlos en el medio acuático.

En las ciudades, las vías más comunes por las que los hidrocarburos pueden llegar a los cuerpos de agua son a través del drenaje pluvial y de los sistemas de alcantarillado, por los cuales son arrastrados hasta que se incorporan al medio.

Cuando ocurre una contingencia en la que se liberan estas sustancias, es necesario recuperar la mayor cantidad posible antes de que se dispersen a mayores distancias y sus efectos ecológicos y económicos puedan ser más graves.

Entre las técnicas que más se utilizan para la limpieza y remoción de hidrocarburos en agua están la de las barreras de contención, la incineración del hidrocarburo y el uso dispersantes. Sin embargo, la efectividad y eficiencia de estas técnicas está limitada por las condiciones en las que se presenta la liberación del hidrocarburo, y por ello, cuando esas técnicas no son la mejor opción, se puede optar por el uso de materiales adsorbentes. Actualmente ya existen diversos estudios sobre diferentes tipos de materiales (orgánicos, inorgánicos o sintéticos) que pueden ser utilizados para este fin.

En el presente trabajo se pretende evaluar la capacidad adsorbente de biomasa procedente de la especie *Cecropia peltata* para la remoción de hidrocarburos en agua, específicamente aceite de motor usado, gasolina y queroseno.

## 1.2 Justificación

Las técnicas de limpieza que comúnmente se emplean en los derrames, principalmente en las costas, implican la recolección de grandes cantidades de hidrocarburos y residuos oleosos. La eliminación de los residuos que se generan durante la limpieza de estas sustancias puede convertirse en la parte más costosa y que requiere más tiempo del proceso. Es por ello que cuando se eligen a los adsorbentes, ya sean orgánicos, inorgánicos o sintéticos, como técnica de limpieza de hidrocarburos, es importante seleccionar el material que represente la menor dificultad de eliminación una vez que se convierte en residuo.

La selección del tipo de material a utilizar generalmente se hace partir de la eficiencia del mismo. Los materiales de origen sintético, como el polipropileno, son los que presentan la tasa de remoción más alta, y por ello son los más empleados para cumplir con esta función. Sin embargo, hay otros factores que no se toman en cuenta en la selección del material adsorbente, como, por ejemplo, que el uso de material sintético se puede convertir en un problema de residuos, ya que al concluir la vida útil de este tipo de material su tiempo de degradación es muy lento debido a su misma naturaleza, lo que limita sus opciones de desecho e incrementa su impacto en el medio. Otro factor a tomar en cuenta para disminuir el uso de adsorbentes sintéticos es que requieren de costos adicionales para su reutilización y/o almacenamiento.

En contraparte, los materiales adsorbentes de origen natural pueden ser una mejor opción para cumplir con esta tarea, ya que su degradación es mucho más rápida en comparación con el material sintético, además de que pueden encontrarse de manera abundante en la naturaleza, son más económicos y su preparación o elaboración no requiere de un proceso complejo, además de que permiten el aprovechamiento de desechos agrícolas.

Investigaciones realizadas con materiales como la fibra de coco han demostrado que los adsorbentes orgánicos de origen natural pueden ser igual o más eficientes que los comerciales de origen sintético. Por ello es importante el estudio de nuevos materiales de este tipo que puedan reemplazar a los sintéticos y así eliminar el impacto que estos producen cuando concluye su vida útil.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

- Determinar la capacidad de adsorción del guarumbo (*Cecropia peltata*) (g/g) con tres hidrocarburos diferentes: aceite de motor usado, gasolina y queroseno.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la capacidad de adsorción biomasa-agua (g/g).
- Estimar el tiempo óptimo de contacto en el que el material alcanza su mayor capacidad adsorbente con los hidrocarburos.

## **CAPÍTULO 2: Marco teórico**

## 2.1 *Cecropia peltata*

Esta especie se extiende desde México hasta América del Sur, abarcando toda la región neotropical (Global Invasive Species Database, 2015). Crece por encima de los 20 metros y su tronco alcanza los 60 cm de diámetro (Glogiewicz, 1998).

Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Urticaceae
Género	<i>Cecropia</i>
Especie	<i>C. peltata</i>

Es un árbol de crecimiento rápido y que puede desarrollarse prácticamente en cualquier región con clima cálido. Se puede encontrar frecuentemente en la orilla de caminos y carreteras, brechas, áreas de cultivo o en otros sitios que hayan sufrido algún tipo de impacto (Vidal Durango, 2009). Durante gran parte de su ciclo de vida produce abundante biomasa, ya que sus hojas son grandes y anchas en forma de sombrilla que van desde 30 hasta 75 cm de ancho.



Figura 1. Hoja de guarumbo – vista frontal



Figura 2. Hoja de guarumbo – vista dorsal

Su capacidad de crecimiento le permite formar aglomeraciones de varios individuos que pueden desplazar o competir con especies nativas de la región en la que se desarrollan. Por ello, en algunas regiones se le considera una especie invasiva peligrosa e incluso se encuentra nominada como una de las 100 peores especies invasoras del mundo (Global Invasive Species Database, 2011).

Generalmente es cultivado con fines ornamentales, aunque también es utilizado como remedio medicinal para diferentes padecimientos (se ha empleado como anticoagulante, antiinflamatorio, astringente, como diurético y como vasodilatador entre otras aplicaciones) e incluso se han realizado ensayos de toxicidad sobre ratas para evaluar sus posibles efectos tóxicos (González Torres, y otros, 2006). Su madera es utilizada como materia prima para la construcción de diferentes estructuras como canoas, cercos, cajas, mangos de herramientas, entre otros (Glogiewicz, 1998).

En su composición química se han encontrado saponinas, flavonoides, fenoles, taninos, triterpenos, esteroides, aminos, compuestos reductores y lípidos (Pardo Concepción, Triay González, Agüero Agüero, & Cuéllar Cuéllar, 2000).

## 2.2 Adsorbentes

Los materiales sorbentes funcionan mediante dos principios: la adsorción y la absorción. La **adsorción** se lleva a cabo cuando las moléculas de alguna sustancia se adhieren a la superficie del material adsorbente o en la interface entre dos fluidos, ya sea por medio de procesos físicos, químicos o por fuerzas electrostáticas. La **absorción** se presenta cuando el sorbente permite la entrada a su estructura de una sustancia en un estado diferente. (Tejada Tovan, Villabona Ortíz, & Garcés Jaraba, 2015).

La adsorción es un fenómeno esencialmente bidimensional, mientras que la absorción es tridimensional (Salager, 1998).

Los adsorbentes pueden ser clasificados de acuerdo a su origen en tres categorías: orgánicos, inorgánicos y sintéticos. Los sintéticos generalmente están fabricados de polietileno/poliuretano, polipropileno, nylon o poliéster. Los inorgánicos comprenden arenas, lana de vidrio, roca volcánica, arcillas, entre otros. En el caso de los orgánicos, se emplea biomasa procedente generalmente de origen vegetal (paja, turba, aserrín, fibra de coco o caña, etc.), aunque también se han empleado plumas de gallina, cabello humano y lana (ExxonMobil, 2008).

Pueden ser utilizados en diferentes formas dependiendo de la efectividad de los mismos: material suelto, encerrado, continuo o de fibras sueltas (ITOPF, 2012d). Cada una de estas formas tienen ventajas y desventajas diferentes que pueden tomarse como referencia para seleccionar el tipo y forma de adsorbente a utilizar, considerando también el sitio y condiciones en las que ocurrió el derrame de hidrocarburo y las propiedades que la naturaleza del material ofrece.

Para probar la eficiencia de un material como adsorbente de hidrocarburos en aguas se deben tomar en cuenta ciertos criterios (ITOPF, 2012d):

- Flotabilidad: un adsorbente eficaz debe presentar y mantener una elevada flotabilidad aun cuando se encuentre saturado de hidrocarburo.
- Retención de hidrocarburos: se refiere a la capacidad que debe presentar el material para mantener a los hidrocarburos dentro de su estructura aun cuando este se deforme, ya que algunos adsorbentes expulsan el hidrocarburo cuando son levantados del agua.
- Resistencia y durabilidad: esta característica es importante cuando el adsorbente debe ser empleado durante un periodo de tiempo prolongado antes de su recolección, ya que si el material es débil comenzará a degradarse antes de que termine el proceso de adsorción.
- Costo: Este factor varía dependiendo del material utilizado (orgánico, inorgánico o sintético) y se debe tomar en cuenta la cantidad de adsorbente que se va a emplear para evitar gastos excesivos.
- Facilidad de recogida: La recolección del material adsorbente puede convertirse en un problema cuando no se selecciona correctamente el tipo de material a usar, ya que, por ejemplo, el uso de material suelto en una zona de alto oleaje puede retrasar y complicar la recolección de todo el material utilizado. Generalmente la recolección se lleva a cabo con técnicas de pesca, como el uso de redes con técnica de arrastre.
- Disponibilidad, almacenamiento y transporte: La disponibilidad de los materiales adsorbentes depende del sitio donde van a emplearse, ya que los de origen sintético no siempre se encuentran disponibles en el sitio del derrame. Además, dependiendo de las cantidades que se van a emplear, el espacio de almacenamiento de estos materiales puede convertirse en un problema debido a que por naturaleza son voluminosos. De igual manera sucede con el transporte, ya que deben ser trasladados hasta el sitio donde serán utilizados. Además, si tomamos en cuenta los problemas que pueden generar los adsorbentes sintéticos, también deberían considerarse como criterios de selección el tiempo de degradación del material, las opciones de desecho disponibles una vez que el material es utilizado y en caso de ser posible las opciones de aprovechamiento.

- **Biodegradabilidad:** Cuando se presentan situaciones que impiden la recolección completa del adsorbente, el material utilizado debe ser ecológicamente seguro y biodegradable.
- **Fermentación:** Es importante que el material no presente fermentación durante su aplicación, ya que esto puede cambiar la eficiencia del mismo y puede ocasionar problemas durante la recolección.

### 2.3 Mecanismos de adsorción

Para que un material pueda ser utilizado como adsorbente en aguas debe presentar una alta capacidad hidrófoba y al mismo tiempo una elevada capacidad oleofílica.

Los mecanismos que permiten a ciertos materiales adsorber hidrocarburos son los siguientes (ITOPF, 2012d):

- **Propiedad humectante:** Es la capacidad que tienen los materiales para humedecerse con hidrocarburos. Para que esto suceda, la tensión superficial del líquido debe ser inferior a la del material sólido, sin embargo, hay que tener en cuenta que, si la sustancia se encuentra en un medio acuático, el material también puede ser humedecido por el agua, así que para que el material tenga una mayor afinidad con el hidrocarburo que con el agua, la tensión superficial del mismo debe ser inferior a la del agua, pero superior a la del hidrocarburo.
- **Acción capilar:** Esta propiedad se relaciona fuertemente con la viscosidad del hidrocarburo. La velocidad de adsorción puede variar si se trata de un hidrocarburo de baja o de alta viscosidad.
- **Cohesión/adhesión:** La cohesión es la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo, mientras que la adhesión se refiere a la atracción entre partículas de un material a otro. Los adsorbentes aprovechan estas dos propiedades y con ello logran retener mayores cantidades de hidrocarburos.
- **Área superficial:** Esta propiedad de los materiales es la que les permite interactuar con lo que les rodea, ya sea un gas, otro sólido o líquidos. Mientras el tamaño de las partículas que forman al material se hacen más pequeñas, el área superficial aumenta. Un material adsorbente eficiente debe presentar una alta relación entre área superficial y volumen, incluidas las superficies internas y externas.

## 2.4 Propiedades de los hidrocarburos

El comportamiento que los hidrocarburos pueden presentar una vez que entran en contacto con el medio acuático depende de ciertas propiedades, además, algunas de estas propiedades también pueden afectar el desempeño de los adsorbentes.

### Densidad API

Esta propiedad es la que condiciona la flotabilidad de los hidrocarburos sobre el agua e influye sobre su propagación y dispersión natural.

La densidad API consiste en una unidad de densidad adoptada por el Instituto Americano del Petróleo. De acuerdo a esta escala, cuanto más grande es el índice, la densidad del hidrocarburo es menor (Organización Marítima Internacional, 2005).

Hidrocarburos con densidad API menor a 27° se consideran pesados, y los que están sobre 40° API se consideran ligeros. Los hidrocarburos con valores muy altos de densidad API generalmente no son persistentes y es muy probable que se evaporen y/o dispersen naturalmente (ExxonMobil, 2008).

### Viscosidad

Esta propiedad se refiere a la resistencia a fluir de un líquido. Los hidrocarburos con viscosidades elevadas fluyen con mayor dificultad mientras que los que tienen viscosidad baja fluyen con más rapidez (Organización Marítima Internacional, 2005).

### Punto de ebullición y gama de ebullición

La velocidad a la que se evaporan los hidrocarburos depende de estas dos propiedades. Mientras más pequeñas sean, la evaporación se producirá más rápido.

### Punto de inflamación

Se refiere a la temperatura mínima en la que existe suficiente vapor sobre los hidrocarburos derramados como para formar una mezcla inflamable. Esta propiedad debe tenerse en cuenta durante las operaciones de limpieza ya que cuando los hidrocarburos acaban de ser derramados pueden prender con facilidad hasta que sus componentes volátiles se evaporen y dispersen en la atmósfera (Organización Marítima Internacional, 2005).

### Solubilidad

Los hidrocarburos están conformados por algunos componentes que son solubles en agua y generalmente estos resultan ser también los más volátiles. En comparación con la evaporación, la solubilidad es pequeña, sin embargo, esta propiedad puede presentar cierta toxicidad para la vida del medio en el que ocurre un derrame, por lo que no se le debe restar importancia (Organización Marítima Internacional, 2005).

#### 2.4.1 Aceite usado de motor

Los aceites lubricantes forman parte de la vida cotidiana en todas las ciudades, el contacto directo que se tiene con estas sustancias es por medio de los vehículos automotores. Su función es la de reducir la cantidad de energía necesaria para poner en funcionamiento un motor, además de prevenir el desgaste de los componentes del mismo. También tiene como función prevenir la formación de suciedad entre las partes del motor que se produce por su mismo desgaste. Esto conlleva a que cuando el aceite debe ser cambiado por uno nuevo, se extraiga junto con otros componentes ajenos a su composición original, como los metales u otras sustancias tóxicas derivadas de las condiciones a las que está sometido dentro del motor (Manzanarez Jiménez & Ibarra Ceceña, 2012).

Entre los componentes, además de los metales, que lo convierten en una sustancia altamente peligrosa se encuentran:

- Compuestos organometálicos con contenido de plomo procedente de las gasolinas.
- Ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o por azufre de los combustibles.
- Compuestos de azufre.
- Restos de aditivos: Fenoles, compuestos de cinc, cloro y fósforo.
- Compuestos clorados: Disolventes, PCBs y PCTs.
- Hidrocarburos Polinucleares Aromáticos (PNA).

En México, los aceites lubricantes usados se consideran residuos peligrosos debido a sus características de inflamabilidad y toxicidad se encuentran sujetos a un plan de manejo de acuerdo a lo que indica la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.

Su mayor potencial como contaminante es en los cuerpos de agua, ya que, debido a sus propiedades, este no se diluye en el agua y posee muy baja biodegradabilidad, por lo que puede permanecer en el medio acuático por mucho tiempo.

#### 2.4.2 Gasolina

La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, los vapores que libera son más densos que el aire, por lo que tienden a acumularse cerca del piso y en áreas bajas. Cualquier fuente de ignición (chispas, materiales calientes, cigarrillos) pueden provocar una explosión.

La contaminación de cuerpos de agua por gasolina puede provocar la muerte de los organismos que ahí habitan, además de generar impactos económicos de las comunidades que puedan depender del cuerpo de agua contaminado.

Un caso de estudio sucedió en septiembre del 2015 en el estado de Oaxaca, México, en el que se derramaron más de 900 mil litros de gasolina a través de una toma clandestina que contaminaron un arroyo que servía como fuente de agua de 18 ranchos cercanos. Este derrame provocó la muerte de peces y aves además de las afectaciones a los campesinos que dependen del arroyo para el cultivo de sus parcelas (Manzo, 2015).

