



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

**REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS EN
AGUA MEDIANTE UN MATERIAL
LIGNOCELULÓSICO DE ALTA
DISPONIBILIDAD EN LA REGIÓN
DE MISANTLA, VER.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

P R E S E N T A

FERNANDO JAÉN LOYO

DIRECTOR:

M.Sc. ELIZABETH SALAZAR HERNÁNDEZ

CODIRECTOR:

M.Bt. GUADALUPE CORELLY SALAZAR SALAZAR

MISANTLA, VERACRUZ

ABRIL 2022

DEDICATORIAS

A mi madre Socorro Loyo Vargas por ser mi guía en la vida y estar a mi lado en las buenas como en las malas, por sus grandes enseñanzas, sus esfuerzos, su protección y amor para que yo tenga lo necesario y sea una persona de bien. Por haberme apoyado incondicionalmente durante todos estos años de estudios.

A mi padre Aurelio Jaén y Salazar por su entrega y lucha para que yo pudiera ser quien ahora soy, por sus grandes enseñanzas y su apoyo incondicional en todo momento. Por motivarme constantemente a alcanzar mis metas.

A mis hermanos y hermanas por su apoyo incondicional cuando más los necesitaba, por sus consejos en días malos. Por sus motivaciones y alegrías regaladas en todo momento. A todos ellos les dedico este trabajo que con gran sacrificio logro culminar, y a Dios por permitirme tenerlos conmigo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo incondicional.

A la M.C Elizabeth Salazar por el apoyo proporcionado y haberme conducido a culminar esta tesis.

A los maestros de Ingeniería Ambiental, M.C Yovani López, M.C Alan Rico, M.B Guadalupe Corelly, Ing. Neira Sánchez e Ing. Heidi Jácome por su apoyo durante mi estancia en esta linda carrera y por compartirme sus conocimientos.

También quiero agradecer a todos los maestros de las diferentes carreras que tuve durante estos 4 años de todos llevo gratos recuerdos, así como a la máxima casa de estudios por haberme permitido forjarme profesionalmente.

A mis grandes amigos que tuve de compañeros, gracias a todos por sus buenos consejos, por su ayuda y los gratos momentos que pasamos juntos. Gracias a todos por hacer de mi estancia una época muy linda.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Justificación	4
1.3 Hipótesis	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Generalidades del agua	6
2.1.1 Propiedades físicas del agua	7
2.1.2 Propiedades químicas del agua	7
2.1.3 Importancia del cuidado del agua.....	8
2.2 Generalidades de los hidrocarburos	10
2.2.1 Concepto general de hidrocarburo	10
2.2.2 Clasificación de los hidrocarburos	12
2.2.2.1 Hidrocarburos saturados de cadena abierta	12
2.2.2.2 Hidrocarburos insaturados	12
2.2.2.3 Hidrocarburos de cadena cerrada	12
2.2.2.4 Hidrocarburos aromáticos policíclicos.....	13
2.3 Impactos ambientales por hidrocarburos.....	14
2.3.1 Métodos de remoción de hidrocarburos en agua.....	15
2.3.1.1 Sorbentes inorgánicos	16
2.3.1.2 Sorbentes inorgánicos artificiales	16
2.3.2 Sorbentes orgánicos	17
2.4 Generalidades del aserrín	18
2.4.1 Aserrín.....	18
2.4.1.1 Composición química del aserrín.....	19
2.4.1.2 Celulosa.....	19

2.4.1.3 Hemicelulosa.....	20
2.4.1.4 Lignina	21
2.4.2 Características de la especie estudiada <i>Cedrela odorata</i> L (cedro).....	22
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1 Obtención de muestras.....	23
3.2 Preparación de las muestras.....	23
3.2.1 Lavado.....	23
3.2.2 Secado.....	23
3.2.3 Molienda	23
3.2.4 Tamizado	23
3.3 Determinaciones de las propiedades de sorbente	24
3.3.1 Densidad de almacenamiento.....	24
3.3.2 Prueba de flotabilidad	24
3.3.3 Prueba corta de capacidad de retención	25
3.3.4 Prueba larga de capacidad de retención.....	26
3.3.4 Determinación del tiempo óptimo de contacto	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1 Determinaciones de las propiedades del material sorbente.....	27
4.2 Densidad de almacenamiento	27
4.3 Flotabilidad.....	28
4.4 Prueba corta de capacidad de retención.....	28
4.4.1 Gasolina.....	29
4.4.2 Diésel.....	30
4.4.3 Petróleo crudo.....	33
4.5 Prueba larga de capacidad de retención.....	35
4.5.1 Gasolina.....	35
4.5.2 Diésel.....	36
4.5.3 Petróleo.....	37
4.6 Determinación del tiempo óptimo.....	39
4.6.1 Gasolina.....	39
4.6.1.1 Gasolina 1. 20 mm	39
4.6.1.2 Gasolina 2.38 mm.....	39
4.6.2 Diésel.....	40

4.6.2.1 Diésel 1.20 mm.....	40
4.6.2.2 Diésel 2.38 mm.....	41
4.6.3 Petróleo.....	42
4.6.3.1 Petróleo 1.20 mm	42
4.6.3.2 Petróleo 2.38 mm	43
4.6.4 Comparación con un sorbente comercial	44
4.7 Pruebas cortas de sorción.....	45
4.7.1 Gasolina.....	45
4.7.2 Petróleo.....	46
4.8 Prueba larga de sorción.....	47
4.8.1 Gasolina.....	47
4.8.2 Petróleo.....	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	50
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la Celulosa (Carbonell, 2016).....	20
Figura 2. Estructura de la Hemicelulosa (Carbonell, 2016).....	21
Figura 3. Estructura de la Lignina (Carbonell, 2016).....	21
Figura 4. Sorción de Gasolina a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.....	30
Figura 5. Sorción de Diésel a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.....	33
Figura 6. Sorción de Petróleo crudo a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.....	35
Figura 7. Sorción de Gasolina a 24 h a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.....	36
Figura 8. Sorción de Diésel a 24 h a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.....	37
Figura 9. Sorción de Petróleo a 24 h a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.....	38
Figura 10. Tiempo óptimo de sorción de Gasolina a tamaño 1.20 mm.....	39
Figura 11. Tiempo óptimo de sorción de Gasolina a tamaño 2.38 mm.....	40
Figura 12. Tiempo óptimo de sorción de Diésel a tamaño 1.20 mm.....	41
Figura 13. Tiempo óptimo de sorción de Diésel a tamaño 2.38 mm.....	42
Figura 14. Tiempo óptimo de sorción de Petróleo crudo a 1.20 mm.....	43
Figura 15. Tiempo óptimo de sorción de Petróleo crudo a 2.38 mm.....	44
Figura 16. Prueba corta de sorción de Gasolina de aserrín vs Peat Moss.....	46
Figura 17. Prueba corta de sorción de Petróleo de aserrín vs Peat Moss.....	47
Figura 18. Prueba larga de sorción de Gasolina de aserrín vs Peat Moss.....	48
Figura 19. Prueba larga de sorción de Petróleo de aserrín vs Peat Moss.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad de almacenamiento del material lignocelulósico.	27
Tabla 2. Flotabilidad del material lignocelulósico.	28
Tabla 3. Capacidad de sorción de Gasolina por el material queratinoso.	29
Tabla 4. Capacidad de sorción de Diésel por material queratinoso.	31
Tabla 5. Capacidad de sorción de Petróleo crudo por el material queratinoso.	33
Tabla 6. Capacidad de sorción de Petróleo por bagazo de caña.	38

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas con hidrocarburos es un problema medio ambiental y social que viene sucediendo desde hace muchos años, dejando estragos en un sin fin de sitios alrededor del mundo. El tratamiento de las aguas contaminados con hidrocarburos trae retos aun en la actualidad, debido a que la presencia de hidrocarburos en agua normalmente sucede debido a fugas y/o derrames de donde se extraen los hidrocarburos siendo estas actividades lejos de las costas, dificultando las actividades de tratamiento.

Se debe enfatizar las actividades como la limpieza de barcos y accidentes marítimos las cuales influyen en la presencia de los hidrocarburos en los mares. La presencia de hidrocarburos en ríos y suelo se debe a los derrames de hidrocarburos por tomas clandestinas en ductos y accidentes de pipas.

En este trabajo se estudió la viabilidad del aserrín de cedro (*Cedrela odorata* L) considerado como un sorbente orgánico para la remoción de hidrocarburos en aguas, mediante pruebas en donde el sorbente estuvo en contacto con diferentes tipos de hidrocarburos en condiciones estáticas y tiempos para establecer rangos óptimos de retención.

Las pruebas fueron consultadas del protocolo ASTM F-726 (Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbent) el cual proporciona los parámetros y materiales a considerar para llevar a cabo el estudio de la remoción de hidrocarburos, en las pruebas se utilizaron 3 tipos de hidrocarburos Petróleo crudo, Diesel y Gasolina los cuales tienen como una de las diferencias principales la densidad.

Se estudio el desempeño del aserrín de cedro (*Cedrela odorata* L) a tamaños de partícula de 1.20 y 2.38 mm, se evaluó la flotabilidad de 4 gr de sorbente en donde se obtuvo que el 25 y 17 % de las muestras de ambos tamaños de partícula floto, así como también la densidad de almacenamiento en donde se obtuvo como resultado 108 y 177 gr/L para ambos tamaños de partícula. Los tiempos de remoción utilizados fueron de 5, 10, 15, 20, 30 minutos hasta 24 hrs y cada prueba tuvo 5 repeticiones.

Los resultados obtenidos fueron comparados con otros autores que utilizaron sorbentes orgánicos para la remoción de hidrocarburos en agua obteniendo resultados favorables como mejor rendimiento del aserrín de cedro en la remoción de gasolina (ambos tamaños) en comparación con el aserrín de Guarumbo reportado por Valle (2018), así como también a los tamaños 10 y 13 cm de las plumas de pollo hasta un 33 y 62% y a los raquis en un 81% reportados por Salazar (2012).

Para el Diésel el aserrín presento una remoción mejor (ambos tamaños) en comparación con sorbentes estudiados como la cascarilla de arroz del 50%, ceniza de cascarilla de arroz (17%), cascara de banano (49%), cascara de cacao (76%) reportadas por Cárdenas (2017) las cuales tuvieron tratamiento químico y a los resultados de los raquis en un 62% y de los tamaños de partícula 10 y 13 cm de las plumas de pollo del 9 y 51% reportados por Salazar (2012), por mencionar algunos.

El tiempo óptimo de remoción de gasolina a 1.20 mm fue a los 20 min y para el tamaño 2.38 mm fue en los primeros 5 min, en el caso del Diesel a 1.20 mm consistió en 5 min, a tamaño 2.38 mm radico en los primeros 5 min, para el petróleo el tiempo optimo a 1.20 mm fue de 10 min, y a 2.38 mm rondo las 24 hrs.

Gracias al desempeño, su disponibilidad, bajo costo, y biodegradabilidad de este subproducto de la industria maderera lo hacen un excelente material sorbente, siendo un sorbente natural lo hace amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del problema

El petróleo es un recurso fundamental para la generación de materiales y energía en todo el mundo. Aproximadamente, la producción anual mundial es de dos mil millones de toneladas (Lezama et al., 2012; Salazar, 2012). Las actividades de perforación, extracción, conducción y transformación del petróleo en zonas petroleras originan la contaminación del suelo y el agua es ocasionada por derrames, fugas, filtraciones, lodos y recortes de perforación desde hace más de 40 años (Velásquez, 2018).

Para su obtención se tiene que recurrir a la extracción que ocurre principalmente en los mares. Por otro lado, como no todos los países gozan de reservas de petróleo y tienden a importar el producto y la mejor forma económicamente hablando para transportarlos es mediante buques o cargueros que pueden albergar millones de litros de crudo (PEMEX, 2008).

Lo anterior ha dado lugar a que en todo el mundo se hayan suscitado tragedias como la del buque Exxon Valdez en Alaska en 1989, llegando a derramar 37 000 toneladas de hidrocarburo en el mar y la planta petrolífera *BP Deepwater Horizon* en el Golfo de México en 2010 con 779 000 toneladas de petróleo crudo, por mencionar algunas situaciones (Velásquez, 2018).

En México el río San Juan ubicado en el estado de Nuevo León fue afectado por derrame de crudo debido a tomas clandestinas de un ducto perteneciente a petróleos mexicanos (PEMEX) en el cual se estimó que el derrame fue de cuatro mil barriles. Se afectó a la producción agrícola y se generó problemas de salud a corto y largo plazo (López & Luyando, 2018).

Estas actividades cotidianas que liberan hidrocarburos directamente al agua provocan alteraciones en las condiciones fisicoquímicas como disminución de oxígeno disuelto debido a la reducción de la transferencia de oxígeno entre la fase atmósfera-agua, disminución en la entrada de luz al medio, inhibiendo el crecimiento de ciertas especies, afectando en la fijación de nutrientes y produciéndose

condiciones anóxicas en los ecosistemas acuáticos afectados (EPA, 1999; Rodríguez, 2017).

Además de los impactos ambientales, los derrames de hidrocarburos también producen impactos económicos, particularmente en las costas donde la mayor actividad económica es el turismo el cual se ve afectado, mientras que en otros lugares las afectaciones llegan al sector pesquero que es una actividad económica indispensable no sólo de una zona sino de toda una región (Nwadiogbu et al., 2015).

Se podrían enumerar un sin fin de problemáticas ambientales y económicas generadas por derrames de crudo. Al tener afectaciones económicas se desencadenarían problemáticas sociales como descontento, emigraciones por falta de empleo (Behnood et al., 2013).

1.2 Justificación

Debido a lo anterior, surge la necesidad de que se tomen medidas adecuadas cuando existen derrames de estas magnitudes. Los métodos convencionales usados actualmente para la remoción de hidrocarburos son variados.

Sin embargo, cabe mencionar que algunos de estos métodos causan impactos ambientales colaterales; un ejemplo claro es cuando el derrame se suscita cerca de un arrecife sensible a los cambios de pH, temperatura (ITOPF, 2011; Olga et al., 2014), entonces al hacer el tratamiento del área afectada también se verá afectado el arrecife y las especies acuáticas que alberga, ya que la mayoría de los métodos de remoción de hidrocarburos en agua convencionales utilizan agentes químicos.

Otra técnica de remoción de hidrocarburos en agua es la aplicación de sorbentes orgánicos e inorgánicos para su recuperación, estos últimos son los que se fabrican de materiales sintéticos como los productos derivados del petróleo. Dichos materiales además de resultar costosos generan un nuevo residuo que persiste cientos de años en los ecosistemas (no biodegradable) y que, como consecuencia producirán un impacto negativo al ambiente (ITOPF, 2012).

Actualmente se buscan sorbentes eficientes de bajo costo y convenientes, por ejemplo, las fibras orgánicas como astillas de madera, corteza de árboles, cascaras

de coco, pajas de arroz entre otros, esto gracias a su alta capacidad de sorción y biodegradabilidad (Martínez et al., 2017; Olga et al., 2014).

Por esta razón, el presente trabajo propone un método innovador para la resolución del problema descrito ya que el material utilizado es fácil de conseguir (alta disponibilidad), además, el subproducto es local, no tiene ningún tipo de aprovechamiento y su implementación es sencilla. Por otro lado, no necesita adición de químicos y, por último, al tratarse de un residuo orgánico tiene un cierto grado de biodegradabilidad (Espinoza & Hernandez, 2020; Olga et al., 2014).

1.3 Hipótesis

El aserrín de cedro (*Cedrela odorata* L) es un sorbente apropiado para la remoción de hidrocarburos presentes en aguas, debido a sus propiedades físicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la remoción de hidrocarburos en agua mediante un material lignocelulósico de alta disponibilidad en la zona de Misantla, Ver.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener el biopolímero sorbente a partir del material lignocelulósico propuesto (Aserrín).
- Evaluar las propiedades del sorbente (densidad de empaque y flotabilidad).
- Evaluar la remoción de hidrocarburos según el protocolo ASTM F 726-99.
- Evaluar el tiempo de óptimo de remoción de Hidrocarburos (capacidad de remoción).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del agua

Aproximadamente el 75% de la superficie de nuestro planeta se encuentra cubierto por agua (Guerrero, 2006). Del 100 % del agua del mundo, el 97.5% es agua salada, mientras tanto el 2.5% es agua dulce la cual el 1% se encuentra en lagos, ríos, y en la atmósfera, de tal modo el 30% es agua subterránea, y el 70% se encuentra en los glaciares (SEMARNAT, 2015).

El agua es una molécula sencilla formada por átomos mediante enlaces covalentes, mediante dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno a un ángulo de 104.5°; su fórmula molecular es H₂O, se trata de una molécula muy estable, siendo un recurso natural en estado líquido que no posee olor, color, ni sabor, responsable de la formación de ríos, lagos y mar (Guerrero, 2006).

El agua dulce del mundo es un recurso escaso, amenazado y en peligro, estudios sobre balances hídricos del planeta indican que el 0.007% de las aguas dulces se encuentran realmente disponibles a todos los usos humanos directos (Toledo, 2002). De los aproximadamente 113,00 km³ de agua que se precipita cada año sobre la tierra en el ciclo hidrológico, cerca de 71,000 km³ se evapora y retorna a la atmósfera, y cerca de 42,000 km³, recargan los acuíferos o retornan a los océanos por la vía de los ríos (Toledo, 2002).

Es el componente más importante de la superficie terrestre, parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales (Guerrero, 2006). La vida siempre se desarrolla en medio acuoso, la inmensa mayoría de las reacciones bioquímicas se desarrollan en el seno del agua y obedecen a las leyes fisicoquímicas de las soluciones acuosas. El agua reúne una serie de características que la convierten en un disolvente único e insustituible en la biosfera (Macarulla & Goñi, 2002).

La precipitación pluvial constituye una parte importante del ciclo hidrológico, ya que produce el agua renovable del planeta. Sin embargo, la precipitación pluvial varía regional y estacionalmente (Guerrero, 2006).

2.1.1 Propiedades físicas del agua

Su carácter bipolar hace que las moléculas del agua se orienten en torno a las partículas polares o iónicas, formando una envoltura de solvatación, lo que se traduce en una modificación en las propiedades de esas partículas. Su elevada constante dieléctrica permite la disociación de las soluciones inorgánicas en su seno (Macarulla & Goñi, 2002).

Es la única sustancia que se puede encontrar en los tres estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso). Su punto de congelación es a 0°C. Por otro lado, la ebullición ocurre a los 100° C, además, tiene la capacidad de absorber mucho calor antes de que suba su temperatura (Carbajal & Gonzáles, 2012).

