



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

**“REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS MEDIANTE
MATERIALES QUERATINOSOS DE ACUERDO
CON EL PROTOCOLO ASTM F 726-99”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

P R E S E N T A

MARLEN YOVANA TRIANO GARCÍA

DIRECTOR:

M. Sc. ELIZABETH SALAZAR HERNÁNDEZ

CO-DIRECTOR:

M. C. ALAN ANTONIO RICO BARRAGÁN

Hoja de Autorización



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

FECHA: 09 de Abril de 2019.

ASUNTO: **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS PROFESIONAL.**

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

MARLEN YOVANA TRIANO GARCÍA

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 142T0425 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción Titulación Integral (Tesis Profesional)

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema titulado:**

**“REMOCIÓN DE HIDROCARBUROS MEDIANTE MATERIALES
QUERATINOSOS DE ACUERDO CON EL PROTOCOLO ASTM F 726-99”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

Agradecimientos

Todo este trabajo no se habría podido realizar si no fuera por el apoyo del padre de mi hija Didier Aldair Arcos Ruiz, de la señora Dolores Ruiz Celis y Soledad Ruiz Celis, apoyo en todo nivel que he recibido siempre por parte de ellos, apoyo sin el cual no estaría terminando esta etapa de mi vida.

Al amor de mi vida, mi hija Marlen Yaretzi Arcos Triano por ser mi motivación que día a día me impulsa a seguir adelante, y por ser el pilar que me sostiene.

A mi madre Margarita García Lozano, por su apoyo incondicional y por todo el amor que me ha dado, por siempre estar conmigo sin importar las condiciones y sobre todo por darme palabras de ánimo y apoyarme a lo largo de mi formación universitaria

A mis abuelos maternos Lucila Lozano Cuevas y Quirino García Martínez, por todas sus enseñanzas, principios inculcados desde niña y sobre todo por su cariño.

Quiero agradecer a mi directora de tesis la M. Sc. Elizabeth Salazar Hernández, quien ha sido una guía para el desarrollo de esta investigación y quien se ha preocupado por hacer de este documento un buen trabajo de grado. Por todos los conocimientos que aportó durante este tiempo, por ser una excelente maestra, por ser un ejemplo de mujer y por ser una excelente amiga.

A mi co-director el M. C. Alan Antonio Rico Barragán por compartir su conocimiento para poder realizar las cosas de la mejor manera y por el tiempo dedicado a la revisión de esta investigación.

A la Dra. María Cristina López Méndez, gracias por su apoyo en la culminación de este trabajo de grado.

Al Instituto Tecnológico Superior de Misantla, por ser el sitio que durante 4 años fue mi hogar y la cuna de mi formación académica.

Marlen Yovana Triano García

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
RESUMEN	iii
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivo específico	6
1.5 Hipótesis	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Hidrocarburos	7
2.1.1 Propiedades físicas y químicas de los hidrocarburos	7
2.2 Tipos de hidrocarburos	9
2.2.1 Hidrocarburos alifáticos	10
2.2.2 Hidrocarburos cíclicos	11
2.3 Clasificación de los hidrocarburos según su densidad	11
2.4 Contaminación por hidrocarburos	12
2.4.1 Daños ambientales por derrames de hidrocarburos	14
2.5 Remoción de los hidrocarburos	15
2.5.1 Técnicas para control y limpieza de derrames	16
2.6 Biosorbentes	18
2.6.1 Tipos de biosorbentes	18
2.7 Materiales queratinosos	19
2.7.1 Queratina	20
2.8 Plumas de pollo	21
2.8.1 Características de las plumas de pollos	21
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODO	24

	Página
3.1 Obtención de la muestra	24
3.2 Preparación de la muestra	24
3.2.1 Lavado	24
3.2.2 Secado	24
3.2.3 Molienda	25
3.2.4 Tamizado	25
3.3 Evaluación de las propiedades del sorbente	25
3.3.1 Densidad de almacenamiento	25
3.3.2 Prueba de flotabilidad	26
3.4 Prueba corta de capacidad de retención	26
3.5 Prueba larga de capacidad de retención	28
3.6 Análisis del tiempo óptimo de contacto	28
3.7 Comparación con un sorbente comercial	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Determinaciones de las propiedades del material queratinoso	29
4.1.1 Densidad de almacenamiento	29
4.1.2 Flotabilidad	30
4.2 Prueba corta de capacidad de retención	33
4.3 Prueba larga de capacidad de retención	36
4.4 Análisis del tiempo óptimo de contacto	38
4.5 Comparación con un sorbente comercial	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	43
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Clasificación general de los hidrocarburos	10
Figura 3. Componentes de la queratina	21
Figura 2. Estructura de la pluma de pollo	22
Figura 4. Prueba del material queratinoso en gasolina y petróleo	27
Figura 5. Flotabilidad del material queratinoso tamaño de partícula 1.2 mm	32
Figura 6. Flotabilidad del material queratinoso tamaño de partícula 2.4 mm	32
Figura 7. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso en 15 min	34
Figura 8. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso en 15 min	36
Figura 9. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso en 24 h	37
Figura 10. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso en 24 h	38
Figura 11. Tiempo óptimo de contacto del material queratinoso	39
Figura 12. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso vs sorbente comercial prueba corta (15 min)	40
Figura 13. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso vs sorbente comercial prueba corta (15 min)	41
Figura 14. Capacidad de sorción de hidrocarburo (gasolina) del material queratinoso vs sorbente comercial prueba larga (24 h)	42
Figura 15. Capacidad de sorción de hidrocarburo (petróleo) del material queratinoso vs sorbente comercial prueba larga (24 h)	42

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Propiedades de los hidrocarburos	9
Tabla 2. Clasificación de petróleo crudo por su densidad y gravedad API	12
Tabla 3. Densidad de almacenamiento del material queratinoso	29
Tabla 4. Flotabilidad de acuerdo a los diferentes tamaños de partícula	31
Tabla 5. Resultados de sorción de agua e hidrocarburo	32

RESUMEN

La contaminación de los derrames de petróleo crudo o por petróleo refinado, cada día se vuelven más frecuentes en zonas costeras y oceánicas, y va dejando efectos e impactos negativos al ambiente. El objetivo de la presente investigación, fue evaluar las características que poseen las plumas de pollo, para utilizarlo como biomaterial sorbente alternativo en la limpieza de medios acuáticos contaminados con hidrocarburo. El diseño metodológico consistió en realizar diferentes pruebas descritas por el protocolo ASTM F 726-99: "*Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents*". Los experimentos se llevaron a cabo con dos diferentes hidrocarburos: petróleo (hidrocarburo ligero) y gasolina (hidrocarburo liviano). Las pruebas experimentales realizadas fueron: evaluación de las propiedades del material, prueba corta y larga de capacidad de retención y análisis del tiempo óptimo de contacto. Los resultados experimentales indican que la capacidad de retención de hidrocarburos del material queratinoso fueron mayores que la de varios sorbentes orgánicos que han sido estudiados con este fin. Los resultados obtenidos mostraron que la mejor capacidad de retención se obtuvo para el petróleo con 18.723 g/g de sorbente en la prueba corta de capacidad de retención, y para la prueba larga de capacidad de retención fue de 17.378 g de petróleo/g de sorbente. El tiempo óptimo de contacto fue de 60 min, ya que en ese tiempo el material alcanzo la máxima capacidad de remoción, es importante recalcar que a los 15 min de contacto el material queratinoso presentó más del 90% de su capacidad de retención. El sorbente mostro menor densidad específica a comparación que el agua, por lo tanto este material tiende a flotar tanto en agua como en mezclas de hidrocarburos/agua. Los resultados obtenidos de la capacidad de sorción de agua del material queratinoso son muy bajos. Esto significa que el material a granel probado presenta altas propiedades oleofílicas y bajas propiedades hidrofílicas. Además de su buen desempeño, abundancia, disponibilidad, biodegradabilidad y bajo costo de este subproducto lo hacen un excelente material sorbente.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Cada vez es más difícil ignorar que en México existe una gran cantidad de sitios contaminados con hidrocarburos, a causa de la intensa actividad que desarrolla Petróleos Mexicanos (PEMEX), esto consecuentemente implica la posibilidad de daños al ambiente, debido a los procesos de exploración, producción en alta mar, transporte marítimo y submarino, operaciones de embarque y almacenamiento, además de accidentes de operación como ruptura o perforación de los oleoductos submarinos, accidentes de buques y/o tanques, derrames y explosión de plataformas (García-Cuéllar, Arreguín-Sánchez, Hernández-Vázquez, & Lluch-Cota, 2004).

En los derrames de hidrocarburos los efectos dependen de la cantidad y el tipo de hidrocarburos dispersos, su comportamiento en el medio marino, la ubicación o zona del derrame en consideración de las condiciones ambientales y características fisicoquímicas (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited [ITOPF], 2011 a).

En la última década los recientes desarrollos en el campo de la remoción de los hidrocarburos han estimulado la necesidad de encontrar alternativas o métodos eficaces y que sean amigables con el ambiente para controlar o eliminar totalmente los contaminantes (Coria, 2007). Esta búsqueda está dirigida a encontrar materiales naturales que puedan remover rápidamente el hidrocarburo derramado en el ambiente para así, evitar que sufra procesos que vuelvan a los hidrocarburos tóxicos o más difíciles de recuperar (Worthington *et al.*, 2018)

Los problemas de contaminación de hidrocarburos que presenta el país, han motivado a investigadores a buscar tecnologías adecuadas y de bajo costo para limpiar estos sitios y eliminar definitivamente los contaminantes que se encuentran

allí. Un aspecto clave para la remediación de estos desastres, es la utilización de tecnologías biológicas como una de las opciones más seguras, viables y amigables con el ambiente (Saval, 1998; Ferrera-Cerrato, Rojas-Avilizapa, Poggi-Varaldo, Alarcón, & Cañizares-Villanueva, 2006; Armada, Barquinero, & Capote, 2008; Alvarado, Navarro, Terán, & Vizcarra, 2015; Rincones, Marfisi, Danglad, & Salazar, 2015; Hernández Castellanos, 2016).

Datos recabados han demostrado que diferentes materiales naturales pueden ser empleados como biosorbentes del petróleo y sus derivados, como los hidrocarburos. Tal es el caso de fibras de palma, coco, caña de azúcar, algunas algas (buchón de agua), tallos de flores, cabellos humanos y animales, plumas de pollos, gránulos de corcho, hierba, heno, semillas de algodón, espigas de maíz, corteza, turba, aserrín, pulpa de papel, paja, lana, cáscara de café, cáscara de maní, cáscara de arroz, cáscara de cacao, cáscara de banano y cáscara de guayaba (Ortiz, Andrade, Rodríguez, & Montenegro, 2006; Silos, 2008; Pinzon, 2010; Moodley, Singh, Musapatika, & Ochieng, 2011; ITOPF, 2012; Martínez, Rosa, Rodríguez, Leiva, & Pérez, 2016; Rodríguez, 2017; Cárdenas, 2017; Díaz-Díaz, Rivas-Trasancos, León-Barrios, & Acosta-Sánchez, 2018).

Este trabajo tiene como objetivo principal, evaluar las características que poseen las plumas de pollo, para utilizarlo como biomaterial sorbente alternativo en la limpieza de medios acuáticos contaminados con hidrocarburo.

1.2 Planteamiento del problema

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos, tal como el petróleo de donde se producen todo tipo de plásticos, ceras y lubricantes (Secretaría de Energía [SENER], 2015). El petróleo es una de las sustancias más útiles de que podemos disponer, aunque sus derivados han causado graves problemas ambientales.

La explotación, la producción, el transporte, refinamiento del crudo y sus compuestos son las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos. Aproximadamente 90 millones de barriles diarios de crudo se transportan por vía marítima, esta cifra supone la mitad de la producción mundial de petróleo (San Simón & Duch, 2014), se estima que por lo menos existe una pérdida de 2,310,000 barriles anuales (6,523 bbl/d) que son derramos en mar abierto, ocasionando diversos problemas ambientales (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2012).

En la actualidad, los derrames de hidrocarburos pueden provocar una amplia variedad de impactos en el medio marino y con frecuencia aparecen en los medios de comunicación como “desastres ambientales”, presentando fatales consecuencias para la supervivencia de la flora y la fauna acuática. El impacto ambiental a corto plazo resulta grave y conlleva trastornos a los ecosistemas y a la población que habita cerca de la franja costera contaminada, afectando sus medios de subsistencia y su calidad de vida.

Los hidrocarburos pueden afectar el medio ambiente marítimo a través de uno o más mecanismos: asfixia con los efectos en las funciones fisiológicas, toxicidad química que genere efectos letales o provoque el deterioro de funciones celulares, cambios ecológicos, como la pérdida de organismos o eliminación resultante de especies con importancia ecológica (ITOPF, 2011 b). Por lo anterior, es de suma importancia encontrar métodos de remoción de hidrocarburos eficientes y amigables con el ambiente.