#### 2.4.3 Queroseno

El queroseno es un hidrocarburo derivado del petróleo. Se utiliza principalmente como fuente de iluminación y calentamiento en hogares y como combustible para motores a diésel.

Al igual que la gasolina, el queroseno desprende vapores altamente inflamables, que junto con el aire puede formar una mezcla explosiva.

Su liberación en el medio acuático puede provocar la muerte de organismos además de que posee una baja biodegradabilidad. Grandes cantidades de esta sustancia pueden penetrar el subsuelo y contaminar las aguas subterráneas.

En caso de una contingencia en la que se derrame esta sustancia al medio acuático es importante que las autoridades responsables actúen de manera rápida para la limpieza del hidrocarburo, con el fin de reducir el impacto que este pueda generar en el ecosistema. Además, representa un peligro de explosión que puede ocasionar severos daños al personal que se encuentre trabajando en las labores de limpieza, por lo que se debe contar con un plan de acción que permita remover esta sustancia con las medidas de seguridad adecuadas.

## 2.5 Técnicas de limpieza de hidrocarburos

En México, de acuerdo al Plan Nacional de Contingencia para Derrames de Hidrocarburos y Sustancias Nocivas Potencialmente Peligrosas (PNC) en las Zonas Marinas Mexicanas de la SEMAR (2016), la aplicación de ciertas técnicas para la remoción de hidrocarburos dependerá de la zona de afectación, ya sea en la Zona Marítima Mexicana, zonas costeras o en áreas sensibles (zonas de importancia ambiental, comercial, cultural o industrial). Además, la elección de la técnica de remoción también dependerá de los resultados que arroje el Análisis de Riesgo Ambiental y el Análisis de Beneficio Ambiental Neto.

El PNC permite tener una reacción oportuna y adecuada ante casos de contaminación, a fin de reducir la extensión de los daños que puedan producirse por el derrame de hidrocarburos.

A continuación, se describen brevemente los métodos de limpieza más comunes utilizados en los derrames de hidrocarburos.

### 2.5.1 Barreras de contención

Las barreras son usualmente la primera respuesta mecánica que se utiliza cuando ocurre un derrame de crudo en el mar, ya que sirven como obstáculos físicos contra el flujo de hidrocarburos. Tienen la función de concentrar y contener a los hidrocarburos flotantes para evitar o detener su esparcimiento sobre la superficie del agua. Pueden emplearse en conjunto con otras técnicas de limpieza, como la quema *in situ*, los adsorbentes, *skimmers* o la recolección mecánica. Estas pueden estar fabricadas de diferentes tamaños, materiales y formas con el fin de poder adaptarse a las condiciones del derrame y funcionar con la mayor eficiencia posible (ITOPF, 2011b).

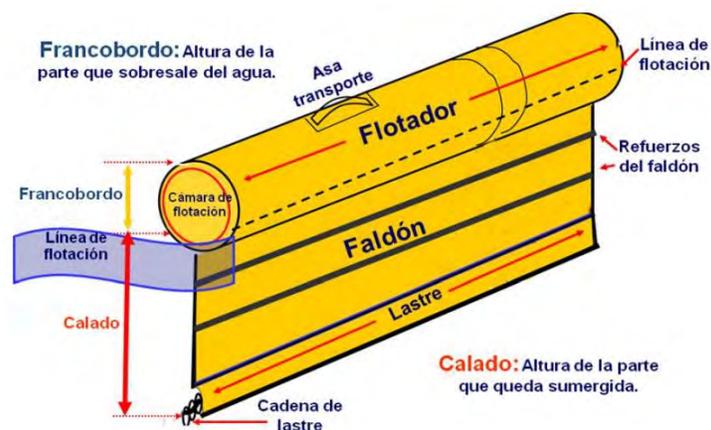


Figura 3. Componentes principales de una barrera de contención (Casado Ferreira, 2013)



Figura 4. Funcionamiento de una barrera de contención (Ministerio de Agricultura, s.f.)

### 2.5.2 Dispersantes químicos

Los dispersantes se utilizan para acelerar el proceso natural de disolución y dispersión de los hidrocarburos en el agua. Estas sustancias son una mezcla de surfactantes (tensoactivos) en un disolvente que cuando entran en contacto con el hidrocarburo rompen su tensión superficial disgregándolo en pequeñas gotas que se dispersan fácilmente en la columna de agua y que se terminan de degradar por la acción natural de los microorganismos (ITOPF, 2011c).

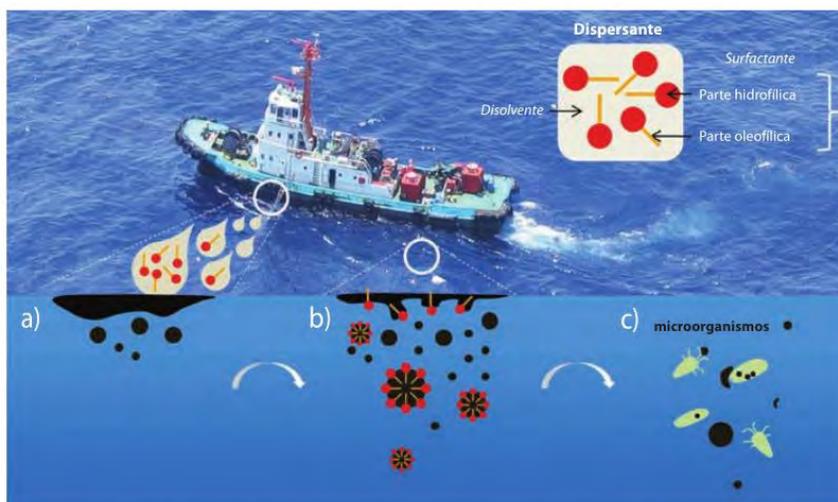


Figura 5. Proceso de dispersión química (ITOPF, 2011c)

Al igual que con las demás técnicas de limpieza de hidrocarburos, el uso de dispersantes está limitado por distintos factores fisicoquímicos, tanto del mismo dispersante como del hidrocarburo, y de las condiciones del cuerpo de agua, por ello es importante que previamente se haga un análisis para evaluar si esta técnica es la mejor opción o si por el contrario puede agravar la situación.

La aplicación del dispersante puede hacerse desde una embarcación o desde una aeronave rociándolo sobre la mancha de hidrocarburo.



*Figura 6. Rociado del dispersante desde una embarcación (ARPEL, 2007)*



*Figura 7. Rociado desde un helicóptero (ARPEL, 2007)*

La SEMARNAT (2016) establece en el PNC que “para que los dispersantes químicos sean eficaces deben aplicarse sobre el HC fresco a fin de maximizar la limitada ventana de oportunidad de uso (dentro de 24-48 horas siguientes al derrame)” (p.22). Además, se prohíbe el uso de dispersantes en cuerpos de agua dulce o zonas de manglar o arrecifes.

### 2.5.3 Recolección mecánica

Este tipo de técnicas se emplea para la remoción de hidrocarburos muy viscosos, emulsiones pesadas o hidrocarburos semisólidos.

Consiste en remover directamente los hidrocarburos de la superficie del agua utilizando cucharas o pinzas excavadoras para introducirlos en camiones o contenedores (ITOPF, 2011a).



Figura 8. Recolección mecánica de hidrocarburos (ITOPF, 2011a)

### 2.5.4 Incineración *in situ*

Esta técnica consiste en la incineración controlada de los hidrocarburos en el sitio del derrame. Cuando se realiza en condiciones adecuadas y controladas puede ser de gran utilidad para deshacerse rápidamente de grandes cantidades de hidrocarburos sin tener “la necesidad de recoger, almacenar, transportar y disponer de los hidrocarburos recuperados” (ARPEL, 2007, pág. 6). Además, no requiere de una gran cantidad de equipo como lo requieren las otras técnicas y se puede utilizar con la mayoría de hidrocarburos (IPIECA-IOGP, 2016).

Para que la incineración sea lo más eficiente posible se deben cumplir ciertas condiciones (ExxonMobil, 2008):

- El espesor de la capa de hidrocarburo debe ser al menos de 2-3 mm para poder mantener a combustión.
- Puede ser necesaria la contención del hidrocarburo con barreras resistentes al fuego para mantenerlo en su sitio durante la incineración y para ayudar a mantener el espesor de la capa.
- El hidrocarburo no debe contener demasiada agua.

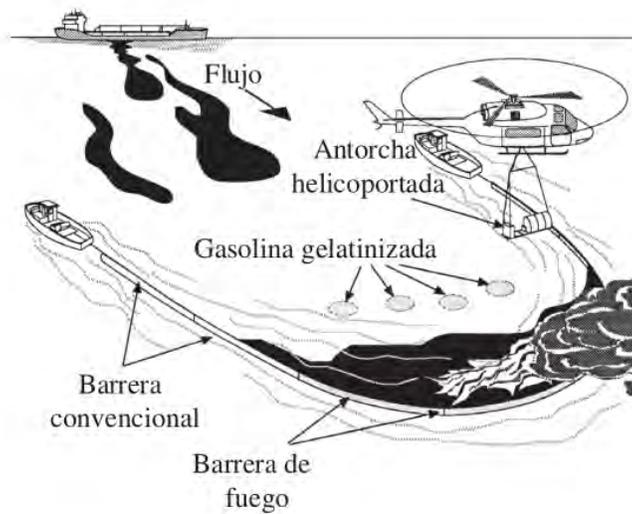


Figura 9. Ejemplo de operación de una quema in situ (ExxonMobil, 2008).

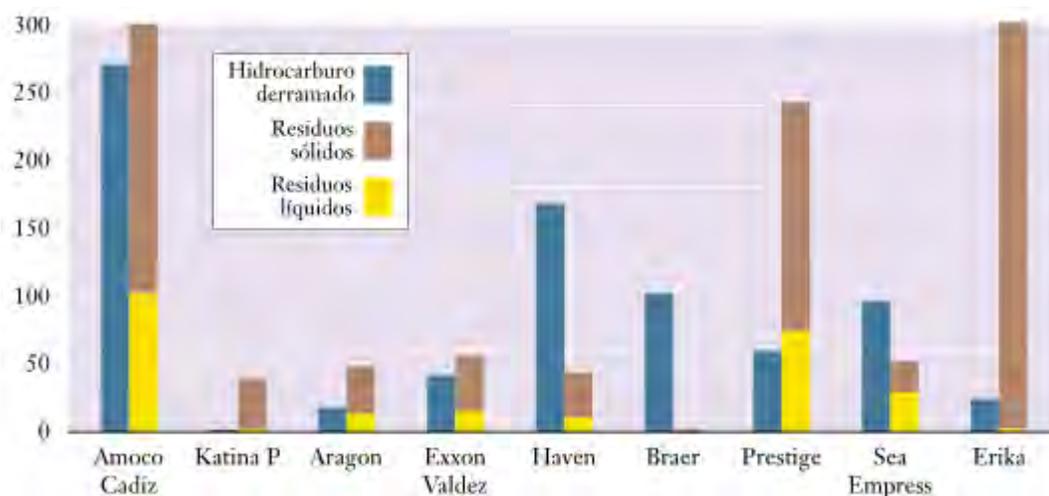
A pesar de ser una técnica que permite eliminar de manera rápida grandes volúmenes de hidrocarburos, al ser un proceso de combustión se producen densas nubes de humo negro y hollín que pueden provocar problemas respiratorios a quienes se encuentren cerca del sitio de quema, además de liberar a la atmósfera gases de efecto invernadero (IPIECA-IOGP, 2016).



Figura 10. Contención e incineración in situ de hidrocarburos (Beltra, 2010)

### 2.5.5 Manejo de residuos

Uno de los principales problemas que se enfrentan en la limpieza de derrames de hidrocarburos es la cantidad de residuos generados, de acuerdo a IPIECA (2004) los derrames de hidrocarburos tienden a producir volúmenes de residuos mayores que el hidrocarburo derramado originalmente.



Gráfica 1. Residuos generados durante incidentes históricos de derrames de hidrocarburos (en miles de toneladas) (IPIECA, 2004).

La cantidad de residuos que se generan después del tratamiento de limpieza y recolección depende generalmente de la cantidad de hidrocarburo derramado y del método empleado para su recolección. Por ello es importante que antes de aplicar alguna de las técnicas de limpieza y recolección se disponga de un plan de manejo de los residuos que puedan generarse. En el caso de los adsorbentes, debe contemplarse el tipo de hidrocarburo, el sitio del derrame, las condiciones meteorológicas y la efectividad del adsorbente, con el fin de prevenir la mayor generación de residuos que sea posible.

Cada tipo de desecho debe contar con un método de eliminación específico que pueda brindar un tratamiento óptimo de los mismos, tratando de cumplir con la jerarquía de los residuos, la cual se conforma generalmente de cuatro niveles: **reducción, reutilización, recuperación** (reciclaje, compostaje y recuperación de la energía) y la **eliminación**.

Los diferentes tipos de residuos deben segregarse en el sitio de recolección y almacenarse por separado, una logística mal aplicada puede generar tiempo y costes adicionales innecesarios. En el caso específico de los adsorbentes, se debe contar un sitio de almacenamiento temporal mientras se organiza la logística de transporte y desecho. Para facilitar el transporte de los residuos de adsorbentes, se debe retirar la mayor cantidad posible de hidrocarburo y comprimir el material para reducir los volúmenes de carga. La mezcla hidrocarburo-agua debe almacenarse

en sitios que cuenten con la medidas de seguridad óptimas, como un revestimiento que ayude a evitar el escape de los lixiviados (ITOPF, 2012d).

El almacenaje, manejo y eliminación de los residuos generalmente se encuentra regulado por leyes y reglamentos locales, regionales y nacionales, en México, la regulación de la seguridad industrial y protección al ambiente del sector hidrocarburos se realiza por conducto de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburo (ASEA) y otras sustancias nocivas potencialmente peligrosas ( a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). En caso de contingencia, se activa el PNC, que es coordinado y ejecutado por la SEMAR en coordinación con otras dependencias, entre ellas, la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Energía (SENER) y la Secretaría de Gobernación (SEGOB), entre otros (SEMAR, 2016).

### Técnicas de eliminación

Las opciones de eliminación para residuos generados en derrames de hidrocarburos se basan principalmente en la incineración y en la disposición final en vertederos sanitarios industriales. Cada una de las técnicas presenta ventajas y desventajas que deben considerarse dependiendo del tipo de material a eliminar.

En el caso de la incineración, se emplea generalmente para la eliminación de adsorbentes, vegetación muy contaminada y maderas. Además, la incineración puede realizarse de distintas maneras, ya sea por incineradores portátiles, por incineración comercial y la incineración a cielo abierto (ExxonMobil, 2008).

En la **Tabla 1** se presentan las ventajas y desventajas más importantes de esta técnica.

*Tabla 1. Ventajas y desventajas de la incineración.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Útil en lugares remotos en los que no se tiene acceso a otros métodos de eliminación</li> <li>• No requiere de un almacenamiento permanente</li> <li>• Eliminación definitiva de los desechos</li> <li>• Es un proceso de alta tasa de eliminación</li> <li>• Permite eliminar grandes cantidades de desechos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.</li> <li>• No recomendado si el material tiene cantidades excesivas de agua</li> <li>• La incineración de materia inorgánica eliminará el contenido de hidrocarburos, pero no reducirá el volumen final a desechar.</li> <li>• Costos elevados</li> </ul>

En el caso de la disposición en vertederos, sus ventajas y desventajas con las siguientes:

*Tabla 2. Ventajas y desventajas de la disposición final en vertederos.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Los residuos orgánicos pueden degradarse de forma natural</li><li>• Puede tratar rápidamente grandes cantidades de residuos</li><li>• Permite distintos tipos de materiales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su aplicación generalmente se encuentra restringida por la legislación local</li><li>• Los residuos sintéticos persisten durante muchos años en el sitio</li><li>• Si falla la contención, puede ocasionar problemas ambientales</li><li>• Al ser residuos peligrosos, se exige su confinamiento en sitios ya designados, lo que puede aumentar el costo de transporte y desecho.</li></ul>

Los adsorbentes orgánicos también pueden ser desechados por medio de la biodegradación. El material contaminado se esparce sobre un área de terreno muy extensa y se permite que se produzca la biodegradación. El proceso puede acelerarse con la aplicación de fertilizantes.