Además, proporciona variadas posibilidades de vida, desde los organismos psicrófilos, que pueden desarrollarse a temperaturas cercanas a 0°C, en cambio existen otros que viven en temperaturas entre los 70-80°C conocidos como termófilos (Macarulla & Goñi, 2002).

Según Macarulla & Goñi (2002) el calor específico y calor de evaporación elevados permiten que el calor liberado en reacciones bioquímicas exotérmicas sea fácilmente absorbido y/o eliminado con pequeña variación de la temperatura del individuo.

CONAGUA (2014) afirma que el agua contiene característica como pegajosa y elástica, tiende a agruparse en vez de separarse, dando como resultado la acción capilar, lo que a su vez le confiere la cualidad de que se pueda desplazar por medio de las raíces de las plantas, los vasos sanguíneos y disolver sustancias.

2.1.2 Propiedades químicas del agua

La molécula del agua tiene carga eléctrica positiva en un lado y negativa del otro. Debido a sus cargas eléctricas opuestas, las moléculas del agua tienden a unirse unas con otras (Carbajal & Gonzáles, 2012).

Contiene una gran capacidad de formación de enlaces de hidrógeno (cuatro por molécula) determinando así, aparte de algunas de las propiedades físicas, la capacidad de solubilización de moléculas con grupos polares y los mecanismos de muchas reacciones hidrolíticas (Macarulla & Goñi, 2002).

El agua conocida como solvente universal porque disuelve más sustancias que cualquier otro líquido y contiene valiosos minerales y nutrientes. El potencial de hidrógeno (pH) es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El agua pura tiene un pH neutro de 7, lo que significa que no es ácida ni básica (Carbajal & Gonzáles, 2012).

Las diferentes propiedades químicas del agua entre las cuales podemos encontrar: reacciona con los óxidos ácidos, óxidos básicos, metales, así como también con los no metales. Se une en las sales formando hidratos. La capacidad de disociación y la rápida emigración de los iones resultantes (H^+ y OH^-), explica la importancia de pH en muchos procesos biológicos (Macarulla & Goñi, 2002).

2.1.3 Importancia del cuidado del agua

El agua dulce utilizada por los seres humanos para cubrir sus necesidades básicas, actividades agrícolas, industriales, así como para la generación de electricidad, corresponde al 1% del total de los cuerpos de agua del mundo (Barceló & López, 2008). Cerca de 748 millones de personas no tienen acceso a una fuente de agua potable y 2,500 millones no utilizan servicios de saneamiento mejorados (SEMARNAT, 2015).

La huella hídrica de una persona, empresa o país se refiere al volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios que consumimos a diario, por ejemplo, un ciudadano africano consume 64 litros de agua al día, un ciudadano chino 1,138 litros, un ciudadano mexicano consume 2,002 litros, mientras en un país de primer mundo como por ejemplo EUA un ciudadano consume 4,382 litros al día. El contraste es muy abrumador entre un país de tercer mundo y uno de primer mundo (CONAGUA, 2011).

El tratamiento de aguas residuales en países desarrollados aproximadamente el 70% de las aguas son tratadas, en un país con ingresos medios el 35% y países pobres apenas con el 8% de agua tratada (CONAGUA, 2011).

Calidad del agua es un término usado para expresar la idoneidad del agua para sustentar varios usos o procesos. El agua potable es una de las principales

preocupaciones en los países en desarrollo (Sorlini et al., 2013). La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una cantidad aproximada a 20 litros al día por habitante para cubrir las necesidades básicas de higiene y alimentos (CONAGUA, 2015).

Según Barceló (2008), el problema de la contaminación se empezó a notar al inicio del siglo XIX, la escasez es un problema emergente a causa del cambio climático y la creciente desertificación que está sufriendo el planeta.

Más de 2 mil millones de personas viven en países que experimentan un alto estrés hídrico. La situación probablemente empeorará a medida que la población y la demanda de agua sea cada vez más alta, y a medida de los efectos del cambio climático se intensificará (UN-WATER, 2018).

El incremento de las temperaturas y las variaciones en las condiciones climáticas se proyectan a afectar la disponibilidad y distribución de la lluvia, la nieve derretida, caudales de ríos y las aguas subterráneas, de este modo se deterioran aún más la calidad del agua (UN-WATER, 2018). Las variaciones de temperatura tiene sus afectaciones como lo es la demanda de agua en poblaciones donde la temperatura es más elevada que en las zonas templadas (CONAGUA, 2007).

El cambio climático afecta negativamente las fuentes de agua dulce en el mundo según proyecciones actuales presentadas por dependencias gubernamentales de diversos países muestran los riesgos relacionados con la disponibilidad de agua dulce, estos riesgos aumentan significativamente con el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, aunado los diferentes tipos de contaminación directas al agua que se presentan desde épocas pasadas como en la actual lo que aumenta la competencia por el agua en óptimas condiciones entre todos los usos y usuarios, afectando a los valores del agua, la energía y los alimentos regionales (CONAGUA, 2015).

Actualmente atravesamos la llamada crisis mundial del agua, debido que a los recursos hídricos contienen altas concentraciones de contaminantes en diversos estados, las alteraciones al agua son efectos de la sobreexplotación de recursos

naturales como la minería, construcciones, etc., lo que genera una constante degradación medioambiental (Moreno, 2013).

La propiedad del agua de disolver compuestos xenobióticos es la que provoca los variados problemas de contaminación (Guerrero, 2006). La contaminación por petróleo y sus derivados se caracteriza por su persistencia en el ecosistema, a pesar de los procesos de degradación natural y/o antrópica a la que pueden ser sometidos (Téllez, 2008). Los hidrocarburos en el agua se pueden encontrar como productos flotantes libres, emulsionados, disueltos o adsorbidos a los sólidos en suspensión (Zárate, 2015).

Las manchas generadas por los hidrocarburos vertidos flotan por diferencia de densidad provocando el impedimento de entrada de luz y el intercambio gaseoso, dando comienzo a la solubilización de compuestos hidrosolubles y a la afección de diferentes poblaciones: la primera población afectada por un derrame es el plancton, en segundo lugar son afectados los macroinvertebrados que viven en los fondos de los ríos y ciénagas (Vizcaíno et al., 2017).

2.2 Generalidades de los hidrocarburos

2.2.1 Concepto general de hidrocarburo

Los hidrocarburos (HC) se consideran como una mezcla compleja de gases, líquidos y sólidos, encontrándose cantidades combinadas de hidrógeno, oxígeno y azufre, además contienen compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales. El petróleo tiene una proporción de 76 a 86% de carbono y de 10 a 14% de hidrógeno (Ortínez et al., 2003) . Dentro de sus propiedades físicas se pueden mencionar su color y textura que pueden ir desde el amarillo poco viscoso como la gasolina hasta el negro tan viscoso que opone alta resistencia al movimiento.

Los hidrocarburos son conocidos como sustancias naturales originadas de algas acuáticas establecidas durante millones de años, gracias a la materia orgánica formada en la superficie de la tierra, proceso iniciado con la fotosíntesis, la cual hace parte del ciclo del carbono y a través del tiempo geológico este aporte ha producido grandes cantidades de materia fósil (Velásquez, 2018).

El petróleo es el recurso natural más importante en México y en el mundo debido a que satisface la demanda de energéticos y de petroquímicos básicos así como contribuye a su desarrollo industrial (Zárate, 2015).

Los hidrocarburos constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales más importantes, considerado como uno de los contaminantes más perjudiciales para el medio ambiente tanto por su abundancia, como por su persistencia en distintas matrices ambientales debido a sus propiedades y el reducido número de métodos y sorbentes naturales para su remoción (Viñas, 2005).

Las propiedades de los hidrocarburos son (Servicio Geológico Mexicano, 2017):

Viscosidad o resistencia al flujo: Se mide por el tiempo necesario para que una cantidad dada de petróleo fluya a través de una pequeña abertura.

Gravedad específica: Es la densidad de una sustancia en comparación con la densidad del agua. Dado que la mayoría de los aceites son más ligeros que agua, flotan encima de ella.

Tensión superficial y fuerza capilar: Son propiedades físicas que tienen un papel importante en la migración de hidrocarburos a través de las rocas de la corteza terrestre. La tensión superficial del petróleo que contenga gas disuelto es extremadamente baja “las bajas tensiones superficiales tienden a disminuir los efectos de la fuerza capilar en el desplazamiento de petróleo crudo, en medios porosos mediante gases a alta presión”.

Densidad: El petróleo es más ligero que el agua. Su masa específica es influenciada por factores físicos y por la composición química del crudo. La densidad típica varía entre 0.75-95 kg/L.

Volatilidad: En el petróleo crudo, depende de los puntos de ebullición de los diversos componentes.

Olor: Es característico y depende de la naturaleza y composición del aceite crudo.

Color: El color del petróleo varía de amarillo al rojo pardo y negro.

2.2.2 Clasificación de los hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos principalmente constituidos por Carbono e Hidrógeno. Los hidrocarburos se encuentran clasificados en aromáticos, cíclicos y alifáticos. Estos últimos son compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno, en los cuales sus átomos de carbono forman a menudo cadenas abiertas. El vocablo alifático proviene de la palabra griega *aliphe*, que significa grasa, dado que las grasas derivan de esta clase de hidrocarburos alifáticos (Gutiérrez, 2007). A su vez estas sustancias se clasifican como hidrocarburos de cadena abierta o de cadena cerrada.

2.2.2.1 Hidrocarburos saturados de cadena abierta

Son moléculas unidas mediante enlaces simples y comúnmente son denominados alcanos. Tienen la fórmula general C_nH_{2n+2} , teniendo en cuenta a n como el número de átomos del carbono. Se subdividen en alcanos lineales, o ramificados en el caso de que un átomo de hidrógeno sea sustituido por un grupo funcional llamado alquilo, estos compuestos también reciben el nombre de parafinas (Buendía, 2012).

2.2.2.2 Hidrocarburos insaturados

Es un hidrocarburo que un átomo de carbono no se encuentra unido a cuatro átomos por enlaces simples, sino que tiene enlaces dobles o triples. Los alquenos son moléculas formadas por átomos unidos por enlaces dobles, con fórmula química (C_nH_{2n}), los alquinos presentan enlaces triples (C_nH_{2n-2}) (Rodríguez, 2017).

2.2.2.3 Hidrocarburos de cadena cerrada

Alicíclicos, los cuales se encuentran subdivididos en saturados e insaturados.

Saturados: Suelen poseer desde uno hasta varios esqueletos de carbono formados por estos mismos átomos de carbono unidos entre sí mediante enlaces simples. Normalmente son denominados cicloalcanos, alcanos cíclicos y naftalenos. Su fórmula química es C_nH_{2n} (Sánchez et al., 2017).

Insaturados: Son hidrocarburos que en su estructura tienen como mínimo un enlace doble, existen dos subdivisiones en el caso de los cicloalcanos (C_nH_{2n-2}), o un enlace triple (C_nH_{2n-4}) (Rodríguez, 2017). Los cicloalcanos son hidrocarburos saturados

cuyo esqueleto es formado únicamente por átomos de carbono unidos entre ellos con enlaces simples en forma de anillos. Aún como contaminantes del aire se encuentran entre los menos reactivos y no constituyen un problema importante debido a que son bioquímica y químicamente inertes (Gutiérrez,2007).

Existe hidrocarburos insaturados como cicloalquenos y son llamados así por sus cadenas que se encuentran cerradas y cuentan con un doble enlace covalente doble (Rodríguez, 2017).

2.2.2.4 Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Los disolventes derivados de alquitrán son llamados aromáticos, nombre derivado de aroma, que significa olor agradable. Las moléculas están generalmente caracterizadas por uno o más anillos de seis carbonos. Esta clasificación ha servido para distinguir los disolventes hidrocarbonados de petróleo y alquitrán (Gutiérrez, 2007).

Los hidrocarburos aromáticos se encuentran formados principalmente por dos o más anillos de benceno fusionados, los cuales diferencian en el número y posición del anillo (Ortínez et al., 2003). Los hidrocarburos aromáticos presentan a menudo insaturación, es decir, tienden a adicionar otras sustancias, sus principales reacciones producen la sustitución principalmente de átomos de hidrógeno por otros tipos o grupos de átomos. Entre los hidrocarburos aromáticos podemos encontrar el benceno, el tolueno, el antraceno y el naftaleno (Gutiérrez, 2007).

A su vez el petróleo crudo está constituido por una mezcla de hidrocarburos de diferente peso molecular, principalmente por alcanos, ciclo-alcanos y compuestos aromáticos con pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos que contienen además elementos como el nitrógeno, oxígeno y azufre (Zárate, 2015).

El petróleo crudo son los recursos naturales no renovables. Hoy en día es la principal fuente de energía en los países desarrollados, el petróleo líquido se presenta asociado a capas de gas natural, y otras veces en yacimientos que han estado enterrados durante millones de años cubiertos por estratos superiores de la corteza terrestre. Son hidrocarburos pesados los cuales son compuestos orgánicos, que se

obtienen de la extracción de la perforación de pozos. Sus características principales son color oscuro y olor fuerte (PEMEX, 2008).

El Diésel es resultado de una serie de mezcla entre hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, los cuales son derivados del procesamiento del petróleo crudo. Por otro lado, las gasolinas son aquellas que contienen 87 octanos e igual que el Diésel es derivado del petróleo crudo (PEMEX, 2008).

2.3 Impactos ambientales por hidrocarburos

En México se reporta a la industria petrolera como una fuente importante de contaminación del suelo. Las actividades de perforación, extracción, conducción y transformación del petróleo en zonas petroleras originan la contaminación del suelo y el agua ocasionada por derrames, fugas, filtraciones, lodos y recortes de perforación desde hace más de 40 años (Velásquez, 2018).

La contaminación de aguas con hidrocarburos representa un problema medioambiental que ocasiona daños ecológicos de gran importancia con un efecto negativo en diferentes ámbitos (salud, agricultura, pesca, etc.) provocando intereses y también preocupación por parte de científicos, sociedad y de las autoridades (Rodríguez, 2017).

En promedio se estima que los desechos de lodos radica entre los 27,000 litros a pocos menos de un millón de litros diarios en la producción petrolera terrestre (Calcáneo, 2016). Los derrames de hidrocarburos tienen un grado altamente contaminante especialmente en los derrames producidos por el tránsito de los buques tanto comerciales como petroleros en el mar y en la tierra (Castaño et al., 2017).

Son varios sucesos que se pueden citar, por ejemplo está el derrame del Exxon Valdez en Alaska en 1989 y el derrame de *BP Deepwater Horizon* en el Golfo de México en 2010 catalogados como los dos peores desastres ambientales en la historia que aún están afectando algunos de los ecosistemas marinos más productivos y vulnerables (Velásquez, 2018).

Los hidrocarburos tienden a comportarse de diferente manera dentro de los ambientes acuáticos como propagarse, se evaporan (volatilización), algunos tienden a disolverse, dispersan, sedimentan, en algunos casos se biodegradan o se oxida (Salazar, 2012).

No todos los impactos ambientales se deben a derrames, existe un aporte masivo y continuo que proviene de labores diversas, por ejemplo: la pesca, el transporte marítimo y de cabotaje, las operaciones de limpieza de buques y los expendios de combustible a embarcaciones pequeñas, cuyo suministro se realiza a través de mangueras sin llave de cierre al final, el vertimiento de los residuos del cambio de aceite, las latas de lubricante en lanchas, y el descargue de sentinas de los buques pequeños caen directamente al agua (Jiménez, 2006).

2.3.1 Métodos de remoción de hidrocarburos en agua

La creciente descarga de residuos industriales, domésticos y el derrame de hidrocarburos, así como otros productos químicos genera serios problemas de contaminación en las aguas, requiriendo un uso urgente de metodologías adecuadas que permitan medir la naturaleza y mecanismos de los efectos provocados por la contaminación sobre los organismos vivos (Arango et al., 2019; Calcáneo, 2016).

Los métodos usados tradicionalmente para la remoción de hidrocarburos son los físicos y químicos. Dentro de este método de remediación podemos encontrar el uso de barreras, skimmers, la quema del crudo in situ, y el uso de dispersantes. Estas técnicas generalmente son poco respetuosas con el medio ambiente (Rodríguez, 2017; Zinnur et al., 2015).

La contención es una manera de remoción viable debido a que permite mantener al hidrocarburo en un lugar determinado, así como mantener el derrame alejado de un área determinada y dirigir al derrame hacia un punto para su debida remoción (Orviz, n.d.).

Un método físico usado hace mucho tiempo para el tratamiento del agua con hidrocarburos es el uso de sorbentes (orgánicos e inorgánicos), los cuales funcionan

absorbiendo el hidrocarburo y posteriormente gestionando los residuos (Rodríguez, 2017).

Los sorbentes se usan habitualmente en forma de gránulos esféricos, varillas, molduras o monolitos con diámetros hidrodinámicos entre 0,5 y 10 mm. Deben tener una alta resistencia a la abrasión, alta estabilidad térmica y diámetros de poro pequeños, lo que da lugar a una mayor superficie expuesta y, por tanto, una elevada capacidad superficial de adsorción (Quintana & Taboada, 2018).

2.3.1.1 Sorbentes inorgánicos

Los sorbentes inorgánicos son materiales que proceden del sustrato terrestre, a su vez, estos pueden clasificarse en naturales y artificiales, siendo los últimos los que causan un mayor impacto ambiental en su etapa de síntesis (ITOPF, 2012; Rodríguez, 2017).

Entre los sorbentes naturales inorgánicos podemos encontrar la arcilla, vermiculita, arena y la ceniza volcánica. Tienen la capacidad de sorber de 4 a 20 veces su peso en hidrocarburo, además son económicos y abundantes en la naturaleza. Debido a que el uso de sorbentes se puede ver limitado por las condiciones climatológicas, su aplicación se ve restringida a los pequeños derrames en bahías, estuarios y zonas donde el agua es tranquila y las corrientes mínimas. La aplicación de los sorbentes es muy útil con el uso simultáneo de barreras de contención y en zonas donde el uso de dispersantes es indeseable debido a sus efectos ecológicos (Alaa El-Din et al., 2018; Salazar, 2012).

2.3.1.2 Sorbentes inorgánicos artificiales

Dentro de la clasificación de los sorbentes sintéticos se encuentran el poliuretano, polietileno y las fibras de nylon. La mayoría de estos pueden retener más de 70 veces su peso en hidrocarburo y algunos de ellos presentan la posibilidad de ser limpiados y reutilizados. Entre sus principales desventajas se encuentra su origen xenobiótico, difícil manejo y almacenamiento antes de su disposición final (Salazar, 2012). Este tipo de sorbentes tienen buenas propiedades hidrofóbicas y oleofílicas, pero su principal desventaja es la ausencia de biodegradabilidad (Quintana & Taboada, 2018).

