

**Caracterización y Desarrollo de una Metodología para la Selección de Biomateriales  
Sorbentes en Respuesta a Derrames de Hidrocarburo**

**Mayra Alejandra Bautista Sánchez**

**Jineth Vanessa Muñoz Hastamorir**

**Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniera de Petróleo**

**Director**

**Kathy Margarita Daza Brochero**

**Magister en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas**

**Escuela de Ingeniería de Petróleos**

**Bucaramanga**

**2017**

**DEDICATORIA**

*A Dios por darme la sabiduría, salud, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, este triunfo se lo dedico a Él por ser la fuerza para levantarme día a día.*

*A mi madre Martha, es la persona que más admiro, mi ejemplo a seguir es a quien agradezco por todo su esfuerzo, lucha y sus palabras de apoyo en todo momento, gracias a sus hábitos e inculcarme sus buenos valores hoy soy una mejor persona.*

*A mis hermanos Pipe y Karito, gracias por su apoyo, animo, sus consejos y paciencia.*

*A mi sobrina Mariajose, por ser mi inspiración para poner la mejor cara ante situaciones difíciles, por esas videollamadas que me causaban solo felicidad y ternura.*

*A mis compañeros de universidad, porque sé que tantas horas de estudio y esfuerzo valieron la pena, que alegría haberlas compartida con personas tan talentosas e inteligentes, fuimos un gran equipo desde que iniciamos esta etapa.*

*A mi compañera de tesis Vanessa, con quien compartimos desde que inicio esta etapa y siempre mantuvimos el sueño vivo de sacar adelante esta carrera con el mayor esfuerzo y dedicación, por todas las aventuras que pasamos, me llevo el mejor de los recuerdos de esta etapa universitaria.*

*A la Ingeniera Kathy Daza, por ser nuestra directora y guía para que este proyecto saliera adelante, por el tiempo que nos dedicó, y por transmitir su conocimiento y experiencia.*

*Finalmente agradezco a los docentes de la Universidad Industrial de Santander por transmitir su conocimiento para formar grandes profesionales, así como los son ellos y a todas las personas que hicieron parte de este proceso.*

**Mayra Alejandra Bautista Sánchez**

## DEDICATORIA

*A mi familia, eje principal de mi vida. Mis padres, Jaime Muñoz un trabajador incansable, que me enseñó que luchar por lo que uno quiere siempre valdrá la pena y Rosalba Hastamorir, mi amiga que siempre estuvo ahí recordándome los orgullosa que se sentía de cada uno de mis logros y apoyándome en todas las etapas y facetas que experimente. Porque gracias a su apoyo eh alcanzado una meta más en mi vida, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.*

*A mi hermana Lorena no sabes cuantas veces agradecí a la vida por tenerte a ti, siempre has sido una gran compañía, mi confidente, un ejemplo a seguir, con quien quiero compartir muchos más viajes y aventuras. A mi hermanito Luis Miguel que a su corta edad me enseña y aporta más a mi vida de lo que se pueda imaginar, con quien disfruto mucho compartir tiempo.*

*A mi familia acá en Bucaramanga mi tío Manuel Hastamorir, mi tía Fanny, mis primos Leidy, Greysyi y Cesar y a la linda Amelie que siempre supo sacarme una sonrisa con sus ocurrencias, a todos ellos gracias por hacerme la vida más fácil y hacerme sentir como en casa.*

*A Mayra mi compañera de tesis y amiga, con quien compartí gran parte del tiempo de esta bonita etapa y de quien aprendí mucho en el proceso.*

*A la Ingeniera Kathy Daza, quien siendo nuestra directora de tesis nos brindó parte de su conocimiento y experiencias en el ámbito profesional y personal que permitieron avanzar día a día en el desarrollo de este proyecto.*

*A la Universidad Industrial de Santander, nuestra alma mater, que me brindo todas las herramientas para un enriquecimiento de aspectos en el ámbito ético, político y profesional.*

*A cada una de las personas que la vida me puso en el camino durante todo este proceso, quienes fueron aportando experiencias y contribuyendo de uno u otro modo a la persona que soy hoy.*

**Vanessa Muñoz Hastamorir.**

**Tabla de contenido**

<b>Introducción</b>	<b>21</b>
<b>1. Marco Teórico</b>	<b>23</b>
<b>1.1 Contaminación en Cuerpos de Agua por Hidrocarburo</b>	<b>23</b>
1.1.1 Esparcimiento	24
1.1.3 Emulsificación	24
1.1.4 Dispersión	25
1.1.5 Disolución	25
1.1.6 Biodegradación	25
1.1.7 Hundimiento	26
1.1.8 Sedimentación	26
<b>1.2 Contaminación en superficie terrestre por hidrocarburos</b>	<b>26</b>
1.2.1 Evaporación	27
1.2.2 Infiltración	28
1.2.3 Biodegradación	28
1.2.4 Adherencia superficial	28
<b>1.3 Técnicas de remediación de cuerpos contaminados con hidrocarburos.</b>	<b>28</b>
1.3.1 Técnicas de remediación fisicoquímicas	29
1.3.2 Técnicas de remediación biológicas	29
1.3.3 Técnicas de remediación térmicas	29
<b>1.4 Sorbentes</b>	<b>30</b>
1.4.1 Razón de la utilización de los sorbentes	30