## 2.6 Antecedentes

En los últimos años se ha incrementado el interés por el estudio de nuevos materiales que puedan ser utilizados como adsorbentes de hidrocarburos, esto debido a las ventajas que esta técnica ofrece en ciertas circunstancias en las que otros métodos no son completamente eficientes o no pueden ser utilizados.

A continuación, se presentan algunos estudios en los que se han evaluado materiales orgánicos para la remoción de hidrocarburos en agua:

Méndez, Machado y Guerra (2012) evaluaron la capacidad de adsorción de cinco materiales orgánicos diferentes con tres diferentes hidrocarburos (diésel, aceite de motor y una mezcla de crudo). Los materiales adsorbentes evaluados en ese trabajo fueron, tres tipos de musgo, bagazo de caña y lirio acuático. La razón de remoción más alta se obtuvo con el musgo. Para el diésel se consiguió una capacidad de adsorción de 6.1 g/g, con el crudo se obtuvo 7.1 g/g y con el aceite de motor 6.5 g/g. La mayor eficiencia del material la obtuvieron en la prueba de adsorción larga (24 h). Las pruebas realizadas en condiciones dinámicas concluyen que los materiales evaluados no son recomendables para su uso en agua debido a que en las pruebas hidrofílicas todos retuvieron cantidades importantes de agua y solamente uno de los materiales flotó durante toda la prueba.

Salazar (2012) estudió la capacidad de adsorción de plumas de pollo con tres hidrocarburos diferentes: gasolina, diésel y petróleo crudo. Se hizo una caracterización de las plumas por su tamaño y por las características del vexilo y del raquis, con lo que se consiguieron 5 tipos de pluma diferentes. La tasa de remoción más alta la obtuvo para el petróleo crudo, con una razón de 36.4 g/g empleando únicamente el vexilo de las plumas. Además de la capacidad de adsorción, también se evaluó el tiempo óptimo de contacto con el hidrocarburo, dando como resultado un tiempo de 2 minutos.

Rincones, Marfisi, Danglad y Salazar (2015) utilizaron el bagazo de caña para remover tres diferentes tipos de hidrocarburos (queroseno, diésel y n-heptano) de un flujo de agua. El bagazo se acondicionó en una columna de lecho fijo a través del cual se hacía pasar el flujo de agua contaminado, tomando en cuenta parámetros como el caudal, el tiempo de operación de la columna, la concentración inicial de hidrocarburo y la altura de la columna. En esta investigación se encontró una eficiencia mayor al 90% para el bagazo de caña como lecho adsorbente.

Armada, Barquinero y Capote (2008) evaluaron al bagazo de caña caracterizándolo en distintos tamaños de partícula. Se realizaron pruebas de desempeño del material para evaluar la posible competencia del agua presente durante la adsorción del hidrocarburo (petróleo crudo). La prueba de flotabilidad realizada para el tamaño de partícula de 0.2 mm mostró un resultado inferior al 90%, por lo que fue descartado para su uso como adsorbente de hidrocarburos en agua debido a que la norma (ACTM F726-99) en la que se fundamentó el trabajo exige una flotabilidad superior

al 90%. El mejor resultado de adsorción se obtuvo con el tamaño de partícula de 0.5 mm con un valor de 13 g/g.

Ortiz, Andrade, Rodríguez y Montenegro (2006) utilizaron fibra de caña, fibra de coco y una especie de lirio acuático para remover tres diferentes hidrocarburos (35, 30 y 25° API) en dos tipos de agua, destilada y marina artificial. En el estudio se encontró que los tres materiales evaluados presentan capacidades de adsorción iguales e incluso superiores a las que presentan los adsorbentes comerciales. Se observó que la capacidad de adsorción de los materiales se veía afectada por ciertas variables, como la viscosidad del hidrocarburo, el tamaño de partícula del material y su estructura. Los resultados de cada material con cada hidrocarburo fueron comparados con el material comercial. La capacidad de adsorción más alta se obtuvo con la fibra de coco expuesta al queroseno con un valor de 15.77 g/g. La mayor retención de hidrocarburos se consiguió en los primeros cinco segundos en la prueba de tiempo óptimo.

# **CAPÍTULO 3:**

## **Metodología**

La metodología a seguir se fundamenta en la norma ASTM F726-12: *Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents*, la cual es el método estandarizado más empleado ya que establece una serie de parámetros y condiciones que los materiales deben cumplir para poder ser empleados como adsorbentes.

El procedimiento adoptado se divide en tres etapas: pretratamiento, pruebas preliminares y pruebas de adsorción. La norma describe las dos últimas etapas, mientras que la primera se añadió por el tratamiento al que se debe someter la biomasa hasta alcanzar el estado en el que se utilizará como adsorbente. Además, se llevará a cabo una caracterización del material para conocer su morfología y otros aspectos anatómicos que permitan comprender mejor su comportamiento durante las pruebas de adsorción.

En la **Figura 11** se presenta de manera general la metodología de este trabajo.

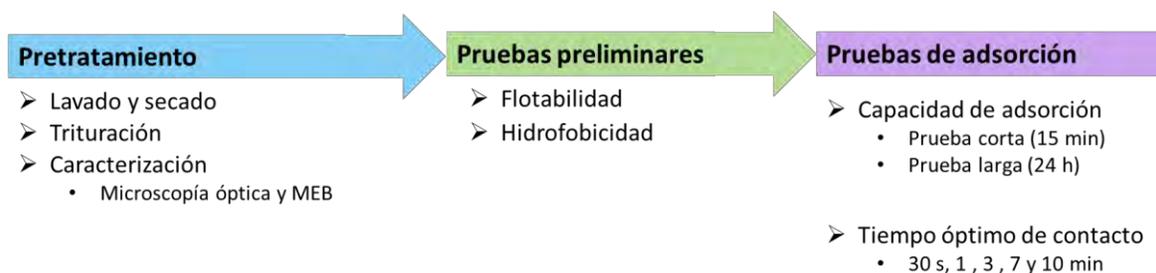


Figura 11. Diagrama de la metodología por etapas

### 3.1 Materiales y reactivos

Materiales y equipo	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estufa de laboratorio para secado</li> <li>• Vasos de precipitado de 1 L.</li> <li>• Probeta de 25 ml</li> <li>• Cristalizadores</li> <li>• Pinzas de plástico</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Licuadora</li> <li>• Colador de aluminio</li> <li>• Charola de aluminio</li> <li>• Balanza analítica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hojas de <i>Cecropia peltata</i> recolectada en una zona arbolada de la ciudad.</li> <li>• Aceite mineral de motor de 4 tiempos API SL 20W-50 de la marca Total, recuperado de un motor de motocicleta.</li> <li>• Gasolina tipo magna obtenida de una gasolinera (Anexo).</li> <li>• Queroseno comercial obtenido en una ferretería.</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>

### 3.2 Preparación del material adsorbente

La biomasa procedente de las hojas de *Cecropia peltata* se lavó con agua destilada para remover suciedad o cualquier otra partícula que pudiera afectar el resto del procedimiento. Posteriormente se secó en la estufa de laboratorio a 80°C durante 24 horas para remover la humedad de las hojas. Finalmente, las hojas se trituraron en una licuadora hasta conseguir una textura uniforme del material.



Figura 12. Adsorbente preparado

### 3.3 Prueba de flotabilidad

Para determinar si la biomasa de *Cecropia peltata* cumple con esta propiedad se tomó como referencia la norma ASTM F726 - 12: *Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents* en su apartado *Dynamic Degradation Test*.

Se pesaron 5 gramos del material adsorbente y se colocaron en un vaso de precipitado de 1 litro con 500 ml de agua destilada y se puso en agitación (150 RPM) durante 15 minutos. Se dejó reposar durante 2 minutos y posteriormente se observó que la biomasa permaneciera a flote. Si más del 10% de la biomasa se hunde, significaría que el material falló la prueba y queda descartado para emplearse como adsorbente en aguas abiertas.

### 3.4 Caracterización del adsorbente

Se analizaron aspectos anatómicos y estructurales del material adsorbente mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM) acoplada a un análisis de dispersión de energías de rayos X (EDX), con el fin de identificar características estructurales del material que ayuden a comprender el comportamiento del adsorbente y del adsorbato durante el proceso de adsorción. El análisis EDX permite obtener la composición química elemental de la superficie del material a nivel cualitativo y cuantitativo, aunque este último es una aproximación a los valores reales.

El análisis de rayos X también permite obtener un mapeo capaz de generar una imagen bidimensional utilizando la abundancia de un elemento representado como un color específico.

### 3.5 Prueba hidrofílica

Esta prueba tiene la finalidad de determinar la capacidad de retención de agua del adsorbente bajo condiciones dinámicas. El procedimiento es una adaptación de la norma ASTM F726 – 12 en su apartado *Dynamic Degradation Test*.

Se pesaron 3 gramos del material adsorbente y se agregaron a un vaso de precipitado de 1 litro con 500 ml de agua durante 15 minutos con agitación a 150 rpm. Posteriormente se dejó decantar durante 2 minutos y seguidamente se retiró del agua con ayuda del colador para dejarlo escurrir durante 30 segundos. Se tomó el peso de la biomasa con el agua sorbida para los cálculos posteriores. La ecuación empleada es la misma que se utiliza en las pruebas de la capacidad de adsorción. La prueba se realizó por triplicado para la verificación de los resultados.

La segunda parte de la prueba consistió en agregar 3 ml de hidrocarburo a los 500 ml de agua y volver a colocar el material adsorbente en ella. Nuevamente se mantuvo con agitación a 150 rpm durante 15 minutos. Se dejó reposar 2 minutos y finalmente se anotaron las observaciones correspondientes como: la cantidad de sorbente hundido, apariencia física del sorbente y del agua, y la persistencia y color del residuo de hidrocarburo.

### 3.6 Pruebas de adsorción

Para las pruebas de adsorción se hizo una adaptación de la norma ASTM-F726-12 basados en la metodología empleada por Ortiz, Andrade, Rodríguez, Montenegro (2006).

En la **Figura 13** se representa la metodología adaptada para las pruebas de adsorción.

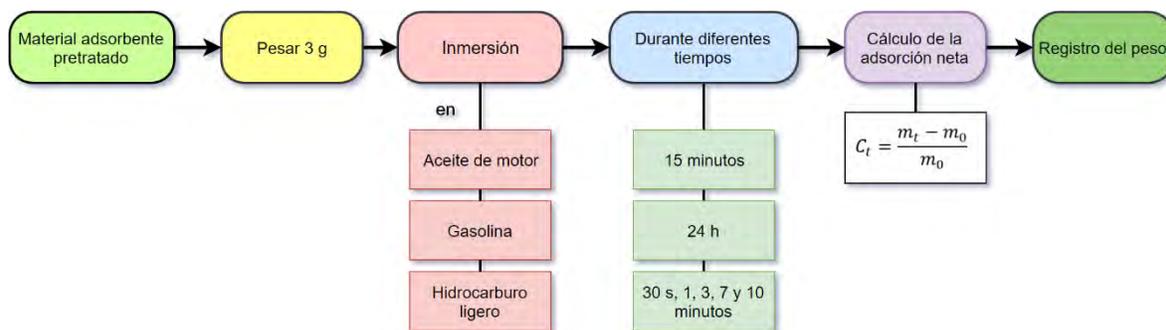


Figura 13. Procedimiento de las pruebas de adsorción

#### 3.6.1 Prueba de adsorción corta

Se pesaron 3 gramos de la biomasa de *Cecropia peltata* y en un vaso de precipitado de 500 ml se agregaron 100 ml del hidrocarburo. La cantidad de hidrocarburo debe ser suficiente para cubrir completamente al material sorbente una vez que entre en contacto con él. En este caso fue suficiente con 100 ml ya que el espesor de los 3 gramos del material no es tan grande.

Se dejó en contacto durante 15 minutos. Posteriormente se retiró del vaso con ayuda del colador y se dejó escurrir durante 30 segundos para poder tomar el peso del material con el hidrocarburo sorbido. Esta prueba se realizó por triplicado para corroborar los cálculos. En caso de que alguna de las réplicas tuviera una desviación mayor al 15% en comparación con las demás, se desechaba la prueba y se hacía nuevamente con biomasa nueva.

La fórmula para calcular la capacidad de adsorción es la siguiente:

$$C_t = \frac{m_t - m_0}{m_0}$$

Donde:  $C_t$  = capacidad de adsorción

$m_t$  = peso del sorbente e hidrocarburo sorbido

$m_0$  = peso del sorbente seco

### 3.6.2 Prueba de adsorción larga

Para la prueba de adsorción larga se siguió el mismo procedimiento que en la prueba de adsorción corta (norma ASTM F726-12) cambiando únicamente el tiempo de contacto de 15 minutos a 24 horas ( $\pm$  30 minutos).

### 3.6.3 Determinación del tiempo óptimo de contacto

Para esta el procedimiento es el mismo que en las dos pruebas de adsorción anteriores, cambiando únicamente los tiempos de contacto. Se seleccionaron distintos tiempos de contacto para poder determinar el tiempo en el que el adsorbente alcanza su máxima capacidad de adsorción. Los tiempos elegidos fueron 30 s, 1, 5 y 10 minutos.

# **CAPÍTULO 4:**

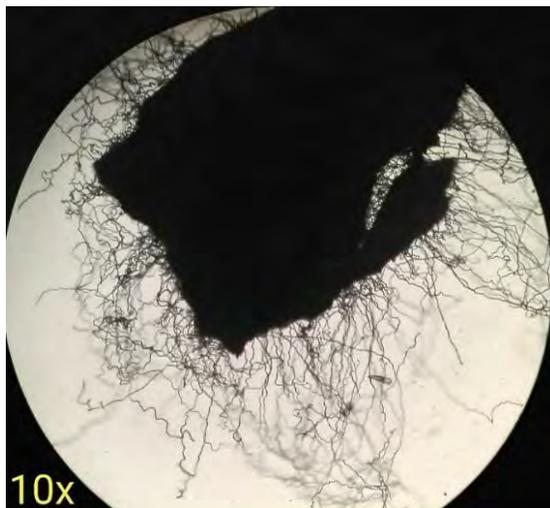
## **Resultados y discusión**

#### 4.1 Flotabilidad

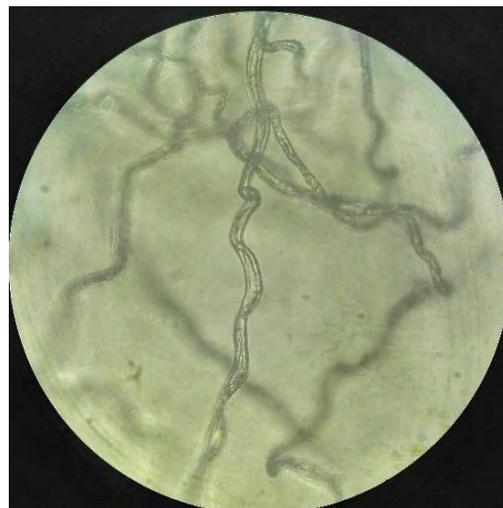
Para la prueba de flotabilidad se obtuvieron resultados positivos, ya que el material no presentó hundimiento y se mantuvo sobre la superficie durante todo el tiempo que duró la prueba. Incluso se sometió a diferentes rpm de las que señala la norma ASTM F726-12 con el fin de evaluar la resistencia de la flotabilidad de la biomasa, alcanzando las 1000 rpm sin que esta presentara hundimiento. Además, también se evaluó su flotabilidad en la mezcla agua-hidrocarburo en la que presentó los mismos resultados que en la prueba con agua pura.

#### 4.2 Caracterización

La caracterización mediante el método de microscopía óptica permitió observar a mayor detalle la estructura fibrosa que presenta el material. En la **Figura 14** puede apreciarse un pequeño segmento del material adsorbente rodeado de fibras muy delgadas que surgen de los bordes del mismo.