Con referencia a los productos sintéticos, sus capacidades de absorción son por lo general altas, son de bajo costo y de fácil disponibilidad. Aunado a esto una porción considerable del hidrocarburo puede ser recuperada de algunos absorbentes, tales como el grafito exfoliado, de tal forma que el absorbente se puede reutilizar varias veces y recuperar el hidrocarburo (Téllez, 2008).

2.3.2 Sorbentes orgánicos

Entre este tipo de sorbentes se pueden mencionar el bagazo de caña, la fibra de coco, turba, paja, pulpa de papel y el aserrín (ITOPF, 2012; Rodríguez, 2017; Salazar, 2012). Los sorbentes orgánicos vegetales son por lo general fibras naturales, como Kenaf, algodón, musgos (del género *Sphagnum*), entre otros. Estos materiales presentan la ventaja de ser biodegradables y seguros para su disposición (Armada et al., 2008; Téllez, 2008).

Entre todos los métodos de limpieza de derrames de hidrocarburos que muestran buenos resultados en la eliminación de aceite de la superficie del agua, la limpieza por sorbente se considera uno de los más eficientes (Olga et al., 2014; Valle, 2018). El empleo de residuos lignocelulósicos para la recuperación de hidrocarburos ya sea como material libre o con barreras (bolsas) puede ser una alternativa sustentable de recuperación de hidrocarburos derramados en suelos y aguas (Téllez, 2008).

Recientemente se presta atención a los sorbentes naturales agroalimentarios, porque son ecológicos, no tóxicos, biodegradables, tienen alta efectividad, son reutilizables, materiales de bajo costo y por lo general son abundantes en la naturaleza (Anuzyte & Vaisis, 2018).

La remediación en agua mediante sorbentes naturales son uno de los métodos más fiables, rápidos, rentables y fácilmente disponibles para eliminar los derrames de aguas contaminadas y reducir las afectaciones sobre el medio ambiente. En algunos casos investigadores buscan mejorar el potencial del material natural que se utilizará como sorbentes para el tratamiento de derrames de petróleo con un éxito significativo (Quintana & Taboada, 2018).

Tendrá que tomarse en cuenta su carácter hidrofóbico, además, debe presentar flotabilidad incluso cuando esté saturado de aceite. Al elegir sorbentes para la limpieza de derrames, se considerará también la capacidad de recuperación de aceite disponible para el sorbente y el método de eliminación del material engrasado (Olga et al., 2014).

Algunos materiales orgánicos naturales empleados como adsorbentes en las operaciones de limpieza de derrames de hidrocarburos tanto en suelos como en cuerpos de agua, concluyen que los resultados de la capacidad de adsorción dependían de algunas variables como la viscosidad del hidrocarburo, granulometría y estructura del material (Quintana & Taboada, 2018).

Otro aspecto para considerar, serán las propiedades del aceite como la concentración, gravedad específica, temperatura y cantidad de aceite. Según (Zinnur et al., 2015) uno de los principales objetivos para desarrollar tecnologías de limpieza de agua es obtener materiales sorbentes naturales que no requieran ninguna preparación preliminar complicada.

Las propiedades hidrófobas-oleofílicas dependen del componente químico del sorbente, la cantidad de cera superficial, la configuración física de la fibra, la rugosidad superficial y su porosidad (Anuzyte & Vaisis, 2018). La celulosa como uno de los componentes estructurales importantes de los materiales de la planta es de especial atención (Olga et al., 2014). Los sorbentes orgánicos naturales se componen principalmente de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N) en forma de celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa (Anuzyte & Vaisis, 2018).

2.4 Generalidades del aserrín

2.4.1 Aserrín

El aserrín es un subproducto del corte resultante de la madera, lijado, corte con sierra y otras herramientas enfocado a la actividad forestal o a la agricultura. En muchas partes del mundo estos subproductos son arrojados y quemados lo cual constituye un serio problema ecológico (Tabugbo et al., 2014).

Es un producto de desecho del procesamiento de la madera y se encuentra formado por tres componentes principales: lignina, celulosa y la hemicelulosa. La lignina, se produce naturalmente entre las capas de recubrimiento de celulosa y hemicelulosa, capas de xilema y paredes de fibra de la célula es el componente más recalcitrante, y por lo tanto protege a los componentes menos recalcitrantes de polisacáridos contra el ataque microbiano (Huerta, 2012; Padilla & Jiménez, 2012).

2.4.1.1 Composición química del aserrín

La madera está constituida principalmente por materias orgánicas como el carbono en un (50%), hidrógeno (6%), oxígeno (44%) y nitrógeno (0.1%). Estos elementos al estar combinados forman dos grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, hemicelulosa (poliosas), lignina y también pequeñas cantidades de sustancias pécticas, que están presentes en todas las maderas (Padilla & Jiménez, 2012).

El otro grupo lo conforman las sustancias que constan de baja masa molar conocidas como sustancias extraíbles las cuales se encuentran en menores cantidades. La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere entre las maderas de coníferas y latifolias, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas (Padilla & Jiménez, 2012).

2.4.1.2 Celulosa

Es el principal componente de la pared celular de los árboles y diversas plantas. Es una fibra vegetal cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta, así como también su cantidad presente. La celulosa es constituida por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos, su estructura (en la Figura 1 se muestra la estructura de la celulosa) se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, siendo esta una de sus principales propiedades debido a que es insoluble en agua (Cruz, 2014).

El término celulosa se utiliza para denominar a un grupo de moléculas que poseen semejanza estructural, similares en propiedades químicas, y que presentan gran dificultad para su separación intermolecular. Las plantas generan celulosa a partir de la glucosa que sintetizan por medio de la fotosíntesis. La estructura de la celulosa

puede adoptar dos estados, el primero es celulosa cristalina dependiendo de si los puentes de hidrógeno se forman entre polímeros de glucosa, o si las cadenas de glucosa forman puentes de hidrógeno con moléculas de agua su estado de será celulosa amorfa (Huerta, 2012).

Tiende a tener peso molecular variable. La celulosa es considerada como un combustible, esto gracias a sus reacciones exotérmicas, la principal función de la celulosa en la fibra vegetal es el sostén. En forma pura es una sustancia fibrosa sólida blanca que no posee olor ni sabor, es uno de los polímeros con mayor abundancia en la naturaleza (Piedad & Zuluaga, 2017)

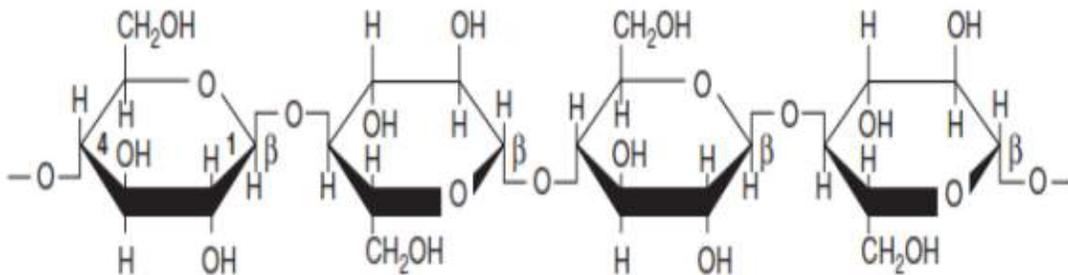


Figura 1. Estructura de la celulosa (Carbonell, 2016).

2.4.1.3 Hemicelulosa

Es la porción de celulosa que puede ser extraída de la madera mediante álcalis diluidos, calientes o fríos, e hidroliza en ácidos o componentes del azúcar utilizando ácidos diluidos. Es una sustancia amorfa compuesta de polisacáridos como manosa, galactosa, arabinosa, xilosa, ácidos urónicos y, en algunos casos, ramnosa (Padilla & Jiménez, 2012). De acuerdo con (Huerta, 2012) quien definió a la las hemicelulosas como heterosacáridos constituidos por pentosas y hexosas.

La hemicelulosa se encuentra fundamentalmente en las maderas duras y plantas agrícolas, como hierbas, pajas y posee la estructura mostrada en la Figura 2. Además, tiene un peso molecular inferior a la celulosa, y está ramificada con cadenas laterales cortas que constan de diferentes azúcares, los cuales representan polímeros fácilmente hidrolizables. La hemicelulosa es la conexión entre la lignina y

las fibras de celulosa, es la que le da la rigidez al complejo lignocelulósico (Carbonell, 2016).

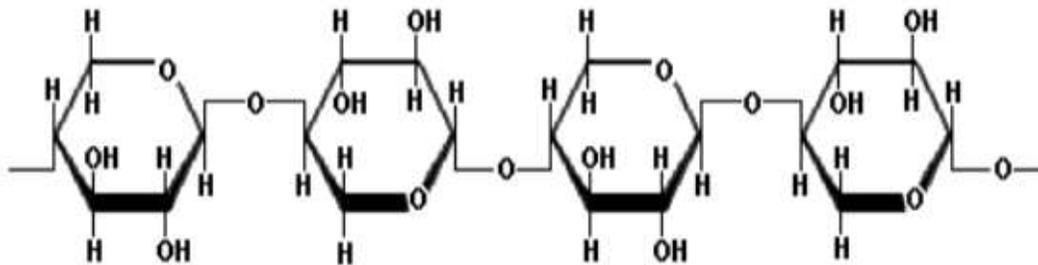


Figura 2. Estructura de la Hemicelulosa (Carbonell, 2016).

2.4.1.4 Lignina

La lignina es el tercer polímero más abundante en la naturaleza, está presente en las paredes celulares de las plantas y está constituida por una superficie rígida, impermeable esto gracias a su estructura presentada en la figura 3, es resistente al ataque microbiano y al estrés oxidativo. La lignina es una red amorfa heteropolímero de unidades fenil propano (p-coumaril, coniferilico y alcohol sinapílico) se mantienen unidas por diferentes vínculos. La lignina está generalmente aceptada como el "pegamento" que une los diferentes componentes de la biomasa lignocelulósica, por lo que, es insoluble en agua (Carbonell, 2016). A diferencia de los otros polímeros, la lignina está compuesta de monómeros de carácter aromático (Huerta, 2012).

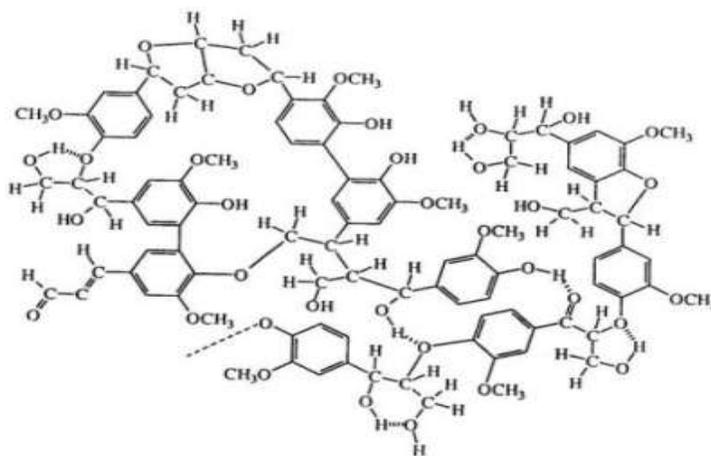


Figura 3. Estructura de la Lignina (Carbonell, 2016).

Dentro de la función estructural de la lignina podemos encontrar que confiere resistencia a las paredes celulares, facilita el transporte de agua, además, impide la degradación de los polisacáridos de la pared, actuando como un importante mecanismo de defensa contra los agentes patógenos, insectos y otros herbívoros (Huerta, 2012).

2.4.2 Características de la especie estudiada *Cedrela odorata* L (cedro).

Pertenece al género de *Cedrela* y a la Familia Meliaceae. Sus principales características generales son la corteza fisurada a lo largo del fuste, principalmente de color oscuro hasta moreno rojiza, con partes de la superficie blanquecina y brillante; el tronco suele ser recto, esbelto y con pequeños contrafuertes en la base, las hojas al estrujarlas despiden un olor amargo, dicha característica se extiende al sabor de la madera. En México se encuentran distribuidos en Tamaulipas, San Luis Potosí hasta Yucatán, Sinaloa-Guerrero, Chiapas (Padilla & Jiménez, 2012).

Es un Árbol caducifolio de altura promedio de 20 a 35 m, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1.7 m. Tienen una copa grande, redondeada, robusta y extendida. Las características del tronco son recto, robusto, formando a veces pequeños contrafuertes poco prominentes. Su corteza Interna es rosada cambiando a pardo amarillenta, fibrosa y amarga. Su origen es de América tropical hasta Argentina se han encontrado también en las Islas del Caribeen los cuales se encuentra Cuba, Isla de Pinos, Martinica, Antigua, las Antillas (Gálvez et al., 2020).

En México, el cedro rojo es una especie de alto valor económico, aprovechada y propagada por el hombre; su utilidad ha sido muy variable, desde el uso artesanal, elaboración de implementos agrícolas, medicinal, entre otros. Su madera es fina y preciosa, utilizada por su alta calidad en la fabricación de muebles de lujo, artículos torneados, entre otros (Ruiz et al., 2018).

En el campo se utiliza en la construcción de viviendas y establos, como combustible (leña), como sombra en potreros, cafetales y plantaciones de cacao. Es la especie maderable más importante de la industria forestal en el país después de la caoba (Ruiz et al., 2018).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención de muestras

El material sorbente (aserrín de cedro) se obtuvo de una carpintería ubicada en la calle Bojalil Gil S/N. Esq. Calle las cruces. Col. Centro, perteneciente al municipio de Misantla, Ver., donde es considerado como un residuo. Se recolectó entre 2.5 y 3 Kg de sorbente el cual presentaba suciedad y diversos tamaños de partícula. El color del sorbente era entre amarillo y marrón claro.

3.2 Preparación de las muestras

3.2.1 Lavado

Una vez obtenido el aserrín, se procedió a realizar el lavado con agua potable en un recipiente boca ancha de plástico con 4 L de capacidad, el lavado consistió en 2 enjuagues manuales con repetidas agitaciones para remover la mayor cantidad de suciedad posible sin la adición de detergente.

3.2.2 Secado

Después del lavado, la muestra se dejó escurrir por 1 hora e inmediatamente se sometió al proceso de secado, en el cual se utilizó un esterilizador electrónico quirúrgico marca CAISA modelo 12-27 a una temperatura de 105°C por 24 horas o hasta alcanzar peso constante.

3.2.3 Molienda

El material no requirió molienda debido a que mostraba diferentes tamaños de partícula, por lo cual se decidió que solo sería tamizado para obtener dos tipos de tamaño de sorbente.

3.2.4 Tamizado

Se clasificó dos tamaños de la partícula con tamices del grupo FIISCA. Se utilizó el tamiz número 8 con abertura de 2.38 mm y el tamiz número 16 con tamaño de abertura 1.20 mm, los cuales se encuentran en las instalaciones de la nave industrial ubicada en el interior del Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM).

3.3 Determinaciones de las propiedades de sorbente

3.3.1 Densidad de almacenamiento

Para obtener la densidad del sorbente a un volumen de 100 mL, se utilizó una probeta graduada (150 mL) de vidrio y una balanza digital marca DENVER, el método consistió únicamente en llenar la probeta a la altura de 100 mL, evitando la compactación del material, el sorbente reunido se trasladó a un soporte previamente tarado.

La densidad de almacenamiento se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

D: Densidad

M: Masa del sorbente (g)

V: Volumen (L)

3.3.2 Prueba de flotabilidad

1.- Se pesaron 4 g de la muestra del sorbente y se procedió a colocarla en un Matraz Erlenmeyer de vidrio de 1 litro (el cual se llenó con agua potable a la altura de 500 mL), se selló con Clean pack para evitar el derrame de líquido a causa de la agitación.

2.- El matraz se montó en el agitador CIVEQ ARH-5, estableciendo una frecuencia de 150 repeticiones por minuto (rpm) durante un lapso de 15 min. Se concluirá como resultado negativo a flotabilidad, si más del 10% del sorbente se hunde.

3.- El contenido del frasco se filtró a través de una malla para capturar el sorbente que floto, después de un lapso de 30 segundos reposando en la malla se procede al secado del sorbente en donde se utilizó un esterilizador electrónico quirúrgico marca CAISA modelo 12-27 a una temperatura de 105°C hasta alcanzar peso constante.

5.- El porcentaje de flotabilidad se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$F = \frac{Sf \times 100}{Cs}$$

Donde:

F: Flotabilidad (%)

Sf: Sorbente flotante (g)

Cs: Cantidad neta de sorbente (g)

3.3.3 Prueba corta de capacidad de retención

1.- Se peso 1 g de la muestra de sorbente seco a tamaños de partícula 1.20 y 2.38 en la balanza analítica.

2.- Se pesaron las bolsas de malla marca Whitmor en la balanza analítica DENVER las cuales debían tener medidas de 4 cm x 4 cm.

3.- El sorbente se vertió en las bolsas de malla marca Whitmor.

4.- En matraces Erlenmeyer con capacidad de 250 ml se vertió 50 ml de agua después se agregó 2 cm de espesor de hidrocarburo (Gasolina, Diésel y Petróleo crudo). Posteriormente se introdujo el sorbente procurando que no toque el agua, en las pruebas realizadas los matraces fueron tapados con Clean pack para evitar la volatilización del hidrocarburo.

5.- Se dejó pasar 15 minutos de contacto de la muestra con el hidrocarburo, una vez transcurrido el tiempo de contacto se sacó y se escurrió por 30 segundos.

6.- Se vuelve a pesar la muestra impregnada con hidrocarburo en donde se utilizó una caja Petri de plástico como soporte.

7.- Para determinar la capacidad de sorción de hidrocarburos, se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$Cs = \frac{m_t - m_o}{m_o}$$

Donde:

C_s = Capacidad de sorción.

m_t = Masa del material impregnado (peso del sorbente orgánico e hidrocarburo sorbido) (g).

m_o = Masa del material sorbete seco (g).

8.- Cada prueba tendrá 5 repeticiones.

3.3.4 Prueba larga de capacidad de retención

Para la prueba larga el procedimiento es similar al mostrado anteriormente de la prueba corta, la diferencia es el tiempo en el cual se dejó el sorbente en contacto con el hidrocarburo, en la prueba corta fue de 15 minutos y en la prueba larga es de 24 horas.