1.4.2	Principio de Funcionamiento _____	31
1.4.3	Composición de los sorbentes _____	31
1.4.3.1	Sorbentes Orgánicos Naturales _____	32
1.4.3.2	Sorbentes Inorgánicos _____	32
1.4.3.3	Sorbentes Sintéticos _____	32
1.4.4	Selectividad de los sorbentes _____	34
1.4.4.1	Sorbentes Hidrofóbicos Flotantes _____	34
1.4.4.2	Sorbentes Hidrofílicos o Universales _____	34
1.4.5	Criterios para seleccionar sorbentes _____	35
1.4.5.1	Capacidad _____	35
1.4.5.2	Tasa de Sorción _____	35
1.4.5.3	Flotabilidad _____	35
1.4.5.4	Retención del crudo _____	36
1.4.5.5	Facilidad de recuperación _____	36
1.4.5.6	Biodegradabilidad _____	37
1.4.5.7	Costo _____	37
1.4.5.8	Disposición _____	37
<b>2.</b>	<b>Descripción biomateriales sorbentes investigados _____</b>	<b>38</b>
<b>2.1</b>	<b>Algas (codium fragile) _____</b>	<b>38</b>
2.1.1	Antecedentes _____	39
2.1.2	Ventajas _____	39
2.1.3	Desventajas _____	39
<b>2.2</b>	<b>Azolla _____</b>	<b>39</b>

2.2.1	Composición	40
2.2.2	Antecedentes	40
2.2.3	Ventajas	40
<b>2.3</b>	<b>Algodón</b>	<b>40</b>
2.3.1	Composición	41
2.3.2	Antecedentes	41
2.3.3	Ventajas	42
2.3.4	Desventajas	43
<b>2.4</b>	<b>Aserrín</b>	<b>43</b>
2.4.1	Composición	44
2.4.2	Antecedentes	44
2.4.3	Ventajas	46
2.4.4	Desventajas	47
<b>2.5</b>	<b>Bagazo de Caña</b>	<b>47</b>
2.5.1	Composición	48
2.5.2	Antecedentes	48
2.5.3	Ventajas	49
2.5.4	Desventajas	50
<b>2.6</b>	<b>Biochar</b>	<b>50</b>
2.6.1	Composición	51
2.6.2	Antecedentes	51
2.6.3	Ventajas	52
2.6.4	Desventajas	53

<b>2.7</b>	<b>Cascara de plátano</b>	<b>53</b>
2.7.1	Antecedentes	54
2.7.2	Ventajas	54
<b>2.8</b>	<b>Cascarilla de arroz</b>	<b>54</b>
2.8.1	Composición	55
2.8.2	Antecedentes	56
2.8.3	Ventajas	56
2.8.4	Desventajas	57
<b>2.9</b>	<b>Corteza de pino</b>	<b>57</b>
2.9.1	Composición.	57
2.9.2	Antecedentes.	57
2.9.3	Ventajas	58
2.9.4	Desventajas.	58
<b>2.10</b>	<b>Fibra Calotropis</b>	<b>58</b>
2.10.1	Composición	59
2.10.2	Antecedentes	59
2.10.3	Ventajas	60
2.10.4	Desventajas	60
<b>2.11</b>	<b>Fibra de Coco</b>	<b>61</b>
2.11.1	Composición	61
2.11.2	Antecedentes	61
2.11.3	Ventajas	62
2.11.4	Desventajas	63

<b>2.12</b>	<b>Fibra de kapok</b>	<b>63</b>
2.12.1	Composición	63
2.12.2	Antecedentes	63
2.12.3	Ventajas	64
2.12.4	Desventajas.	65
<b>2.13</b>	<b>Harina de pollo y plumas de pollo</b>	<b>65</b>
2.13.1	Composición	65
2.13.2	Antecedentes	65
2.13.3	Ventajas	67
2.13.4	Desventajas	68
<b>2.14</b>	<b>Hoja de palma de aceite</b>	<b>68</b>
2.14.1	Composición	68
2.14.2	Antecedentes	69
2.14.3	Ventajas	69
2.14.4	Desventajas	70
<b>2.15</b>	<b>Kikuyo</b>	<b>70</b>
2.15.1	Composición fisicoquímica	70
2.15.2	Antecedentes	70
2.15.2	Ventajas	71
2.15.3	Desventajas	71
<b>2.16</b>	<b>Lana</b>	<b>71</b>
2.16.1	Composición	72
2.16.2	Antecedentes	72

2.16.3	Ventajas	73
<b>2.17</b>	<b>Lirio acuático</b>	<b>74</b>
2.17.1	Composición	74
2.17.2	Antecedentes	75
2.17.3	Ventajas	76
2.17.4	Desventajas	76
<b>2.18</b>	<b>Luffa</b>	<b>77</b>
2.18.1	Composición.	77
2.18.2	Antecedentes	77
2.18.3	Ventajas	78
2.18.4	Desventajas	78
<b>2.19</b>	<b>Paja de cebada, trigo y avena</b>	<b>78</b>
2.19.1	Composición	79
2.19.2	Antecedentes	80
2.19.3	Ventajas	80
2.19.4	Desventajas	81
<b>2.20</b>	<b>Planta hibiscus cannabinus l (kenaf)</b>	<b>81</b>
2.20.1	Composición	82
2.20.2	Antecedentes	82
2.20.3	Ventajas	82
2.20.4	Desventajas	83
<b>2.21</b>	<b>Quitosano</b>	<b>83</b>

BIOMATERIALES SORBENTES Y METODOLOGÍA PARA SU SELECCIÓN	13
2.21.1 Antecedentes _____	84
2.21.2 Ventajas _____	85
2.21.3 Desventajas _____	86
<b>2.22 Residuos de capullo de gusano _____</b>	<b>86</b>
2.22.1 Composición _____	86
2.22.2 Antecedentes _____	86
2.22.3 Ventajas _____	87
2.22.4 Desventajas. El SCWS tiene una biodegradabilidad lenta. _____	87
<b>2.23 Salvinia y Pistia stratiotes _____</b>	<b>87</b>
2.23.1 Salvinia _____	88
2.23.2 Pistia Stratiotes _____	89
2.23.3 Antecedentes _____	89
2.23.4 Ventajas _____	91
2.23.5 Desventajas _____	91
<b>2.3 Resumen biomateriales investigados _____</b>	<b>92</b>
<b>3. Metodología _____</b>	<b>100</b>
<b>3.1 Descripción del software _____</b>	<b>100</b>
<b>3.2 Evaluación metodología caso mundial _____</b>	<b>104</b>
3.2.1 Derrame en el golfo de México _____	104
3.2.2 Nigeria _____	105
<b>3.3 Evaluación metodología caso nacional _____</b>	<b>106</b>
3.3.1 Tumaco _____	106