1.3 Justificación

Recientemente, se han planteado soluciones al problema del derrame de hidrocarburos. Para ello, se utilizan varias técnicas con la finalidad de recuperar petróleo ante un derrame, como el uso de colectores y emulsificantes. Estos últimos presentan propiedades agresivas para el ambiente, causando varios problemas a la fauna acuática, incluyendo su muerte. Por otro lado, el uso de surfactantes puede también alterar el metabolismo de las plantas (Riojas, Torres, Mondaca, Balderas, & Gortáres, 2010).

Debido a estas limitantes el uso de materiales orgánicos no sólo se restringe a procesos de composteo, sino como otros materiales de importancia que se utilizan en la limpieza de derrames, los cuales tienen las características de presentar una alta capacidad de adsorción, absorción y de biodegradabilidad. En algunas ocasiones estos materiales llegan a ser reutilizados para la recuperación y la limpieza del área afectada por fuga de hidrocarburo provocando una menor contaminación al medio.

Existen numerosos materiales sintéticos comercialmente disponibles para la biorremediación de ecosistemas acuáticos contaminados por hidrocarburos, estos materiales absorben el hidrocarburo, incorporándolo dentro de su matriz y aumentando la superficie de contacto de forma significativa. Sin embargo, también se ha empezado a implementar el uso de residuos no industrializados como son los materiales orgánicos, los cuales se han utilizado como absorbentes de hidrocarburos en áreas que no tienen un fácil acceso a equipo de limpieza y personal.

En este sentido, el uso de materiales naturales como los queratinosos (plumas de pollo) presenta un interés que estimula a investigar y hacer una evaluación de este biomaterial como sorbente de hidrocarburo. Dado que, las plumas de pollo tienen un comportamiento hidrofóbico y están compuestas por

una red de queratina que forman una gran cantidad de espacios libres. Existen reportes de que las plumas de pollo poseen una alta área específica favoreciendo tanto la velocidad de absorción de hidrocarburos como los procesos de adsorción (Salazar Hernández, 2012; Lezama-Cervantes *et al.*, 2012).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de sorción de hidrocarburos de un material queratinoso (pluma de pollo).

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades del material queratinoso.
- Evaluar la capacidad de sorción de hidrocarburos por el material queratinoso.
- Definir el tiempo óptimo de contacto.
- Comparar la capacidad de sorción del material queratinoso contra sorbente comercial.

1.5 Hipótesis

Las plumas de pollo son un material apropiado para llevar a cabo la remoción de hidrocarburos en agua debido a su composición con alto contenido en queratina y a su carácter hidrofóbico.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos o sustancias orgánicas que están formados principalmente por átomos de carbono e hidrógeno (Brito, Lema, & Gavilán García, 2003). El número de carbonos y su estructura química define su clasificación (Olguín, Hernández, & Sánchez-Galván, 2007); se presentan en la naturaleza en: gases, líquidos, grasas y, en escasas ocasiones, en sólidos (Cornejo, 2014). Cabe mencionar que los hidrocarburos en estado líquido son muy volátiles.

Además el crudo normalmente tiene una composición de 76 a 86% de carbono y 10 a 14% de hidrógeno (Brito *et al.*, 2003), se encuentran otros elementos como el azufre (0-10%), nitrógeno (0-1%) y el oxígeno (0-5%) existentes en la composición de los hidrocarburos, y además de pequeñas cantidades de metales, que se consideran impurezas del petróleo y las cuales afecta su calidad, ya sea en forma elemental o como componentes heterocíclicos y grupos funcionales (Botello, Rendón, Gold-Bouchot, & Agraz-Hernández, 2005). El petróleo debe de ser sometido a un proceso para la generación de productos como la gasolina, el diésel, disolventes, el queroseno, destilados medios, el aceite residual y el asfalto (Bonell, 2009).

2.1.1 Propiedades físicas y químicas de los hidrocarburos

Solubilidad: Los hidrocarburos son solubles en todas las proporciones y algunos de sus componentes también lo son en agua, generalmente los más volátiles son los más solubles (Silos, 2008). Por ende, la división de los componentes se lleva a cabo, mediante solventes polares, como el dióxido de azufre. Por otra parte, los hidrocarburos aromáticos se diluyen de manera más fácil que los parafínicos y nafténicos (Instituto Argentino de la Energía [IAE], 2003). Sin embargo, los hidrocarburos de mayor peso molecular con respecto a los de

menor peso molecular son mezclables. La solubilidad depende sobre todo de la naturaleza química de los hidrocarburos (Wauquier, 2004).

Densidad: El petróleo es más ligero que el agua. Su masa específica es influenciada por factores físicos y por su composición química. La densidad típica varía entre el rango de 0.75-0.95 kg/l (Servicio Geológico Mexicano [SGM], 2017).

Olor: Esta característica depende de la naturaleza y composición química de la sustancia. Los hidrocarburos no saturados expiden un olor desagradable, causado por el ácido sulfhídrico y otros compuestos de azufre. El petróleo crudo presenta un olor aromático. En aceites el olor es diferente, por efecto de la cantidad de hidrocarburos livianos y de las impurezas (Villegas, 2010).

Color: Los hidrocarburos presentan desde un el color amarillo hasta un rojo pardo y negro. Por incidencia de luz reflejada, el aceite crudo es usualmente verde, debido a la fluorescencia. Los aceites medianos tienen un color ámbar; los aceites más pesados presentan un color oscuro. Consecuentemente su tonalidad se oscurece, con el aumento del peso específico, que se incrementa con el porcentaje de asfalto. Los hidrocarburos puros son incoloros, sin embargo, se colorean por oxidación, especialmente los no saturados y los que no contienen nitrógeno N, oxígeno O y azufre S (Pérez, 2015).

Viscosidad o resistencia al flujo: Es una unidad que se mide por el tiempo que transcurre una cantidad dada de petróleo para que fluya a través de una pequeña abertura (Wauquier, 2004). La viscosidad depende de la estructura química del crudo en consecuencia a mayor proporción de fracciones ligeras, menor es la viscosidad. Igualmente la temperatura es un factor que implica la diferencia de densidades, cuanto menor sea esta más viscoso es el crudo (Salazar, 2012).

Tensión superficial y fuerza capilar: Son propiedades físicas que tiene un hidrocarburo para la migración o transporte a través de las rocas de la corteza terrestre. La tensión superficial del petróleo que está acompañado de gas disuelto es extremadamente baja y, las bajas tensiones superficiales disminuyen la fuerza capilar en el movimiento del petróleo crudo, en medios porosos mediante gases a alta presión (Wauquier, 2004).

Fluorescencia: Es el aspecto que exhiben los hidrocarburos líquidos y gaseosos por efecto de los rayos infrarrojos o luz solar (Gutiérrez, 1993). El análisis de la fluorescencia sirve para confirmar el tipo de hidrocarburo. Y a través del color de la fluorescencia es posible analizar la gravedad del crudo como se ilustra en la tabla 1. Mientras menor es la gravedad API, más oscura y menos intensa será la fluorescencia (Mendoza, 2008).

Tabla 1. Propiedades de los hidrocarburos

	Aceite residual		Aceite ligero			Gas y condensado		
Color del espectro	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Azul	Violeta	Ultra violeta	Rayos x
Color de fluorescencia	Café	Naranja	Crema a amarillo	Blanco	Verde azul	Violeta	---	---
Longitud de onda (nm)	770 a 610	600 a 590	580 a 570	560 a 520	510 450	440 a 430	420 a 150	140 a 100
Grados API	10-15	15-25	25-35	35-45	45-55	más de 55	---	---
Gravedad específica	0.9993 a 0.9659	0.9659 a 0.9042	0.9042 a 0.8498	0.8498 a 0.8017	0.801 a 0.7589	---	---	---

2.2 Tipos de hidrocarburos

El petróleo es una mezcla uniforme de compuestos orgánicos, fundamentalmente de hidrocarburos y en ocasiones con la presencia de azufre, oxígeno y nitrógeno. Así mismo, el petróleo puede clasificarse según: su composición química, su densidad, o por la cantidad de azufre que este posea (Encalada, Guerrero, & Narváez, 2015).

La figura 1 muestra una clasificación de hidrocarburos, los cuales se dividen en dos grupos principales, el primero de ellos en hidrocarburos de cadena abierta (alifáticos) y el segundo en hidrocarburos de cadena cerrada o cíclicos (Marín, 2010).

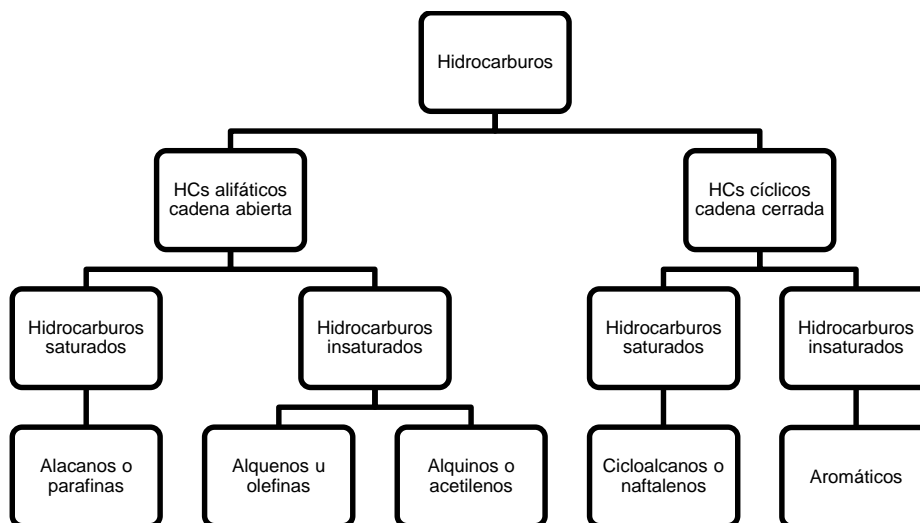


Figura 1. Clasificación general de los hidrocarburos

2.2.1 Hidrocarburos alifáticos

Los hidrocarburos alifáticos son de cadena cíclica o cadena abierta y pueden clasificarse en saturados y no saturados. Los saturados se subdividen en alcanos o parafinas y los insaturados en alquenos o álcenos (González, 1991).

Los hidrocarburos alifáticos reaccionan principalmente por la adición y sustitución de radicales libres que se da en dos fases: la primera sucede en los enlaces múltiples; la segunda y última ocurre en diferentes puntos de la cadena alifática (Thornton & Neilson, 1998).

Se encuentran en los productos como el butano o en disolventes orgánicos como el hexano. Y con frecuencia también se encuentran en los combustibles de los automóviles (Durst & Gokel, 1985). Estos hidrocarburos se caracterizan por ser

muy solubles en medios acuosos como el aceite, y consecuentemente su absorción puede ser más fácil (Rodríguez, 2017).

2.2.2 Hidrocarburos cíclicos

Estos hidrocarburos son de cadena cerrada o cíclica cuyos átomos de carbono están unidos por enlaces simples formando uno o varios anillos (Álvarez, 2005).

Los grupos principales se subdividen según su comportamiento químico en saturados e insaturados. El más simple de los hidrocarburos cíclicos saturados es el ciclopropano; es un compuesto más reactivo que el alcano de cadena abierta y el propano. Diversos cicloalcanos forman parte del petróleo (F. Fieser & Fieser, 1981).

Los hidrocarburos cíclicos insaturados se encuentran en algunos aceites naturales aromáticos y de origen animal. Químicamente la composición de estos aceites esenciales consiste en terpenoides, debido a que forman una amplia familia de compuestos químicos (García, 2017).

El grupo más importante de los hidrocarburos cíclicos insaturados es el de los aromáticos. De acuerdo a Beyer & Wolfgang (1987), la fuente principal de los hidrocarburos aromáticos y sus derivados es el alquitrán de hulla, es un líquido negro producto secundario importante para las coquerías y las industrias de gas. El alquitrán tiene una estructura de mezclas de sustancias neutras, ácidas y básicas (Beyer & Wolfgang, 1987).

2.3 Clasificación de los hidrocarburos según su densidad

La gravedad API (del inglés: American Petroleum Institute) es un técnica de clasificación de acuerdo a la densidad (viscosidad y fluidez) del crudo en comparación con el agua a temperaturas similares. Por lo tanto, de esta forma la

densidad API es la medida inversa a su gravedad específica con respecto al elemento fundamental (Nava, 2014).

La densidad es una propiedad física que mide la relación de masa contenida en un determinado volumen. La gravedad API es la comparación de densidades del petróleo con la densidad del agua. El Instituto Americano del Petróleo indica que a una mayor gravedad API el petróleo es más liviano (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, 2015).