3.3.4 Determinación del tiempo óptimo de contacto

Para la determinación del tiempo óptimo se utilizó la misma metodología mostrada en prueba corta de capacidad de retención con la variación del tiempo en el cual el hidrocarburo estuvo en contacto con el sorbente. Los tiempos cortos fueron 5, 10, 15, 20, 30 minutos. En tiempos largos se contempla hasta las 24 horas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinaciones de las propiedades del material sorbente

El aserrín según el protocolo ASTM F726-99 es un material tipo II, los cuales son materiales considerados sueltos, particulados no sólidos fáciles de manipular.

4.2 Densidad de almacenamiento

La densidad de almacenamiento se determinó mediante el peso del aserrín en un volumen de 100 mL, para esta prueba se utilizaron tamaños de partícula 1.20 mm y 2.38 mm, los resultados son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Densidad de almacenamiento del material lignocelulósico.

Tamaño de partícula (mm)	Número de tamiz	Densidad (g/L)
2.38	8	108
1.20	16	177

En investigaciones anteriores se determinó que las plumas de pollo con características similares al tamaño de partícula al aserrín obtuvieron una densidad de 40 y 30 g/L en tamaños de partículas de 1.20 y 2.38 mm (García, 2019). La densidad de almacenamiento de bagazo de zafra (sometido a tratamiento con hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno) fue de 89,5 g/L, determinada según método F 726-12 a un tamaño de partícula de 3.5 mm (Díaz et al., 2018).

La densidad de almacenamiento o aparente es una medida de densidad entre los sólidos, los poros, y los intersticios y por lo tanto varía en función de la compactación. Es preciso mencionar que es mejor la densidad del aserrín debido a podemos almacenar más material sorbente dentro de un mismo volumen que las plumas de pollo y el bagazo de zafra, lo mencionado anteriormente para llevar a cabo el diseño de un empaque y/o embalaje para una mejor manipulación, almacenaje, transporte y distribución del producto.

4.3 Flotabilidad

El protocolo ASTM F726-99 menciona que solo el 10% del total de material puesto a prueba en agua puede hundirse. Esto gracias a que la flotabilidad es una de las propiedades principales que debe cumplir el sorbente para combatir o contrarrestar la contaminación por hidrocarburos en el agua.

Tabla 2. Flotabilidad del material lignocelulósico.

Tamaño de partícula (mm)	% Flotabilidad	% de no flotabilidad
2.38	25	75
1.20	17	83

En la tabla 2 observamos que los dos tamaños de partícula puestos a prueba superan el 10% sugerido por el protocolo donde se indica que no pueden ser utilizados para la remoción de HC. Por lo tanto, el material estudiado no paso la prueba, más sin embargo consideramos que debido a las características que presenta como material biodegradable y de alta disposición el aserrín puede ser un buen material sorbente (ITOPF, 2012; Rodríguez, 2017). Por lo cual, procedimos a realizar las pruebas de sorción con los diferentes tipos de hidrocarburos estudiados y a los tiempos de retención propuestos.

4.4 Prueba corta de capacidad de retención

Las pruebas cortas de retención son esenciales para determinar la viabilidad de los sorbentes orgánicos en el combate de los derrames de hidrocarburos (Cova & Jiménez, 2012; Espinoza & Hernandez, 2020) debido a que estos últimos causan un impacto de manera rápida en los ecosistemas que los rodea, es por ello por lo que los sorbentes deben tener una capacidad de sorción inmediata para evitar que los hidrocarburos sigan dañando al ambiente por un tiempo prolongado. Dado las anteriores circunstancias se tiene que probar la capacidad del sorbente al estar en contacto con los diferentes tipos de hidrocarburos (Gasolina, Diésel y Petróleo crudo) en tiempos cortos.

Las propiedades de los diferentes HC en estudio como lo es la viscosidad jugará un papel importante en cada una de las pruebas, así como también la afinidad del aserrín para el Petróleo crudo, Diésel y la Gasolina.

4.4.1 Gasolina

Esta prueba se realizó en un tiempo de remoción de 15 minutos a tamaños de partícula 1.20 y 2.38 mm. De acuerdo con la figura 4 el tamaño de partícula 1.20 mm desempeño una capacidad de remoción mayor a 3 g/g sorbente, en el tamaño de partícula 2.38 mm fue superior a 2 g/g sorbente.

En una investigación presentada por Valle (2018) la capacidad de sorción mostrada por el aserrín de Guarumbo (*Cecropia peltata*) fue de 2.87 g/g de sorbente en un tiempo de 15 minutos, lo cual presenta el 91% de remoción presentado por el aserrín de cedro a 1.20 mm y mostro mejor remoción en un 22% que el aserrín de cedro a tamaño 2.38 mm.

Estudios realizados por Salazar (2012) en el cual estudió las plumas de pollo (material queratinoso) determinó que la capacidad de retención de gasolina más alta fue para el vexilo con 12 g/g sorbente y las plumas cortadas a tamaño de partícula de 1 cm cuya capacidad de retención fue de 10.70 g/g sorbente, en la Tabla 3 se detallan los resultados a diferentes tamaños de partícula.

Tabla 3. Capacidad de sorción de Gasolina por el material queratinoso.

Capacidad	Tamaño (cm)	Sorción (g/g)
C1	5	6.2
C2	7	5.1
C3	7	4.9
C4	10	2.1
C5	13	1.2
Raquis	1	.6

Fuente: Salazar, 2012

Estos datos reportados por el autor muestran una mejor sorción de gasolina por parte de las plumas de pollo de menor tamaño (C1, C2, C3), de acuerdo con los resultados

obtenidos de las pruebas realizadas a él aserrín a tamaño de partícula 1.20 mm mostro un desempeño 81% mejor en comparación con los raquis, en relación con las capacidades 4 y 5 obtuvo una remoción mejor de 33 y 62%.

A tamaño de partícula 2.38 mm mostró una remoción mayor en un 7% respecto a la capacidad 4, así mismo a la capacidad 5 con un 47% de mayor efectividad, además, fue superior a los raquis en un 74%.

Investigación realizada por García (2019) (material queratinoso) encontro una eficiencia similar de retención de gasolina reportado por Salazar (2012) en relación con vexilo y plumas cortadas, en tamaño 1.20 mm presentó remoción de 15.96 g/g de sorbente y en el tamaño 2.38 mm mostro una capacidad de 15.77 g/g de sorbente, dichas capacidades son superiores a las mostradas por el aserrín.

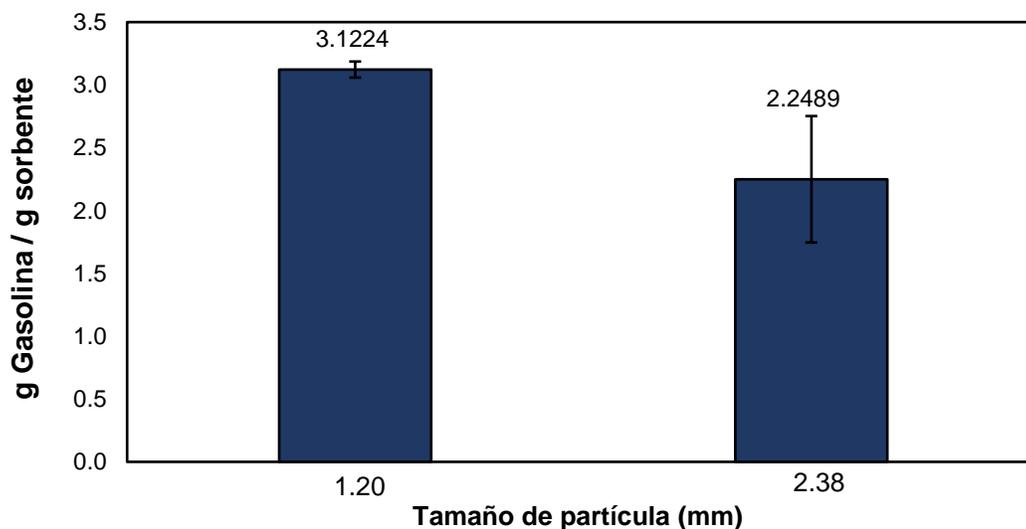


Figura 4. Sorción de Gasolina a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.

4.4.2 Diésel

En la figura 5 el tamaño de partícula 1.20 mm presento un rendimiento mayor a 2 g/g de sorbente, mientras tanto en el tamaño de partícula 2.38 mm mostro un rendimiento de igual manera superior a los 2 g/g de sorbente.

Datos reportados por Salazar (2012) en donde evaluó diferentes componentes y tamaños de las plumas de pollo (resultados detallados en la Tabla 4), determinó que la capacidad de retención más alta para el Diésel fue por parte del vexilo con 16.30

g/g sorbente y las plumas cortadas (1 cm) cuya capacidad de retención fue de 12.60 g/g sorbente.

Tabla 4. Capacidad de sorción de Diésel por material queratinoso.

Capacidad	Tamaño (cm)	Sorción (g/g)
C1	5	9.6
C2	7	9.1
C3	7	7.3
C4	10	2.6
C5	13	1.4
Raquis	1	1.1

Fuente: Salazar, 2012

Datos reportados por el autor muestran mejor sorción de Diésel por parte de las plumas de pollo de menor tamaño (C1, C2, C3), de acuerdo con los resultados obtenidos de los estudios realizados al aserrín a tamaño de partícula 1.20 mm mostro mejor desempeño en un 62% en comparación con el resultado del raquis y en las capacidades 4 y 5 en donde mostros mejores resultados en un 9 y 51%.

A tamaño de partícula 2.38 mm de igual manera el aserrín presento una remoción mayor a la capacidad 4 y 5 con 8 y 51% respectivamente, además, fue superior a la sorción mostrada por los raquis en un 61%.

Por su parte Cárdenas (2017) evaluó la cascarilla de arroz, ceniza de cascarilla de arroz, cáscara de banano, cáscara de cacao (el tamaño de partícula no fue mencionado por el autor) como sorbentes naturales los cuales fueron sometidos a tratamiento químico para mejorar su capacidad de remoción se obtuvo que la cascarilla de arroz removió 1.42 g/g sorbente con un tratamiento de ácido clorhídrico lo cual representa el 50% de la remoción que mostro el aserrín sin tratamiento químico y 2.07 g/g sorbente tratado con hidróxido de sodio el cual representa el 72% de la remoción presentada por el aserrín a tamaño de partícula 1.20 mm y datos similares al tamaño 2.38 mm.

Las cenizas de cascarilla de arroz tuvieron una capacidad de remoción de 2.37 g/g sorbente con tratamiento químico por ácido clorhídrico de tal forma que representa el 83% de remoción mostrada por el aserrín y 2.17 g/g sorbente con tratamiento de hidróxido de sodio en comparación con el aserrín representa el 76% de remoción ambos en tamaño de partícula 1.20 mm, de igual manera la capacidad del aserrín a tamaño 2.38 mm mostro datos similares respecto al tamaño de partícula 1.20 mm.

La cáscara de plátano mostro una remoción de 1.47 g/g de sorbente con tratamiento químico de ácido clorhídrico de tal forma que representa el 51% de remoción respecto al aserrín y 1.34 g/g de sorbente con el tratamiento de hidróxido de sodio esta remoción representa el 47% respecto a la presentada por el aserrín a tamaño 1.20 mm y similar a la representada a tamaño de partícula 2.38 mm.

La cáscara de cacao con tratamiento químico de ácido clorhídrico mostro una capacidad de .69 g/g de sorbente lo cual representa el 24% de remoción presentada por el aserrín y .83 g/g sorbente tratado con hidróxido de sodio representando el 29% de la capacidad respecto al aserrín en el tamaño de partícula 1.20 mm y a tamaño 2.38 mm son resultados similares.

En su investigación Lezama et al., (2012) utilizó el aserrín de palma en la remoción de Diésel presento como resultado 2.97 g/g de sorbente, la sorción presentada por el aserrín de cedro representa el 95% de la capacidad de sorción mostrada por la palma y el aserrín de pino mostro una remoción de 4.56 g/g de sorbente por su parte el aserrín de cedro mostro el 62% respecto a la sorción presentada por el pino.

El aserrín de cedro mostro mejores resultados respecto a los sorbentes cascarilla de arroz, cenizas de cascarilla de arroz, cáscara de cacao y cáscara de banano los cuales tuvieron tratamiento químico, sin embargo, en comparación con el aserrín de palma y pino mostro menor capacidad de remoción. Podemos afirmar que el aserrín es buen sorbente para el Diesel.

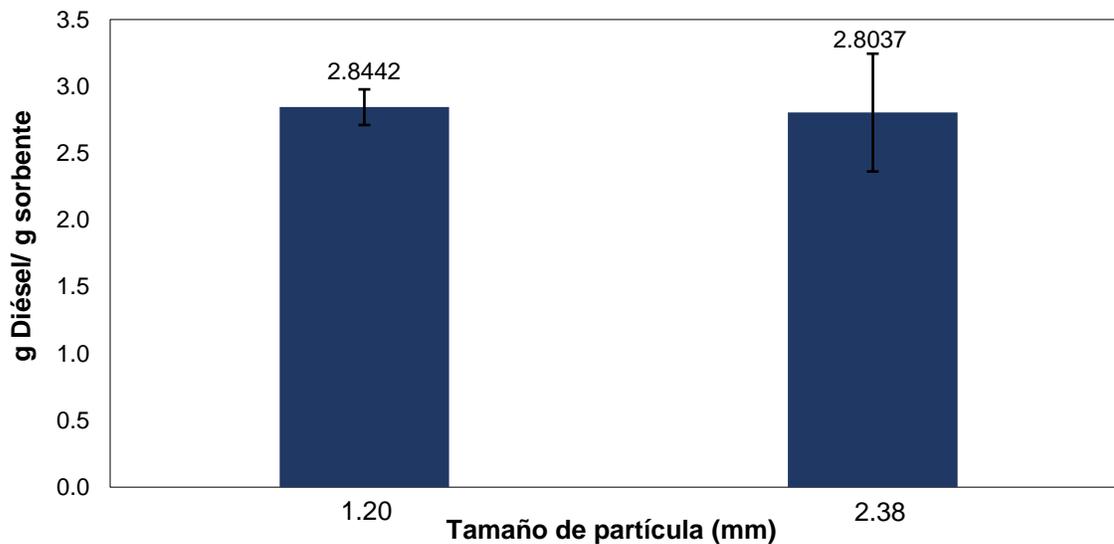


Figura 5. Sorción de Diésel a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.

4.4.3 Petróleo crudo

En la figura 6 el tamaño de partícula 1.20 mm fue quien presento mejor rendimiento con 4 g/g de sorbente, mientras tanto a 2.38 mm mostro un rendimiento superior a los 3 g/g de sorbente.

Por otro lado, un estudio realizado por Salazar (2012) donde utilizó las plumas de pollo (material queratinoso) a diferentes tamaños, determinó que la capacidad de retención de Petróleo crudo más alta fue presentada por el vexilo con 36.40 g/g sorbente y las plumas cortadas con medidas de 1 cm cuya capacidad de retención fue de 34.60 g/g sorbente (Tabla 5).

Tabla 5. Capacidad de sorción de Petróleo crudo por el material queratinoso.

Capacidad	Tamaño (cm)	Sorción (g/g)
C1	5	20.5
C2	7	19.9
C3	7	16.7
C4	10	5.9
C5	13	2.7
Raquis	1	2.1

Fuente: Salazar, 2012

Los datos reportados muestran una mejor remoción de petróleo crudo por parte de las plumas de pollo de menor tamaño (C1, C2, C3, C4), de acuerdo con los resultados obtenidos de los estudios realizados al aserrín a tamaño de partícula 1.20 mm mostro mejor desempeño en comparación con los raquis en un 48% y la capacidad 5 hasta un 33% mejor. A tamaño de partícula 2.38 mm de igual manera se presentó una remoción mayor a la capacidad 5 hasta en un 27%, además, fue superior a la sorción mostrada por el raquis con una remoción superior del 43%.

Así mismo Téllez (2008) evaluó la capacidad de diferentes materiales lignocelulósicos como forraje de maíz, alfalfa forrajera, avena forrajera, cebada forrajera y aserrín para la remoción de petróleo crudo. La mayor sorción la presentó el aserrín alcanzando a retener 3.99 g/g de sorbente de tal forma que es igual a la presentada por el aserrín de cedro, la alfalfa mostro una sorción de 3.50 g/g de sorbente de modo que representa el 87% respecto al aserrín, la avena removió 2.32 g/g de sorbente mientras tanto representa el 58% respecto a la capacidad del aserrín, la cebada tuvo una remoción de 2.88 g/g sorbente lo cual representa el 72% de remoción respecto al aserrín, para el caso del forraje de maíz no mostro remoción.

Para el tamaño de partícula 2.38 mm la capacidad del aserrín de cedro representa el 91% de remoción respecto a la capacidad del aserrín reportada por el autor, la alfalfa presento el 95% de la remoción alcanzada por el aserrín de cedro, la avena removió el 63% respecto a la capacidad del aserrín, la cebada mostro una remoción del 78% respecto al aserrín.

Investigación realizada por García (2019) la sorción máxima de petróleo por el material queratinoso, es de 18.72 g/g material sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm y obtuvo 16.88 g/g sorbente a tamaño de partícula de 1.20 mm, ambas capacidades son mayores a las presentadas por el aserrín.

Estudios realizados al bagazo de caña por Martínez et al., (2017) presento como resultado una capacidad de 1.81 g/g de sorbente dicha capacidad representa el 45% de la remoción presentada por el aserrín a 1.20 mm y 49 % respecto a la capacidad mostrada en tamaño 2.38 mm.

Arango et al., (2019) evaluó al carbón activado derivado de la ralladura de la semilla *Persea americana* sometido a un tratamiento de ácido sulfúrico y solución de bicarbonato de sodio mostró una capacidad de remoción entre 12 g/g de sorbente dicha capacidad es mayor a la presentada por el aserrín en ambos tamaños de partícula.