BIOMATERIALES SORBENTES Y METODOLOGÍA PARA SU SELECCIÓN	14
<b>4. Conclusiones</b> _____	<b>108</b>
<b>5. Recomendaciones</b> _____	<b>109</b>
<b>Bibliografía</b> _____	<b>110</b>

**Lista de tablas**

Tabla 1 Capacidad de adsorción de diferentes tipos de sorbentes _____	33
Tabla 2 Resumen: Principales características de los biomateriales investigados _____	92

**Lista de Figuras**

Figura 1 Distribución temporal de los procesos de un derrame de crudo. ¿Evolución y comportamiento de las manchas de petróleo?: _____	26
Figura 3 Primer filtro para la selección del biomaterial recomendado. _____	100
Figura 4 Ejemplo caso derrame de crudo mediano en agua dulce. _____	101
Figura 5 Ejemplo costo crudo mediano en agua dulce _____	102
Figura 6 Ejemplo disponibilidad crudo mediano en agua dulce _____	102
Figura 7. Ejemplo porcentaje de sorción crudo mediano en agua dulce _____	103
Figura 8 Ejemplo información adicional del biomaterial _____	103
Figura 9 Evaluación del software en el caso de derrame mundial caso agua salada – crudo liviano _____	105
Figura 10 Evaluación del software en el caso de derrame mundial caso agua salada – crudo pesado _____	106
Figura 11 Evaluación del software en el caso de derrame mundial caso agua dulce – crudo mediano _____	107

## Glosario

**Adhesión:** La adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.

**Adsorción:** La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son atrapados o retenidos en una superficie.

**Biodegradabilidad:** Es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

**Biorremediación:** Se define como biorremediación a cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para retornar a un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural.

**Cohesión:** Atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia

**Desorción:** La desorción es la operación, inversa de la absorción, en la cual se produce la extracción de la fracción volátil de una disolución mediante el contacto del líquido con un gas; la transferencia de masa ocurre desde el líquido al gas.

**Flotabilidad:** La flotabilidad es la capacidad de un cuerpo para sostenerse dentro de un fluido. Este flota cuando la fuerza resultante de la presión ejercida en la parte inferior del

cuerpo es superior a la fuerza resultante de su peso más la presión ejercida en la parte superior.

**Hidrófobo:** Hidrofóbico se refiere a las sustancias que no son solubles en agua y por tanto no son capaces de interactuar con las moléculas de agua. No pueden tener interacciones ion-dipolo ni mediante puentes de hidrógeno.

**Inorgánicos:** Aquellos compuestos que están formados por distintos elementos, pero en los que su componente principal no siempre es el carbono, siendo el agua el más abundante. En los compuestos inorgánicos se podría decir que participan casi la totalidad de elementos conocidos.

**Oleofílico:** Capacidad de absorber aceites rápidamente.

**Orgánicos:** Compuesto orgánico o molécula orgánica es un compuesto químico, más conocido como micro-molécula, que contiene carbono, formando enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno.

**Saturación:** la saturación es el punto en que una solución de una sustancia no puede disolver más de dicha sustancia, y que cantidades adicionales aparecerán como un precipitado.

**Sorbentes:** Los materiales sorbentes trabajan mediante dos principios: la adsorción, donde las moléculas de hidrocarburo se adhieren a la superficie, y la absorción, que permite acumular y retener hidrocarburo en los espacios capilares característicos de las estructuras de los materiales.

**RESUMEN**

**TÍTULO:** CARACTERIZACIÓN Y DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BIOMATERIALES SORBENTES EN RESPUESTA A DERRAMES DE HIDROCARBURO\*

**AUTORES:** MAYRA ALEJANDRA BAUTISTA SANCHEZ, JINETH VANESSA MUÑOZ HASTAMORIR\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Sorbentes, derrame, biodegradabilidad, adsorbente, absorbente, orgánicos, flotabilidad, sorción, biorremediación.

La industria petrolera durante sus etapas de exploración, perforación, extracción y refinación genera un gran riesgo de contaminación al medio ambiente, esta contaminación puede ser ocasionada por un derrame de hidrocarburo en agua o suelo, para mitigar este daño se ha hecho uso de materiales sorbentes sintético, orgánico o inorgánicos. La idea de utilizar biomateriales sorbentes de hidrocarburos es un tema atractivo ya que estos cuentan con ventajas interesantes como su disponibilidad, abundancia, bajo costo y la capacidad de biodegradabilidad.

En este proyecto se realizó una investigación de los biomateriales que hay alrededor del mundo, y se desarrolló una metodología para la posterior clasificación de estos materiales, por medio de un software que contiene una base de datos con la información investigada, según esta da la posibilidad de seleccionar el tipo de hidrocarburo (liviano, mediano y pesado) y el cuerpo (agua salada, agua dulce, aguas residuales, suelo), la información que arroja son los posibles biomateriales que pueden ser usado en cada caso. Para comprobar que este software da opciones que si pueden ser usadas se mostraron 3 casos reales, dos a nivel mundial y un caso a nivel nacional en el que se ha hecho uso de los biomateriales sorbentes para la remediación.