*Figura 14. Estructura fibrosa del material*

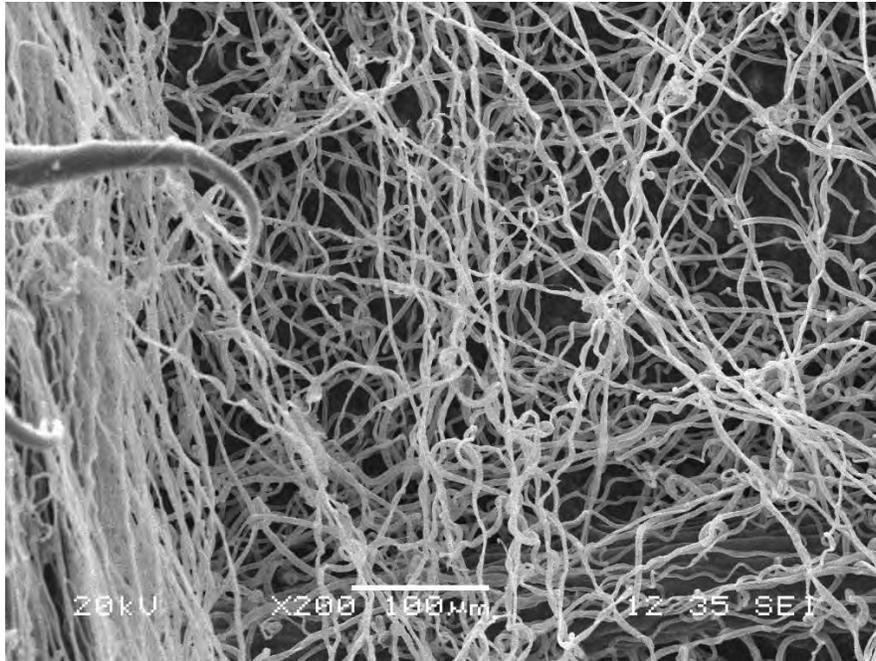


*Figura 15. Fibra del material vista a 100x*

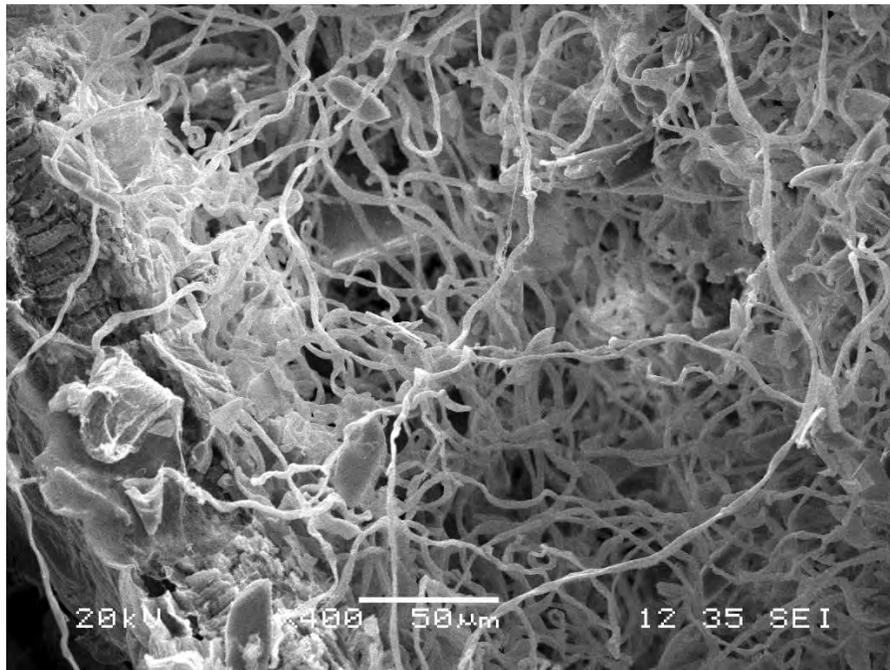
En la **Figura 15** se observa a mayor detalle una de las fibras que componen la estructura del material, estas son largas y delgadas, de estructura tubular aparentemente huecas. La presencia de esa estructura fibrosa podría ayudar a comprender el comportamiento y los resultados que arroje el material en las pruebas de adsorción, ya que los hidrocarburos podrían penetrar esas fibras o solo quedar adheridos en la superficie por capilaridad (Ortíz Gonzalez, Andrade Fonseca, Rodríguez Niño, & Montenegro Ruíz, 2006).

#### 4.2.1 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

El conjunto de fibras que conforman la estructura del adsorbente pueden apreciarse en las **Figuras 16**. Estas fibras se encuentran dispuestas de manera desorganizada formando una red de fibrillas que entrelazan a todo el material.



*Figura 16a. Microscopía electrónica del adsorbente*



*Figura 16b. Estructura del adsorbente*

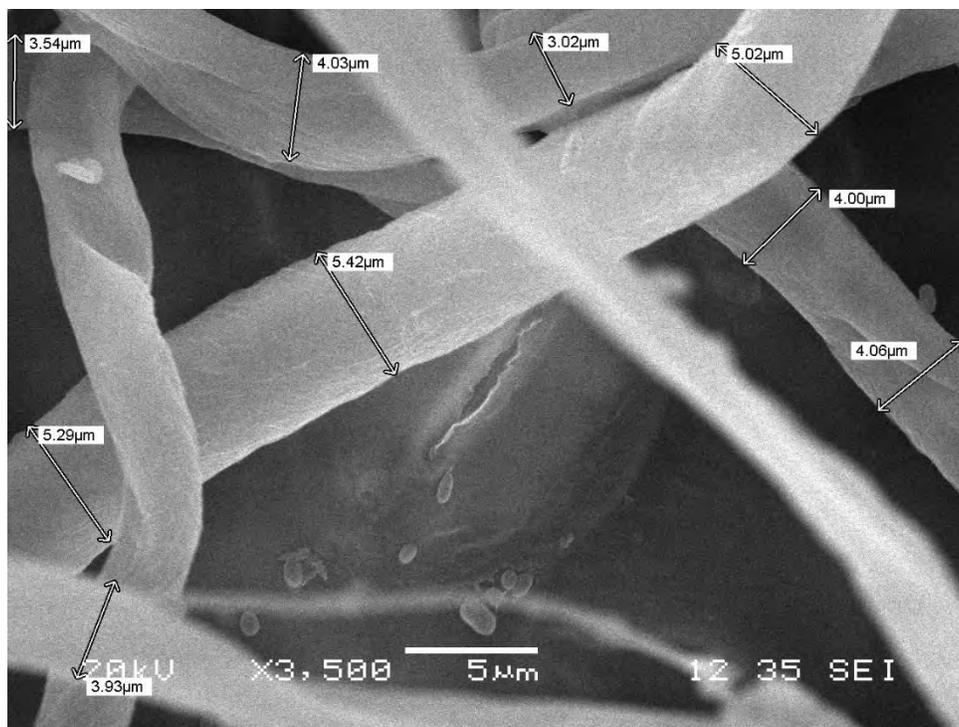


Figura 16c. Fibras del adsorbente

En las **Figuras 17 y 18** se observan las diferencias que presenta la fibra del guarumbo respecto a la de la fibra de caña evaluada por Castillo (2017). La diferencia más notable es la presencia de poros en la fibra de caña. Mientras que la fibra del guarumbo tiene una estructura aparentemente lisa.

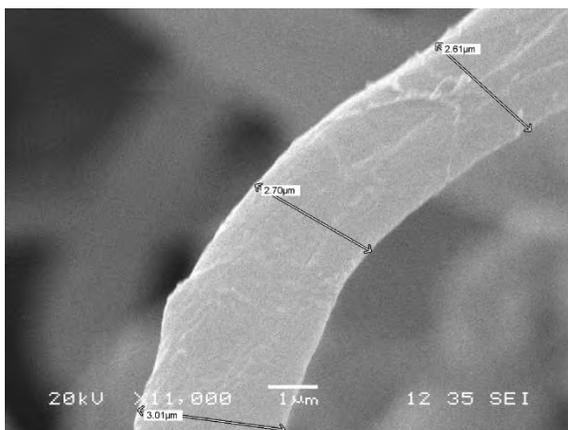


Figura 17. Fibra del guarumbo

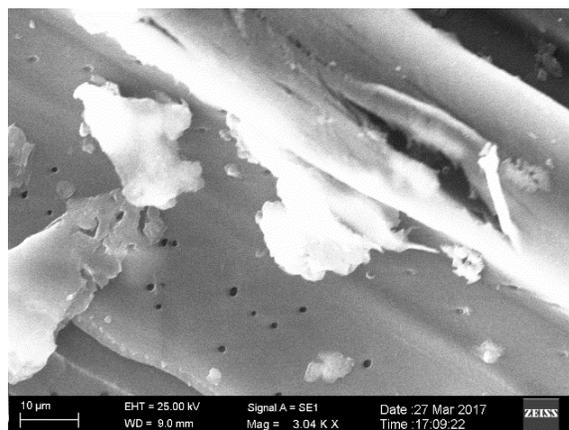


Figura 18. Fibra de caña (Castillo, 2017)

Ambos tipos de fibras son eficientes para la adsorción de hidrocarburos tanto por capilaridad como por adherencia, sin embargo, la porosidad que presenta la caña puede ser una ventaja en su capacidad como adsorbente.

Los resultados del análisis EDX se muestran en la **Tabla 3**, cada gráfica corresponde a una región distinta de la muestra. En las figuras 19 y 20 se muestran las regiones de análisis.

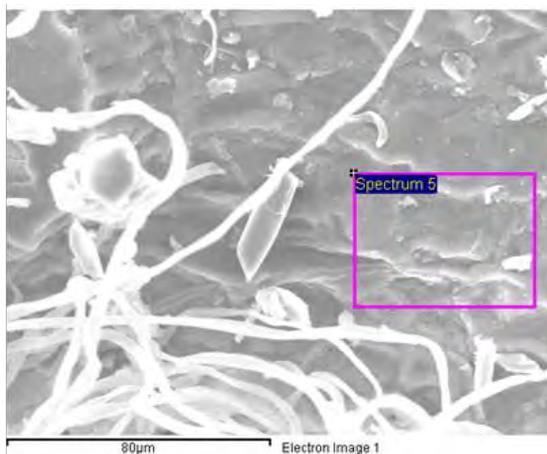
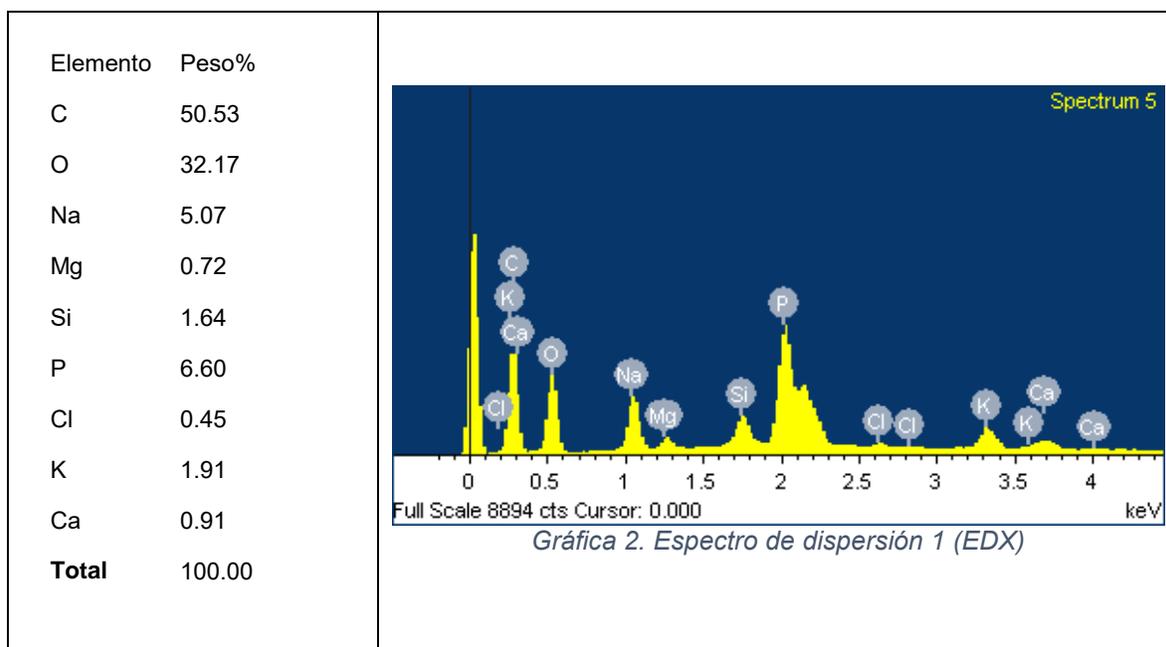


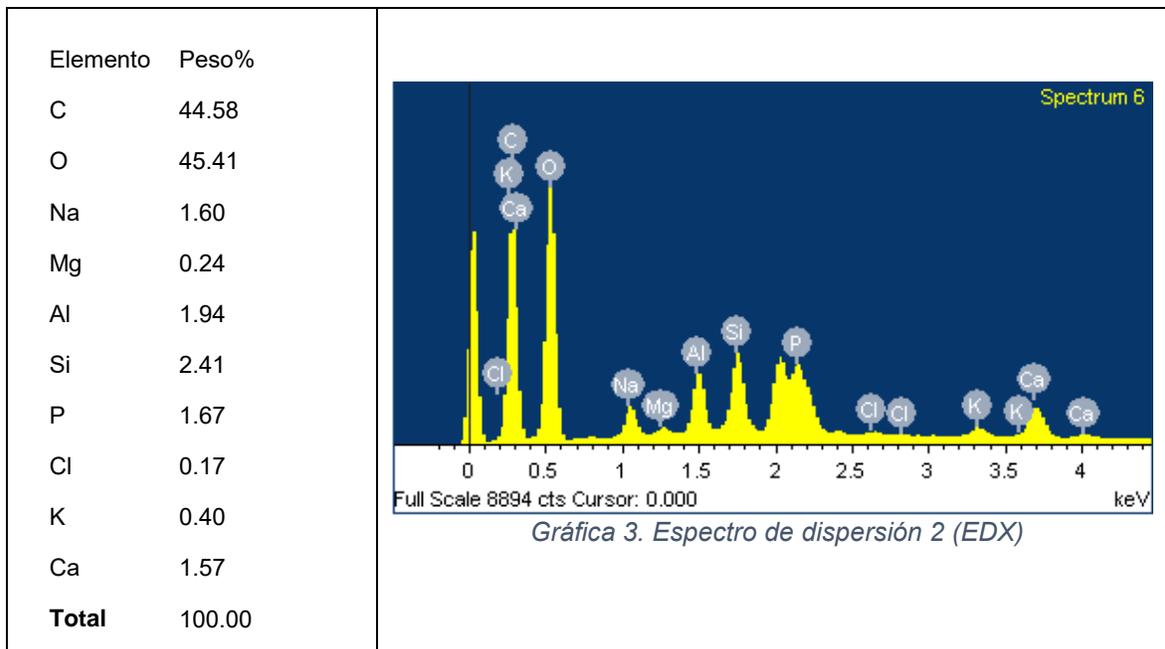
Figura 19. Región de análisis EDX 1



Figura 20. Región de análisis EDX 2

Tabla 3. Composición elemental de la superficie del guarumbo (*Cecropia peltata*)