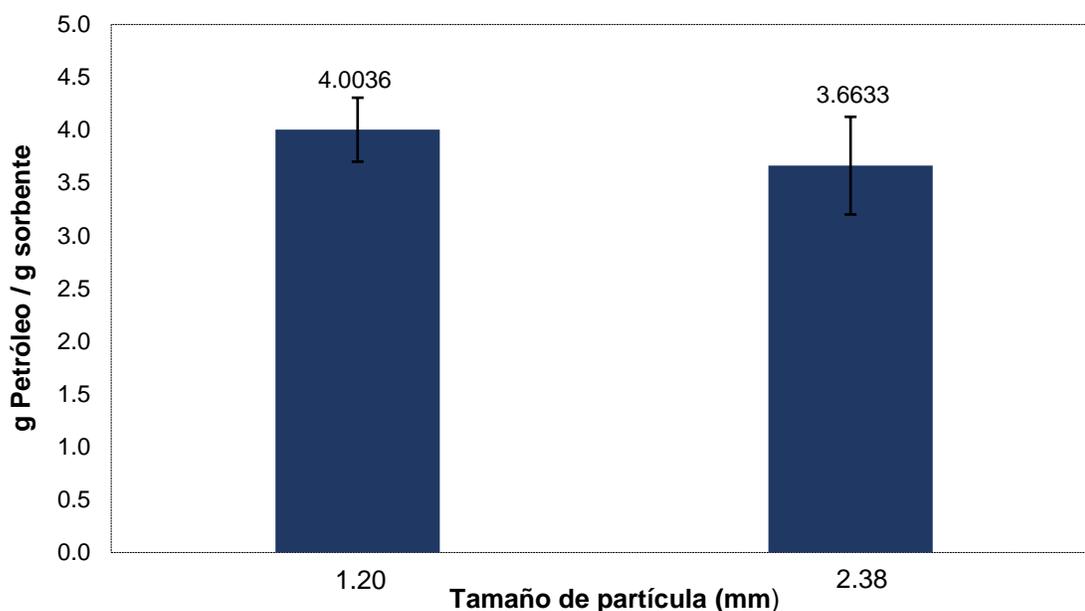


Figura 6. Sorción de Petróleo crudo a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.

4.5 Prueba larga de capacidad de retención

4.5.1 Gasolina

En la figura 7 el tamaño de partícula 1.20 mm mostró un rendimiento superior a 2 g/g de sorbente, para el tamaño de partícula 2.38 mm presentó un menor rendimiento con 2 g/g sorbente. El desempeño de capacidad de sorción reportado por García (2019) por parte de las plumas de pollo en gasolina en un tiempo de prueba en 24 horas fue de 13.78 g/g material en un tamaño de partícula de 1.20 mm y para un tamaño de partícula 2.38 mm se registró una capacidad de sorción de 12.85 g/g material.

En su investigación Valle (2018) reportó que el aserrín de Guarumbo (*Cecropia peltata*) mostro una capacidad de sorción para gasolina de 2.85 g/g de sorbente, remoción similar a la presentada por el aserrín de cedro a tamaño 1.20 mm, en

comparación con el tamaño 2.38 mm presento una capacidad del 70% respecto a la reportada por el autor.

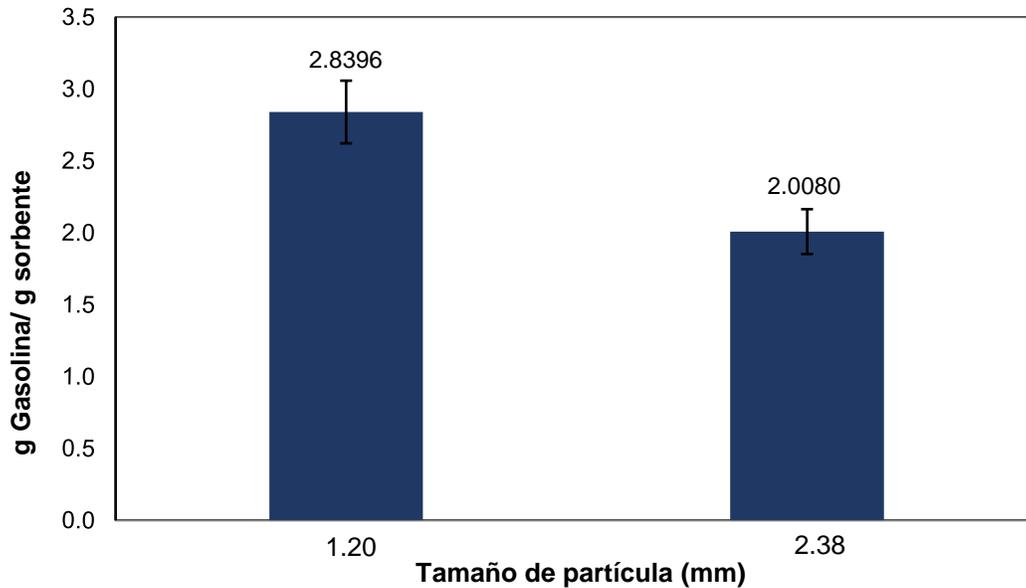


Figura 7. Sorción de Gasolina a 24 h a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.

4.5.2 Diésel

En la figura 8 observamos la sorción realizada por el aserrín en tamaño de partícula 1.20 mm que tuvo un rendimiento mayor a los 3 g/g sorbente, mientras tanto a tamaño de partícula 2.38 mm existió una sorción mayor a 2 g/g sorbente.

Resultados obtenidos de la cascarilla de arroz reportado por Cárdenas (2017) las cuales cumplieron las condiciones establecidas por la norma ASTM F726-12, con un rendimiento de 1.42 g/g sorbente (tamaño de partícula no especificado por el autor). El aserrín resulto más favorable en la remoción de Diésel en comparación con la cáscara de arroz con 2.38 g/g sorbente lo cual representa un 59% de mayor efectividad.

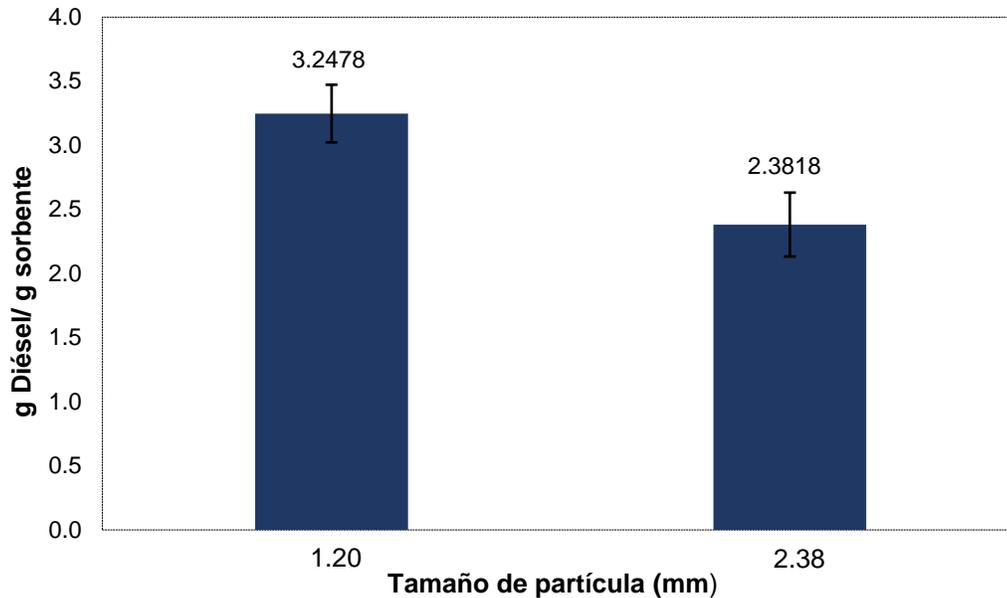


Figura 8. Sorción de Diésel a 24 h a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.

4.5.3 Petr6leo

Por su parte, en la figura 9 se muestra que a 24 horas el tama1o de partícula 2.38 mm presento un mejor rendimiento a 5 g/g sorbente mientras que el tama1o de partícula 1.20 mm presento un rendimiento de 3 g/g sorbente.

Las capacidades reportadas por Garc1a (2019) que presento el material queratinoso (plumas de pollo) en los dos tama1os de partícula fue de 16.47 g/g material para 1.2 mm y 17.37 g/g de material en un tama1o de partícula de 2.4 mm, estas capacidades son mejores a las presentadas por el aserr1n.

El bagazo de ca1a a diferentes tama1os de partícula reportado por Armada (2008) presento las capacidades de sorci3n para el petr6leo crudo (Tabla 6). El aserr1n a tama1o 2.38 presento mejor remoci3n de 87% en comparaci3n con el bagazo de ca1a en tama1o 6.3 mm y 4 mm, por su parte el bagazo mejoro su capacidad de remoci3n en tama1os menores, por su parte el aserr1n presento un 72% referente al tama1o 2 mm, 52% con el tama1o 1 mm, 39% relaci3n al tama1o .5 mm y por 6ltimo 57% respecto al tama1o .2 mm.

Tabla 6. Capacidad de sorción de Petróleo por Bagazo de caña.

Tamaño de partícula (mm)	g/g de sorbente
6.3	4.53
4	4.52
2	7.13
1	9.92
.5	13.37
.2	8.96

Fuente: Armada (2008).

Behnood et al., (2013) evaluó la remoción de petróleo crudo por parte del aserrín (tipo de madera no especificado) mostro una capacidad de 5.29 g/g sorbente dicho resultado es similar al obtenido al aserrín de cedro. Investigación realizada por Tabugbo et al., (2014) estudió al aserrín en la remoción de Petróleo crudo a diferente tamaño de partícula y afirmó que el sorbente que presentaba mayor área de superficie mostraba mejores resultados de capacidad de sorción.

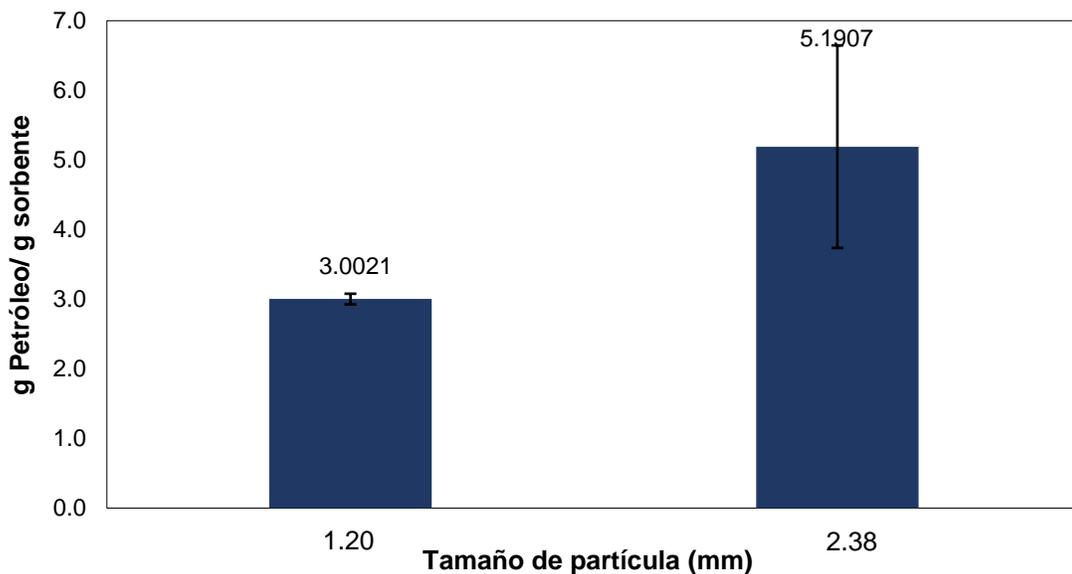


Figura 9. Sorción de Petróleo a 24 h a tamaño de partícula 1.20 y 2.38 mm.

4.6 Determinación del tiempo óptimo

4.6.1 Gasolina

4.6.1.1 Gasolina 1. 20 mm

Las pruebas constaron de tiempos de 5, 10, 15, 20, 30, y 1440 min. En la figura 10 se observa cual fue el tiempo óptimo de sorción respecto a la gasolina a tamaño de partícula 1.20 mm.

El mejor rendimiento mostrado por el aserrín fue a un tiempo de 20 minutos en donde logro remover una cantidad superior a 3 g/g sorbente, sin embargo, dado que a 10 minutos existió una sorción similar, aunado a lo que se busca es que el sorbente sea eficaz en un lapso corto de tiempo, podremos decir que a 10 min el sorbente removió aproximadamente 97% del total removido a 20 min. La sorción a 5, 15, y 30 min fue de 87%, 94% y 90% respecto a la mejor sorción. En el lapso de 1440 min la sorción mostrada fue de 2.83 g/g de sorbente lo cual representa el 86% respecto a la mejor sorción.

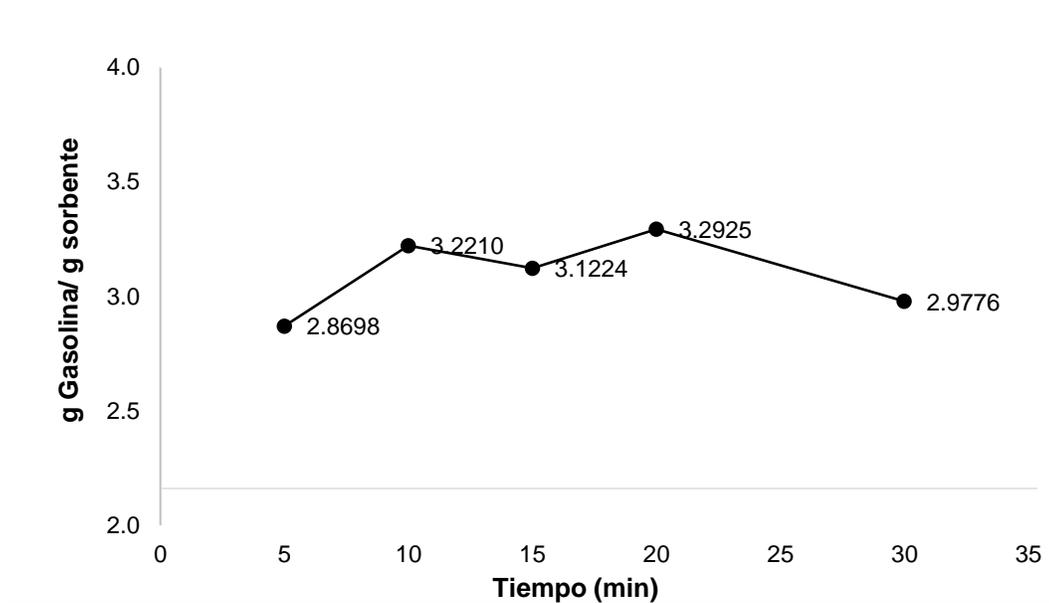


Figura 10. Tiempo óptimo de sorción de Gasolina a tamaño 1.20 mm.

4.6.1.2 Gasolina 2.38 mm

En la figura 11 se puede comprobar que la mejor sorción en el tamaño de partícula 2.38 mm fue superior a los 3 g/g sorbente a un tiempo de 5 minutos. La segunda mejor sorción fue a un tiempo de 20 minuto en el cual se removió el 71% respecto a

la primera sorción. La sorción mostrada a los tiempos 10, 15 y 30 min fue de 62%, 68% y 61% respecto a la mejor sorción mostrada a los 5 minutos. La prueba realizada a las 24 h dio como resultado una sorción de 2 g/g de sorbente lo cual representa el 60% de la mejor sorción mostrada a los 5 minutos.

Este comportamiento se puede relacionar a la adherencia que tiende a unir las moléculas de un líquido con las de un sólido, y, por otro lado, a la cohesión que tendera a mantener las moléculas del líquido unidas. Esto último puede dar una explicación del por qué en los primeros minutos existió la mayor sorción de gasolina gracias a la adherencia y en los tiempos más prolongados la cohesión puede tener un rol muy importante en la sorción.

Según Cova & Jiménez (2012) la viscosidad juega un papel importante en la capacidad de retención de HC, debido a que mientras menor sea la viscosidad menor será la capacidad de retención.

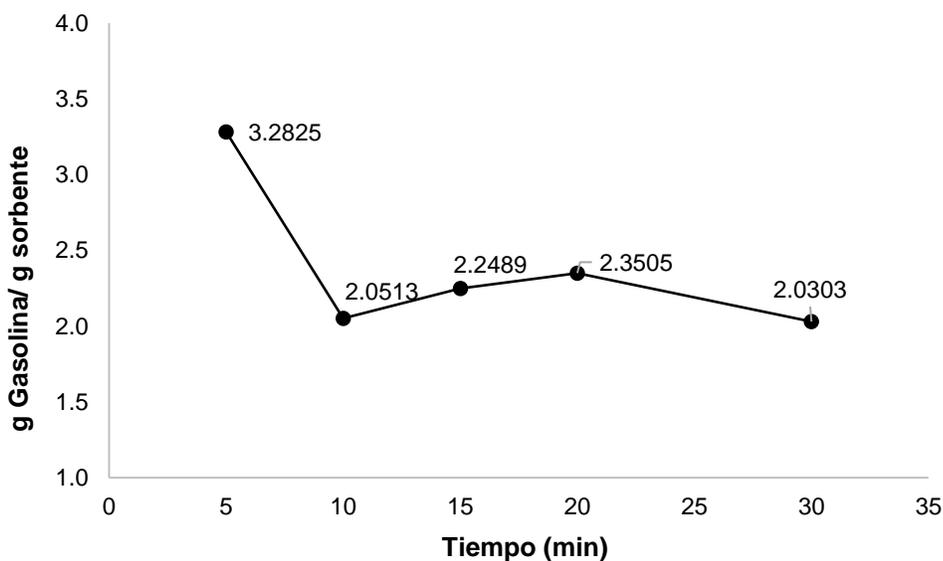


Figura 11 Tiempo óptimo de sorción de gasolina a tamaño 2.38 mm

4.6.2 Diésel

4.6.2.1 Diésel 1.20 mm

Acorde a los datos arrojados en la figura 12 a los 5 minutos se llevó a cabo la mejor sorción con 4 g/g de sorbente a tamaño de partícula 1.20 mm, y a los 10 minutos se

llevó a cabo la segunda mejor sorción siendo superior a los 3 g/g de sorbente lo cual represento el 86% del total del hidrocarburo removido. A los tiempos 15, 20 y 30 minutos se llevó a cabo el 70%, 69%, 70% de remoción respectivamente referente a la mejor sorción presentada a los 5 minutos. A las 24 h de sorción se obtuvo como resultado 3.24 g/g sorbente lo cual representa el 80% respecto a la sorción presentada en los primeros minutos.

Podemos decir que la adherencia por parte del Diésel fue aceptable en los primeros 5 minutos y a medida que transcurrió el tiempo la cohesión fue determinante para que la cantidad de sorción fuera descendiendo.