Por consiguiente con base a la gravedad API, la industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica al petróleo crudo en extra ligero, ligero, mediano, pesado y extra pesado (Doria, Ibáñez, & Mainero, 2009); como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del petróleo crudo por su densidad y gravedad API

Petróleo crudo	Densidad g/mL	Gravedad API
Extra pesado	≥ 1.0	≤ 10
Pesado	0.92 - 1.01	10.1 - 22.3
Mediano	0.87 - 0.91	22.4 - 31.1
Ligero	0.83 - 0.86	31.2 - 39.0
Extra ligero	≤ 0.83	≥ 39.0

Fuente: (Doria *et al.*, 2009)

2.4 Contaminación por hidrocarburos

El manejo incorrecto de los materiales y residuos peligrosos han generado un problema de contaminación de suelos, aire y cuerpos de agua, resultado inevitable en la industria petrolera. Entre las más graves fuentes de contaminación, que tienen en común todos los países productores de hidrocarburos, se destacan la extracción y manejo del petróleo (Benavides *et al.*, 2006).

Se estima que aproximadamente mil millones de galones (gal) de petróleo se derraman en los océanos por año, lo anterior como resultado de las actividades desarrolladas por el hombre. Para tal efecto, el 8% del derrame se origina por fuentes naturales. De igual manera, se tiene el dato de que el 22% se libera intencionalmente en la operación petrolera, el 12% se distribuye en accidentes por derrames de hidrocarburos y por último, el 36% por escorrentías y desechos municipales e industriales (Suchanek, 1993; García-Cuéllar *et al.*, 2004).

La actividad que desarrollan las empresas de operación petrolera como PEMEX implica una mayor posibilidad de impactos al ambiente a causa de derrames de petróleo y sus derivados en el medio marino, por la implementación de procesos de exploración, producción en altamar, transporte marítimo y submarino, operaciones de embarque y almacenamiento, accidentes como rupturas de los oleoductos submarinos, accidentes de buques-tanques y generalmente por exposiciones de plataformas (García-Cuéllar *et al.*, 2004).

Las actividades que realizan las empresas petroleras provocan impactos negativos al medio ambiente y a la biodiversidad. Entre los cuales se enmarcan las siguientes:

La exploración sísmica: Se caracteriza por ser una de las actividades de las empresas de operación petrolera y se considera como una fuente de conflicto con el ambiente. Genera indudables impactos negativos en el medio natural ya que está relacionado con la perforación, explosiones y vertimientos (Castaño, 2017).

De igual manera, la actividad sísmica se define como un proceso en el cual se producen temblores o vibraciones artificiales en la superficie terrestre a través de detonaciones de dinamita o explosivos subterráneos. La situación descrita, toma registros de las ondas sonoras para la identificación de reservas petroleras (Zamora & Ramos, 2010).

Perforación exploratoria: Existen diversos proyectos de perforación para la extracción de petróleo en pozos y se aplica esta fase para culminación de la búsqueda y aprovechamiento de los hidrocarburos. La perforación se realiza por diversas etapas, y se toman registros electrónicos de las características del petróleo y del gas natural (González, Wilmar, & Gómez, 2013).

Al llevar a cabo la perforación de exploración se producen transformaciones como: alteración de ecosistemas naturales y antrópicos, e igualmente los cambios en los cursos del agua desestabilizando de los taludes naturales, entre otros efectos perjudiciales para el medio ambiente (Avellaneda, 2005).

2.4.1 Daños ambientales por derrames de hidrocarburos

La contaminación de derrames de petróleo crudo o por petróleo refinado, cada día se vuelve más frecuentes en zonas costeras y oceánicas, y va dejando efectos e impactos negativos al ambiente.

La contaminación de las aguas por los hidrocarburos produce un cambio en las características organolépticas del agua que genera el rechazo de los consumidores, puesto que es un riesgo para la salud de los seres vivos; al mismo tiempo, el ecosistema puede sufrir afectaciones debido a los diferentes compuestos que representanta este contaminante orgánico (Prieto & Martínez de Villa, 1999).

Al ocurrir esta contaminación, se forma una película impermeable en la superficie del agua afectando de forma rápida y directamente a las aves y a la fauna acuática, cubriendo la piel y las branquias de los animales que habitan en este medio; provocándoles la muerte por asfixia, además obstruye el intercambio gaseoso y desvía los rayos luminosos que aprovecha el fitoplancton para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis (Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010).

La contaminación de hidrocarburos puede presentarse en dos formas generales: puntual y sistemática. La primera ocurre de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. La sistemática es habitual y la caracterizan aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica (Prieto & Martínez de Villa, 1999).

Generalmente los efectos de un derrame dependen del tipo de petróleo (crudo o refinado), cantidad, época del año, condiciones atmosféricas, temperatura media del agua y corrientes oceánicas (Hidalgo, 2009).

2.5 Remoción de los hidrocarburos

Existen diversos equipos y técnicas para remover los hidrocarburos del agua, algunos de ellos son más benéficos que otros. Al utilizar compuestos químicos para contener o eliminar el crudo, se pueden producir daños secundarios y en ocasiones más graves que el propio hidrocarburo (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007).

De esta manera, una vez derramados los hidrocarburos empiezan a meteorizarse, lo que implica el aumento de viscosidad y contenido de agua. El acelerar la remoción de hidrocarburos de un medio acuoso aumenta la probabilidad de que esta sustancia orgánica sea fluida y relativamente libre de contaminación (Corona-Ramírez & Iturbe-Argüelles, 2005).

Se debe agregar que la biorremediación es un proceso que implementa la descontaminación por una serie de reacciones bioquímicas gracias a la implementación de microorganismos infundidos en la zona o área contaminada (suelo, aire y agua), para generar una estructura menos tóxica que los componentes de los hidrocarburos (Vázquez, Guerrero, & Quintero, 2010).

2.5.1 Técnicas para control y limpieza de derrames

Cuando ocurren los derrames de hidrocarburos, estos compuestos tienen la peculiar característica de flotar y formar una capa de unos cuantos milímetros en la superficie del agua. El tiempo es crucial para la propagación de la mancha, por lo cual se deben de tomar ciertas medidas de precaución y correctivas. La respuesta debe ser rápida, eficaz y económicamente eficiente (Vergara & Pizarro, 1981).

Las estrategias de cómo contrarrestar la contaminación de hidrocarburos que existen son: contención y recuperación, quemado "*in situ*", dispersión química y adición de agentes biológicos (Casado, 2013).

La contención y recuperación son las primeras acciones que se deberán tomar en caso de un derrame de hidrocarburos y otras sustancias nocivas potencialmente peligrosas, junto con la dispersión mecánica (chorros de agua y propeleo). La dispersión química y la quema *in situ* se aplicarán como respuesta alternativa, siempre y cuando hayan sido aprobados por un comité técnico asesor (Secretaría de Marina [SEMAR], 2016).

Para la contención, recuperación y limpieza de costas afectadas por derrames de hidrocarburos existen muchas técnicas disponibles como: bombeo de aceite flotante, uso de redes de protección, limpieza manual, recolección mecánica, uso de sorbentes, chorros de agua de baja presión, supervisión mecánica y lavado de alta presión (Preparedness for Oil-polluted Shoreline cleanup and Oiled Wildlife interventions [POSOW], 2016).

Quemado "*in situ*" este método es para eliminar parcialmente los hidrocarburos de la superficie del agua, y pueden ser eficiente cuando la mancha de contaminación presenta ciertas características; espesor adecuado (>2 mm), relativamente fresco y poco emulsionado (Casado, 2013). Al aplicar la combustión

de los hidrocarburos sobre la superficie del mar puede ser un método eficaz para la eliminación de una gran mancha de hidrocarburos en un periodo relativamente corto. Bajo condiciones adecuadas y tipo de hidrocarburo, la incineración “*in situ*” puede eliminar hasta un 95-98% del hidrocarburo derramado en el medio acuático (Orviz, 2014).

Dispersión química dentro de este proceso se utilizan agentes químicos como los dispersantes que reducen rápidamente el hidrocarburo en la superficie del agua y evita que se desplace por los diversos efectos ambientales y disminuye la posibilidad de que este llegue a las costas, además, acelera el proceso de degradación natural (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2013). Estos compuestos son una mezcla de agentes tensoactivos en uno o varios disolventes orgánicos. Este disolvente ayuda a que la mezcla penetre en los hidrocarburos, mientras que los agentes tensoactivos reducen la tensión superficial y aumenta la velocidad de la formación de pequeñas gotas y evita la coalescencia del derrame (Orviz, 2014).

La adición de agentes biológicos es otra técnica que se incorpora después de haber realizado la limpieza de las costas para descomponer el hidrocarburo a través de un proceso de biodegradación: la biodegradación se origina cuando las bacterias y otros microorganismos descomponen el aceite en sustancias menos tóxicas. Este proceso de biodegradación se puede acelerar al añadir nutrientes como el nitrógeno y fósforo, que estimulan el crecimiento de los microorganismos y poseen una influencia sobre la biodegradabilidad y biodisponibilidad del carbono y del nitrógeno (Cerón & Aristizábal, 2012).

En los últimos años el uso de biosorbentes ha empezado a tener una relevante aceptación en las técnicas de limpieza por derrames de hidrocarburos.

2.6 Biosorbentes

La biosorción es un proceso físico-químico y metabólicamente independiente basado en diversos mecanismos en los que se incorporan la absorción, adsorción, intercambio iónico y precipitación. Los métodos de biosorción son de importancia relevante en el ambiente y en los procesos habituales de biotratamientos. De acuerdo a la preocupación de la contaminación del ambiente por derrames de hidrocarburos, se ha dirigido a la eliminación o recuperación de sustancias orgánicas e inorgánicas por material biológico (Fomina & Gadd, 2014).

Debido a que la mayor parte de los materiales biológicos tiene alta afinidad con los derivados de los hidrocarburos y otros contaminantes de naturaleza orgánica, estos materiales se suelen utilizar para la remoción de sustancias. Entre los adsorbentes más comunes se encuentran todo tipo de biomasa microbiológica, vegetal y animal, subproductos, los cuales han sido objeto de investigación en una variedad de formas para la eliminación o remoción de distintos compuestos orgánicos e inorgánicos (Cuizano, Llanos, & Navarro, 2009).

El uso de materiales orgánicos e inorgánicos naturales puede arrojar una mayor eficiencia de adsorción; pudiendo adsorber de 3 a 20 veces del peso del hidrocarburo por el peso del adsorbente (Wahi *et al.*, 2013).

2.6.1 Tipos de biosorbentes

Investigaciones recientes han demostrado que diferentes materiales naturales pueden ser empleados como biosorbentes del petróleo y sus derivados, como los hidrocarburos. Tal es el caso de fibras de palma, coco, caña de azúcar, algunas algas (buchón de agua), tallos de flores, cabellos humanos y animales, plumas de pollos, gránulos de corcho, hierba, heno, semillas de algodón, espigas de maíz, corteza, turba, aserrín, pulpa de papel, paja, lana, cáscara de café, cáscara de maní, cáscara de arroz, cáscara de cacao, cáscara de banano y cáscara de

guayaba (Ortiz *et al.*, 2006; Silos, 2008; Pinzon, 2010; Moodley *et al.*, 2011; ITOPE, 2012; Martínez *et al.*, 2016; Rodríguez, 2017; Cárdenas, 2017; Díaz-Díaz *et al.*, 2018).

Los sorbentes que se utilizan para eliminar derrames de petróleo del suelo y la superficie del agua se pueden clasificar por diversos factores: su finalidad, método de eliminación, materia prima, flotabilidad y porosidad. Por otro lado, los sorbentes se dividen en naturales que se caracterizan por su capacidad limitada de retención, buena flotabilidad y bajo costo; y sintéticos, que tienen un alta capacidad de remoción pero costo relativamente alto (Rotar, Rotar, Iskrizhitsky, Sharipov, & Pimenova, 2015).

La generación de desechos agroindustriales representa una fuente de contaminación de alto impacto ecológico, y por ello se opta por darles otro uso benéfico para el ambiente en este caso, como sorbente de hidrocarburos. Los bioprocesos representan una atractiva alternativa considerada como una tecnología limpia, rentable, y de fácil manejo, en donde es posible biodegradar los desechos generados.

2.7 Materiales queratinosos

Los materiales queratinosos contienen tejidos con muchos cromóforos que dan fluorescencia en las regiones de radiación visible y ultravioleta. Por su parte, las queratinas se clasifican a su vez, como suaves y duras. Por lo regular, estos aspectos se determinan por composición física y química del tejido. Entre las queratinas duras se identifican pelos, uñas, garras, lana, cuernos, caparzones, pezuñas, y plumas de aves. Del mismo modo, están las queratinas suaves como el estrato córneo de la piel donde hay células que contienen filamentos de queratina y no de organelos metabólicos de cualquier otra célula (McMullen, Chen, & Moore, 2012).