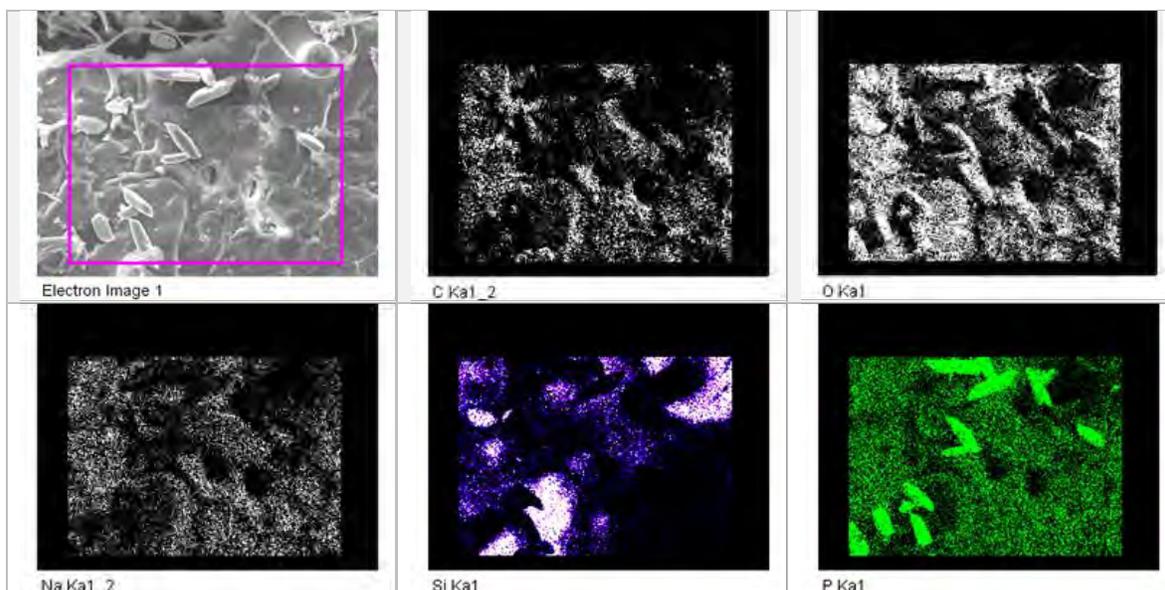


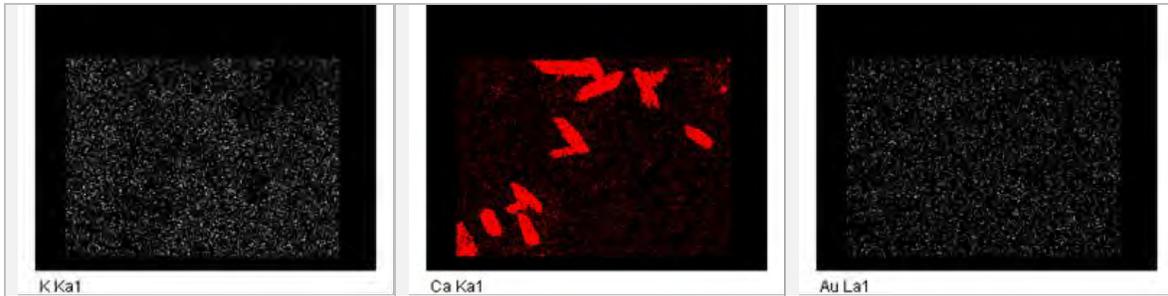


De acuerdo a los datos, en ambos casos se encuentran al carbono y al oxígeno como los componentes elementales predominantes, seguidos del sodio, sílice y fósforo. En menor proporción se encontró magnesio y cloro. El único elemento que no se encontró en las dos muestras fue el aluminio, ya que solo se presentó en la muestra en la que analizan las fibras del material.

En la **Tabla 4** se presenta el mapeo de la muestra por abundancia de cada elemento.

Tabla 4. Mapeo por abundancia de elementos





### 4.3 Prueba hidrofílica

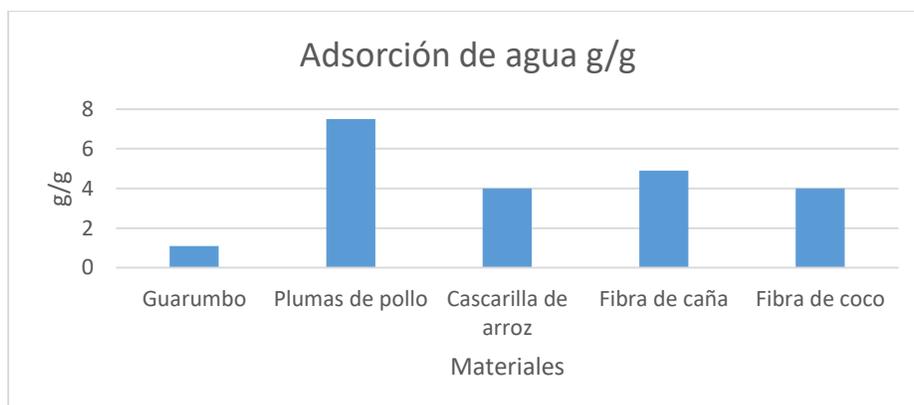
Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

Tabla 5. Sorción de agua

	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	sorción neta de agua (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	6.5	1.16
<b>Prueba 2</b>	3	6.7	1.23
<b>Prueba 3</b>	3	6.5	1.16

De acuerdo a los datos de la **tabla 5**, el material adsorbente presenta una razón de sorción de agua de 1 a 1.1 (promediando los valores de la adsorción neta), es decir, por cada gramo de adsorbente se retienen 1.1 gramos de agua. Este dato sirve como una referencia comparativa de la competitividad que puede presentar el agua contra los hidrocarburos durante el proceso de adsorción.

En la **gráfica 4** se presenta una comparación de la capacidad de sorción de agua del guarumbo con otros materiales evaluados en otros estudios. Como puede apreciarse, el guarumbo es el que presenta la menor retención de agua, lo cual representa una ventaja en su desempeño como material adsorbente.



Gráfica 4. Sorción de agua de distintos materiales

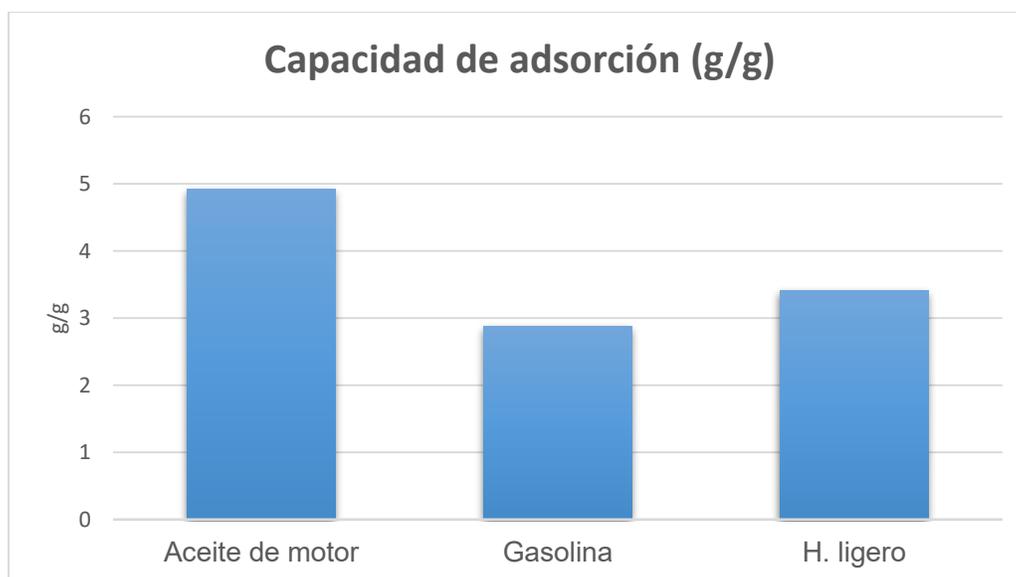
Durante la segunda parte de esta prueba se pudo observar el hundimiento de una cantidad considerable del material, sin embargo, en ninguna de las fuentes bibliográficas empleadas en este trabajo se considera como desfavorable a este factor y únicamente se utiliza para hacer observaciones sobre la apariencia física del material y del agua empleada.

Los resultados de esas observaciones fueron las siguientes:

- Después de todo el tiempo que duró la prueba el agua se tiñe de un color verdoso sin llegar a opacarse completamente.
- El material logra remover en su totalidad la fracción del hidrocarburo que tiene coloración negra, sin embargo, aún es visible una capa aceitosa sobre la superficie del agua con la típica coloración brillante que producen los aceites en agua.

#### 4.4 Prueba de adsorción corta (15 min)

En la **Gráfica 5** se presentan, de manera general, los resultados de la prueba de adsorción corta con cada hidrocarburo, el aceite de motor es con el que se obtuvo el mejor resultado, mientras que con la gasolina se obtuvo la capacidad de adsorción más baja.



Gráfica 5. Capacidad de adsorción con cada hidrocarburo

#### 4.4.1 Aceite de motor usado

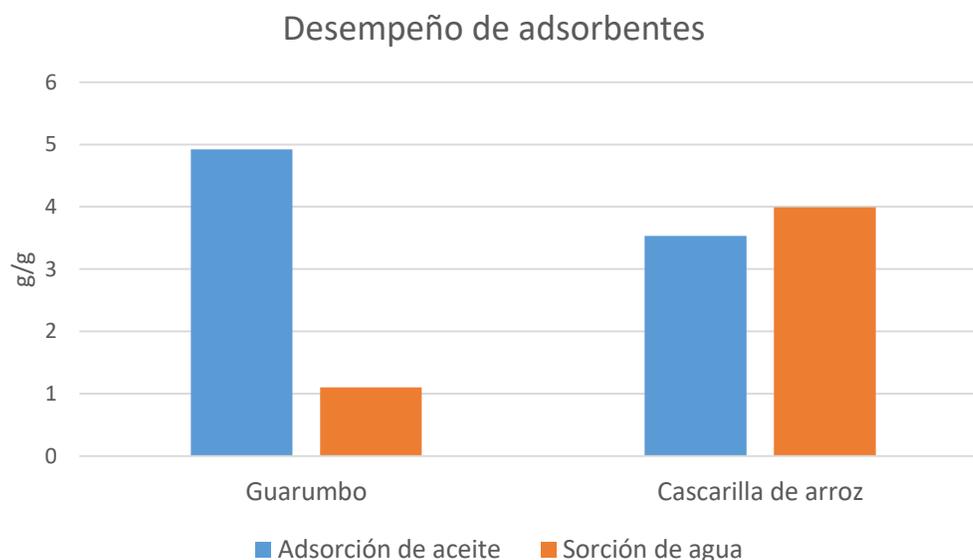
Con el aceite de motor se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 6. Adsorción de aceite usado de motor

	Peso seco (g)	Peso con hidrocarburo sorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	17.7	4.9
<b>Prueba 2</b>	3	18.1	5.03
<b>Prueba 3</b>	3	17.5	4.83

Los resultados obtenidos muestran una gran diferencia entre la capacidad de adsorción de hidrocarburo y la de agua. Estos datos indican que el material presenta una mayor lipofilicidad, ya que, promediando los valores de la adsorción neta de hidrocarburo, se obtiene una razón de 4.92 a 1, es decir, por cada gramo de sorbente se adsorben 4.92 gramos de hidrocarburo. Este resultado puede compararse con el obtenido por Cárdenas (2017), en el que utilizó cascarilla de arroz como adsorbente y obtuvo una capacidad de adsorción de  $3.53 \pm 0.22$  g/g con aceite de motor. Sin embargo, este material presentó una sorción de agua mayor a la del hidrocarburo ( $3.99 \pm 0.8$  g/g), lo cual no es favorable para su aplicación como material adsorbente en aguas.

En la **Gráfica 6** se presenta la comparación en la capacidad de adsorción y de retención de agua de ambos materiales.



Gráfica 6. Comparación del desempeño del guarumbo y cascarilla de arroz como adsorbentes

#### 4.4.2 Gasolina

Para la capacidad de adsorción de gasolina se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 7. Adsorción de gasolina

	Peso seco (g)	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	11.81	2.93
<b>Prueba 2</b>	3	12.13	3.04
<b>Prueba 3</b>	3	10.96	2.65

El promedio de la adsorción neta arroja un valor de 2.87 g/g. Comparándolo con el valor obtenido con el aceite motor (4.92 g/g) se observa una capacidad de adsorción inferior, sin embargo, aún sigue siendo que la retención de agua, por lo que aún puede ser viable su aplicación como adsorbente de este hidrocarburo.

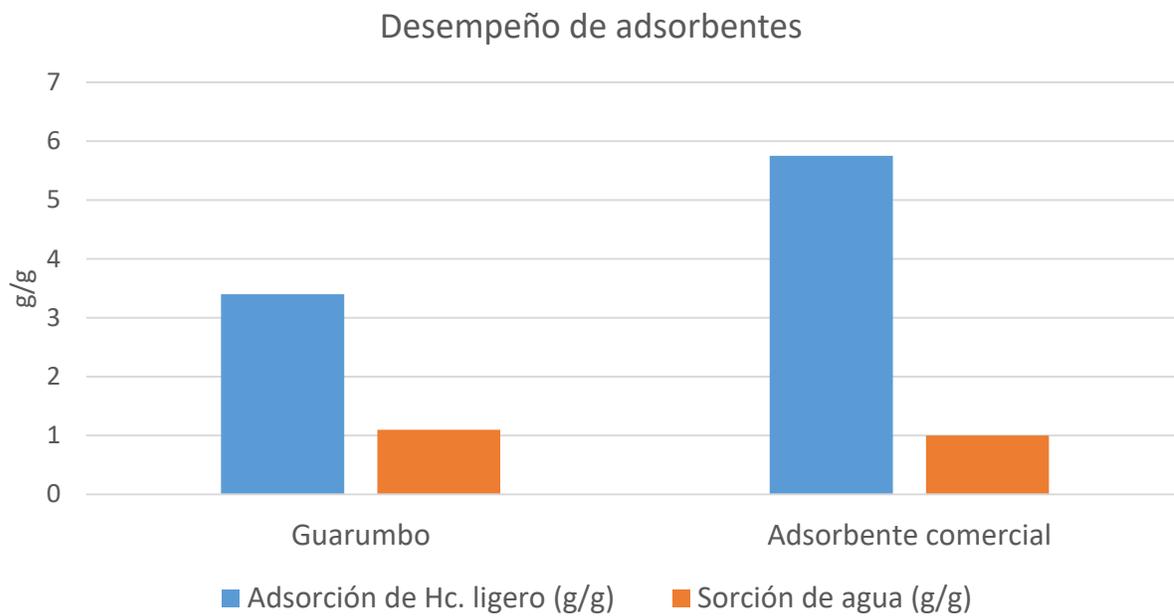
#### 4.4.3 Queroseno

Tabla 8. Adsorción de Queroseno

	Peso seco (g)	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	13.42	3.47
<b>Prueba 2</b>	3	13.08	3.36
<b>Prueba 3</b>	3	13.12	3.37

Con este hidrocarburo se obtuvo un promedio de adsorción neta de 3.4 g/g, ligeramente mayor que el obtenido con la gasolina y aún menor que el que se obtuvo con el aceite de motor. Este resultado es cercano al reportado por Ortiz (2006) para un material comercial con una capacidad de 5.74 g/g, lo que indica un buen desempeño del guarumbo como material adsorbente para este hidrocarburo.

En la **gráfica 7** también se observa la similitud que presentan los materiales en la retención de agua.



Gráfica 7. Comparaci3n del desempe1o del guarumbo y un material comercial como adsorbentes

## 4.5 Prueba de adsorción larga (24 h)

### 4.5.1 Aceite de motor usado

En esta prueba los resultados de adsorción presentaron una muy pequeña diferencia respecto a la prueba de adsorción corta.

Tabla 9. Adsorción máxima de aceite de motor

	Peso seco (g)	Peso con hidrocarburo sorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	17.8	4.93
<b>Prueba 2</b>	3	19.0	5.3
<b>Prueba 3</b>	3	18.4	5.13

Los promedios de los valores de adsorción neta dan un valor de 5.12 g/g, comparándolo con la prueba corta se obtiene una diferencia de solo 0.2 gramos.

### 4.5.2 Gasolina

En esta prueba los resultados de adsorción no presentaron una diferencia respecto a la prueba de adsorción corta.

Tabla 10. Adsorción máxima de gasolina

	Peso seco (g)	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	11.53	2.84
<b>Prueba 2</b>	3	11.08	2.69
<b>Prueba 3</b>	3	12.1	3.03

El promedio de los valores de adsorción neta da un valor de 2.85 g/g, y comparándolo con el promedio de la prueba corta se obtiene una muy pequeña diferencia de 0.02.

### 4.5.3 Queroseno

Tabla 11. Adsorción máxima de queroseno

	Peso seco (g)	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>Prueba 1</b>	3	13.26	3.42
<b>Prueba 2</b>	3	13.15	3.38
<b>Prueba 3</b>	3	12.89	3.29

Para este hidrocarburo se obtuvo un valor promedio de adsorción neta de 3.36 g/g, y como en el caso de la gasolina, no representa una diferencia importante respecto a la prueba de adsorción corta en la que obtuvo un valor de 3.4 g/g.