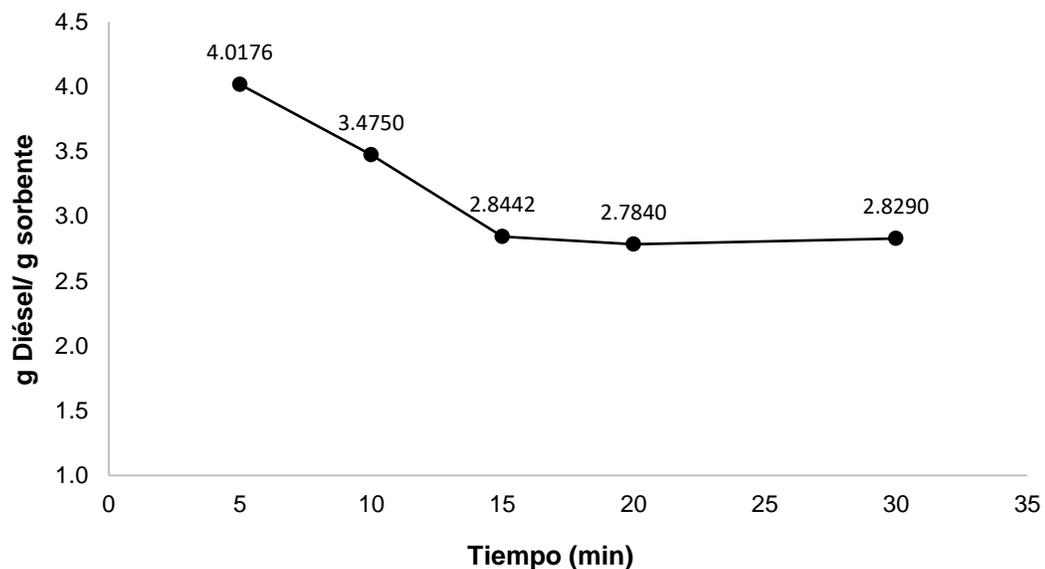


Figura 12. Tiempo óptimo de sorción de Diésel a tamaño 1.20 mm.

4.6.2.2 Diésel 2.38 mm

Acorde a los datos arrojados en la figura 13 a los 5 minutos se llevó a cabo la mejor sorción ligeramente superior a los 3 g/g sorbente a tamaño de partícula 2.38 mm, y a los 10 minutos se llevó a cabo la segunda mejor sorción con 2.84 g/g sorbente lo cual represento el 93% del total del hidrocarburo removido. A los tiempos 15, 20 y 30 minutos se llevó a cabo el 92%, 77%, 75% de remoción respectivamente referente a la mejor sorción presentada a los 5 minutos. La sorción presentada a los 1440 min fue de 2.38 g/g de sorbente lo cual presenta el 78% respecto a la mejor sorción.

Dichos valores pueden estar influenciados por la adherencia y la cohesión que se presentan entre el Diésel (líquido) y el sólido (aserrín) como se mencionó en la gráfica 12.

De acuerdo con las pruebas realizadas a los 5 minutos se obtuvo la mejor sorción en ambos tamaños de partícula, cabe mencionar que a partir de que el sorbente tocaba el hidrocarburo se lograba apreciar como el aserrín atraía con gran facilidad al Diésel. Lo cual es importante de mencionar ya que lo que se busca es que el sorbente tenga una remoción eficaz y en un tiempo prácticamente inmediato para que los HC no estén en el ambiente por mucho tiempo.

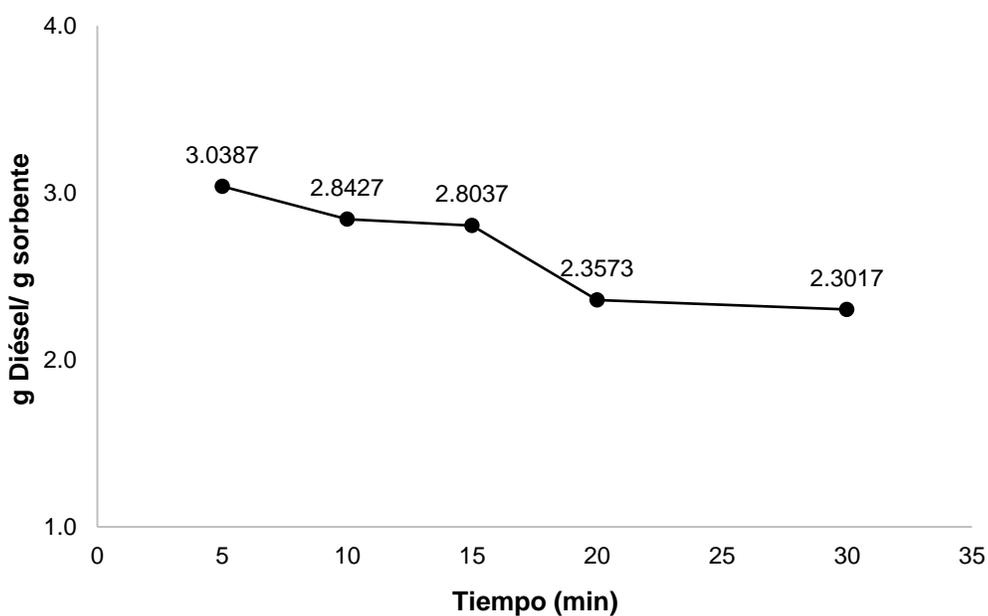


Figura 13. Tiempo óptimo de sorción de Diésel a tamaño 2.38 mm.

4.6.3 Petróleo

4.6.3.1 Petróleo 1.20 mm

En la figura 14 se evaluó la capacidad de remoción de Petróleo a tamaño de partícula 1.20 mm donde la mejor sorción fue a los 10 minutos con una remoción mayor a los 4 g/g sorbente. En los primeros 5 min se obtuvo una remoción superior a 4 g/g sorbente lo cual representa el 98% respecto a la mejor sorción presentada. A los tiempos 15, 20 y 30 minutos se llevó a cabo el 89%, 80%, 95% de remoción respectivamente referente a la mejor sorción presentada a los 10 minutos. En las

pruebas realizadas a 24 h la sorción mostrada fue de 3 g/g sorbente lo cual representa el 66% respecto a la mejor sorción antes mencionada.

En los primeros minutos de contacto entre el petróleo y el aserrín se logró efectuar las mejores sorciones, por lo cual podemos decir que esto se llevó a cabo gracias a la viscosidad del petróleo y a la baja resistencia al flujo por parte del aserrín a tamaño 1.20 mm.

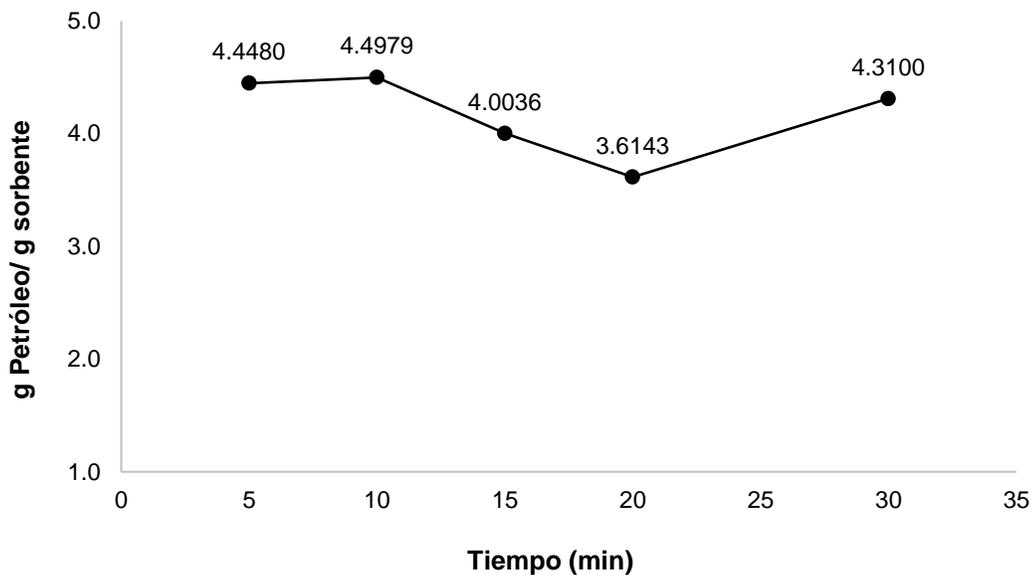


Figura 14. Tiempo óptimo de sorción de Petróleo crudo a 1.20 mm.

De acuerdo con Behnood et al., (2013) que evaluó la remoción de petróleo crudo con paja hoja de azúcar en donde obtuvo una remoción de 5.5 g/g mayor en un 19% en comparación con la capacidad de sorción del aserrín y con bagazo crudo en donde obtuvo una remoción de 8 g/g, siendo esta remoción mayor en un 44% respecto a la presentada por el aserrín, cabe mencionar que el autor no menciona el tamaño de partícula.

4.6.3.2 Petróleo 2.38 mm

En la figura 15 a tamaño de partícula 2.38 mm se logró a llevar a cabo la mejor sorción a las 24 h con un rendimiento de 5.19 g/g sorbente. A los 30 minutos se llevó a cabo la segunda mejor sorción con 3.98 g/g sorbente lo cual representa el 76% de remoción y a los 20 minutos se obtuvo una sorción de 3.82 g/g sorbente lo cual

represento el 73% del total del hidrocarburo removido. A los tiempos 5, 10, y 15 minutos se llevó a cabo el 58%, 53%, 70% de remoción respectivamente referente a la mejor sorción presentada a los 1440 minutos.

Podemos decir que a tamaño de partículas más grandes se requiere más tiempo para la sorción de Petróleo dado a la resistencia al flujo que el aserrín presenta y también a la viscosidad que el HC tiene.

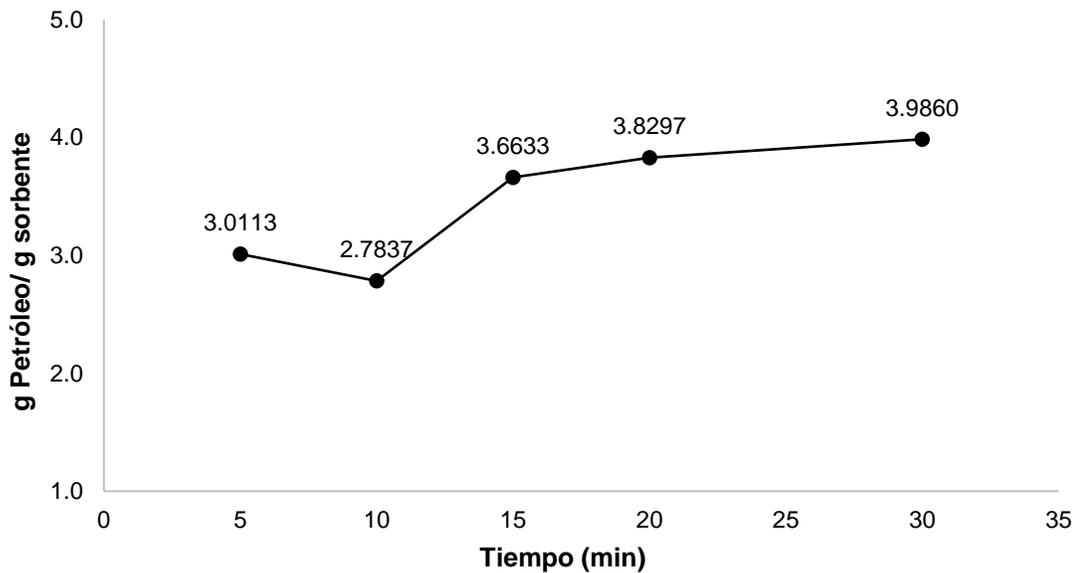


Figura 15. Tiempo óptimo de sorción de Petróleo crudo a 2.38 mm.

4.6.4 Comparación con un sorbente comercial

Para saber la sorción realizada por el aserrín se comparó con otro sorbente considerado como orgánico y que comparte propiedades fisicoquímicas similares al material sorbente estudiado, por lo tanto, seleccionamos al Peat Moss.

Este material es un musgo hidrófilo que pertenece al género *Sphagnum magellanicum* comúnmente conocidos como musgos de turbera el cual es un tipo de humedal que produce y acumula materia orgánica de origen vegetal en forma de turba. El Peat Moss es una masa esponjosa y ligera. Se describe como un material orgánico compacto, comúnmente de color pardo claro hasta oscuro y rico en carbono, tiene propiedades físicas y químicas variables en función de su origen (Dominguez & Larrain, 2007).

Está compuesto de rizoides que contiene millones de células con un vaso capilar único se usa en vertidos industriales y derrames incontrolados en el suelo, agua y subsuelo. Durante un proceso térmico se activa la turba revertiendo sus características normales, es hidrófobo y atractivo a los hidrocarburos y sus derivados (Díaz et al., 2018).

4.7 Pruebas cortas de sorción

4.7.1 Gasolina

Las comparaciones de sorción con otros materiales sorbentes nos dan una idea de la factibilidad de estos a tiempos de retención de 15 minutos, los cuales nos ayudan a decidir cuales tienen mejores resultados conforme al tiempo de remoción.

De acuerdo con figura 16 las capacidades de sorción que presento el Peat Moss respecto al aserrín mostro una baja sorción de gasolina respecto al sorbente comercial. Esto da a lugar a decir que el aserrín no es competitivo respecto a sorbentes que tienen altas capacidades de remoción de Gasolina.

El aserrín reflejó menor capacidad de sorción con una remoción superior a los 3 g/g de material lo cual representa el 40% del total sorbido por el material comercial él tuvo una eficiencia de sorción mayor de 7.62 g/g de material esto en un tamaño de partícula de 1.2 mm. Mientras tanto en el tamaño de partícula de 2.4 mm el aserrín mostró una sorción mayor a 2 g/g de material lo cual representa el 27% del total sórdido por el material comercial y finalmente el Peat Moss con una capacidad de retención de 8.13 g/g de material.

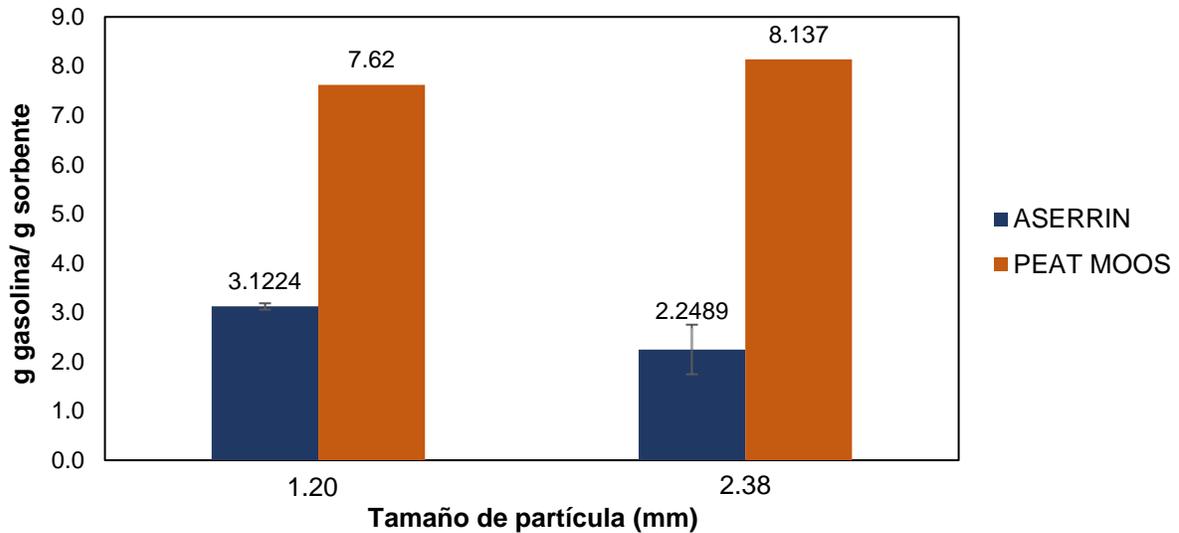


Figura 16. Prueba corta de sorción de Gasolina de aserrín vs Peat Moss.

4.7.2 Petróleo

De acuerdo con la figura 17 las capacidades de sorción que presento el Peat Moss respecto al aserrín mostro una baja sorción de Petróleo crudo respecto al sorbente comercial. Esto da a lugar a decir que el aserrín no es competitivo respecto a sorbentes que tienen altas capacidades de remoción de Petróleo crudo.

El aserrín reflejó menor capacidad de sorción con 4 g/g de material lo cual representa el 46% del total sorbido por el material comercial él mostro una eficiencia de sorción mayor de 8.56 g/g de material esto en un tamaño de partícula de 1.20 mm. Mientras tanto en el tamaño de partícula de 2.38 mm el aserrín mostró una sorción superior a los 3 g/g de material lo cual representa el 37% del total sordido por el material comercial y finalmente el Peat Moss con una capacidad de retención de 9.79 g/g de material.

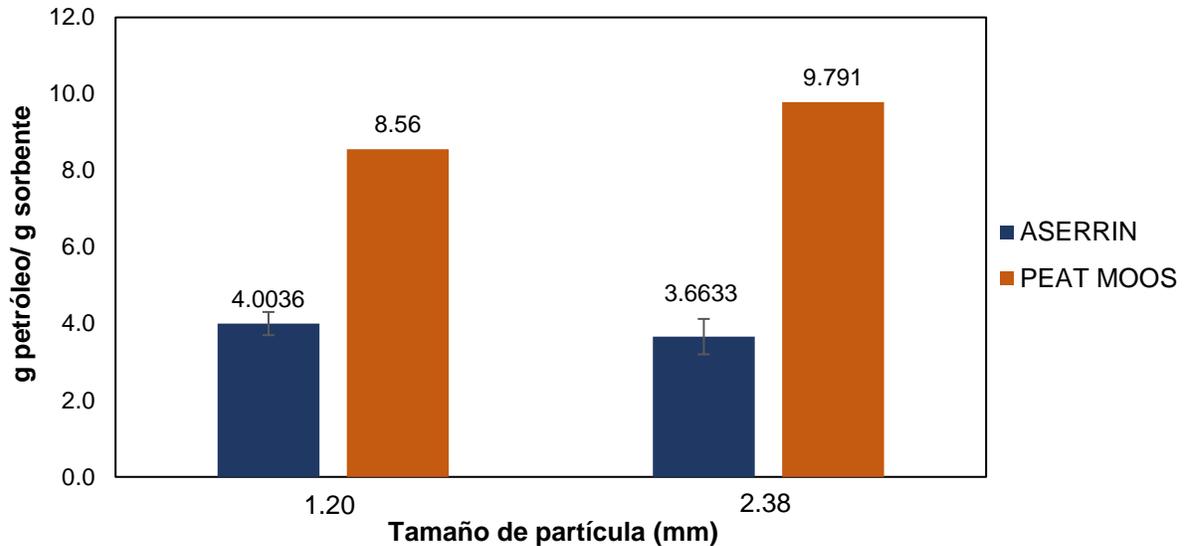


Figura 17. Prueba corta de sorción de Petróleo de aserrín vs Peat Moss.