El residuo queratinoso es usado potencialmente como una fuente valiosa de obtención de proteína para convertirlo; en un componente de alimento para animales, fertilizante para la nutrición de plantas y asimismo, como un sorbente de compuesto orgánicos (Vega, 2014).

2.7.1 Queratina

La queratina es una proteína que se caracteriza por tener un alto contenido de un aminoácido proteinogénico llamado cisteína, en consecuencia, tiene la capacidad de generar enlaces cruzados entre la proteína y sus enlaces intermoleculares de bisulfuro. Debido a esto, posee buenas propiedades mecánicas (Paniagua, Ossa, & Ruiz, 2008). La queratina contiene treonina, arginina, valina y leucina y es especialmente rica en cisteína; en concentraciones más bajas, se encuentran también histidina, lisina y metionina (Muchuca-Loja, y otros, 2016).

De igual manera, la queratina tiene la propiedad de ser completamente insoluble en un pH neutro y a una temperatura ambiente (González & Bauza, 2010). Esta proteína natural se encuentra en muchos vertebrados, y que en los seres humanos se encuentra conformando uñas, cabello, córnea, callosidades y vello de cara y cuerpo. Además, 95% de las plumas de las aves están compuestas en su mayoría por esta proteína. Una de las características químicas importantes de la queratina es la de absorber hidrocarburos (Molina, 2014).

La queratina es una sustancia química que resulta de la polimerización natural, presenta una composición química de los siguientes elementos en porcentajes: 51% de carbono, 21% de oxígeno, 6% de hidrógeno, 17% de nitrógeno y finalmente 5% de azufre. La queratina protege al cuerpo del medio externo. Los numerosos enlaces disulfuro que a esta proteína le pertenecen le dan cierta capacidad de estabilidad y le permite resistir a la acción de las enzimas

proteolíticas (Milady, 2012). En la figura 2 se muestra la composición química elemental de la queratina.

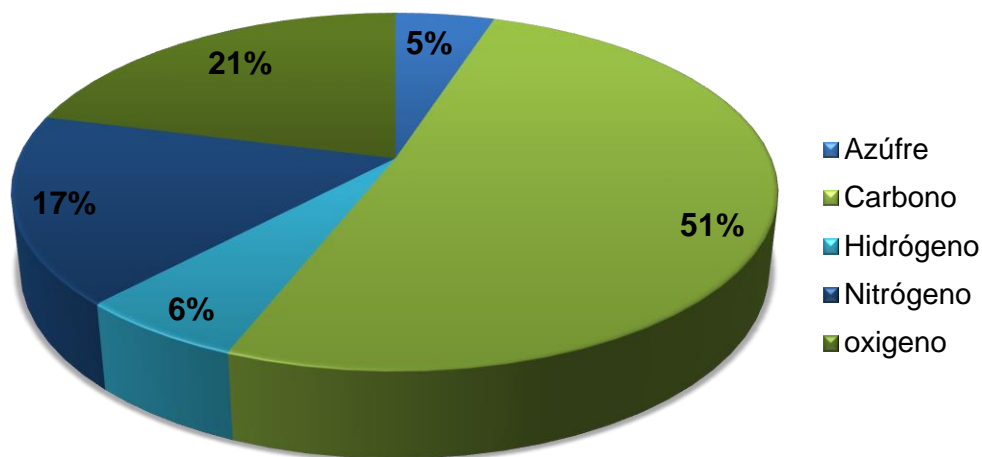


Figura 2. Componentes de la queratina

2.8 Plumas de pollo

Actualmente la República Mexicana es considerada como el segundo productor avícola en Latinoamérica, debido a que aproximadamente se procesan 25 millones de pollos por semanas para el autoconsumo de la población. El desarrollo de la avicultura mexicana se compara favorablemente con la de otros países productores, prefiriendo alimentos macros de menor contenido de colesterol, mayor control de sanidad, y bajo costo, convirtiendo a la carne de pollo en uno de los eslabones más importantes del país (Quintana, 1999).

2.8.1 Características de las plumas de pollos

Las plumas de pollos proporcionan a las aves varias funciones benéficas, algunas de las cuales son proteger la piel, regular la temperatura del cuerpo y fundamentalmente hacer posible la acción del vuelo. Las plumas tienen la

capacidad de repeler y ser impermeables al agua debido a su estructura como se ilustra en la figura 3 (Salinas, 2010).

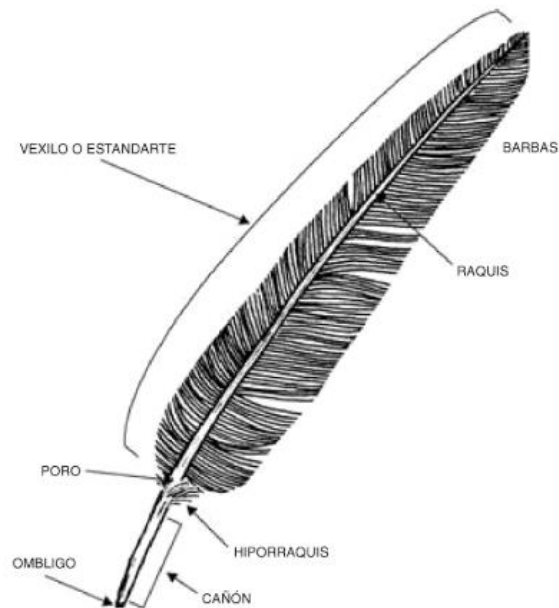


Figura 3. Estructura de la pluma de pollo

Fuente: (Cuevas Martínez, 2007)

En relación con la obtención de queratina, una de las fuentes principales son plumas de aves de corral, que como residuo puede ser aprovechado, mediante procesos fisicoquímicos y biológicos con el objetivo de implementar nuevas tecnologías amigables con el ambiente (Machuca-Loja, Madrid-Celi, Sanmartin-Galván, & Pérez-Rodríguez, 2016).

En particular, la fibra de las plumas de pollo son un residuo avícola interesante para la remoción de diversos contaminantes que se encuentran en el agua, debido a las características exclusivas fisicoquímicas y constituyentes que las plumas poseen (Monroy, 2007).

Por otra parte, las plumas de aves son subproductos de los desechos de la industria avícola que se generan en grandes cantidades (Sayed, Saled, & Hasan,

2005). De igual manera, este residuo representa una fuente natural, abundante y reutilizable de un material con propiedades sobresalientes para el tema de absorción que no ha sido utilizado en su totalidad (Al-Asheh, Banat, & Al-Rousan, 2003).

Las plumas de pollo poseen un comportamiento hidrofóbico y están constituidas por una red de fibras de queratina que forman una gran cantidad de espacios o hendiduras. Existen reportes de que las plumas de pollo tienen una alta área específica favoreciendo tanto la velocidad de absorción de hidrocarburos como los procesos de adsorción (Salazar Hernández, 2012).

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Obtención de la muestra

La muestra del material queratinoso (plumas) se obtuvo de la granja del poblado de Santa Cruz Hidalgo comunidad perteneciente al Municipio de Misantla, Veracruz. Con la cantidad de plumas obtenidas en un día de producción, se obtuvo una muestra representativa de 5 kg, la cual fue secada a temperatura ambiente por 48 h.

3.2 Preparación de la muestra

La preparación de la muestra siguió una serie de procesos, los cuales son fundamentales para una correcta sorción de hidrocarburo.

3.2.1 Lavado

Una vez obtenida la muestra de plumas de pollo, se transfirió el material a un contenedor de plástico, el cual presentaba un volumen considerable de agua, para el lavado se utilizó jabón de la marca Foca™ que es un detergente en polvo, biológico y biodegradable. Esta operación de lavado se generó manualmente con agitaciones ocasionales con el objetivo de remover impurezas y obtener un producto limpio libre de suciedades adheridas al material queratinoso.

3.2.2 Secado

Una vez limpia la muestra del material queratinoso, se sometió a un proceso de secado, utilizando un esterilizador electrónico quirúrgico CAISA™ modelo 12-27 a una temperatura de 105°C por 24 h posteriormente se registró el peso final de la muestra.

3.2.3 Molienda

Para reducir el tamaño de las plumas, se utilizó un molino manual de cuchillas Estrella Roja™ hasta obtener diferentes tamaños de partículas del material queratinoso.

3.2.4 Tamizado

La clasificación del tamaño de la muestra se llevó a cabo mediante una serie de tamices FIISCA™ lo cual consistió básicamente en clasificar en dos tamaños de partículas, según el Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM corresponden a cribas de amplitud o abertura de 2.4 y 1.2 mm de acuerdo a la Asociación Americana de Ensayo de Materiales por sus siglas en inglés ASTM a tamices de número 8 y 16.

3.3 Evaluación de las propiedades del sorbente

La metodología para realizar estas pruebas es una adaptación de la norma ASTM F 726-99: *Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents* (American Society for Testing and Materials [ASTM], 1999).

3.3.1 Densidad de almacenamiento

Con el fin de conocer el peso de las plumas de pollo en un volumen establecido y con la ayuda de una balanza granataria ACCULAB™ con capacidad de lectura de 6,000 g y una probeta limpia y seca de 50 mL, se determinó la densidad de almacenamiento del sorbente.

3.3.2 Prueba de flotabilidad

Se colocó 0.2 g de sorbente dentro de un vaso de precipitado de un litro, conteniendo agua hasta la mitad, posteriormente el vaso fue sellado con película plástica de poliéster transparente y colocado sobre un agitador de rotación orbital para matraces ARH-5™ a una frecuencia o velocidad de 150 r.p.m. por un periodo de 15 min.

El contenido del recipiente se dejó sedimentar durante 2 min, las observaciones correspondientes de las condiciones del agua y el sorbente fueron registradas, considerando que si el 10% o más del sorbente se hunde se determina que el sorbente falló en esta prueba. Como la prueba resultó positiva el contenido del recipiente se filtró y el sorbente se drenó durante 30 seg.

La retención de agua se calculó mediante la diferencia en peso. El vaso de precipitado se llenó nuevamente hasta la mitad de agua y se le agregó 3 mL de hidrocarburo. La muestra de sorbente se regresó al recipiente y se selló nuevamente para colocarlo en el agitador a una frecuencia de 150 r.p.m por un periodo de 15 min.

Las observaciones incluyeron peso del sorbente seco, peso del sorbente húmedo, cantidad de sorbente sumergido y apariencia del sorbente.

3.4 Prueba corta de capacidad de retención

Para realizar esta prueba primeramente se pesaron 0.2 g de muestra en la balanza analítica pi-314 Denver Instruments™ de capacidad de 310 g. La muestra antes pesada se colocó en una bolsa contenedora con una dimensión promedio 4 cm x 4 cm. Se pretendió que cada bolsa contenedora presentara el mismo peso y tamaño para cada repetición de cada una de las pruebas a la que se encontró sometido el sorbente propuesto.

En la figura 4 se aprecia la bolsa contenedora con la muestra que se introdujo al vaso precipitado de 1,000 mL conteniendo agua hasta un 80% de la capacidad de vaso y 2.5 cm del hidrocarburo (gasolina y petróleo) con el cual se desea probar.



Figura 4. Prueba del material queratinoso en gasolina y petróleo

Se dejaron pasar 15 min de contacto de la muestra con el hidrocarburo, transcurrido el tiempo se sacó la muestra y se dejó escurrir 30 seg. Y Finalmente, en la balanza analítica pi-314 Denver Instruments™ se pesó la muestra y se calculó la capacidad de retención del sorbente con la siguiente ecuación.

$$C_s = \frac{m_t - m_o}{m_o} \quad \text{Ecuación 1}$$

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).

3.5 Prueba larga de capacidad de retención

Para llevar a cabo esta prueba se repitió la misma metodología descrita anteriormente (3.4), con excepción del tiempo de contacto de la muestra con el hidrocarburo en este apartado se dejó pasar 24 h.

3.6 Análisis del tiempo óptimo de contacto

Para determinar el tiempo óptimo de contacto entre el sorbente y el hidrocarburo se calcularon las capacidades de retención del material queratinoso según la metodología descrita anteriormente basada en el estándar internacional *Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents* (1999), a los siguientes tiempos: 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 6 h y 24 h.

3.7 Comparación con un sorbente comercial

Se llevó a cabo una comparación de un sorbente comercial, mediante la prueba corta y larga de capacidad de retención. El sorbente elegido fue el *Peat moss* o Turba de *Sphagnum* que es un material 100% orgánico, derivado de la acumulación de musgos acuáticos (musgo de turba), se contrastaron los resultados obtenidos para el material queratinoso.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinaciones de las propiedades del material sorbente

El material queratinoso que se utilizó durante la experimentación en el presente trabajo es de tipo II, los cuales son materiales sueltos, particulados y no sólidos que puedan ser manipulados con palas o equipos dispersantes (López, 2014).