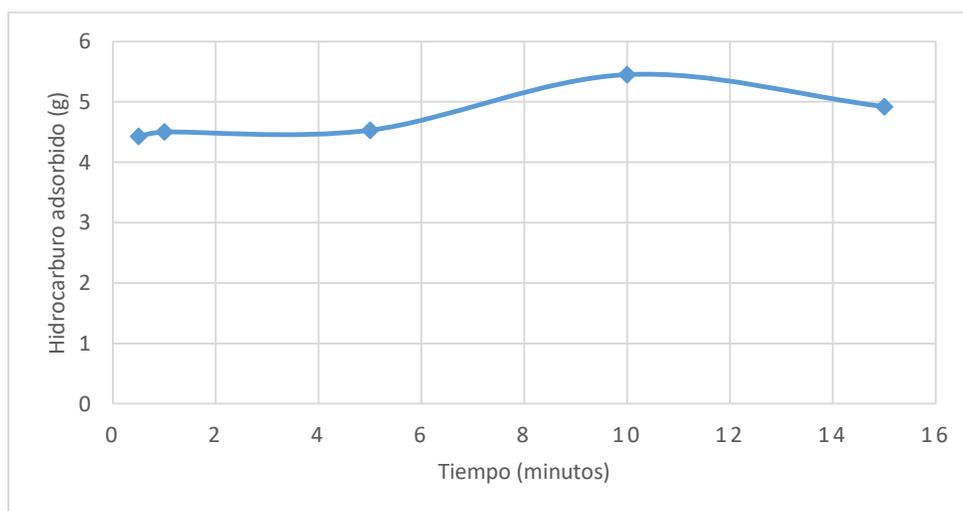
## 4.6 Determinación del tiempo óptimo de contacto

### 4.6.1 Aceite de motor usado

Los resultados de la prueba con este hidrocarburo fueron los siguientes.

Tabla 12. Tiempo óptimo de contacto con aceite de motor

Tiempo	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>30 segundos</b>	16.01	4.43
<b>1 minuto</b>	16.5	4.5
<b>5 minutos</b>	16.6	4.53
<b>10 minutos</b>	19.36	5.45



Gráfica 8. Tiempo óptimo de contacto con aceite de motor usado

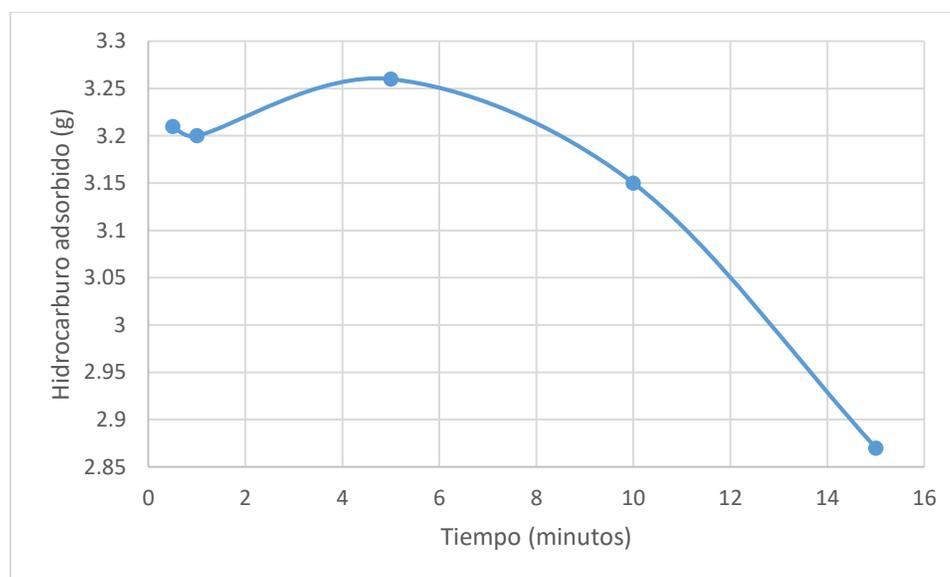
De acuerdo a la gráfica 1, de los 5 a los 10 minutos se observa un aumento en la capacidad de adsorción de la biomasa. Después de los 10 minutos esta capacidad comienza a disminuir poco a poco. Por lo tanto, se puede considerar que el tiempo óptimo de contacto entre la biomasa y el hidrocarburo es de 10 minutos.

#### 4.6.2 Gasolina

Para este hidrocarburo se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 13. Tiempo óptimo de contacto con gasolina

Tiempo	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>30 segundos</b>	12.64	3.21
<b>1 minuto</b>	12.61	3.20
<b>5 minutos</b>	12.78	3.26
<b>10 minutos</b>	12.46	3.15



Gráfica 9. Tiempo óptimo de contacto con gasolina

En este caso el tiempo óptimo de contacto se alcanzó a los 5 minutos. Después de este tiempo puede notarse una disminución muy clara en la capacidad de adsorción de la biomasa.

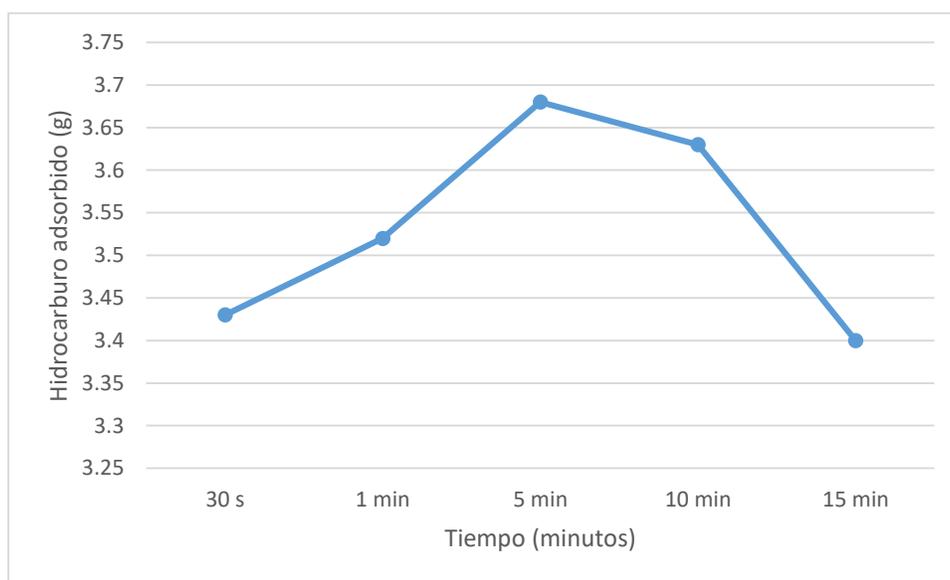
La disminución de la capacidad de adsorción puede deberse a que cuando el adsorbente alcanza su capacidad máxima, el exceso de hidrocarburo puede causar deformación y la liberación del hidrocarburo que ya estaba adsorbido (Salazar, 2012). Además, la gasolina presenta una elevada volatilidad, lo cual también afecta a las mediciones.

### 4.6.3 Queroseno

Los resultados para este hidrocarburo son los siguientes:

Tabla 14. Tiempo óptimo de contacto con queroseno

Tiempo	Peso con hidrocarburo adsorbido (g)	Adsorción neta de hidrocarburo (g/g)
<b>30 segundos</b>	13.3	3.43
<b>1 minuto</b>	13.56	3.52
<b>5 minutos</b>	14.06	3.68
<b>10 minutos</b>	13.9	3.63



Gráfica 10. Tiempo óptimo de contacto con queroseno

El tiempo óptimo de contacto para este hidrocarburo es de 5 minutos, ya que después de este tiempo puede observarse una disminución en la retención del hidrocarburo.

# **CAPÍTULO 5:**

## **Conclusiones y recomendaciones**

## Conclusiones

- El adsorbente elaborado a partir de guarumbo cumple satisfactoriamente con los parámetros establecidos por la norma ASTM F726-12 para poder ser empleado como adsorbente de hidrocarburo, tanto en la prueba de flotabilidad como en la prueba hidrofílica, incluso se logró superar en gran medida los parámetros establecidos para la prueba de flotación en la norma. Por lo tanto, el material posee un gran potencial como adsorbente de hidrocarburos en agua.
- La microscopía electrónica de barrido (MEB) permitió observar a mayor detalle la estructura del material, demostrando que posee una gran cantidad de fibras que pueden contribuir y facilitar el proceso de adsorción. Además de brindarle al material una gran capacidad de flotación a través de la captura de aire dentro de su estructura altamente fibrosa.
- En las pruebas de adsorción, la capacidad de adsorción más alta se obtuvo con el aceite de motor (4.92 g/g), mientras que con el hidrocarburo ligero se obtuvo un resultado muy cercano al de un adsorbente de grado comercial tanto en la adsorción de hidrocarburo como en la retención de agua. La gasolina es la que arrojó el desempeño más bajo, sin embargo, aún puede considerarse al guarumbo como un posible adsorbente de este hidrocarburo debido a las propiedades hidrófobas del material.
- Los resultados obtenidos con el aceite de motor pueden ser un indicio de que el guarumbo funciona mejor como adsorbente de hidrocarburos más viscosos, esto puede deberse al buen carácter hidrófobo que presenta el material, pero principalmente puede estar ocasionado por su estructura altamente fibrosa, la cual permite que durante el proceso de adsorción el hidrocarburo más viscoso se quede atrapado entre esa red de fibras, mientras que un hidrocarburo de mayor fluidez podría escapar fácilmente del material.
- Los resultados de la prueba de adsorción larga no presentaron una diferencia significativa respecto a la prueba de adsorción corta, además, con la prueba del tiempo óptimo de contacto se pudo establecer que el tiempo en el que se alcanza la adsorción máxima para los hidrocarburos evaluados se encuentra entre los 5 y 10 minutos.

## Recomendaciones

- La capacidad de adsorción del guarumbo podría evaluarse aplicando un tratamiento químico y/o físico al material antes de someterlo a las pruebas de adsorción. Esto con la finalidad de reforzar su estructura y mejorar su capacidad adsorbente. Entre los posibles tratamientos que se le pueden aplicar a la biomasa está la activación química, la cual consiste en tratar al material con medios ácidos, básicos o neutros para promover y facilitar ciertos procesos y reacciones. Un ejemplo de este tratamiento es el que se aplica al carbón activado con ácido nítrico para beneficiar la adsorción de metales, sin embargo, también disminuye su capacidad para adsorber compuestos orgánicos, como los hidrocarburos. Por ello es importante evaluar el tipo de tratamiento que beneficie las reacciones que deseamos conseguir.
- Obtener imágenes MEB después del proceso de adsorción con el fin de observar la interacción entre las fibras del material y los hidrocarburos utilizados.
- Evaluar al adsorbente con hidrocarburos más viscosos para verificar que efectivamente el material tiene un mejor desempeño con este tipo de hidrocarburos.
- Llevar a cabo un estudio de rendimiento de la biomasa de guarumbo para la fabricación de materiales adsorbentes (almohadillas, barreras, etc.) de tamaño comercial.
- Probar la adsorción del guarumbo configurado como barreras de contención o almohadillas en condiciones más reales.

## Bibliografía

- American Society of Testing Materials. (2012). Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents. Estados Unidos.
- ARPEL. (2007, Mayo). Guía para el uso de dispersantes en derrames de hidrocarburos .
- ARPEL. (2007, Febrero). Guía para la quema in situ de derrames de hidrocarburos en agua, costa y tierra. Canadá.
- Beltra, D. (2010). *Desastre ecológico en el Golfo de México*.
- Binggeli, P. (2005). Crop Protection Compendium - *Cecropia peltata* L. Retrieved from [http://www.mikepalmer.co.uk/woodyplantecology/docs/CPC-Cecropia\\_peltata.pdf](http://www.mikepalmer.co.uk/woodyplantecology/docs/CPC-Cecropia_peltata.pdf)
- Cárdenas Murillo, L. G. (2017, Mayo). Estudio de la capacidad de adsorción de materiales orgánicos para la remoción de aceites y combustibles presentes en aguas. Quito, Ecuador.
- Casado Ferreira, P. (2013, Octubre). Las barreras anticontaminación contra los vertidos de hidrocarburos. Cantabria, España.
- Consejo de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. (2005, Noviembre). Limpieza y restauración de costas contaminadas. España.
- ExxonMobil. (2008). Manual de campo para respuesta a derrames de petróleo. Estados Unidos.
- Global Invasive Species Database. (2011). *Species profile Cecropia peltata*. Retrieved from <http://issg.org/database/species/ecology.asp?si=116&fr=1&sts=&lang=EN>
- Global Invasive Species Database. (2015). *Species profile Cecropia peltata*. Retrieved from <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=116>
- Glogiewicz, J. (1998). *Cecropia schreberiana* Miq. (*Cecropia peltata*). In R. M. Burns, M. S. Mosquera, & J. L. Whitmore, *Useful trees of the tropical region of North America* (pp. 147-160). Washington: North American Forestry Commission.
- González Torres, Y., Scull Campos, I., Bada Barro, A. M., Fuentes Morales, D., González Navarro, B., Arteaga Pérez, M. E., & Hernández Sosa, O. (2006). Ensayo de toxicidad a dosis repetidas durante 28 días del extracto acuoso de *Cecropia peltata* L. (yagruma) en ratas Cenp:SPRD. La Habana, Cuba. Retrieved November 14, 2017, from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962006000200005&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962006000200005&lng=es&tlng=es)

- IPIECA. (2004). Guías para la minimización y manejo de residuos provenientes de derrames de hidrocarburos. Reino Unido.
- IPIECA-IOGP. (2016). Quema controlada in situ de hidrocarburos derramados. Reino Unido.
- ITOPF. (2011a). Limpieza de costas contaminadas por hidrocarburos. Canterbury, Reino Unido.
- ITOPF. (2011b). Uso de barreras en la espuesta a la contaminación por hidrocarburos. Canterbury, Reino Unido.
- ITOPF. (2011c). Uso de dispersantes para el tratamiento de derrames de hidrocarburos. Canterbury, Reino Unido.
- ITOPF. (2012d). Uso de materiales adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburos. Canterbury, Reino Unido.
- Leiva-Mas, J., Martínez-Nodal, P. d., Esperanza-Pérez, G., Rodríguez-Rico, I. L., & Gordiz-García, C. E. (2012). Absorción de hidrocarburos en columnas rellenas con bagazo: una solución sostenible. La Habana, Cuba.
- Manzanarez Jiménez, L. A., & Ibarra Ceceña, M. G. (2012). DIAGNÓSTICO DEL USO Y MANEJO DE LOS RESIDUOS DE ACEITE AUTOMOTRIZ EN EL MUNICIPIO DEL FUERTE, SINALOA. México.
- Mendez Tovar, M., Machado Soberanes, J., & Guerra Sánchez, R. (2012). Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales. Monterrey, México.
- Meza Trejo, L. M., & Rivera Balboa, R. D. (n.d.). Gestión de aceites gastados. México, México.
- Ministerio de Agricultura, P. y. (n.d.). *Recuperación de hidrocarburos en el mar*. Retrieved from Ministerio para la Transición Ecológica: [https://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/recuperacion\\_hidrocarburos.aspx](https://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/recuperacion_hidrocarburos.aspx)
- Organización Marítima Internacional. (2005). Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos, parte 4.
- Ortíz Gonzalez, D., Andrade Fonseca, F., Rodriguez Niño, G., & Montenegro Ruíz, L. (2006, Agosto). BIOMATERIALES SORBENTES PARA LA LIMPIEZA DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN SUELOS Y CUERPOS DE AGUA. Bogotá, Colombia.
- Pardo Concepción, A. A., Triay González, M. E., Agüero Agüero, J., & Cuéllar Cuéllar, A. (2000, Agosto). *Cecropia peltata* L. (I) Estudios farmacognósticos

y de la composición de ácidos grasos libres. La Habana, Cuba. Retrieved  
Noviembre 14, 2017, from  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-75152000000200008&lng=es&tlng=e](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152000000200008&lng=es&tlng=e)

Rincones Poyer, F., Marfrisi Valladares, S., Danglad Flores, J. Á., & Salazar Palencia, V. (2015). Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad Oriente*, 441-453.