4.8 Prueba larga de sorción

4.8.1 Gasolina

Dadas las capacidades de sorción que presento el Peat Moss respecto al aserrín el cual mostro una baja sorción de gasolina respecto al sorbente comercial. Esto da a lugar a decir que el aserrín no es competitivo respecto a sorbentes que tienen altas capacidades de remoción de HC a tiempos de remoción de 24 horas.

De acuerdo con la figura 18 las capacidades de sorción que presento el Peat Moss respecto al aserrín presento una baja sorción de gasolina respecto al sorbente comercial. Esto da a lugar a decir que el aserrín no es competitivo respecto a sorbentes que tienen altas capacidades de remoción de Gasolina a tiempos largos de remoción.

El aserrín reflejó menor capacidad de sorción con una remoción superior a 2 g/g de material lo cual representa el 34% del total sorbido por el material comercial él tuvo una eficiencia de sorción mayor de 8.31 g/g de material esto en un tamaño de partícula de 1.20 mm. Mientras tanto en el tamaño de partícula de 2.4 mm el aserrín mostró una sorción de 2 g/g de material lo cual representa el 26% del total sordido por el material comercial y finalmente el Peat Moss con una capacidad de retención de 7.50 g/g de material.

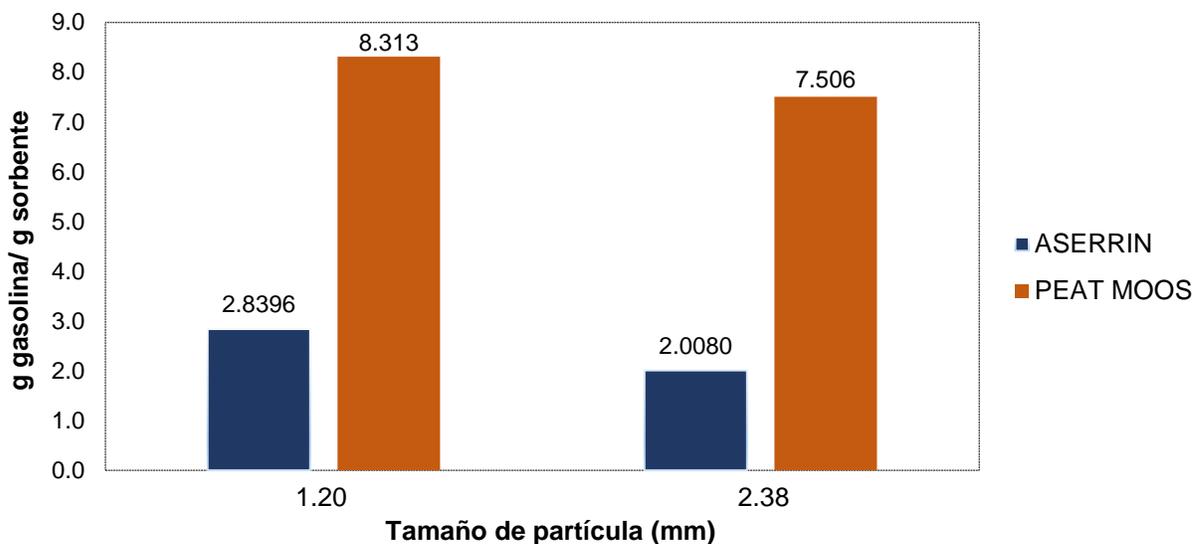


Figura 18. Prueba larga de sorción de Gasolina de aserrín vs Peat Moss.

4.8.2 Petr6leo

Dadas las capacidades de sorci6n que presento el Peat Moss respecto al aserrín el cual mostro una baja sorci6n de petr6leo crudo respecto al sorbente comercial. Esto da a lugar a decir que el aserrín no es competitivo respecto a sorbentes que tienen altas capacidades de remoci6n de HC.

De acuerdo con la figura 19 las capacidades de sorci6n que presento el Peat Moss respecto al aserrín tuvo una baja sorci6n de Petr6leo crudo respecto al sorbente comercial. Esto da a lugar a decir que el aserrín no es competitivo respecto a sorbentes que tienen altas capacidades de remoci6n de Petr6leo crudo.

El aserrín reflej6 menor capacidad de sorci6n con 3 g/g de material lo cual representa el 33% del total sorbido por el material comercial 6l presento una eficiencia de sorci6n mayor de 9.03 g/g de material esto en un tama1o de partícula de 1.20 mm. Mientras tanto en el tama1o de partícula de 2.38 mm el aserrín mostr6 una sorci6n de ligeramente mayor a los 5 g/g de material lo cual representa el 52% del total s6rdido por el material comercial y finalmente el Peat Moss con una capacidad de retenci6n de 9.94 g/g de material.

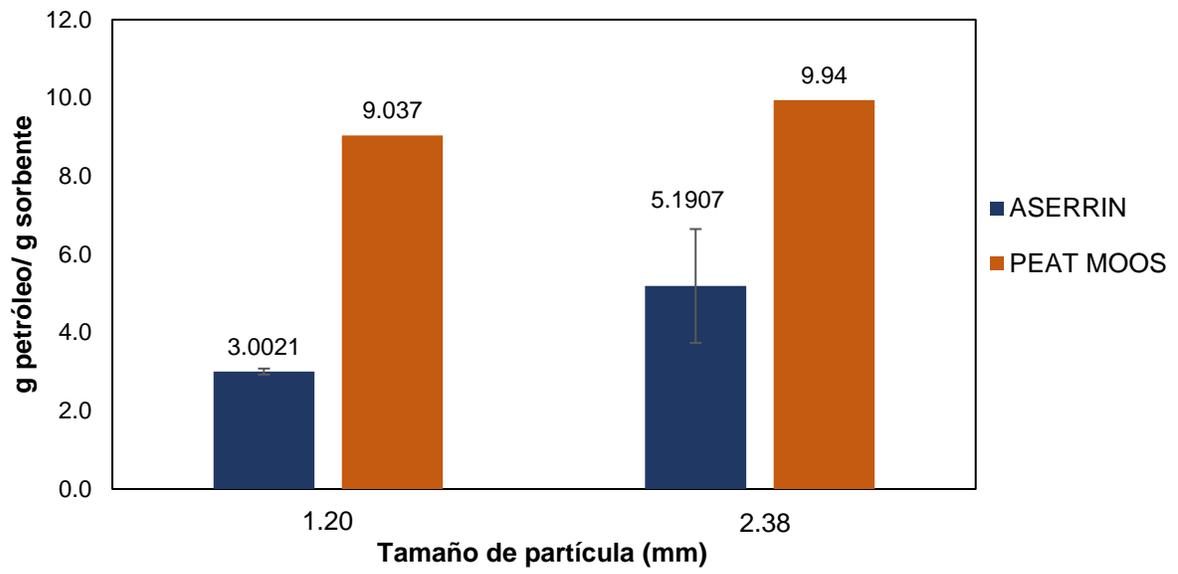


Figura 19. Prueba larga de sorción de Petróleo de aserrín vs Peat Moss.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- En la remoción de gasolina el aserrín presentó mejores resultados (ambos tamaños) en comparación con el aserrín de Guarumbo reportado por Valle (2018), así como también a los tamaños 10 y 13 cm de las plumas de pollo y a los raquis reportados por Salazar (2012).
- Para el Diésel el aserrín presentó una remoción mejor (ambos tamaños) en comparación con sorbentes estudiados como la cascarilla de arroz, ceniza de cascarilla de arroz, cascara de banano, cascara de cacao reportadas por Cárdenas (2017) las cuales tuvieron tratamiento químico y a los resultados de los raquis y de los tamaños de partícula 10 y 13 cm de las plumas de pollo reportados por Salazar (2012).
- Se determinó que el porcentaje de remoción incrementa a medida que el tamaño de partícula del aserrín disminuye para el caso de la Gasolina y el Diésel.
- El aserrín mostró mejor remoción que la prueba de 13 cm de las plumas de pollo y los raquis mostrados por Salazar (2012), del mismo modo, mejores resultados respecto al forraje de alfalfa, forraje de maíz, avena forrajera, cebada forrajera reportados por Téllez (2008) y al bagazo de caña reportado por Martínez et al., (2017).
- El mejor rendimiento fue presentado por el tamaño de partícula de 1.20 mm en comparación con la partícula de 2.38 mm en todas las pruebas, excepto la prueba de petróleo crudo a 24 horas.
- El aserrín tuvo un mejor rendimiento entre 5 y 15 minutos de prueba, a excepción de la prueba de Petróleo en donde a 24 h fue el mejor rendimiento a tamaño de partícula 2.38 (Figura 15) y en la prueba de Gasolina a 20 min en el tamaño de partícula número 1.20 fue la mejor sorción (Figura 10).
- El material propuesto tiene una capacidad de eliminación más baja que un material queratinoso, por ejemplo, plumas de pollo estudiadas por García (2019) las cuales mostraron una capacidad de retención seis veces mayor y el material orgánico comercial Peat moss que mostró mejor remoción.

- En las pruebas realizadas el aserrín a partir de los 15 minutos de remoción desprendía color y la tonalidad del agua era de café oscuro.
- Las propiedades de los Hidrocarburos estudiados como lo es la viscosidad, gravedad específica, tensión superficial, fuerza capilar, densidad y volatilidad limitan la capacidad de sorción por parte del material lignocelulósico.
- La adherencia y la cohesión que se presenta entre el hidrocarburo y el aserrín dificulta que la sorción se lleve a cabo de la mejor manera.
- El tiempo optimo oscilo mayoritariamente en los primeros minutos de prueba lo cual es una ventaja debido a que se busca un sorbente eficaz en cuanto al tiempo.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Arias, J. A. V. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *RIAA*, 8(1), 151-167.
- Agua, P. d. (s.f). *Fondos para la comunicacion y educacion ambiental, A.C.* Obtenido de <https://agua.org.mx/propiedades-derl-agua/>
- Alaa El-Din, G., Amer, A. A., Malsh, G., & Hussein, M. (2018). Study on the use of banana peels for oil spill removal. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3), 2061–2068. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.020>
- Anuzyte, E., & Vaisis, V. (2018). Natural oil sorbents modification methods for hydrophobicity improvement. *Energy Procedia*, 147, 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.095>
- Arango, S. J., Bonilla, R. A. C., & Lozano, W. A. R. (2019). *Evaluación de un biosorbente extraído de persea americana (aguacate) para la eliminación de hidrocarburos en suelo y agua.* 158–163. <https://www.acodal.org.co/wp-content/uploads/PDFs/Memorias-Congresos/Memorias-ISSN-2018.pdf#page=8>
- Armada, A., Barquinero, E., & Capote, E. (2008). Empleo del bagazo como material absorbente en derrames de petróleo. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar.* <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120667013.pdf>
- Barceló, D., & López, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Fundación Nueva Cultura Del Agua*, 27. https://fnca.eu/phocadownload/P.CIENTIFICO/inf_contaminacion.pdf
- Behnood, R., Anvaripour, B., Jaafarzade, N., Fard, H., & Farasati, M. (2013). Application of Natural Sorbents in Crude Oil Adsorption. *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 2(4), 1–11. <http://ijogst.put.ac.ir>
- Buendía, H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol [Biorestauration of hydrocarbons contaminated soils using sawdust and manure compost]. *Revista Del Instituto de*

Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 15(30), 1–15.

Calcáneo, L. A. . (2016). simulación de impacto ambiental en la germinación del frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L) con derrames de hidrocarburos. *Kuxulkab*, XXII(2448-508X), 26.

<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/1460/1286>

Carbajal, Á. A., & Gonzáles, M. . (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

Carbonell, R. P. (2016). *Valorización de residuos orgánicos mediante el proceso de sacarificación y fermentación simultánea para la producción de Bioetanol*. Unam.

Castaño, C. A. ., León, S. E. ., Gómez, Tatiana, M., & Carrillo, J. . (2017). Estudio de efectividad del sílice de la cascarilla de arroz como sílica absorbente para derrames de hidrocarburos. *Semilleros*, III(06), 95–102.

<https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/semillero/article/view/111/101>

CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos*. Comisión Nacional Del Agua.

<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>

CONAGUA. (2011). Agua en el mundo. *Aspectos Socioeconómicos y Demográficos*. http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf

CONAGUA. (2015). Cuidemos el agua que mueve a México. *Comisión Nacional Del Agua*, 126. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf

Cova, L. E., & Jiménez, A. E. (2012). *Ventajas y desventajas del uso de sorbentes en la remediación de aguas marinas contaminadas por derrames de crudo* (Issue July)[Universidad de San Buenaventura]. [http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/3162/1/Ventajas y](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/3162/1/Ventajas_y)

desventajas_Jiménez_2012.pdf

- Cruz, C. . (2014). *celulosa*. UNAM.
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Celulosa_27101.pdf
- Díaz, M. Á. D., Rivas, L. T., León, M. B., & Acosta, J. S. (2018). *Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames de agua y suelos*. *30(2)*, 289–298.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n2/ind10218.pdf>
- Dominguez, E., & Larrain, J. (2007). El Musgo de la Turbera: *Sphagnum magellanicum*. *Inia-Kampeanike, July 2015*, 21–24.
- EPA. (1999). Understanding Oil Spills In Freshwater Environments. *Response to Oil Spills*, *7(3)*, 37–44.
- Espinoza, D., & Hernandez, J. (2020). *Potencial de absorción del aserrín mediante variación de tiempo y peso, para incrementar la remoción de hidrocarburos en cuerpos de agua*. 94.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gálvez, L. L., Vallejo, M. A. ., Méndez, C. ., & López, J. U. (2020). *Cedrela Odorata L: oportunidaes para su conservación y mejoramineto genético*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *11(58)*.
<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/622/1865>
- Guerrero, M. . (2006). El agua. In *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* (5ta. Edici, Vol. 2, Issue 1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n2.2003.06>
- Gutiérrez, M. A. . (2007). Los disolventes organicos y su exposicion ocupacional. [Universidad autónoma del estado de Hidalgo]. In *Universidad autónoma del estado de hidalgo*.
https://www.academia.edu/31233080/Los_disolventes_organicos_y_su_exposicion_ocupacional
- Huerta, miranda guillermo antonio. (2012). *Evaluacion de la eficacia de la*

deslignificación del aserrín por enzimas y por un disolvente iónico
[UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO].
<http://132.248.9.195/ptd2012/noviembre/0685475/Index.html>

ITOPF. (2011). Effects of oil pollution on the environment. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 18(5.1), 313–320.
<https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.1/S20.041>

ITOPF. (2012). Uso de materiales adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburos. *Documento de Información Técnica*, 8, 1, 12.

Jiménez, D. L. . (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en tumaco. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Lezama, C. C., Tintos-Gómez, A., Patiño-Barragán, M., Hernández-Zárate, G., Chávez-Comparan, J. C., Pinzón-Guerrero, C. O., Gómez-Clavijo, C., & Zamora-Castro, J. E. (2012). Capacidad de retención de hidrocarburos empleando subproductos industriales Oil retention capacity of industrial by-products. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(1), 21–29.

López, D. N., & Luyando, J. R. . (2018). Los efectos de la contaminación petrolera en el desarrollo de comunidades ejidales: el caso de la cuenca del río San Juan (Nuevo León, México). *Investigación y Desarrollo*, Vol.26, 92–124.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6977/Refinacion_Web.pdf

Macarulla, J. M., & Goñi, F. M. (2002). *Biomoléculas* (R. Sa (ed.); 2da. Edici).
https://www.academia.edu/37765856/Biomoleculas_Lecciones_de_Bioquimica_Estructural_Jose_M_Macarulla_y_Felix_M_Goñi

Martínez, P. D. C. ., Rosa-domínguez, E., Rodríguez-rico, I., & Leiva-mas, J. (2017). Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 51(2), 35–39.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251006.pdf>

Moreno, L. F. T. (2013). “ *El acceso al Agua Potable : un Derecho Humano .*” 101–123.

Nwadiogbu, J. O., Ajiwe, V. I. E., & Okoye, P. A. C. (2015). Removal of crude oil from aqueous medium by sorption on hydrophobic corncobs: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Taibah University for Science*, 10(1), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.03.014>

Olga, V. R., Darina, V. I., Alexandr, A. I., & Alexandra, A. O. (2014). Cleanup of Water Surface from Oil Spills Using Natural Sorbent Materials. *Procedia Chemistry*, 10, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.025>

Ortínez, O. B., Gavilan, A. G., & Lema, I. . (2003). *La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México.* <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906906.pdf>

Orviz, G. A. (n.d.). *Sistema de gestión para vertidos de hidrocarburos en alta mar* [Universidad de cantabria]. https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/6361/Alejandro_Orviz_Gómez.pdf?sequence=1

Padilla, G. A. ., & Jiménez, M. E. . (2012). *Evaluación del potencial de adsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua a escala laboratorio.* 32. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/84>

PEMEX. (2008). Refinación. In *Petroleos Mexicanos.* http://www.sener.gob.mx/res/85/Refinacion_Web.pdf

Piedad, R. G., & Zuluaga. (2017). Celulosa: Un polímero de siempre con mucho futuro. *Revista Colombiana de Materiales*, 110(9), 1689–1699.