4.1.1 Densidad de almacenamiento

La densidad de empaque o almacenamiento se determinó mediante el pesado de un volumen de 50 mL del material queratinoso, con los dos diferentes tamaños de partícula, en el cual se reporta los datos obtenidos en la tabla 3.

Tabla 3. Densidad de almacenamiento del material queratinoso

Tamaño de partícula (mm) según IRAM	No. tamiz según ASTM	Densidad (g/L)
1.2	16	40
2.4	8	30

En el estudio actual, la comparación del material queratinoso con otros materiales orgánicos naturales reflejó una menor densidad promedio de 40 y 30 g/L en un tamaño de partícula de 1.2 y 2.4 mm.

Para estudios anteriores, como el que realizaron Díaz-Díaz *et al.* (2018) para recogida de hidrocarburos en derrames en agua y suelo utilizando como material absorbente el bagazo de caña el cual fue sometido a tratamiento con hidróxido de sodio NaOH y peróxido de hidrógeno H₂O₂, tuvo una densidad de almacenamiento de 89.5 g/l en un tamaño de partícula menor a 3.5 mm.

Y teniendo en cuenta lo reportado por Ortiz *et al.* (2006) en su estudio de materiales orgánicos naturales, donde se determina la densidad de empaque del bagazo de caña malla 80 y 30 (0.180 y 0.60 mm) con una densidad de 133 g/L y 67 g/L, fibra de coco malla 80 y 30 (0.180 y 0.60 mm) con sus respectivas densidades 112 g/L y 28 g/L y finalmente el buchón de agua malla 80 y 30 (0.180 y 0.60 mm) con una densidad de empaque de 61 g/L y 74 g/L.

En la influencia de la capacidad de sorción de los materiales absorbentes se encuentra varios factores como la densidad, la selectividad, la porosidad y la retención. La densidad de almacenamiento o aparente es una medida de densidad entre sólidos, poros, y los intersticios y por lo tanto varía en función de la compactación (Jiménez & Padilla, 2012).

Se determinó esta propiedad del material queratinoso con la necesidad de diseñar a futuro un empaque y embalaje para una mejor manipulación, almacenaje, transporte y distribución del producto.

Posteriormente, se evaluó el material queratinoso para determinar y cuantificar su propiedad correspondiente de flotabilidad; es una de las propiedades principales que debe cumplir un sorbente para combatir o contrarrestar la contaminación por hidrocarburos en el agua.

4.1.2 Flotabilidad

La tabla 4 ilustra los datos cualitativos obtenidos en el análisis preliminar de flotabilidad que posee el sorbente, utilizando el método que indica el protocolo ASTM F 726-99. De acuerdo con la serie de análisis realizados (apartado anterior) el sorbente muestra menor densidad específica a comparación que el agua (997 g/L), por lo tanto este material propuesto tiende a flotar tanto en agua como en mezclas de hidrocarburos/agua.

Tabla 4. Flotabilidad de acuerdo a los diferentes tamaños de partícula

Tamaño de partícula (mm)	Flotabilidad	
Pluma entera	Si	
Pluma molida	1.2	Si
	2.4	Si

La flotabilidad que tiene el material queratinoso fue del 100% esto le permite mantenerse el tiempo suficiente en la superficie al ser utilizado ante un derrame de petróleo sobre el agua y posteriormente ser removido al cumplir su función.

Tal como lo indica ASTM (1999) una de las condiciones que exige la normativa estandarizada para que los materiales sean considerados como sorbentes, es que su porcentaje de flotabilidad en agua debe superar el 90%, asimismo deben tener altas propiedades oleofílicas y bajas propiedades hidrofílicas.

La muestra se sometió a esta prueba y como resultado el material sorbente propuesto mostró facilidad de flotabilidad.

Sorción de agua

Los experimentos realizados para determinar la sorción de agua se ejecutaron con el objetivo de establecer una referencia comparativa y poder tener en cuenta la capacidad de sorción del agua presente en la remoción del hidrocarburo.

Se determinó la relación de sorción de agua del material queratinoso registrando los resultados en la tabla 5 y, la capacidad de retención obtenida fue de 1.044 g de agua/g de sorbente y 1.886 g de agua/g de sorbente, datos mínimos a los reportados para materiales tipo II obtenidos en otros estudios, que fluctúan en el rango de 4.0 - 6.1 g de agua/g de sorbente (Said, Ludwick, & Aglan, 2009), 3.98 – 6.06 g de agua/g de adsorbente (Méndez-Tovar, Machado-Soberanes, & Guerra, 2012) y 4.85 – 5.29 g de agua/g de adsorbente (Díaz-Díaz *et al.*, 2018).

En el estudio del empleo del bagazo de caña como material adsorbente en derrames de petróleo presentaron resultados de la capacidad de adsorción de agua de 4.46 g de agua/g de adsorbente en un tamaño de partícula de 1 mm y 3.08 g de agua/g de adsorbente en un tamaño de partícula de 2 mm (Armada *et al.*, 2008). Cabe mencionar, que el desempeño del sorbente natural fue en condiciones dinámicas.

Tabla 5. Resultados de sorción de agua e hidrocarburo

Hidrocarburo	Tipo de HC	Sorción/agua (g/g)	Sorción/HC (g/g)
Petróleo crudo	Mediano	1.044	2.850
Gasolina	Ligero	1.886	2.997

Los resultados obtenidos del material queratinoso ratifican que la capacidad de sorción de agua es muy baja. Esto significa que el material a granel probado presenta bajas propiedades hidrofílicas. En la figura 5 y 6 se muestra el material sorbente que flotó en su totalidad al finalizar el experimento.

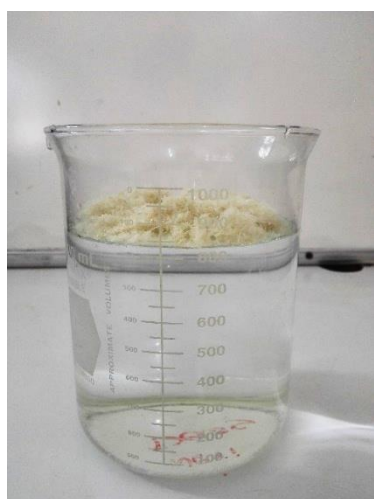


Figura 5. Flotabilidad del material queratinoso tamaño de partícula 1.2 mm

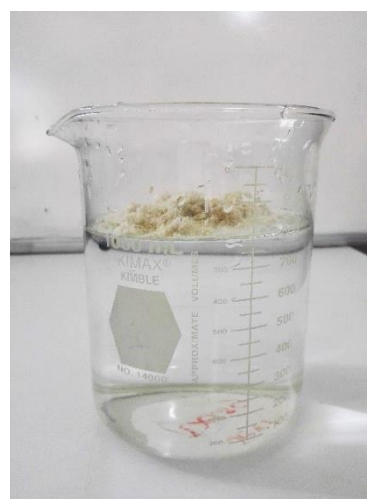


Figura 6. Flotabilidad del material queratinoso tamaño de partícula 2.4 mm

4.2 Prueba corta de capacidad de retención

A partir de la serie de análisis realizados se examinó la capacidad de sorción de hidrocarburos (gasolina y petróleo) en los diferentes tipos de tamaño de partícula (1.2 y 2.4 mm) siguiendo la metodología de la norma ASTM F 276-99 “*Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents*” en su apartado *Oil Adsorption Short Test*.

Para la realización de los experimentos en general, se utilizaron dos productos derivados del petróleo: la gasolina que es el producto más demandado y el petróleo que se adquirió en una tienda comercial de pinturas.

Gasolina

En la figura 7, se muestran los datos experimentales de las determinaciones de la masa de hidrocarburo sorbido por gramos del material sorbente en una prueba corta de capacidad de retención de 15 min. Este procedimiento u operación se repitió 5 veces para cada uno de los diferentes tamaños de partículas e hidrocarburos y así obtener un promedio general de sorción del material propuesto.

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

$$C_s = \frac{m_t - m_o}{m_o} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

C_s = Capacidad de sorción.

m_t = Masa del material impregnado (después del tiempo de contacto) (g).

m_o = Masa del material sorbete seco (g).

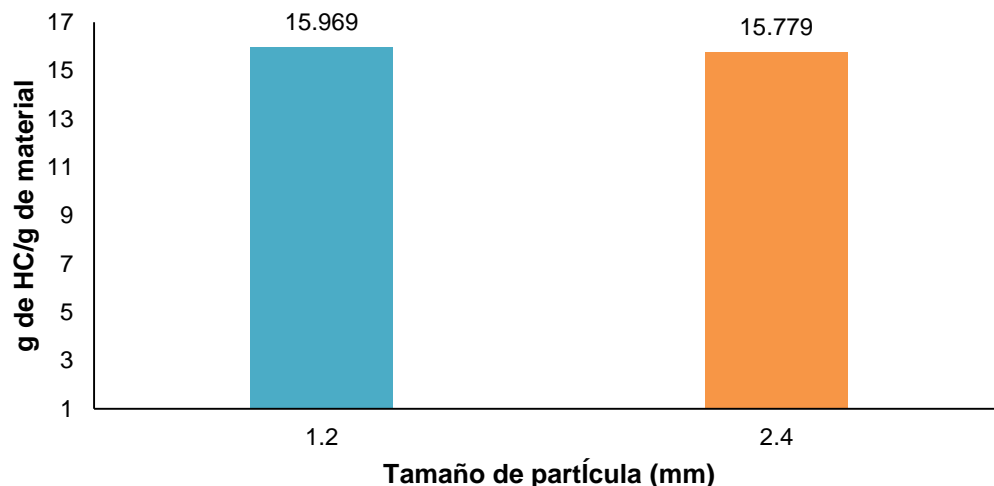


Figura 7. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso en 15 min

En la prueba en condiciones estáticas del material sorbente se registró una capacidad de sorción promedio de 15.969 ± 1.28 g de HC/g de material sorbente en el tamaño de partícula 1.2 mm y 15.779 ± 0.82 g de HC/g de material sorbente en el tamaño de partícula de 2.4 mm. Los resultados indican que el material queratinoso tiene una capacidad prácticamente similar de retención de gasolina en 15 min, con respecto al tamaño de partícula.

Los datos obtenidos fueron comparados con los resultados de trabajos anteriores que sometieron materiales naturales a las mismas condiciones que el material propuesto, Salazar (2012) menciona que el material estudiado tuvo como eficiencia de sorción a 6.2 g/g de sorbente en gasolina utilizando plumas completas y 10.7 g/g de sorbente en gasolina a plumas cortadas en segmentos de 1 cm.

Los efectos de sorción o retención de gasolina en el material queratinoso fueron superiores a los predichos por Salazar (2012) con una diferencia de 9.76 g/g de sorbente en un tamaño de partícula de 1.2 mm y 9.57 g/g de sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm con referencia en el tamaño del biopolímero de

plumas completas. En el caso de plumas cortadas en 1 cm la diferencia fue de 5.26 g/g de sorbente en 1.2 mm y 5.07 g/g de sorbente en 2.4 mm.

Lo descrito en la literatura indica que la capacidad y eficiencia de remoción aumenta al disminuir el tamaño de partícula (Agarwal, Bhuptawat, & Chaudhari, 2006; Zafar, Nadeem, & Hanif, 2007).

Petróleo

En la figura 8 se puede observar la capacidad promedio de sorción del material natural sometido a un tiempo de 15 min de contacto con petróleo ligero. Puede verse que la sorción máxima de petróleo en el material queratinoso, es de 18.723 ± 2.23 g de HC/ g material sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm y como valor mínimo se obtuvo 16.884 ± 0.85 g de HC/ g de sorbente en un tamaño de partícula de 1.2 mm.

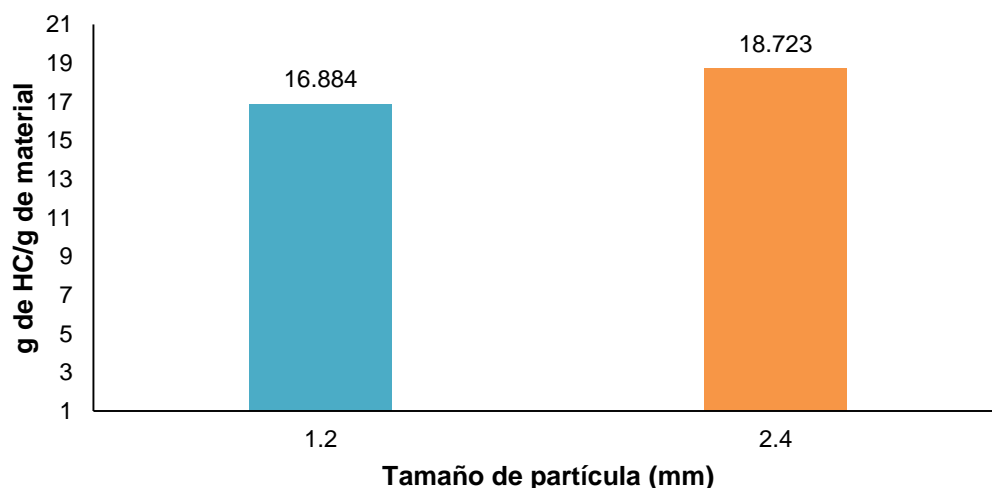


Figura 8. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso en 15 min

La figura anterior muestra la capacidad de retención que tuvo el material queratinoso (plumas de pollo) al ser sometido a pruebas con el petróleo, y los datos arrojados en los experimentos fueron (2.944 g de HC/g de material

sorbente) mayores en contraste a los resultados obtenidos para la capacidad de retención del material sometido a pruebas en gasolina.