Salager, J. L. (1998). Adsorción y Mojabilidad. Mérida, Venezuela. Retrieved mayo 25, 2018, from  
[http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S160A\\_AdsorcionMojabilidad.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S160A_AdsorcionMojabilidad.pdf)

Salazar Hernández, E. (2012, Agosto). Remoción de hidrocarburos mediante biopolimeros naturales: Efecto del tamaño de partícula. San Luis Potosí, México.

SEMAR. (2016). Plan Nacional de Contingencia para Derrames de Hidrocarburos y Sustancias Nocivas Potencialmente Peligrosas en las Zonas Marítimas Mexicanas.

Silander, S. R., & Lugo, A. E. (1990). *Cecropia peltata* L. Yagrumo Hembra, Trumpet-Tree. In R. M. Burns, & B. H. Honkala, *Silvics of North America* (Vol. 2, pp. 244-249). United States Department of Agriculture.

Tejada Tovan, C., Villabona Ortíz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 109-123.

Vidal Durango, J. V. (2009). Capacidad del guarumo (*Cecropia peltata*) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio. Cartagena.

# Anexos



PEMEX - MAGNA (1) RESTO DEL PAÍS

Núm. Versión: 5  
NOM-018-STPS-2000

## Hoja de Datos de Seguridad

### SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-107/2010

PEMEX-MAGNA (1) RESTO DEL PAÍS



No. ONU<sup>1</sup>: 1203

No. CAS<sup>2</sup>: 8006-61-9

FECHA ELAB: 20/10/1998

REVISIÓN: 5

FECHA REV: 01/09/2011

FABRICANTE	EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR:
<p><b>PEMEX:</b> Av. Marina Nacional No. 329, colonia Petróleos Mexicanos, Delegación Miguel Hidalgo, México, D. F. C. P. 11311. Teléfonos: (0155) - 19449365 y 19448895 (Horario de oficina).</p> <p><b>ASISTENCIA TÉCNICA:</b> Teléfonos: (0155) – 19448164 (Horario de oficina).</p> <p><b>CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD:</b> Teléfonos: (0155) – 19448628 y 19448041 (Horario de oficina).</p>	<p><b>SETIQ<sup>3</sup>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>01800 – 0021400, sin costo las 24 horas.</li> <li>(0155) – 55591588, Cd. de México, las 24 horas.</li> </ul>
	<p><b>CENACOM<sup>4</sup>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>01800 – 0041300, sin costo las 24 horas.</li> <li>(0155) – 51280000, ext. 11470 a 11476, Cd. de México, las 24 horas.</li> </ul>
	<p><b>COATEA<sup>5</sup>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>01800 – 7104943, sin costo las 24 horas.</li> <li>(0155) – 54496391 y 26152045 Cd. de México, las 24 horas.</li> </ul>
	<p><b>CCAE<sup>6</sup>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>49166 (número único nacional, las 24 horas).</li> <li>(0155) – 19442500, extensión 49166 Cd. de México, las 24 horas.</li> <li>Correo electrónico: <a href="mailto:ccae@pemex.com">ccae@pemex.com</a></li> </ul>

### SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Nombre químico: ND	Estado físico: Líquido
Nombre comercial: Gasolina Pemex-Magna	Clase de Riesgo de transporte SCT <sup>7</sup> : Clase 3, "Líquidos inflamables"
Familia química: ND	No. Guía de Respuesta GRE <sup>8</sup> : 128
Sinónimos: Gasolina Pemex-Magna, Pemex-Magna Resto del País	
<p>Descripción general del producto:</p> <p>Mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna y es para uso en el</p>	

## Hoja de Datos de Seguridad

interior del país, excepto en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey. Índice de octano igual a 87 y 1000 ppm de contenido máximo de azufre total.

### SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	% VOL.	NÚMERO ONU <sup>1</sup>	NÚMERO CAS <sup>2</sup>	PPT <sup>9</sup> (ppm)	CT <sup>10</sup> (ppm)	P <sup>11</sup> (ppm)	IPVS <sup>12</sup> (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA <sup>13</sup>			
								S <sup>14</sup>	I <sup>15</sup>	R <sup>16</sup>	E <sup>17</sup>
Gasolina	100%	1203	8006-61-9	300	500	ND	ND	1	3	0	NA
Aromáticos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Olefinas	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benceno	3.0% máx.	1114	71-43-2	0.5	2.5	ND	ND	2	3	0	NA

### SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Temperatura de ebullición (°C): 60-70 ( máx. 10% destilac.) <sup>b</sup>	Color: Rojo (visual)
Temperatura de fusión (°C): NA	Olor: Característico a gasolina
Temperatura de inflamación (°C): Inferior a 0°C	Velocidad de evaporación: ND
Temperatura de auto ignición (°C): aproximadamente 250°C <sup>A</sup>	Solubilidad en agua: Insoluble
Densidad relativa de vapor (aire=1): 3.0 – 4.0 <sup>A</sup>	Presión de vapor @ 37.8 °C (kPa): 54.0 – 79.0 (7.8 – 11.5 lb/pulg <sup>2</sup> )
pH: (IV.6) ND	% de volatilidad: NA
Peso molecular: ND	Límites de explosividad inferior-superior: 1.3 – 7.1 <sup>A</sup>
Estado físico: Líquido	Gravedad específica 20/4 °C: 0.700 – 0.770

### SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

**Medio de extinción:**

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química.

## Hoja de Datos de Seguridad

- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

### Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

### Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.
- Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción con espuma o polvo.
- En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda.
- Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas, mantenerse siempre alejado de los extremos de los contenedores. Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.
- Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.

### Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:

- La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son más pesados que el aire por lo que se dispersarán por el suelo y se concentrarán en las zonas bajas.
- Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido. Los vapores de gasolina acumulados y no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión.
- El trapo y materiales similares contaminados con gasolina y almacenados en espacios cerrados, pueden sufrir combustión espontánea.
- Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

### Productos de la combustión nocivos para la salud:

- La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono y Bióxido de Carbono.

## SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

**Estabilidad (condiciones a evitar):** Esta sustancia es estable.

## Hoja de Datos de Seguridad

**Incompatibilidad (sustancias a evitar):** Evitar el contacto con fuentes de ignición y oxidantes fuertes como: peróxidos, ácido nítrico y percloratos.

**Descomposición en componentes o productos peligrosos:**

Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente. Su combustión genera Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

**Polimerización espontánea (condiciones a evitar):**

Esta sustancia no presenta polimerización.

**Otras condiciones a evitar para prevenir que reaccione:**

No se tiene información.

### SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS

**EFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:**

**Ingestión:**

- Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.
- En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

**Inhalación:**

- La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.
- Causa sofocación (asfixiante) si se permite que se acumule a concentraciones que reduzcan la cantidad de Oxígeno por abajo de niveles de respiración seguros.
- En altas concentraciones, los componentes de la gasolina pueden causar desórdenes en el sistema nervioso central.
- Es asfixiante, la exposición a atmósferas con concentraciones excesivas de vapores de gasolina, puede causar un colapso repentino, coma y la muerte.

**Piel (contacto):**

- El contacto de gasolina en la piel causa irritación y resequedad.

**Contacto con los ojos:**

- El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.
- La gasolina causa sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados.

## Hoja de Datos de Seguridad

### EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:

- La exposición repetida a la gasolina puede causar efectos en el sistema nervioso central, como: fatiga, trastornos de la memoria, dificultad de concentración y para conciliar el sueño, cefalea y vértigo, entre otros.
- En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequedad, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

Sustancia carcinogénica:

Sustancia mutagénica:

Sustancia teratogénica:

Otras (especifique):

### NOTAS:

- La Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye a este producto en la relación de sustancias cancerígenas.
- La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica a la gasolina como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: "El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite".

### INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:

CL<sub>50</sub><sup>18</sup>: ND

DL<sub>50</sub><sup>19</sup>: ND

Otra información: ND

### PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:

Procedimientos para la aplicación de primeros auxilios para las diferentes vías de entrada al organismo:

Ingestión:

- Mantener a la víctima abrigada y en reposo.

## Hoja de Datos de Seguridad

- Mantener a la víctima acostada de lado; de esta manera, disminuirá la posibilidad de aspiración de gasolina a los bronquios y pulmones en caso de vómito .
- No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.
- Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.
- Solicitar atención médica inmediatamente.

### Inhalación:

- En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.
- Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.
- Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.
- ¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.
- Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.
- Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de gasolina, deben trasladarse a un área libre de contaminantes donde respire aire fresco.
- Solicitar atención médica.

### Contacto con la piel:

- Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.
- Lavar la parte afectada con abundante agua durante 20 minutos por lo menos.
- Lavar ropa y calzado contaminados con gasolina antes de utilizarlos nuevamente.
- Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.
- En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.

### Contacto con los ojos:

- En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.
- Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.
- Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.
- Si se producen quemaduras en conjuntiva y córnea, se requerirá atención médica especializada en forma inmediata.

### OTROS RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD:

- La exposición prolongada a vapores de gasolina, puede producir signos y síntomas de intoxicación, como depresión del sistema nervioso central; sin embargo, estos síntomas pueden variar dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración de vapores de gasolina.

## Hoja de Datos de Seguridad

**ANTÍDOTO (DOSIS EN CASO DE EXISTIR):**

- No se tiene información.

**OTRA INFORMACIÓN PARA LA ATENCIÓN MÉDICA PRIMARIA Y LAS CONTRAINDICACIONES PERTINENTES:**

- El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.
- Si la cantidad de gasolina ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.
- En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de gasolina hacia los bronquios y pulmones.
- Cuando la aspiración de vapores de gasolina causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

**SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME****Procedimiento y precauciones inmediatas:****Primeramente llamar al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**

- Eliminar las fuentes de ignición cercanas (no fumar, no usar bengalas, chispas o llama abierta en el área de riesgo).
- No tocar ni caminar sobre el producto derramado.
- Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso.
- Permanecer fuera de las zonas bajas y en un sitio donde el viento sople a favor.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente no combustible.
- Cuando se trate de derrames mayores, se debe represar a distancia, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.
- Utilizar herramientas antichispas para recoger el material derramado, y conectar eléctricamente a tierra el equipo utilizado.
- Ventile los espacios cerrados antes de entrar.
- El agua en forma de rocío puede reducir los vapores, pero no puede prevenir su ignición en espacios cerrados.
- Todo el equipo que se use para el manejo de esta sustancia, debe estar conectado eléctricamente a tierra.
- Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.
- Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión, cuando se maneje esta sustancia en espacios confinados.

## Hoja de Datos de Seguridad

### Métodos de mitigación para controlar la sustancia:

- En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, éste debe ser a prueba de explosión.
- Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- De ser posible, los recipientes que lleguen a fugar deben ser trasladados a un sitio bien ventilado y alejado del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto, deberá trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.

### Recomendaciones para evacuación:

- En caso de un derrame grande, considere la evacuación inicial de por lo menos 300 metros a favor del viento u 800 metros a la redonda.
- En caso de que un tanque, carro tanque o autotanque que contenga este producto esté involucrado en un incendio, debe aislarse 800 metros a la redonda.
- Considerar también la evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

## SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

### Equipo de protección personal específico:

- La selección del equipo de protección personal varía dependiendo de las condiciones de uso.
- Se recomienda utilizar guantes de hule cuando el contacto prolongado con la piel no puede evitarse.
- La concentración de vapores en el aire determina el tipo de protección respiratoria que es necesaria.
- En caso de fuga o derrame, emplear equipo de protección personal incluyendo: botas, guantes y delantal de hule.
- Cuando la fuga o derrame genera vapores o neblinas de esta sustancia, debe emplearse equipo de respiración autocontenido.
- Deben emplearse anteojos de seguridad con protección lateral o careta facial cuando se efectúen labores de atención a fugas o derrames.
- No debe usarse lentes de contacto cuando se maneja esta sustancia.
- En las instalaciones donde se maneja esta sustancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavaojos en sitios estratégicos, los cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.
- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

## SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

## Hoja de Datos de Seguridad

Número ONU: 1203		
Clase de riesgo de transporte: Clase 3 Líquidos inflamables		
Guía de Respuesta en caso de Emergencia: Guía número 128		
Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT-2008 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.		
<p><b>Recomendaciones del Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Las unidades que transporten materiales y residuos peligrosos deberán estar en óptimas condiciones de operación, físicas y mecánicas, verificando el transportista que la unidad reúna tales condiciones antes de proceder a cargar los materiales y residuos peligrosos.</li> <li>2.- Los operadores de vehículos se abstendrán a realizar paradas no justificadas, que no estén contempladas en la operación del servicio, así como circular por áreas centrales de ciudades y poblados. Al efecto, utilizarán los libramientos periféricos cuando éstos existan.</li> <li>3.- Ninguna unidad que traslade materiales o residuos peligrosos deberá transportar personas no relacionadas con las operaciones de la unidad.</li> <li>4.- Demás información, contenida en el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.</li> </ol>		

### SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

#### Comportamiento de la sustancia química peligrosa cuando se libera al aire, agua o suelo y sus efectos en la flora o fauna:

- Disponer apropiadamente de los productos y materiales contaminados usados en las maniobras de limpieza de fugas o derrames.
- El suelo y los materiales afectados por el derrame y por los trabajos de limpieza, deberán recibir el tratamiento y/o disposición correspondiente, de acuerdo a lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.
- Cuando el derrame No exceda de 1 m<sup>3</sup>, se deberán aplicar de manera inmediata acciones para minimizar o limitar su dispersión o recogerlos y realizar la limpieza del sitio y anotarlos en la bitácora. Estas acciones deberán estar contempladas en sus respectivos programas de prevención y atención a contingencias o emergencias ambientales o accidentes.
- Cuando el derrame exceda de 1 m<sup>3</sup>, se deberán ejecutar las medidas inmediatas para contener los materiales liberados, minimizar o limitar su dispersión o recogerlos y realizar limpieza del sitio. Asimismo, se deberá:

## Hoja de Datos de Seguridad

- Avisar de inmediato a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y a las autoridades competentes, que ocurrió el derrame, infiltración, descarga o vertido del material peligroso.
- Ejecutar las medidas que les hubieren impuesto las autoridades competentes conforme a lo previsto en el Art. 72 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).
- Iniciar los trabajos de Caracterización del sitio contaminado y realizar las acciones de Remediación correspondientes.
- El aviso del derrame se deberá formalizar dentro de los tres días hábiles siguientes al día en que hayan ocurrido los hechos y deberá contener lo indicado en el Art. 131 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

### SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

#### Para el manejo, transporte y almacenamiento:

- El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante el manejo de esta sustancia.
- El personal no debe emplear lentes de contacto cuando se manipula este producto.
- Deben evitarse temperaturas extremas en el almacenamiento de esta sustancia; almacenar en contenedores resistentes, cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles.
- Almacenar en contenedores con etiquetas; los recipientes que contengan esta sustancia, deben almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.
- El almacenamiento de pequeñas cantidades de este producto, debe hacerse en contenedores resistentes y apropiados.
- Los equipos empleados para el manejo de esta sustancia, deben estar debidamente aterrizados.

#### Otras precauciones:

- La ropa y trapos contaminados, deben estar libres de este producto antes de almacenarlos o utilizarlos nuevamente.
- No utilizar presión para vaciar los contenedores.
- Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos de él, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

### SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL

#### FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo".
- NOM-010-STPS-1999 "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen,

## Hoja de Datos de Seguridad

transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral”.

- “Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos”.
- NOM-004-SCT-2008 “Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos”.
- Especificación No. 107/2010 “PEMEX-MAGNA (1) RESTO DEL PAÍS”.
- NIOSH: “Pocket Guide to Chemical Hazards”, “Occupational Health Guideline for Mineral Oil Mist”, “IDLH Documentation”.
- NFPA 400 “Hazardous Materials Code”, 2010 Edition.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 “Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.”

### ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

<sup>1</sup> <b>ONU:</b> Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas.	<sup>11</sup> <b>P:</b> Límite Máximo Permissible de Exposición Pico.
<sup>2</sup> <b>CAS:</b> Número asignado por la Chemical Abstracts Service.	<sup>12</sup> <b>IPVS:</b> Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud. (IDLH, siglas en inglés).
<sup>3</sup> <b>SETIQ:</b> Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química.	<sup>13</sup> <b>NFPA:</b> National Fire Protection Association.
<sup>4</sup> <b>CENACOM:</b> Centro Nacional de Comunicación. (Protección Civil).	<sup>14</sup> <b>S:</b> Grado de riesgo a la Salud.
<sup>5</sup> <b>COATEA:</b> Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales.	<sup>15</sup> <b>I:</b> Grado de riesgo de Inflamabilidad.
<sup>6</sup> <b>CCAE:</b> Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias.	<sup>16</sup> <b>R:</b> Grado de riesgo de Reactividad.
<sup>7</sup> <b>SCT:</b> Secretaría de Comunicaciones y Transportes.	<sup>17</sup> <b>E:</b> Grado de riesgo Especial.
<sup>8</sup> <b>GRE:</b> Guía de Respuesta a Emergencia.	<sup>18</sup> <b>CL<sub>50</sub>:</b> Concentración Letal Media.
<sup>9</sup> <b>LMPE-PPT:</b> Límite Máximo Permissible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en inglés).	<sup>19</sup> <b>DL<sub>50</sub>:</b> Dosis Letal Media.
<sup>10</sup> <b>LMPE-CT:</b> Límite Máximo Permissible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en inglés).	<b>NA:</b> No Aplica.
	<b>ND:</b> No Disponible.

### NIVEL DE RIESGO

### Hoja de Datos de Seguridad

MODELO ROMBO		S = SALUD (Rombo Azul)	I = INFLAMABILIDAD (Rombo Rojo)	R = REACTIVIDAD (Rombo Amarillo)	E = ESPECIAL (Rombo Blanco)
	4	Fatal.	Extremadamente inflamable.	Puede detonar.	Oxidante (OXI)
	3	Extremadamente peligroso.	Inflamable.	Puede detonar, requiere fuente de inicio.	Ácido (ACID)
	2	Ligeramente peligroso.	Combustible.	Cambio químico violento.	Alcalino (ALC)
	1	Riesgoso.	Combustible si se calienta.	Inestable si se calienta.	Corrosivo (CORR)
	0	Material normal.	No se quema.	Estable.	No use agua (W̄)
					Material radiactivo (☣)

#### CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
5	01/09/2011	Actualización de la especificación No. 107/2010.

#### Declaración:

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. Pemex no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

<b>QUEROSENO (PETRÓLEO)</b>	<b>ICSC: 0663</b> Noviembre 1998
-----------------------------	-------------------------------------

Querosina Aceite de lámpara	Petróleo ligero Fueloil nº 1
CAS: 8008-20-6	RTECS: OA5500000
NU: 1223	CE Índice Anexo I: 649-404-00-4
CE / EINECS: 232-366-4	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	Inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Usar polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
<b>EXPLOSIÓN</b>	Por encima de 37°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 37°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO!	
<b>Inhalación</b>	Confusión mental. Tos. Vértigo. Dolor de cabeza. Dolor de garganta. Pérdida del conocimiento.	Usar ventilación.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	Piel seca. Aspereza.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento.	Utilizar gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>	Diarrea. Náuseas. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	NO provocar el vómito. Reposo. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte. Almacenar y eliminar el residuo a continuación conforme a la normativa local. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal: equipo autónomo de respiración.	<b>Clasificación UE</b> Símbolo: Xn R: 65 S: (2)-23-24-62; Nota: H <b>Clasificación NU</b> Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: III
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte: TEC (R)-551. Código NFPA: H0; F2; R0.	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Fresco.

<b>IPCS</b> International Programme on Chemical Safety	 WHO	 ILO	 UNEP		 MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN	 INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005						

**VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO**

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

**QUEROSENO (PETRÓLEO)**

**ICSC: 0663**

### DATOS IMPORTANTES

<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO:</b> LÍQUIDO POCO VISCOSO DE OLOR CARACTERÍSTICO.</p> <p><b>PELIGROS FÍSICOS:</b> Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p><b>PELIGROS QUÍMICOS:</b> Reacciona con oxidantes.</p> <p><b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN:</b> TLV: 200 mg/m<sup>3</sup> como TWA; (piel); A3 (cancerígeno animal); (ACGIH 2011)</p>	<p><b>VÍAS DE EXPOSICIÓN:</b> La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACIÓN:</b> No se puede indicar la velocidad con que se alcanza una concentración nociva de esta sustancia en el aire por evaporación a 20°C.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:</b> La sustancia irrita levemente la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y a la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede afectar al sistema nervioso.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:</b> La sustancia desengrasa la piel, lo que puede producir sequedad y agrietamiento</p>
--	--

### PROPIEDADES FÍSICAS

<p>Punto de ebullición: 150-300°C Punto de fusión: -20°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: ninguna</p>	<p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4.5 Punto de inflamación: 37-65°C Temperatura de autoignición: 220°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 0.7-5</p>
---	--

### DATOS AMBIENTALES

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

### NOTAS

Las propiedades físicas varían en función de la composición química.  
La ingestión de queroseno (aceite para lámparas) es una causa importante de envenenamiento accidental infantil.

### INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2016):

VLA-ED: 200 mg/m<sup>3</sup>

Notas: vía dérmica.

**Nota legal**

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2005

<b>HOJA DE SEGURIDAD</b>	
<b>ACEITES USADOS</b> <b>(Desecho de aceites lubricantes)</b>	
<b>SECCION 1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO QUIMICO</b>	
Sinónimos: No posee. Desecho de aceite lubricante recogido rutinariamente de motores de Gasolina/petróleo durante operaciones de mantenimiento. Líquido café a negro. Constan de aceite derivado del petróleo contaminado con niveles bajos de productos combustibles (partículas de carbón; material orgánico quemado).	
<b>SECCION 2. IDENTIFICACION DE PELIGROS</b>	
Combustibles. No son volátiles. No presentan un peligro significativo para la salud por inhalación. Algunos componentes son peligrosos, incluyendo el tipo de aceite base, además de los hidrocarburos aromáticos polinucleares acumulados. Se debe evitar el contacto prolongado y repetido con la piel. Pueden contener cantidades de aditivos que son irritantes para la piel y los ojos, y posiblemente sensibilizantes.	
<b>SECCION 3. COMPOSICION, INFORMACION SOBRE COMPONENTES</b>	
Mezcla de aceites minerales y aditivos usados. CAS: No aplica	
<b>SECCION 4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS</b>	
<b>Inhalación:</b> retire la fuente de contaminación o mueva la víctima al aire fresco. Personal capacitado debe suministrar respiración artificial si la víctima no respira, o aplicar oxígeno si respira con dificultad. No mueva la víctima si no es necesario. Obtenga atención médica de inmediato. <b>Contacto con la piel:</b> Lave por completo el área contaminada con abundante agua y jabón durante por lo menos 20 minutos o hasta que el producto sea removido. Debajo de la corriente de agua y jabón (detergente) retire la ropa contaminada, zapatos y artículos de cuero. Obtenga atención médica de inmediato. <b>Ingestión:</b> Si la víctima está consciente y no convulsiona dele a beber uno o dos vasos de agua para diluir el material en el estómago. NO INDUZCA AL VOMITO; si éste ocurre naturalmente, mantenga la víctima inclinada hacia adelante para reducir el riesgo de aspiración Y repita la administración mayúscula de agua. Obtenga ayuda médica de inmediato. <b>Contacto con los ojos:</b> Rápidamente absorba o retire el exceso del producto. Lave de inmediato con abundante agua mínimo por 15 minutos o hasta que el producto sea removido, separando los párpados. Obtenga ayuda médica.	
<b>SECCION 5. MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS</b>	
<b>Consideraciones especiales:</b> Líquido combustible. Libera vapores inflamables a temperaturas superiores a su punto de inflamación. <b>Procedimiento:</b> Use ropa de protección total incluyendo equipo de respiración autocontenido. Evacue y aisle el área en 50 a 100 metros en todas direcciones. Aproxímese al fuego en la misma dirección que el viento. Suspnda el flujo eléctrico. Si existe fuga, deténgala antes de intentar extinguir el fuego si puede hacerlo en forma segura; de lo contrario, permita que el fuego se apague por sí solo si no hay riesgo para los alrededores. <b>Medios de extinción apropiados:</b> Extintores para fuego Clase K: Polvo químico seco o químico húmedo (sales en solución). <b>NFPA:</b> Salud 1; Inflamabilidad 1; Inestabilidad: 0 (según propiedades). No está clasificado oficialmente)	
<b>SECCION 6. MEDIDAS PARA ESCAPE ACCIDENTAL</b>	
Utilice los elementos de protección personal. Ubíquese en la misma dirección desde donde sopla el viento. Evite zonas bajas. Evacúe y señalice el área del derrame. Elimine toda fuente de ignición, calor, chispas o llamas. Detenga la fuga si puede hacerlo sin riesgo. Ventile la zona. No use palas metálicas. Controle las fuentes de ignición. <b>Pequeños:</b> Contenga el derrame con diques de poliuretano o calcetines especiales. Absorba con absorbentes oleofílicos como calcetines, almohadillas, chemizorb o vermiculita. Introduzca en contenedores cerrados y marcados. Lave el área con agua. <b>Grandes:</b> Evacúe y aisle el área 300 metros en todas direcciones. Utilice rocío de agua para enfriar y dispersar los vapores. Contenga con diques de poliuretano para evitar que el material caiga en fuentes de agua, desagües o áreas confinadas. <b>Absorbentes Recomendados:</b> Vermiculita, Chemizorb®, calcetines, almohadas, tapetes.	
<b>SECCION 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO</b>	
Mantenga estrictas condiciones de seguridad en todas las instalaciones eléctricas para evitar incendios por este riesgo. Evite cualquier contacto con el producto y no coma, beba ni fume durante su manipulación. Lávese muy bien el cuerpo inmediatamente después de manipular este producto y las manos y cara antes de comer o ir al baño. Separe la ropa de trabajo de la de calle. Lave muy bien la ropa contaminada antes de volver a usarla. Almacene en recipientes especiales herméticamente cerrados, en sitio bien ventilado exclusivo para productos químicos; alejado de fuentes de ignición y calor. Conecte a tierra contenedores a granel. Almacenar por un periodo máximo de 6 meses.	
<b>SECCION 8. CONTROLES DE EXPOSICION, PROTECCION PERSONAL</b>	
TLV - TWA : 5 mg/m <sup>3</sup> (Según ACGIH para niebla de aceite)      TLV / STEL: 10 mg/m <sup>3</sup> (Según ACGIH para niebla de aceite) <b>Elementos de protección personal sugeridos:</b>	
 Gaucho de nitrilo.	 Monogatas de seguridad
 Overol impermeable en polipropileno (Tempo®, CPF® o equivalentes).	 Caucho de nitrilo, con suela antideslizante
 De 2,5 a 10 mg/m <sup>3</sup> : Respirador de media máscara con filtro para vapores orgánicos. >10 mg/m <sup>3</sup> : Equipo Autocontenido	 Lavajojos  Ducha

**SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS****Punto de ebullición:** >200°C**Densidad de vapor:** 3 (aire=1).**Punto de inflamación:** >100°C**Presión de vapor:** <1 Kpa a 38°C**Densidad relativa:** 0,9 (agua =1).**Solubilidad:** Insoluble en agua. Soluble en solventes orgánicos.**SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

Estable en condiciones normales de manejo y almacenamiento.

**Incompatibilidades:** Agente oxidantes fuertes.**Condiciones a evitar:** Fuentes de ignición como chispas, llamas abiertas y calor intenso. Acumulación de cargas electrostáticas.**Productos de descomposición térmica:** Oxidos de carbono, óxidos de azufre, aldehidos, cetonas.**SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA****Inhalación:** Los vapores en exceso generados por mala ventilación o calentamiento pueden causar irritación de nariz y garganta, cefalea náuseas y somnolencia.**Contacto con la piel:** Puede causar irritación, cuando su contacto es prolongado puede causar efectos desengrasantes, enrojecimiento local y dermatitis. Si la piel tiene pequeñas heridas o rasguños, el aceite puede agrandarlas. Los hidrocarburos pesados tapan los poros de la piel.**Ingestión:** Puede causar irritación gastrointestinal, náuseas, vómito y diarrea. Otros efectos tóxicos dependiendo de la presencia de metales pesados.**Contacto con los ojos:** Puede causar irritación, enrojecimiento y ardor.**Efectos crónicos:** unos pocos productos pueden contener aceites de base que son peligrosos potenciales de cáncer de la piel tras un contacto prolongado y repetido. También puede contener componentes que puedan causar irritación o dermatitis.**SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA****INFORMACION ECOLOGICA:**

Insoluble en agua. No es fácilmente biodegradable. Causa graves consecuencias en peces y aves afectados por contacto.

Según el uso que se le haya dado, puede estar contaminado con calcio, plomo, magnesio, zinc, fósforo y metales pesados.

Dañino para la vida acuática, aún en cantidades pequeñas.

Entregue el residuo a empresas debidamente autorizadas por las autoridades ambientales.

No descargue el producto o sus desechos a suelos, desagües, ríos y otras fuentes de agua. Tiene alto poder de bioacumulación.

**SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO**

Entregar los residuos de aceites usados a empresas con licencia ambiental autorizadas a manejar estos residuos.

**SECCIÓN 14. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE**

Cárguelo solamente en vehículos especialmente equipados para el transporte de sustancias peligrosas.

Etiquete adecuadamente los contenedores y manténgalos cerrados. Asegure todos los recipientes del vehículo contra movimiento.

No transporte con alimentos, cosméticos, fertilizantes o medicamentos.

No lo transporte junto con productos explosivos (clase 1), oxidantes (5.1), corrosivos (8), tóxicos (6.1)

Apague el motor cuando cargue y descargue o use equipo eléctrico antichispa. No fume en el vehículo ni a menos de 7.5 metros.

Mantenga en el vehículo extintores (tipo K) y materiales absorbentes adecuados.

Ubique la carga sobre estibas a por lo menos 10 cm del piso. Cárguelo de tal manera que se evite la mezcla con otros materiales peligrosos en el evento de un derrame. El piso del vehículo debe estar liso.

**Clasificación de peligro según el Libro Naranja de la ONU: 9 - Peligros varios. (Peligroso para el medio ambiente).****SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA**

SGA:

**Atención**  
Nocivo en  
contacto con la  
piel, provoca  
irritación cutánea**Atención**  
Muy tóxico para  
organismos  
acuáticos, con  
efectos nocivos  
duraderos**SECCIÓN 16. INFORMACIÓN ADICIONAL****BIBLIOGRAFIA:**

1. <http://www.respel.cl/filedoc/HI-03%20Aceites%20Usados.pdf>
2. [http://psglubricants.chevron.com/PSG/languages/Spanish/7a\\_UsedMotorOils\\_Texaco\\_Spanish.pdf](http://psglubricants.chevron.com/PSG/languages/Spanish/7a_UsedMotorOils_Texaco_Spanish.pdf)
3. [http://www.e-sela.cl/archivos/Capitulo\\_07\\_\\_Aceites\\_usados.pdf](http://www.e-sela.cl/archivos/Capitulo_07__Aceites_usados.pdf)
4. NFPA. Fire Protection Guide to Hazardous Materials, 14 ed. USA, 2010
5. Forsberg, K., et al. Quick Selection Guide to Chemical Protective Clothing. 3a ed. Van Nostrand Reinhold, 2007.
6. ACGIH. TLVs and BEIs for Chemical Substances and Physical Agents. USA, 2013
7. Naciones Unidas. Recomendaciones para Transporte de Mercancías Peligrosas. Decimoséptima edición. USA, 2011.
8. Decreto 1609 de 2002/Ministerio de Transporte, Decreto "por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera."

**FECHA DE EMISION:** Octubre de 2013**ACEITES USADOS**

Los datos suministrados en esta ficha se basan en nuestro conocimiento actual. No representan una garantía sobre las propiedades de este producto. ARP SURTA no se hace responsable por el uso o interpretación particular que se le dé a esta información.