---

\* Tesis de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Química. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Directora: Kathy Margarita Daza Brochero Magister en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos

**ABSTRACT**

**TITLE:** CHARACTERIZATION AND DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF SOMETHING BIOMATERIALS IN RESPONSE TO HYDROCARBON SPILLS\*

**AUTHORS:** MAYRA ALEJANDRA BAUTISTA SANCHEZ, JINETH VANESSA MUÑOZ HASTAMORIR\*\*

**KEY WORDS:** Sorbents, spillage, biodegradability, adsorbent, absorbent, organic, buoyancy, sorption, bioremediation.

The oil industry during its stages of exploration, drilling, extraction and refining poses a great risk of contamination to the environment, this pollution can be caused by a hydrocarbon spill in water or soil, to mitigate this damage has been made use of sorbents synthetic, organic or inorganic. The idea of using hydrocarbon sorbent biomaterials is an attractive topic as these have interesting advantages such as availability, abundance, low cost and biodegradability.

In this project an investigation of the biomaterials around the world was carried out, and a methodology was developed for the later classification of these materials, through a software that contains a database with the information investigated, according to this gives the possibility to select the type of hydrocarbon (light, medium and heavy) and body (salt water, fresh water, sewage, soil), the information it gives are the possible biomaterials that can be used in each case. To verify that this software gives options that can be used, 3 real cases were shown, two worldwide and one case at the national level in which the biomaterials have been used for the remediation.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Química. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Directora: Kathy Margarita Daza Brochero Magister en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos

## Introducción

Actualmente la sociedad tiene gran dependencia a cada uno de los productos que la industria petrolera ofrece. Desde la energía, hasta los cientos de derivados que se obtienen a partir de su procesamiento forman parte del día a día en cada una de las actividades humanas. Esta importancia que ha adquirido genera una gran demanda de explotación de recursos hidrocarburos alrededor del mundo, lo cual genera a su vez riesgo de incidentes durante la cadena de explotación, producción y refinación de estos productos. Anualmente se registran gran cantidad de derrames de hidrocarburo que además de generar pérdidas para la industria, generan un gran impacto ambiental, originando una gran preocupación en todo el mundo.

Estos derrames contienen sustancias toxicas diferentes como: aceites, crudo, fenoles, ácidos, mercaptanos entre otras, los cuales constituyen un riesgo para la fauna y flora del medio. El petróleo puede persistir alrededor de un año.

En respuesta a estos problemas se tienen ya establecidos ciertos procedimientos para actuar frente a estas situaciones, los biomateriales sorbentes surgen como una alternativa en diferentes etapas de estos procedimientos.

La idea de utilizar biomateriales sorbentes de hidrocarburos es un tema atractivo ya que estos cuentan con ventajas interesantes como su disponibilidad, abundancia, bajo costo y la capacidad de biodegradabilidad, son productos sólidos capaces de retener o atrapar los contaminantes de los líquidos (López, P., 2014). Utilizados para recuperar cantidades de crudo mediante la absorción, la penetración del crudo en el material sorbente, y/o la adsorción, la adherencia del crudo sobre la superficie de aquel. La mayoría de los sorbentes son oleofílicos (son atraídos por el crudo) e hidrofóbicos (repelen el agua).

Por esto la investigación de nuevos materiales sorbentes es un área que está en continuo desarrollo, ya sean orgánicos o inorgánicos son una opción para la limpieza de derrames de petróleo.

Poder tener acceso a un banco de información con la descripción de las alternativas que se tienen para ser usadas como biomateriales sorbentes puede hacer que el proceso de selección de estos productos sea mucho más sencillo y de este modo en la práctica tener a la mano un material que cubra nuestras necesidades a la hora de que se presente un evento como este y el daño al medio ambiente pueda mitigarse de forma inmediata.

## 1. Marco Teórico

### 1.1 Contaminación en Cuerpos de Agua por Hidrocarburo

Contaminación de cualquier hábitat por cualquier hidrocarburo líquido. Se trata de una de las formas más graves de contaminación del agua, y el término se emplea sobre todo en relación con el vertido de petróleo al medio ambiente marino; en este caso, la masa que se produce tras el vertido y que flota en el mar se conoce con el nombre de marea negra (Ventura, T. 2017)

En el agua marina la mancha de crudo flota, por las diferencias de densidades entre el agua y el aceite, y aunque no impide del todo el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el agua, la película del crudo sí evita la entrada de los rayos solares, restringiendo los procesos fotosintéticos de las microscópicas algas del fitoplancton, limitando la producción natural de oxígeno en la columna de agua (López, P., 2014. p-22).

Nota: la figura o forma fina estará condicionada por el viento, las olas y las corrientes. Se va extendiendo en una superficie cada vez mayor hasta llegar a formar una capa muy extensa, con espesores de sólo décimas de micrómetro. De esta forma se ha comprobado que 1 m<sup>3</sup> de petróleo puede llegar a formar, en hora y media, una mancha de 100 m de diámetro y 0,1 mm de espesor (Cetmar, 2017. Párr. 2).

Las mareas tienen una mayor incidencia en la contaminación, mientras que factores climatológicos, como las temperaturas del agua del mar y del ambiente, intervienen directamente en los procesos de cambio de los hidrocarburos derramados (Casas, O. 2017. Párr. 9).

El petróleo al ser derramado en un cuerpo de agua comienza de inmediato a sufrir cambios físicos, químicos y biológicos naturales. Estos procesos son asistidos por el esparcimiento y

movimiento, oleaje, vientos y corrientes, evaporación, emulsificación, dispersión, disolución, biodegradación, hundimiento, sedimentación, intemperización, resurgimiento.

**1.1.1 Esparcimiento.** La fuerza de mayor empuje que impulsa el esparcimiento del crudo es su peso. Después de un periodo inicial de esparcimiento en el cual las fuerzas gravitacionales juegan un gran papel, la fuerza que más causa esparcimiento del aceite es la tensión superficial (López, P., 2014. p-22).

Un aumento de la viscosidad o de la densidad retardará la expansión de la mancha. En zonas cálidas, la máxima dispersión que una tonelada de petróleo liviano puede cubrir una superficie de hasta 13 km<sup>2</sup>.