Los resultados pueden ser comparados con un estudio realizado por Díaz-Díaz *et al.* (2018), donde se demuestra que mediante tratamiento químico con hidróxido de sodio NaOH y peróxido de hidrógeno H₂O₂ al cual fue sometido el material para realizar las pruebas estáticas de 15 min en contacto con el hidrocarburo, se obtuvo una capacidad de absorción promedio de 4.32 g de hidrocarburo/g de absorbente para diésel y 5.56 g de hidrocarburo/g de absorbente para crudo.

Otro estudio fue el de Méndez-Tovar *et al.* (2012), donde se evaluaron cinco materiales agranel de origen natural, de modo que, en los resultados experimentales el material que destacó fue el musgo, con valores de 7.1 g de crudo/g de adsorbente y 6.5 g de aceite de motor/g de adsorbente.

4.3 Prueba larga de capacidad de retención

Para esta prueba se utilizó la misma metodología indicada por el método ASTM F 276-99 descrita en el punto 9.4.2 (prueba de adsorción de hidrocarburo larga). Esta prueba corresponde a la máxima cantidad de sorción de hidrocarburo que el material queratinoso presento en un tiempo de 24 h (1,440 min).

Gasolina

El la figura 9 muestra el nivel de capacidad de sorción que tuvo cada tamaño de partícula. Y el desempeño de capacidad de sorción que tuvo el material queratinoso en gasolina en un tiempo de prueba en 24 h fue de 13.787 ± 1.00 g de HC/g de material sorbente en un tamaño de partícula de 1.2 mm y para un tamaño de partícula de aproximadamente de 2.4 mm se registró una capacidad de sorción igual a 12.859 ± 1.04 g de HC/g de material sorbente.

El material sorbente puede presentar diferente capacidad de retención dependiendo de las características de cada hidrocarburo, principalmente la viscosidad (Méndez-Tovar *et al.*, 2012).

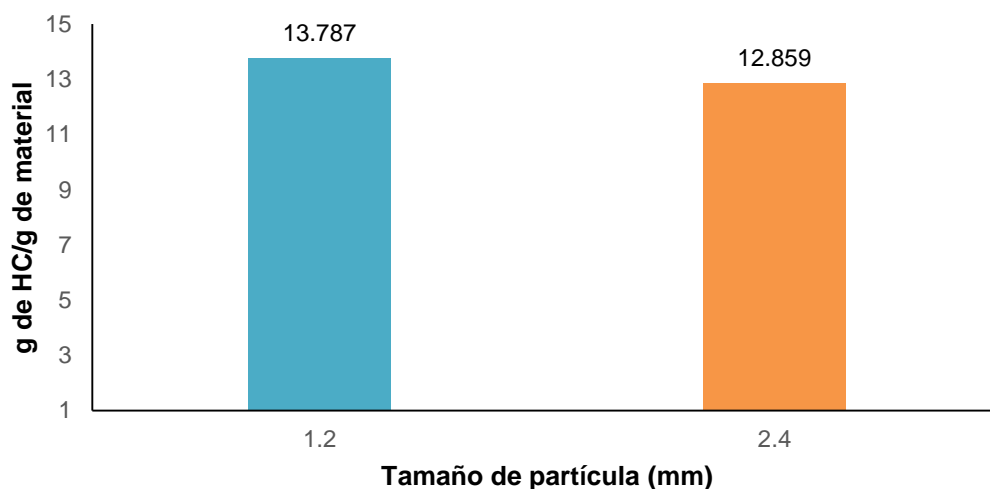


Figura 9. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso en 24 h

La capacidad de remoción de hidrocarburos que desempeñó el material queratinoso es desde un 268 hasta un 319% mayor, en comparación con la eficiencia encontrada por Díaz-Díaz *et al.* (2018) en materiales celulósicos (4,32 y 5,13 g de hidrocarburo/g de absorbente para diésel). El material propuesto también mostro una eficiencia superior de 666 % mejor que el rendimiento de la cascarilla de arroz que presento una eficiencia de 2.07 g de diésel/g de material sorbente sometida a un pretratamiento (Cárdenas, 2017).

Petróleo

Mientras tanto en la evaluación de la capacidad de sorción del material en petróleo en un periodo de 24 h, se destacan los resultados con valores superiores a los obtenidos en la prueba larga en gasolina. En la figura 10 se ilustra las capacidades promedios que tuvo el material queratinoso en los dos tamaños de

partícula, 16.471 ± 2.39 g de HC/g de material sorbente para 1.2 mm y 17.378 ± 0.90 g de HC/g de material sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm.

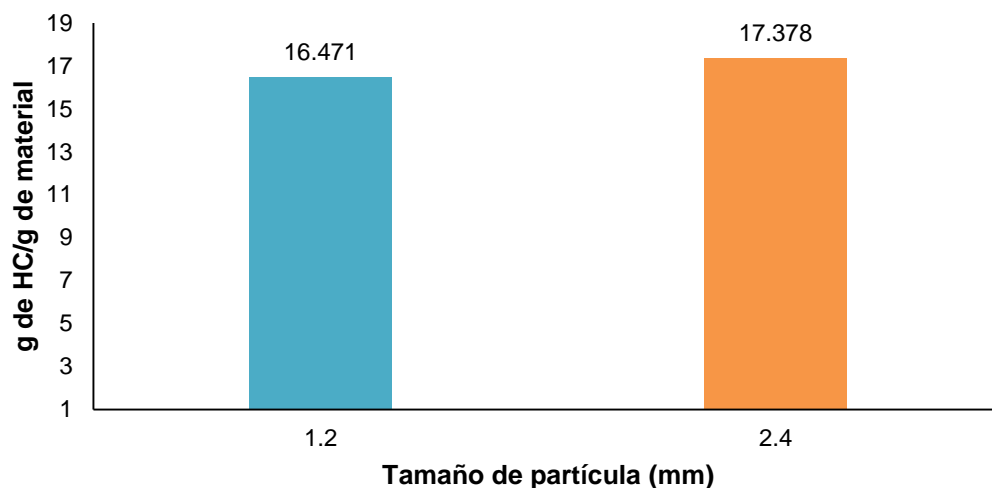


Figura 10. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso en 24 horas

En las pruebas estáticas realizadas por Díaz-Díaz *et al.* (2018), obtuvieron una capacidad de absorción de 5.56 g de crudo ligero/g de absorbente y 5.92 g de crudo mediano/g de absorbente, el actual estudio supera dichos datos con porcentajes mayores de remoción (293-312%).

4.4 Análisis del tiempo óptimo de contacto

Para comparar los resultados de capacidad de sorción del material queratinoso y tiempo óptimo de contacto se hizo uso de un diagrama de caja y bigotes. Para estimar el tiempo óptimo de contacto se establecieron 6 tiempos (5, 15, 30, 60, 360 y 1,440 min), para este proceso fue necesario utilizar el mismo hidrocarburo (petróleo), las mismas condiciones y los tiempos específicos con la intención de que no existiera una factor de varianza.

El gráfico inferior muestra, que de los 5 min y a los 15 min se observa una tendencia ascendente en la capacidad de remoción, sin embargo, después de este

tiempo la capacidad de remoción desciende significativamente al igual que a los 1,440 min. Este fenómeno se debe a que el material al remover hidrocarburos puede presentar un problema particular de baja resistencia inherente (ITOPF, 2012).

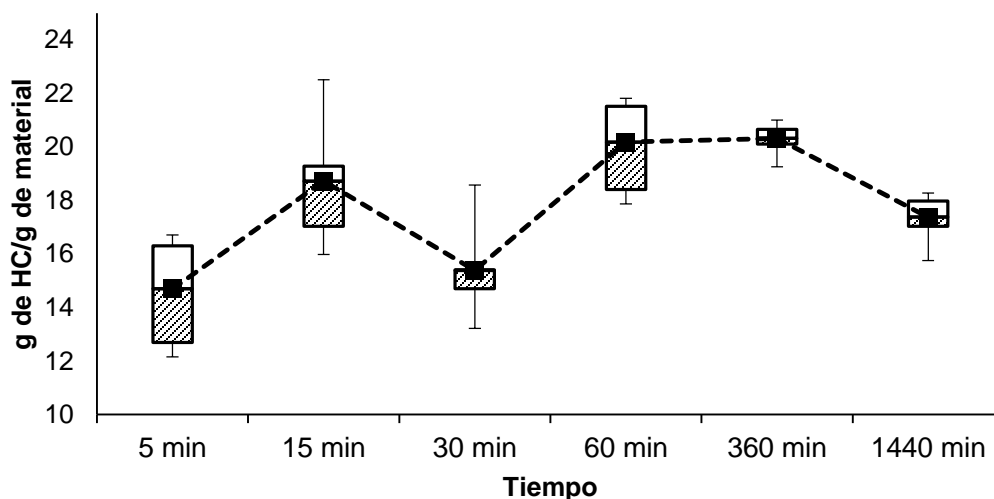


Figura 11. Tiempo óptimo de contacto del material queratinoso

Como se puede observar en la figura 10, a los 360 min alcanzó su máxima capacidad de remoción media de 20.32 g de HC/g de material sorbente, y a los 60 min se reportó una capacidad similar media de 20.18 g de HC/g de material queratinoso. Si bien el tiempo óptimo de contacto es de 60 min, ya que en ese tiempo el material alcanzó la máxima capacidad de remoción, es importante recalcar que a los 15 min de contacto el material queratinoso presentó más del 90% de su capacidad de retención.

4.5 Comparación con un sorbente comercial

Se llevó a cabo una comparación de un sorbente comercial, mediante la prueba corta y larga de capacidad de retención. El sorbente elegido fue el *Peat moss* o Turba de *Sphagnum*.

Prueba corta de capacidad de retención

El *Peat moss* es un material 100% orgánico, derivado de la acumulación de musgos acuáticos y es recomendado para la aplicación de derrames de hidrocarburos tanto en suelos como en cuerpos de agua (Díaz, y otros, 2013).

En la figura 12 se muestra la capacidad de sorción del material queratinoso y el sorbente comercial, en un tiempo de contacto de 15 min en hidrocarburo (gasolina) y sometido a las mismas condiciones. El material queratinoso reflejó mejor capacidad promedio de sorción de 15.969 ± 1.28 g de HC/g de biomaterial y el sorbente comercial tuvo una eficiencia promedio de sorción de 7.626 ± 0.31 g de HC/g de material sorbente esto en un tamaño de partícula de 1.2 mm y en un tamaño de partícula de 2.4 mm mostró una sorción de 15.779 ± 0.82 g de HC/g de material queratinoso y finalmente el *Peat moss* con una capacidad de retención igual a 8.137 ± 0.28 g de HC/g de material sorbente.

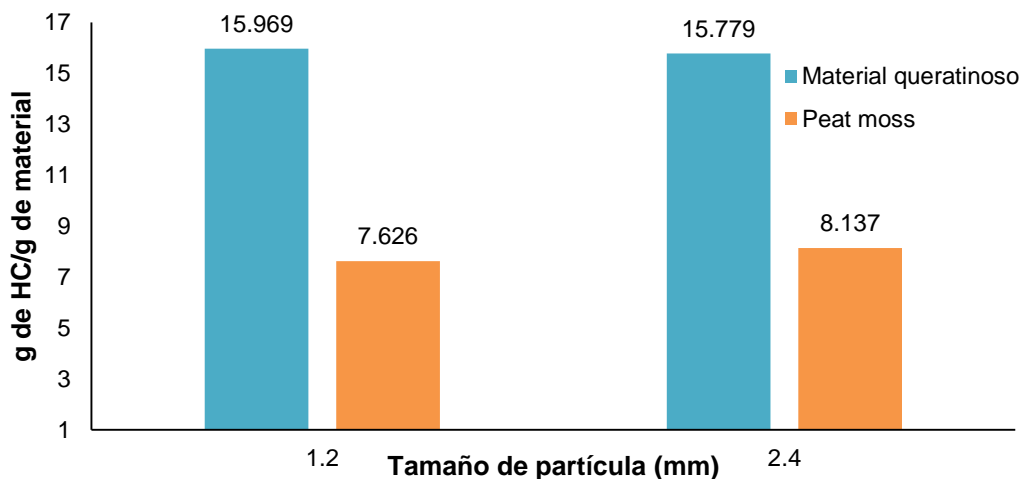


Figura 12. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso vs sorbente comercial prueba corta (15 min)

Al analizar la capacidad de retención con hidrocarburo (petróleo) cuyos resultados se reportan en la figura 13, el material que presentó un mejor desempeño fue el material queratinoso con 18.723 ± 2.23 g de HC/g de material

sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm y el tamaño de partícula de 1.2 mm se registró una capacidad de retención mayor al 90%. Sin embargo el *Peat moss* tuvo una eficiencia promedio de 8.567 ± 0.37 g de HC/g de material sorbente o igual al 50% de remoción en un tamaño de partícula de 1.2 mm y 52% (9.791 ± 0.24 g de HC/g de material sorbente) en un tamaño de partícula de 2.4 mm.