Quintana, A., & Taboada, M. (2018). *Uso de la fibra de coco para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos- agua y su relacion con la salinidad y temperatura.*

- Rodríguez, A. . (2017). *Bioremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante sistemas bio-absorbentes* [Universidad de Granada]. <https://digibug.ugr.es/flexpaper/handle/10481/48759/2844369x.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Ruiz, J. C. A., De los Santos-Posadas, H. M., Parraguirre-Lezama, J. F., & Saavedra-Millán, F. D. (2018). Evaluación de la categoría de riesgo de extinción del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3), 938–949. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2192>
- Salazar, E. . (2012). *Remoción de hidrocarburos mediante biopolímeros naturales: efecto tamaño de partícula*. [Universidad autónoma de San Luis Potosí, Cologne university of applied sciences]. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3624>
- Sánchez, J., Calderón, Z., & García, M. . (2017). *Tipos y fórmulas, isomería, y nomenclatura de hidrocarburos*. 165–185.
- SEMARNAT. (2015). *Disponibilidad del agua: reservas de agua dulce en el mundo*. 14372, 1349–1358. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap6_Agua.pdf
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Características del petróleo*. Gobierno de México. https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html
- Sorlini, S., Palazzini, D., Sieliechi, J. M., & Ngassoum, M. B. (2013). Assessment of physical-chemical drinking water quality in the logone valley (Chad-Cameroon). *Sustainability (Switzerland)*, 5(7), 3060–3076. <https://doi.org/10.3390/su5073060>
- Tabugbo, B. N., DuWilson, N. I., & Usman, E. O. (2014). Preparation and characterization of sawdust(Cellulose) as adsorbent for oil pollution remediation. *Natural Science Research*, 2(6), 97–102. [http://www.conscientiabeam.com/pdf-files/eng/63/IJNSR-2014-2\(6\)-97-102JUNE.pdf](http://www.conscientiabeam.com/pdf-files/eng/63/IJNSR-2014-2(6)-97-102JUNE.pdf)

- Téllez, J. M. . (2008). *Gastado Por Residuos Lignocelulósicos Y Su Aplicación Como Sistema De Disposición De Hidrocarburos* [Instituto tecnológico y de estudios superiores de monterrey]. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/628475>
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 64, 9–18. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/El-agua-en-México-y-el-mundo.pdf>
- UN-WATER. (2018). *Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation 2018*.
- Valle, A. I. B. (2018). *Evaluación de la capacidad adsorbente del guarumbo para la remoción de hidrocarburos en agua* [Universidad de Quintana Roo]. <http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1931/TD419.2018-1931.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Velásquez, J. A. . (2018). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–167. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
- Viñas, M. . (2005). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica* [Universidad de Barcelona]. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf
- Vizcaíno, A. L. G., Jaimes, D. C., Cáceres, Riaño, S. M. G., Johanna Miranda García, & . (2017). Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Mainstreaming the Northeast in India's Look and Act East Policy*, 4(5), 253–263. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5320-7_11
- Zárate, V. H. L. (2015). *Hidrocarburos Solubles En Agua Mediante Fracciones La Cáscara Coco*.
- Zinnur, S., Alexander, I., Alexandra, P., Olga, R., & Viktor, R. (2015). Adsorption of Hydrocarbons Using Natural Adsorbents of Plant Origin. *Procedia Chemistry*, 15,

ANEXOS

BLANCOS

SORCIÓN DE AGUA POR BOLSA MALLA 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON AGUA (gr)	SORCIÓN PARCIAL	SORCIÓN PROMEDIO
A1	0.3553	0	0.9548	0.5995	0.9724
A2	0.3844	0	0.9998	0.9998	
A3	0.3709	0	1.0696	1.0696	
A4	0.3861	0	0.9889	0.9889	
A5	0.2581	0	1.2042	1.2042	

SORCIÓN DE AGUA POR ASERRIN A 1.20 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN					
BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON AGUA (gr)	SORCIÓN PARCIAL	SORCIÓN PROMEDIO
AAG1	0.1994	1.3502	3.2019	1.8517	1.88418
AAG2	0.3136	1.376	3.0168	1.6408	
AAG3	0.192	1.3355	3.5301	2.1946	
AAG4	0.1911	1.3392	3.3957	2.0565	
AAG5	0.344	1.2159	2.8932	1.6773	

SORCIÓN DE AGUA POR ASERRIN A 2.28 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN					
BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON AGUA (gr)	SORCIÓN PARCIAL	SORCIÓN PROMEDIO
B1AG1	0.3435	1.2202	3.1084	1.8882	1.95502
B1AG2	0.3763	1.3191	2.8301	1.511	
B1AG3	0.3437	1.1965	3.6403	2.4438	
B1AG4	0.3675	1.1908	3.646	2.4552	
B1AG5	0.2352	1.3483	2.8252	1.4769	

SORCIÓN DE GASOLINA POR BOLSA MALLA 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN PARCIAL	SORCIÓN PROMEDIO
B1	0.376	0	2.408	2.032	1.96644
B2	0.361	0	1.908	1.908	
B3	0.245	0	1.7578	1.7578	
B4	0.427	0	2.2196	2.2196	
B5	0.3875	0	1.9148	1.9148	

SORCIÓN DE DIÉSEL POR BOLSA MALLA 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN PARCIAL	SORCIÓN PROMEDIO
B1	0.2118	0	1.8184	1.6066	1.91788
B2	0.1979	0	1.9816	1.9816	
B3	0.2117	0	1.8283	1.8283	
B4	0.207	0	1.9785	1.9785	
B5	0.2038	0	2.1944	2.1944	

SORCIÓN DE PETROLEO POR BOLSA MALLA 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETROLEO (gr)	SORCIÓN PARCIAL	SORCIÓN PROMEDIO
P1	0.2142	0	2.107	1.8928	2.10966
P2	0.2077	0	2.1459	2.1459	
P3	0.3637	0	2.2153	2.2153	
P4	0.3483	0	2.3803	2.3803	
P5	0.2003	0	1.914	1.914	

PRUEBAS SORCIÓN DE GASOLINA 1.20 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 5 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
T1	0.1954	1.1785	5.695	3.8324	4.0459	3.4390	4.6528	3.0519
T2	0.2028	1.1613	5.507	3.7421				
T3	0.201	1.184	5.564	3.6993				
T4	0.2028	1.1797	5.926	4.0233				
T5	0.3372	1.1029	6.543	4.9325				

PRUEBA DE SORCIÓN 10 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
P1	0.2013	1.193	5.985	4.0168	4.2150	3.5828	4.8473	3.2210
P2	0.1997	1.191	5.841	3.9043				
P3	0.203	1.187	6.581	4.5442				
P4	0.3011	1.2197	6.234	4.1111				
P5	0.2015	1.203	6.615	4.4988				

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
R1	0.2541	1.233	6.332	4.1354	4.1164	3.4989	4.7338	3.1224
R2	0.1987	1.213	6.279	4.1764				
R3	0.2132	1.351	6.853	4.0725				
R4	0.2015	1.221	6.14	4.0287				
R5	0.301	1.215	6.28	4.1687				

PRUEBA DE SORCIÓN 20 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
O1	0.2314	1.2105	6.544	4.4060	4.2865	3.6435	4.9295	3.2925
O2	0.2196	1.2471	6.777	4.4342				
O3	0.2309	1.2145	6.24	4.1379				
O4	0.2341	1.2171	6.404	4.2617				
O5	0.2392	1.2333	6.404	4.1926				

PRUEBA DE SORCIÓN 30 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
R1	0.1983	1.181	5.621	3.7595	3.9716	3.3758	4.5673	2.9776
R2	0.1923	1.1827	5.839	3.9370				
R3	0.2095	1.1981	5.999	4.0071				
R4	0.201	1.2018	6.257	4.2064				
R5	0.2008	1.1892	5.884	3.9479				

PRUEBA DE SORCIÓN A 24 HORAS

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
G1	0.1936	1.2119	5.7674	3.7590	3.8336	3.2586	4.4087	2.8396
G2	0.1906	1.1954	6.1811	4.1707				
G3	0.1937	1.2089	5.792	3.7911				
G4	0.1903	1.2331	5.6402	3.5740				
G5	0.2001	1.2089	5.8913	3.8733				

PRUEBAS DE SORCIÓN DE GASOLINA A 2.38 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 5 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
B1	0.1964	1.2327	4.3539	4.3539	4.27652	3.63504	4.918	3.28252
B2	0.1985	1.1903	4.2749	4.2749				
B3	0.1912	1.2262	4.4001	4.4001				
B4	0.2871	1.3535	4.2441	4.2441				
B5	0.2014	1.2175	4.1096	4.1096				

PRUEBA DE SORCIÓN 10 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
U1	0.2119	1.2525	4.959	2.9593	3.0453	2.5885	3.5021	2.0513
U2	0.2114	1.2368	5.334	3.3127				
U3	0.2101	1.2373	4.875	2.9400				
U4	0.1948	1.2173	4.975	3.0869				
U5	0.1898	1.2243	4.8087	2.9277				

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
A1	0.2084	1.2214	5.901	3.8313	3.2429	2.7565	3.7293	2.2489
A2	0.1973	1.2062	5.0742	3.2068				
A3	0.2034	1.2216	5.704	3.6693				
A4	0.2102	1.2333	4.569	2.7047				
A5	0.2085	1.225	4.658	2.8024				

PRUEBA DE SORCIÓN 20 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
Z1	0.3865	1.4014	6.7639	3.8265	3.3445	2.8428	3.8461	2.3505
Z2	0.1889	1.213	4.963	3.0915				
Z3	0.2025	1.223	5.861	3.7923				
Z4	0.192	1.2187	4.937	3.0510				
Z5	0.1945	1.2035	4.767	2.9609				

PRUEBA DE SORCIÓN 30 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
Y1	0.2112	1.2594	4.311	2.4231	3.0243	2.57069	3.4780	2.0303
Y2	0.1982	1.21	5.2023	3.2994				
Y3	0.1976	1.2338	5.0903	3.1257				
Y4	0.3419	1.3603	4.9687	2.6527				
Y5	0.2078	1.2338	5.7012	3.6208				

PRUEBA DE SORCIÓN 24 HORAS

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON GASOLINA (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
G1	0.1955	1.187	4.939	3.1609	3.0020	2.5516	3.4522	2.0080
G2	0.2171	1.2111	4.5567	2.7624				
G3	0.1903	1.1874	4.8136	3.0539				
G4	0.1928	1.1993	4.9072	3.0917				
G5	0.2054	1.1874	4.6793	2.9408				

PRUEBAS DE SORCIÓN DE DIÉSEL A 1.20 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 5 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
D1	0.2070	1.1930	7.6810	5.4384	4.9630	4.2185	5.7074	4.0176
D2	0.2110	1.2080	7.8740	5.5182				
D3	0.2080	1.1950	6.7690	4.6644				
D4	0.3320	1.3310	6.9290	4.2059				
D5	0.1950	1.1680	6.9940	4.9880				

PRUEBA DE SORCIÓN 10 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
M1	0.2080	1.1860	6.5960	4.5616	4.4204	3.7573	5.0834	3.4750
M2	0.2060	1.2000	6.9780	4.8150				
M3	0.2070	1.2080	6.7900	4.6209				
M4	0.2120	1.2180	6.3850	4.2422				
M5	0.2120	1.2130	5.8980	3.8623				

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
F1	0.206	1.208	5.617	3.6498	3.7896	3.2211	4.3580	2.8442
F2	0.212	1.191	5.816	3.8833				
F3	0.197	1.197	5.667	3.7343				
F4	0.219	1.227	5.777	3.7082				
F5	0.197	1.186	5.897	3.9722				

PRUEBA DE SORCIÓN 20 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
V1	0.321	1.314	6.158	3.6865	3.7294	3.1700	4.2888	2.7840
V2	0.202	1.186	5.836	3.9207				
V3	0.208	1.187	5.331	3.4912				
V4	0.33	1.329	6.183	3.6524				
V5	0.193	1.178	5.768	3.8964				

PRUEBA DE SORCIÓN 30 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
A1	0.215	1.197	5.667	3.7343	3.7744	3.2082	4.3405	2.8290
A2	0.209	1.209	5.552	3.5922				
A3	0.337	1.341	6.306	3.7025				
A4	0.209	1.22	6.113	4.0107				
A5	0.373	1.359	6.567	3.8322				

PRUEBA DE SORCIÓN A 24 HR

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
D6	0.199	1.188	6.198	4.2172	4.1932	3.5643	4.8222	3.2478
D7	0.193	1.189	5.92	3.9790				
D8	0.199	1.175	5.964	4.0757				
D9	0.193	1.181	6.572	4.5648				
D10	0.195	1.189	6.099	4.1295				

PRUEBAS DE SORCIÓN DE DIÉSEL A 2.38 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 5 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
R1	0.1980	1.1830	6.1930	4.2350	3.9841	3.3865	4.5818	3.038730608
R2	0.1970	1.2040	5.5940	3.6462				
R3	0.1980	1.1990	5.8540	3.8824				
R4	0.1920	1.1890	6.3780	4.3642				
R5	0.2050	1.2120	5.8090	3.7929				

PRUEBA DE SORCIÓN 10 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
P1	0.2090	1.2190	4.9250	3.0402	3.7881	3.2199	4.3563	2.8427
P2	0.2010	1.2130	5.8930	3.8582				
P3	0.2040	1.2100	6.1610	4.0917				
P4	0.1910	1.2030	5.9140	3.9160				
P5	0.1940	1.1960	6.0210	4.0343				

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
S1	0.3480	1.3480	6.0520	3.4896	3.7491	3.1867	4.3114	2.8037
S2	0.1990	1.2100	5.3080	3.3868				
S3	0.2050	1.2150	5.9960	3.9350				
S4	0.1930	1.1780	5.2930	3.4932				
S5	0.1930	1.1910	6.4800	4.4408				

PRUEBA DE SORCIÓN 20 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
D1	0.1890	1.1920	5.3580	3.4950	3.3027	2.8073	3.7981	2.3573
D2	0.2020	1.2110	5.8120	3.7993				
D3	0.1990	1.2010	5.2000	3.3297				
D4	0.1990	1.2060	5.3160	3.4080				
D5	0.2630	1.2670	4.4110	2.4815				

PRUEBA DE SORCIÓN 30 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
P1	0.2030	1.1960	5.3510	3.4741	3.2471	2.7601	3.7342	2.3017
P2	0.1910	1.2060	5.2170	3.3259				
P3	0.1920	1.1970	5.4600	3.5614				
P4	0.1990	1.2110	4.7340	2.9092				
P5	0.2020	1.2030	4.7700	2.9651				

PRUEBA DE SORCIÓN 24 HORAS

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON DIÉSEL (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
D1	0.1870	1.2250	5.1150	3.1755	3.3272	2.8281	3.8263	2.3818
D2	0.1870	1.2250	5.7150	3.6653				
D3	0.2070	1.2850	5.6210	3.3743				
D4	0.1990	1.2510	5.0140	3.0080				
D5	0.2070	1.2420	5.4810	3.4130				

SORCIÓN DE PETRÓLEO CRUDO A 1.20 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 5 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
71	0.1920	1.1953	7.0859	4.9281	5.5852	4.7474	6.4229	4.4480
71	0.2086	1.1983	7.5044	5.2625				
71	0.2054	1.1932	8.0848	5.7757				
71	0.1980	1.2065	8.5069	6.0509				
71	0.2014	1.1801	8.1528	5.9086				

PRUEBA DE SORCIÓN 10 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
G1	0.2041	1.1981	7.6653	5.3979	5.6351	4.7898	6.4804	4.4979
G2	0.1972	1.204	7.9232	5.5807				
G3	0.2014	1.199	7.83	5.5304				
G4	0.2006	1.189	8.3956	6.0611				
G5	0.2072	1.212	8.0057	5.6054				

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
Q1	0.1857	1.1653	6.7653	4.8056	5.1408	4.3697	5.9120	4.0036
Q2	0.1984	1.1692	7.0487	5.0287				
Q3	0.2079	1.1958	7.152	4.9809				
Q4	0.1992	1.182	7.4674	5.3176				
Q5	0.1981	1.1573	7.605	5.5713				

PRUEBA DE SORCIÓN 20 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
41	0.2117	1.2108	7.7110	5.3685	4.7515	4.0388	5.4642	3.6143
41	0.1925	1.171	8.3363	6.1190				
41	0.208	1.193	6.3804	4.3482				
41	0.1945	1.1738	7.3040	5.2225				
41	0.3184	2.3105	8.5471	2.6992				

PRUEBA DE SORCIÓN 30 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
81	0.1995	1.1357	7.4774	5.5840	5.4472	4.6302	6.2643	4.3100
81	0.1992	1.1871	7.4274	5.2568				
81	0.1984	1.1902	8.2672	5.9461				
81	0.3219	1.31	8.4317	5.4364				
81	0.1857	1.1973	7.1994	5.0130				

PRUEBA DE SORCIÓN 24 HORAS

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
11	0.1925	1.6794	8.7081	4.1852	4.1393	3.5184	4.7602	3.0021
11	0.1905	1.6584	8.5142	4.1340				
11	0.189	1.6635	8.3432	4.0154				
11	0.3065	1.7661	9.2124	4.2162				
11	0.1907	1.6348	8.412	4.1456				

PRUEBA DE SORCIÓN A 24 HORAS A 2.38 MM

PRUEBA DE SORCIÓN 5 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
F1	0.2018	1.183	5.7892	3.8937	4.1485	3.5262	4.7707	3.0113
F2	0.1977	1.204	6.541	4.4327				
F3	0.1944	1.199	6.1051	4.0918				
F4	0.1998	1.189	6.2768	4.2791				
F5	0.2097	1.212	6.1146	4.0450				

PRUEBA DE SORCIÓN 10 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
121	0.1934	1.881	6.7455	2.5861	3.9209	3.3328	4.5091	2.7837
121	0.2009	1.198	4.7738	2.9848				
121	0.195	1.2005	6.7243	4.6012				
121	0.1909	1.1975	7.9875	5.6701				
121	0.1871	1.1952	5.692	3.7624				

PRUEBA DE SORCIÓN 15 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
Z1	0.1974	1.2059	7.2099	4.9789	4.8005	4.0804	5.5206	3.6633
Z2	0.2045	1.1942	7.0355	4.8914				
Z3	0.2034	1.2188	7.0559	4.7892				
Z4	0.1993	1.2033	7.5766	5.2965				
Z5	0.2096	1.22	6.1569	4.0466				

PRUEBA DE SORCIÓN 20 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
41	0.2088	1.2185	6.2418	4.1225	4.9669	4.2218	5.7119	3.8297
41	0.1943	1.2067	8.1214	5.7303				
41	0.1947	1.2168	7.8368	5.4405				
41	0.2177	1.2238	6.7447	4.5113				
41	0.1965	1.2186	7.3478	5.0297				

PRUEBA DE SORCIÓN 30 MIN

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
31	0.1921	1.205	6.6282	4.5006	5.1232	4.3547	5.8917	3.9860
31	0.22	1.2412	5.5093	3.4387				
31	0.2	1.2069	8.9823	6.4425				
31	0.1946	1.2149	7.692	5.3314				
31	0.1964	1.2103	8.3547	5.9030				

PRUEBA DE SORCIÓN 24 HORAS

BOLSA	PESO DE LA BOLSA (gr)	PESO DE LA BOLSA CON ASERRIN (gr)	PESO DE LA BOLSA CON PETRÓLEO (gr)	SORCIÓN DE HC	PROMEDIO	MAX	MIN	SORCIÓN NETA
31	0.3035	1.3001	12.822	8.8623	6.3279	5.3787	7.2771	5.1907
31	0.3113	1.313	8.3349	5.3480				
31	0.3062	1.3401	8.6863	5.4818				
31	0.3173	1.3343	8.9779	5.7285				
31	0.2042	1.2375	8.9333	6.2188				