**1.1.2** La incidencia del viento puede aumentar la velocidad de propagación de la mancha en  $\frac{3}{4}$  su propia velocidad (López, P., 2014). Evaporación. Depende de varios factores ambientales, donde la velocidad del viento y la temperatura son las más importantes; cuanto más altas sean ambas, más rápida será la evaporación, aunque otras variables tales como la radiación y la agitación del agua también influyen. Dependiendo de qué tan volátil sea el crudo derramado, así será la tasa de evaporación (López, P., 2014).

**1.1.3 Emulsificación.** Es un fenómeno que agrava las consecuencias de un vertimiento y consiste en la formación de interfaces muy estables entre gotas de crudo suspendidas en agua, y en otros casos, gotas de agua suspendidas en el petróleo (López, P., 2014).

Los hidrocarburos livianos a volátiles tienden a formar emulsiones inestables, mientras que hidrocarburos pesados forman emulsiones estables, en condiciones marinas (Exxon mobil, 2017).

Las emulsiones de petróleo en agua son formadas por agitación de las olas y son favorecidas por la presencia de ciertos surfactantes. Cuando en el agua existe un elevado índice de sólidos suspendidos, las gotas se irán precipitando en la medida que se adhieran a los sólidos suspendidos (López, P., 2014).

**1.1.4      Dispersión.** Es el factor que más influye en la duración del derrame. Los crudos livianos y pocos viscosos se dispersan lentamente al estar bajo condiciones de oleaje moderado. Bajo un oleaje fuerte, los crudos con alto grado de emulsificación se dispersan rápidamente (López, P., 2014).

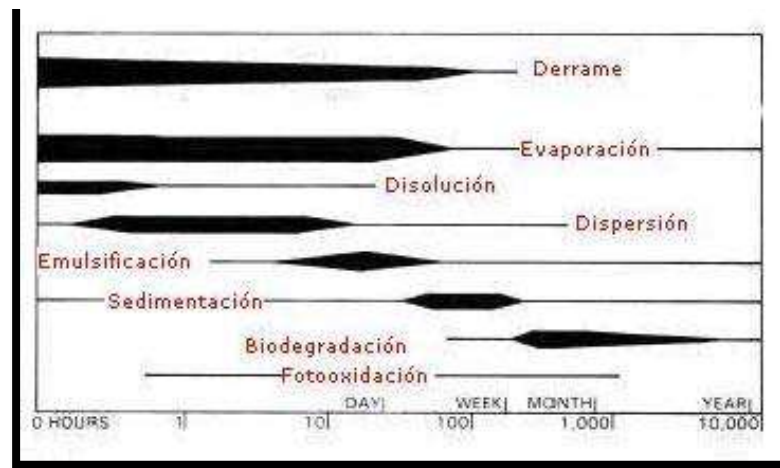
**1.1.5      Disolución.** El proceso de dispersión vertical y redispersión es importante para la disolución del hidrocarburo en el agua del mar. Las gotitas oleosas dispersas tienden entonces a volver a la superficie o a ser redispersadas por las fuerzas de flotabilidad. Las gotas más grandes emergen enseguida, mientras que las gotas más pequeñas pueden ser transportadas por las corrientes lejos del lugar del vertido y permanecen dispersas durante semanas (Cetmar, 2017. Párr. 4).

**1.1.6      Biodegradación.** Consiste en la mineralización y destrucción de la materia orgánica. Este proceso natural es muy importante para la renovación del medio ambiente después de haber ocurrido un derrame. El petróleo derramado tiende a acumularse en los sedimentos, lo que hace más difícil su degradación (Lozano, N. 2005).

**1.1.7 Hundimiento.** Al producirse un derrame de crudo se forma sobre la superficie del agua una mancha que puede fragmentarse en manchas de menor tamaño. Estas pequeñas manchas o fragmentos eventualmente pueden flotar, hundirse hasta una cierta profundidad o hundirse totalmente. Para que ocurra hundimiento primero el crudo debe tener una densidad cercana a la del agua y segundo la viscosidad inicial del crudo debe ser suficientemente alta para permitir el rompimiento de la mancha en fragmentos aislados.

**1.1.8 Sedimentación.** La sedimentación es un proceso muy importante donde las aguas poco profundas a menudo están cargadas de sólidos en suspensión que proporcionan condiciones favorables para la sedimentación (López, P., 2014).

*Figura 1 Distribución temporal de los procesos de un derrame de crudo. ¿Evolución y comportamiento de las manchas de petróleo?;*



## 1.2 Contaminación en superficie terrestre por hidrocarburos

Las afectaciones en el suelo van desde la exploración y explotación de pozos petroleros hasta la ocurrencia de siniestros, los cuales pueden suceder en cualquier parte del ecosistema, terrestre o acuático. Por un lado, la contaminación del suelo por hidrocarburos afecta la flora, fauna y

microorganismos del suelo, la fertilidad de los suelos, el crecimiento de las plantas, así como la existencia y sobrevivencia de los animales que se alimentan de éstas. Además, también puede haber una afectación en el ámbito social que incluye los sistemas de producción, la salud, la economía y las formas de vida de las poblaciones, debido a los efectos de estos compuestos, los cuales son tóxicos para los humanos (mutagénicos y carcinogénicos) y para los seres vivos en sus diversas formas (microflora, mesofauna y fauna) (Cavazos, J., Pérez, B. y Gutiérrez, A., 2014, p-540). Los hidrocarburos pueden ser arrastrados por la lluvia y se pueden filtrar al subsuelo alcanzando los mantos freáticos y contaminando las fuentes de agua potable e incluso puede llegar al ser humano a través de la cadena alimentaria (Sierra, M. y Jiménez, R., 2016, p-47).