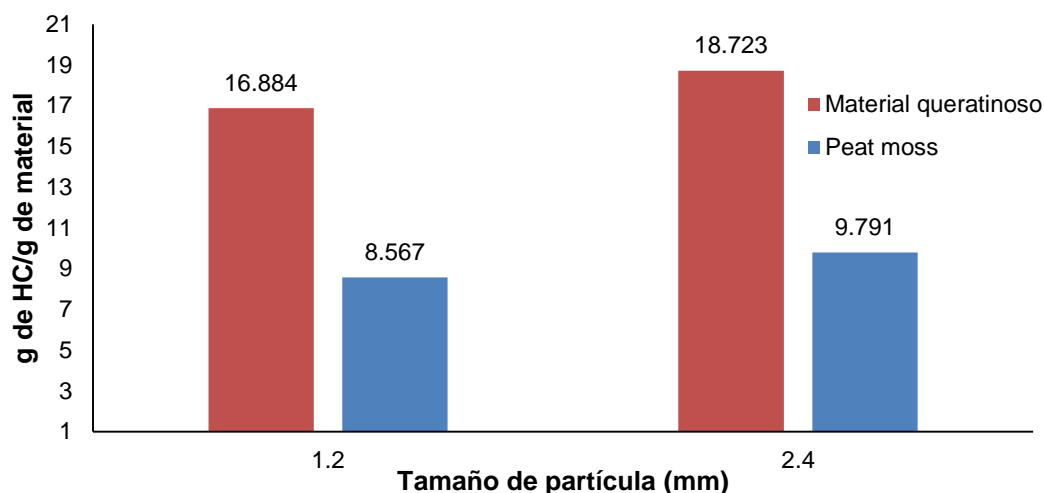


Figura 13. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso vs sorbente comercial prueba corta (15 min)

Prueba larga de capacidad de retención

Los datos observados en la figura inferior registran los datos de remoción del material queratinoso y el *Peat moss* en una prueba larga de capacidad de retención de 24 h. Los datos destacados de eficiencia son por parte del material queratinoso con una sorción de 13.787 ± 1.00 g de gasolina/g de material sorbente en un tamaño de partícula de 1.2 mm y una capacidad promedio de retención de 93% en un tamaño de partícula de 2.4 mm. El sorbente comercial en los dos tamaños de partícula presentó una capacidad de 8.313 ± 1.51 g de gasolina/g de material sorbente en un tamaño de partícula 1.2 mm y 7.506 ± 0.96 g de HC/g de material sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm.

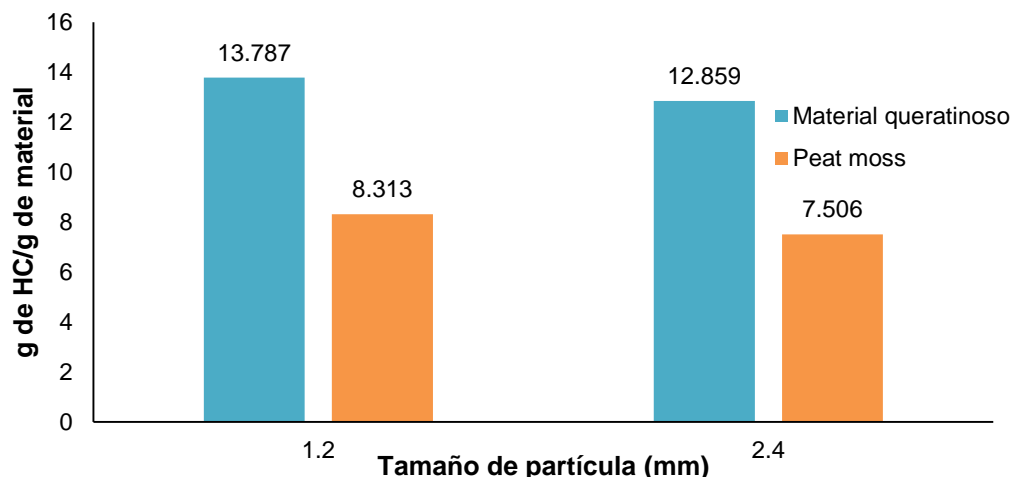


Figura 14. Capacidad de sorción de gasolina del material queratinoso vs sorbente comercial prueba larga (24 h)

En la figura 15 se reporten los resultados obtenidos que mostraron que la mejor capacidad de retención se obtuvo para el material queratinoso 17.378 ± 0.90 g de petróleo/g de material sorbente en un tamaño de partícula de 2.4 mm y 16.471 ± 2.39 g de petróleo/g de material sorbente en un tamaño de 1.2 mm. Los datos registrados por el sorbente comercial fueron menores: 9.037 ± 0.39 g de petróleo/g de material sorbente y finalmente 9.943 ± 0.83 g de petróleo/g de material sorbente en un tamaño de 2.4 mm.

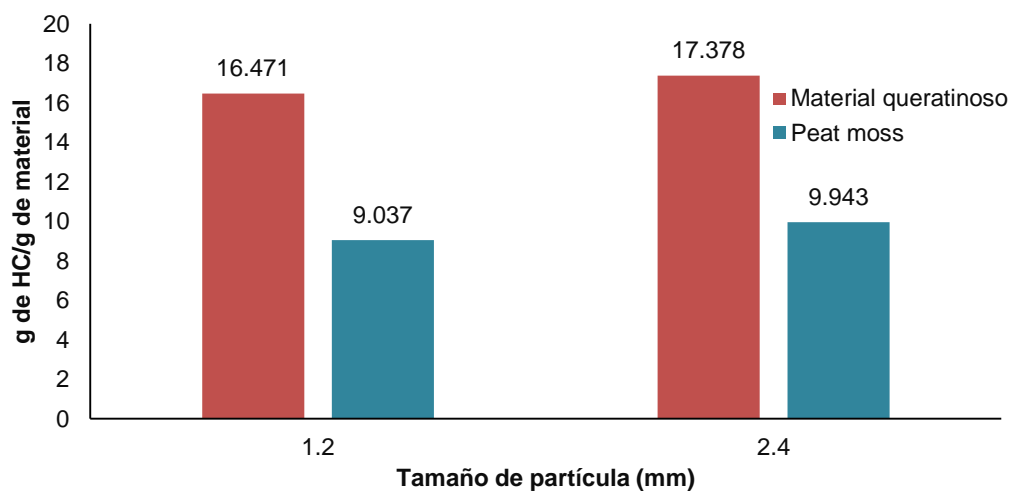


Figura 15. Capacidad de sorción de petróleo del material queratinoso vs sorbente comercial prueba larga (24 h)

CAPITULO V. CONCLUSIONES

El material propuesto fue sometido a pruebas tanto de determinación de sus propiedades (flotabilidad, sorción de agua y densidad de empaque) como de capacidad de sorción de hidrocarburos según el protocolo ASTM F-726 99.

Las propiedades del sorbente como su flotabilidad resultaron idóneas para cumplir su función de remoción de hidrocarburos en agua ya que, flota incluso al estar saturado de hidrocarburo. El material queratinoso evaluado presenta cierta capacidad de hidrofiliidad y por lo tanto puede sorber tanto hidrocarburo como agua.

Además de la capacidad de sorción de hidrocarburos, otra de las cualidades como la flotabilidad y la baja sorción de agua son importantes a considerar a la hora de seleccionar un buen material sorbente para la remediación de hidrocarburos. El material queratinoso evaluado en este estudio pasó las pruebas de flotabilidad y de afinidad por el hidrocarburo.

La capacidad de sorción se encontró alrededor de 15.96 gr de hidrocarburo/g sorbente al usarse en gasolina y 18.72 g de hidrocarburo/g de sorbente al usarse en petróleo.

El material queratinoso alcanzó más del 90% de su saturación en menos de 15 minutos, lo que permite tener una alternativa rápida para la limpieza y control de derrames de hidrocarburos. El cual se considera el tiempo de contacto adecuado para la recogida de hidrocarburo en agua.

Se encontró que el material queratinoso es efectivo para ser usado como sorbente de hidrocarburos para la mitigación y control de derrames, demostrando que tiene una capacidad superior a la del sorbente comercial evaluado.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Agarwal, G. S., Bhuptawat, H. K., & Chaudhari, S. (2006). Biosorption of aqueous chromium(VI) by *Tamarindus indica* seeds. *Bioresource technology*, 97(7), 949-956.
- Al-Asheh, S., Banat, F., & Al-Rousan, D. (2003). Beneficial reuse of chicken feathers in removal of heavy metals from wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 11(3), 321-326.
- Alvarado, J., Navarro, K., Terán, K., & Vizcarra, C. (2015). Electrobiorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados. *EPISTEMUS*, 96(18), 96-99.
- Álvarez, J. A. (2005). *Motores alternativos de combustión interna* (Vol. 168). Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (1999). *Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents*. Canada: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.
- 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*, 42(1-3), 96-100.
- Avellaneda, A. (2005). Petróleo, seguridad ambiental y exploración petrolera marina en Colombia. *Iconos. Revista de Ciencias Sociales*, (21), 11-17.
- Benavides, J., Quintero, G., Guevara, A. L., Jaimes, D. C., Gutiérrez, S. M., & Miranda, J. (2006). Bioremedación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA*, 4(5), 82-90.
- Beyer, H., & Wolfgang, W. (1987). *Manual de química orgánica*. España: Revérte.
- Bonell, S. (2009). Petróleo y biotecnología: análisis del estado del arte y tendencias. *ACIMED*, 19(1).
- Botello, A. V., Rendón, J., Gold-Bouchot, G., & Agraz-Hernández, C. (2005). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Campeche, México: Univ. Autónoma de Campeche, Campeche.

- Brito, O. O., Lema, I. I., & Gavilán García, A. (2003). La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México. *Gaceta Ecológica*, (69), 83-92.
- Cárdenas, L. G. (2017). *Estudio de la capacidad de adsorción de materiales orgánicos para la remoción de aceites y combustibles presentes en agua (tesis de pregrado)*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Casado, P. (2013). *Las barreras anticontaminación contra los vertidos hidrocarburos (tesis de pregrado)*. Cantabria: Escuela Técnica Superior Náutica.
- Castaño, J. G. (2017). *La sísmica. Impactos ambiental de la industria petrolera*. Obtenido de <http://censat.org/es/publicaciones/la-sismica-impacto-ambiental-de-la-industria-petrolera-2>
- Cerón, L. E., & Aristizábal, F. A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.
- Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *De la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con puntos de acuerdo relativos a la protección, evaluación y remediación de las aguas del Golfo de México por el derrame de petróleo*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/documentos/medio_ambiente/puntos_acuerdos/67derramepetrolero.pdf
- Coria, I. D. (2007). *Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Centro de Altos Estudios Globales . Obtenido de <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/uais-iga-600-001%20-%20remediacion.pdf>
- Cornejo, P. M. (2014). Importancia de los hidrocarburos. *CON-CIENCIA*, 1(2).
- Corona-Ramírez, L., & Iturbe-Argüelles, R. (2005). Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 6(2), 119-126.
- Cuevas Martínez, R. (2007). *El canario Bruno*. HISPANO EUROPEA.
- Cuizano, N. A., Llanos, B. P., & Navarro, A. E. (2009). Aplicaciones ambientales de la absorción mediante biopolímeros naturales: parte 1- compuestos fenólicos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 75(4), 488-494.