El comportamiento del petróleo derramado en tierra depende de la topografía del terreno, evaporación, permeabilidad del suelo, la vegetación y las propiedades físico-químicas del petróleo como densidad, viscosidad, etc. El comportamiento de un derrame de petróleo en tierra está gobernado principalmente por los siguientes procesos:

**1.2.1 Evaporación.** La evaporación es el proceso que determina los mayores cambios de volumen del petróleo durante un derrame, se estima que del total de petróleo derramado, entre un 30 y un 50 % del volumen se pierde por evaporación. El porcentaje del volumen de petróleo perdido por evaporación está en función de las propiedades físico-químicas de los componentes del aceite, la temperatura del ambiente y la duración del derrame.

**1.2.2 Infiltración.** En la medida que el petróleo derramado se distribuye horizontalmente sobre la superficie del terreno, parte del petróleo tiende a infiltrarse en el suelo por acción de la gravedad. El nivel de infiltración, depende de la permeabilidad y el contenido de agua en el suelo así como de las propiedades físicas del petróleo.

La infiltración de petróleo en el suelo es un proceso lento, se ha determinado que la infiltración del petróleo (crudo pesado) en las primeras 48 horas alcanza una profundidad máxima de 50 cm, o profundidades menores en el caso de encontrar estratos de suelos de texturas finas. El volumen de petróleo retenido en el suelo (saturación residual) depende de la distribución y tamaño de las partículas del suelo.

**1.2.3 Biodegradación.** La biodegradación del petróleo depende de la aireación, fertilidad y acidez del suelo, la temperatura y la naturaleza de los componentes del petróleo. Después de un período de adaptación los microorganismos del suelo inician la degradación del aceite; para lo que requieren de oxígeno y otros elementos como nitrógeno y fósforo.

**1.2.4 Adherencia superficial.** Parte del petróleo derramado cesa su movimiento ya que se adhiere principalmente a la cobertura vegetal existente en el área del derrame. La proporción de petróleo adherido es función de la densidad de la cobertura vegetal, la topografía del terreno y de la viscosidad del crudo.

### **1.3 Técnicas de remediación de cuerpos contaminados con hidrocarburos.**

El tratamiento y recuperación de suelos contaminados se puede definir como el conjunto de operaciones realizadas con el objetivo de controlar, disminuir o eliminar los contaminantes presentes. Las técnicas in situ son de menor costo, de bajo impacto ambiental inducido, pero

existen muchas dudas sobre los resultados finales. Las técnicas ex situ se destacan por su efectividad, dado que el suelo contaminado es físicamente eliminado y el suelo nuevo que se incorpora se homogeniza con el anterior no contaminado, pudiendo controlarse mejor el proceso. El sistema se opera prescindiendo de los factores externos como el clima. Estas técnicas tienen el problema del alto costo (Coria, I. 2007).

**1.3.1 Técnicas de remediación fisicoquímicas.** Las técnicas de remediación fisicoquímicas son generalmente accesibles, de costo moderado y escaso periodo de tratamiento. El fundamento radica en las propiedades de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la afectación.

**1.3.2 Técnicas de remediación biológicas.** Las técnicas de remediación biológicas presentan bajo costo y no implican efecto nocivo en el medioambiente. Se basan en la aplicación de microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio que degradan sustancias peligrosas en otras de carácter inocuo para el medio ambiente.

Algunas de las técnicas usadas para llevar a cabo este tipo de remediación son; biorremediación, fitorremediación, atenuación natural monitorizada (MNA), bioventing, biopilas, fitorremediación, landfarming y biorreactores.

**1.3.3 Técnicas de remediación térmicas.** Las técnicas de remediación térmicas ofrecen tiempos muy rápidos de limpieza y se basan en la implementación de temperatura para incrementar la volatilidad (separación), quemado, descomposición (destrucción) o fundición de los contaminantes (inmovilización).

Para este caso se utilizan técnicas como; desorción térmica, pirólisis y vitrificación.

## **1.4 Sorbentes**

Los sorbentes son productos sólidos capaces de retener o atrapar los contaminantes de los líquidos. Son utilizados para recuperar pequeñas cantidades de crudo mediante la absorción, la penetración del crudo en el material sorbente, y/o la adsorción, la adherencia del crudo sobre la superficie de aquel.

Para mejorar la recuperación, la mayoría de los sorbentes son oleofílicos (son atraídos por el crudo) e hidrofóbicos (repelen el agua).

La utilización de los sorbentes sobre grandes derrames de crudo ocurridos en aguas marinas, están limitados por cinco (5) factores:

- Logística de la aplicación y la recuperación de sorbentes sobre las manchas de gran extensión.
- Intensidad y naturaleza de la operación a realizar.
- El costo relativamente alto (en comparación con skimmers pequeños).
- Las bajas tasas relativas de recuperación.
- Gran cantidad de residuos sólidos generados.

En general, los sorbentes son usados con más efectividad en las etapas finales de una limpieza o para ayudar en la remoción de capas delgadas de crudo. También pueden ser usados para la limpieza de derrames secundarios y proteger y/o limpiar zonas sensibles ambientalmente, donde el uso de otros métodos de limpieza es restringido debido a los daños que podrían causar.

### **1.4.1 Razón de la utilización de los sorbentes.**

- Reducir la propagación de un derrame de contaminantes.

- Fijar un contaminante por impregnación para facilitar su recuperación en los derrames pequeños.
- Recuperar los contaminantes de los efluentes generados por las operaciones de limpieza.
- Filtrar contaminantes que no se pueden recuperar de una masa de agua (canales, ríos, tomas de agua y efluentes de lavado).

**1.4.2 Principio de Funcionamiento.** El contaminante se fija en el absorbente por dos procesos:

- **Adsorción:** Retención de los contaminantes sobre la superficie del sorbente.
- **Absorción:** La retención de los contaminantes con / en el propio sorbente.

Por otra parte, los sorbentes actúan como un obstáculo para la difusión y por lo tanto constituye un medio de contención adicional. Al entrar en contacto con un contaminante, el sorbente absorbe el contaminante como una esponja. La mezcla "sorbente + Contaminante " posteriormente se recupera.

Si el absorbente está lejos de ser saturado de contaminantes, se tiene una gran oportunidad de fijarlo. Si el absorbente se satura (o cercanamente) con contaminantes, el contaminante no puede ser completamente fijado. Parte de ello puede ser liberado cuando está sujeto a estrés: presión, torsión, escorrentía.

**1.4.3 Composición de los sorbentes.** De acuerdo a la composición de los sorbentes, estos pueden ser agrupados en tres clases: Orgánicos, Inorgánicos y Sintéticos.

**1.4.3.1 *Sorbentes Orgánicos Naturales.*** Entre ellos encontramos el aserrín, heno, paja, musgo de turba, plumas, tuza de maíz, fibra de coco, corcho, fibra de celulosa, lana, virutas de madera y otros productos basados en carbono.

Generalmente pueden recoger de tres (3) a quince (15) veces su peso en crudo y son de frecuente uso porque son baratos y de fácil acceso, teniendo presente que son productos de desecho. Hay tres problemas con los sorbentes orgánicos naturales. Primero, recogen agua con crudo y esto ocasiona que tiendan a hundirse. Segundo, son normalmente usados en forma suelta y su uso es limitado generalmente a aplicarse en tierra. En su forma suelta, la recolección es más difícil de llevar a cabo. El desarrollo de una malla o red para colocar sorbentes orgánicos naturales contribuye a solucionar los problemas de recolección.

**1.4.3.2 *Sorbentes Inorgánicos.*** Entre ellos encontramos la arcilla, vermiculita, perlita, lana, arena, lana de vidrio, ceniza volcánica u otros productos basados en estos minerales. Generalmente pueden recoger de cuatro (4) a veinte (20) veces su peso en crudo y son comúnmente usados debido a que son económicos y se encuentran disponibles en grandes cantidades. Los problemas con los sorbentes inorgánicos radican primero en que no son biodegradables y deben ser recuperados completamente después de su uso. El segundo problema que presentan es que cuando son depositados en vertederos, fácilmente filtran su contenido de hidrocarburos. Por último, no son fácilmente reciclables o reusables.

**1.4.3.3 *Sorbentes Sintéticos.*** Para esta clase encontramos materiales poliméricos orgánicos, tales como el poliuretano, polietileno, polipropileno, fibras de nylon, polímeros de cadena entrecruzada y espumas de urea formaldehído.

Generalmente pueden recoger setenta (70) veces su peso en crudo y su popularidad radica en que pueden ser reusados varias veces.

Los sorbentes sintéticos son altamente oleofílicos (atraen el crudo) e hidrofóbicos (repelen el agua), haciéndolos muy efectivos en la limpieza de los derrames. El problema con esta clase de sorbentes estriba en que una vez son removidos del agua, el crudo tiende a filtrarse del sorbente naturalmente. En la tabla 1 se muestran las propiedades generales de diferentes materiales sorbentes.

Tabla 1 *Capacidad de adsorción de diferentes tipos de sorbentes*

Sorbente	Capacidad máxima de adsorción de HCs g/g de sorbente		Flotabilidad después de un contacto prolongado con HC sobre el agua
	HC de alta viscosidad 3000 cSt a 25°C	HC de baja viscosidad 5cSt a 25°C	
<b>Inorgánico</b>			
Vermiculita	4	3	Se hunde
Cenizas volcánicas	20	6	Flota
Lana de vidrio	4	3	Flota
<b>Orgánico natural</b>			
Mazorca de maíz	6	5	Se hunde
Cascara de cacahuete	5	2	Se hunde
Fibra de secoya	12	6	Se hunde
Paja de trigo	6	2	Se hunde
Musgo de turbera	4	7	Se hunde
Fibra celulósica de madera	18	10	Se hunde
<b>Orgánico sintético</b>			

Espuma de poliuretano	70	60	Flota
Espuma de formaldehido de urea	60	50	Flota
Fibra de polietileno	35	30	Flota
Fibra de polipropileno	20	7	Flota
Polietireno en polvo	20	20	Flota

**Nota.** Fuente: Embankment, A. (Ed). (2005). Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos, Parte 4. Londres, Reino Unido: Organización marítima internacional.

**1.4.4 Selectividad de los sorbentes.** De acuerdo a su selectividad los sorbentes pueden ser Hidrofóbicos e Hidrofílicos y para dar respuesta a la contaminación en la tierra y en el agua, hay dos tipos principales de sorbentes que se pueden utilizar sobre los contaminantes líquidos.

**1.4.4.1 Sorbentes Hidrofóbicos Flotantes.** También conocidos como sorbentes de sólo hidrocarburos: están diseñados para recuperar contaminantes no polares (es decir, no miscible con agua, por ejemplo crudos). Estos sorbentes son livianos y flotantes. Se pueden implementar en agua o en tierra.

**1.4.4.2 Sorbentes Hidrofílicos o Universales.** Están diseñados para recuperar productos polares (agua y sustancias solubles en agua) y no polares (productos no miscibles con agua). Ellos pueden absorber agua y no necesariamente flotar (densidad variable). Sólo pueden utilizarse en tierra (superficie dura).

### **1.4.5 Criterios para seleccionar sorbentes**

#### ***1.4.5.1 Capacidad***

- Son deseables las propiedades oleofílico e hidrofóbico.
- Cuando se use en agua, es preferible que los sorbentes tengan una alta relación de sorción crudo / agua.
- Es probable que la capacidad del sorbente en el campo sea menor que los datos indicados en los ensayos. Se puede requerir aproximadamente un 25% más de la cantidad sugerida.
- La idoneidad del material sorbente depende del tipo de crudo y grado de degradación.