- Diario Oficial de la Federación [DOF]. (2012). *ACUERDO del Consejo General del Instituto Federal Electoral relativo a la solicitud de registro de la plataforma electoral presentada por el Partido Verde Ecologista de México para contender en el Proceso Electoral Federal 2011-2012*. Ciudad de México. Obtenido de <http://www.senado.gob.mx/index.php?ver=sp&mn=2&sm=1>.
- Díaz, M. Á., Rivas, L., Acosta, J., Miller, S., Romero, R., Hernández, D., & Laffita, C. (2013). Evaluación a escala de banco de materiales absorbentes para recogida de hidrocarburos en el suelo. *CEINPET*, 3.
- Díaz-Díaz, M. Á., Rivas-Trasancos, L., León-Barrios, M., & Acosta-Sánchez, J. (Mayo-Agosto de 2018). Materiales absorbentes para recogida de hidrocarburos en derrames en agua y suelos. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 289-298. Recuperado el 21 de Agosto de 2018
- Doria, M. d., Ibáñez, J. G., & Mainero, R. M. (2009). *Experimentos de química en microescala para nivel medio superior*. México, D. F.: Universidad Iberoamericana.
- Durst, H. D., & Gokel, G. W. (1985). *Química orgánica experimental*. España: Reverté.
- Encalada, D. M., Guerrero, W. A., & Narváez, V. H. (2015). *Evaluación de la saturación de derivados de hidrocarburos en el substrato rocoso de la refinería la Libertad (tesis de pregrado)*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- F. Fieser, L., & Fieser, M. (1981). *Química orgánica fundamental*. Reverté.
- Ferrera-Cerrato, R., Rojas-Avilizapa, N., Poggi-Varaldo, H., Alarcón, A., & Cañizares-Villanueva, R. (2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 179-187.
- Fomina, M., & Gadd, G. M. (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bioresour Technol*, 160, 3-14.
- García, J. T. (2017). *Extracción de aceite esencial por fluidos supercríticos y arrastre con vapor de cedrón (Aloysia Triphylla) en la Región Arequipa*

- (*tesis de pregrado*). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- García-Cuéllar, J. A., Arreguín-Sánchez, F., Hernández-Vázquez, S., & Lluch-Cota, D. B. (2004). Impacto ecológico de la industria petrolera en la Sonda de Campeche, Mexico, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia*, 29(6), 311-319.
- González, A., & Bauza, R. (2010). Valor nutritivo de plumas tratadas por dos métodos de hidrólisis para la alimentación de cerdos. *Agrociencia Uruguay*, 14(2), 56-65.
- González, F. (1991). *Nomenclatura de química orgánica* (Vol. 35). Murcia, España: EDITUM.
- González, Wilmar, J., & Gómez, J. A. (2013). *Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos para los proyectos de perforación exploratoria, sísmica y explotación de hidrocarburos desarrollados por petróleos de Norte S.A (Departamento del Cesar) (tesis de pregrado)*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Gutiérrez, M. (1993). *Compendio de teledetección geológica*. Universidad de Ovideo.
- Hernández Castellanos, N. D. (2016). *Establecimiento de un procesos de biorremediación usando Stenotrophomonas maltophilia (tesis de maestría)*. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz.
- Hernández, D. (2015). *Análisis de los modelos matemáticos del flujo núcleo anular en transporte de crudos*. México D.F.: Instituto politecnico nacional.
- Hidalgo, J. C. (2009). Efectos de los derrames de petróleo sobre los habitats marinos. *Ciencia Ahora*, 24(12), 22-30.
- Instituto Argentino de la Energía [IAE]. (2003). *Conceptos sobre hidrocarburos*. Argentina: Secretaría de Energía República Argentina.
- IТОPF. (2011 b). *Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino*. Londres, Inglaterra: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited.

- ITOPF. (2012). *Uso de materiales adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburo*. Londres, Inglaterra: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited.
- Jiménez, M. E., & Padilla, G. A. (2012). *Evaluación del potencial de adsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua a escala laboratorio (tesis de pregrado)*. Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, D.T Y C.
- Lezama-Cervantes, C., Tintos-Gómez, A., Patiño-Barragan, M., Hernández-Zárate, Chávez-Comparan, J. C., Pinzón-Guerrero, C. O., . . . ZamoraCastro, J. E. (2012). Capacidad de retención de hidrocarburos empleando subproductos industriales. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8(1), 21-29.
- López Flores, L. E. (2013). *Evaluación, control y análisis de la producción en el Campo Furbero del Paleocanal de Chicontepec*.
- López, M. (2014). *Desarrollo sustentable en la utilización del bagazo de la caña de azúcar como material adsorbente para minimizar el impacto de la contaminación marina por derrame de hidrocarburos (tesis de maestría)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Machuca-Loja, G., Madrid-Celi, B., Sanmartin-Galván, D., & Pérez-Rodríguez, J. (2016). Queratina a partir de la hidrólisis enzimática de harina de plumas de pollo, utilizando queratinasas producidas por *Bacillus subtilis*//Getting keratin from feather meal using keratinases produced by *Bacillus subtilis*. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 50-58.
- Marín, A. F. (2010). *Optimización de los tratamientos de desorción térmica de suelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo (tesis doctoral)*. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).
- Martínez, P. d., Rosa, E. R., Rodríguez, I. L., Leiva, J., & Pérez, M. M. (Enero-Marzo de 2016). Minimización del impacto ambiental de las aguas oleosas mediante columnas rellenas con gabazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 43(1), 61-69.
- McMullen, R., Chen, S., & Moore, D. (2012). Fluorescencia de los Tejidos Queratinosos. *International Journal of Morphology*, 30(3), 956-963.

- Méndez-Tovar, M., Machado-Soberanes, J. A., & Guerra, R. (2012). Estudio comparativo de adsorción de hidrocarburos sobre cinco materiales adsorbentes tipo II utilizando un método estandarizado internacional. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 27(2), 94-100.
- Mendoza, M. A. (2008). *La importancia del registro de hidrocarburos durante la perforación de pozos exploratorios (tesis de pregrado)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Milady. (2012). *Spanish Translated Milady Standard Makeup*. Cengage Learning. Obtenido de http://www.tirsoferrol.org/ciencias/pdf/a05_proteinas.pdf
- Molina, M. (2 de septiembre de 2014). *A partir de las plumas de pollo desarrollan membrana para remover metales pesados en aguas contaminadas*. Querétaro, Qro.: CONACYT. Obtenido de CONACYT.
- Monroy, J. (2007). Inmovilización de fibras de plumas de pollo en silica gel para la absorción de metales pesados en agua. *Conciencia Tecnológica*, 33, 76-78.
- Moodley, K., Singh, R., Musapatika, E. T., & Ochieng, A. (2011). Removal of nickel from wastewater using an agricultural adsorbent. *Water SA*, 37(1), 5-17.
- Nava, M. (2014). *Venología*. Obtenido de <https://www.venologia.com/archivos/9589/>
- Olguín, E. J., Hernández, M. E., & Sánchez-Galván, G. (Agosto de 2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(3), 139-154.
- Ortiz, D. P., Andrade, F., Rodríguez, G., & Montenegro, L. C. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Revista ingeniería e investigación*, 26(2), 20-27.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. España: Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación.
- Orviz, A. (2014). *Sistema de gestión para vertidos de hidrocarburos en altamar (tesis de maestría)*. Cantabria: Escuela Técnica Superior de Náutica.

- PALAEOS. (25 de Julio de 2014). *La historia de la vida en la tierra*. Obtenido de <http://palaeos-blog.blogspot.com/>
- Paniagua, M., Ossa, A., & Ruiz, G. (2008). Características de adhesión entre fibras de queratina y poliéster insaturado. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(46), 25-23.
- Pérez, M. F. (2015). *Decora con totora: 21 proyecto para tu casa usando la fibra ecológica de moda*. Cute.
- Pinzon, M. (2010). *Servicios y Equipos Verdes*. Obtenido de Absorbentes oleofilicos: <https://sites.google.com/a/serviciosyequiposverdes.com/www/portafolio/absorbentes-oleofilicos?mobile=true>
- Preparedness for Oil-polluted Shoreline cleanup and Oiled Wildlife interventions [POSOW]. (2016). *Limpieza de la costa afectada por un derrame de petróleo técnica de limpieza*.
- Prieto, V. I., & Martínez de Villa, A. (Enero-Abril de 1999). La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio. *Higiene, Epidemiología y Microbiología*, 37(1), 13-20.
- Quintana, J. (1999). *Avitecnia: manejo de las aves domésticas mas comunes*. Trillas.
- Reyna, E. (s/f). *La biorremediación y la atenuación natural son*. ISBN.
- Rincones, F., Marfisi, S., Danglad, J., & Salazar, V. (2015). Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con gabazo de caña de azúcar. *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 27(3), 441-453.
- Riojas, H. H., Torres, L. G., Mondaca, I., Balderas, J. d., & Gortáres, P. (2010). Efecto de los surfactantes en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Química Viva*, 9(3), 124-125.
- Rodríguez, A. (2017). *Biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante sistemas bio-absorbentes (tesis doctoral)*. Granada, España: Universidad de Granada.

- Rotar, O., Rotar, V., Iskrizhitsky, A., Sharipov, Z., & Pimenova, A. (2015). Adsorption of hydrocarbons using natural adsorbents of plant origin. *Procedia Chemistry*, 15, 231-236.
- Said, A. A., Ludwick, A. G., & Aglan, H. A. (2009). Usefulness of raw bagasse for oil absorption: A comparison of raw and acylated bagasse and their components. *Bioresource Technology*, 100(7), 2219-2222.
- Salazar Hernández, E. (2012). *Remoción de Hidrocarburos mediante Biopolímeros naturales: efecto del tamaño de partículas (tesis de maestría)*. San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de de San Luis Potosí.
- Salazar, D. (2012). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/79155390/VISCOSIDAD-DE-HIDROCARBUROS>
- Salinas, P. (25 de Junio de 2010). *Producción de harina de plumas de pollo y su utilización como un adsorbente de hidrocarburos, en agua dulce (tesis de pregrado)*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- San Simón & Duch. (2014). *Las principales vías del transporte marítimo de petróleo*. Obtenido de <http://www.lsansimon.com/las-principales-vias-del-transporte-maritimo-de-petroleo/>
- Saval, S. (1998). Situación actual y perspectivas de la biorremediación de suelos y acuíferos en México. *Biotecnología*, 3, 71-76.
- Sayed, S., Saled, S., & Hasan, E. (2005). Removal of some polluting metals from industrial water using chicken feathers. *Desalination*, 181(1-3), 243-255.
- Secretaría de Energía [SENER]. (2015). Glosario de términos petroleros. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/8317/GLOSARIO_DE_TERMINOS_PETROLEROS_2015.pdf
- Secretaría de Marina [SEMAR]. (2016). *Plan nacional de contingencia para derrames de hidrocarburos y sustancias nocivas potencialmente peligrosas en las zonas marinas mexicanas*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). *Guía de buenas prácticas ambientales para el uso, la selección y aplicación de*

- dispersantes, en el control de derrames de hidrocarburos en el medio marino*. México, D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Geológico Mexicano [SGM]. (2017). *Características del petróleo*. Obtenido de http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html
- Silos, J. M. (2008). *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos*. España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. (2015). *Los tipos de petróleo*. Perú.
- Suchanek, T. H. (1993). Oil impacts on marine invertebrate populations and communities. *American Zoologist*, 33(6), 510-523.
- The International Tanker Owners Pollution Federation Limited [ITOPF]. (2011 a). *Contaminación de hidrocarburos en el medio marino*. Londres, Inglaterra.
- Thornton, R., & Neilson, R. (1998). *Química orgánica*. Pearson educación.
- Vázquez, M. C., Guerrero, J. T., & Quintero, A. d. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Revista colombiana de Biotecnología*, 12(1), 141-157.
- Vega, L. P. (2014). *Reaprovechamiento del residuo queratinoso del proceso de pelambre como fuente de aminoácidos por hidrólisis alcalina con hidróxido de calcio (tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Vergara, I., & Pizarro, F. (1981). *Manual sobre control de derrames de petróleo: versión preliminar*. Santiago, Chile, Chile: IMCO.
- Villegas, T. (2010). *petroinemasu*. Obtenido de <http://petroinemasu.blogspot.mx/2010/07/caracteristicas-fisicas-y-quimicas-del.html>
- Wahi, R., Abdulland, L. C., Shean Yaw, T. C., Ngaini, Z., & Nourouzi Mobarekeh, M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and purification technology*, 13, 51-63.

- Wauquier, J. P. (2004). *El refino del petróleo: petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Worthington, M., Shearer, C., Esdaile, L., Campbell, J., Gibson, C., Legg, S., . . . Chalker, J. (2018). Sustainable Polysulfides for Oil Spill Remediation: Repurposing Industrial Waste for Environmental Benefit. *Wiley online library*, 2(6).
- Zafar, M. N., Nadeem, R., & Hanif, M. A. (2007). Biosorción de níquel a partir de salvado de arroz protonado. *Diario de materiales peligrosos*, 143(1-2), 478-845.
- Zamora , A. C., & Ramos, J. (2010). Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental en Venezuela. una visión crítica de su efectividad. *Revista Geográfica Venezolana*, 51(1), 115-144.