#### ***1.4.5.2 Tasa de Sorción***

- Los crudos livianos son sorbidos rápidamente.
- El tiempo de sorción requerido para la saturación es de mayor duración para los crudos viscosos.
- La tasa y la efectividad de la sorción son proporcionales al área superficial del sorbente expuesta al crudo.
- La tasa de recuperación disminuye a medida que la capa del crudo se hace más delgada. Los chorizos pueden contener y espesar una capa de crudo para mejorar el uso de sorbentes.

#### ***1.4.5.3 Flotabilidad***

- La alta flotabilidad le permite a los sorbentes flotar por largos periodos (días o semanas) incluso cuando se satura con agua y crudo.
- Algunas fibras naturales como la paja y el musgo de turba tienen una flotabilidad inicial alta pero se inundan y hunden.

- La flotabilidad excesiva puede reducir la eficiencia hasta el punto que necesita ser empujado hacia el seno del crudo para saturarlo.
- Esta característica no es importante para su uso en tierra.

#### ***1.4.5.4 Retención del crudo***

- Capacidad del sorbente para sorber y retener crudos líquidos.
- Algunos materiales adsorben rápidamente el crudo pero, a menos que se recuperen a tiempo, el sorbente como resultado de los efectos del viento, olas y corrientes, puede subsecuentemente liberarlo mucho.
- Algunos materiales sorbentes liberan gran parte del crudo cuando el sorbente ya saturado, es levantado fuera del agua trayendo como consecuencia que el peso del líquido recuperado cause que el sorbente se deforme exprimiendo el crudo desde los poros o superficies internas.
- La retención de crudo puede ser un particular problema cuando se usa sorbentes con una baja fuerza interna, en especial, los elaborados de materiales orgánicos.
- Los materiales sorbentes con finos poros, tales como la vermiculita y algunas espumas, generalmente exhiben buenas características de retención pero tienen el inconveniente de su pobre rendimiento en la recuperación de crudos viscosos.
- La tasa de liberación es directamente dependiente de la viscosidad del crudo, entre más baja es la viscosidad de este, menor es la capacidad de retención del sorbente.

#### ***1.4.5.5 Facilidad de recuperación***

- La recuperación de los sorbentes flotantes, es muy difícil, pero puede lograrse con el uso de técnicas de pesca (por ejemplo: redes de cerco) o algunas máquinas separadoras de agua – crudo

previniendo posibles obstrucciones o atascamientos.

- Los problemas de recuperación excluyen el uso de partículas no contenidas y sorbentes a granel en agua.

#### ***1.4.5.6 Biodegradabilidad***

- Se recomienda que el sorbente sea ambientalmente seguro y biodegradable en situaciones donde el material sea difícil de recuperar.
- Los productos sorbentes que incorporan nutrientes pueden mejorar la biodegradación; sin embargo, la necesidad de nutrientes se debería determinar para evitar la creación de un ambiente eutrófico.

#### ***1.4.5.7 Costo***

- Varía considerablemente y depende del material usado.
- Los materiales orgánicos e inorgánicos son comparativamente menos costosos que los productos sintéticos.
- Se debe tener en cuenta al momento de seleccionar el sorbente más adecuado, el costo adicional de disposición por los altos volúmenes generados.
- A pesar del alto costo de los productos sintéticos, son a menudo, más efectivos, y en algunos casos pueden ser reutilizados.

#### ***1.4.5.8 Disposición***

- La selección del sorbente debe considerar el plan de disposición final.

- Las instalaciones de residuos y desechos, ya sea para el entierro o incineración, generalmente tiene que ser aprobado por la autoridad competente previo a la disposición del sorbente.
- Los requerimientos de bolsas y tambores para el almacenamiento de los sorbentes recuperados deben ser calculados basados en la cantidad de material sorbente a ser distribuido y el volumen probable de crudo a ser absorbido.
- Los sorbentes deben ser incinerables y no contener demasiada agua para su incineración (Jiménez, A. y Cova, L., 2012, p 28-36).

## **2. Descripción biomateriales sorbentes investigados**

A continuación, se presenta la información de los biomateriales investigados, se presenta la descripción del biomaterial, composición química, antecedentes de uso como biomaterial sorbente, sus costos, finalmente ventajas y desventajas.

### **2.1 Algas (*Codium fragile*)**

Son plantas robustas, color verde musgo, de hasta 30 centímetros de alto. Sus ramas son cilíndricas, ramificadas dicotómicamente, con râmulas hasta el décimo orden, es una especie de alga marina en la familia Codiaceae.

Se origina en el Océano Pacífico cerca de Japón y se ha convertido en una especie invasora en las costas del Océano Atlántico Norte. Aparece como un parche difuso de dedos tubulares. Estas formaciones cuelgan de las rocas durante la marea baja. Se produce en la zona intertidal baja, y subtidal en las playas de alta energía.

**2.1.1 Antecedentes.** Katusich. O y Maris. S 2016, evaluaron la posibilidad de usar materiales naturales para la remoción de hidrocarburos en el suelo, usaron materiales adsorbentes naturales como algas y suelos arcillosos y lo compararon con algunos productos comerciales. Las algas usadas para las pruebas fueron *Codium Fragile* y *Lessonia Vadosa*, con crudo de la Cuenca del Golfo San Jorge que tiene una densidad expresada en API entre 24 – 27°, la que mejor resultado arrojó fue la *Codium Fragile* con un porcentaje de sorción de 7,1 g HC/ g sorbente, la *Lessonia Vadosa* obtuvo una capacidad de sorción de 2,1 g HC/g sorbente, el adsorbente orgánico comercial tuvo una capacidad de adsorción menor a la *Codium Fragile*, fue de 3.6 g HC/ g sorbente (Katusich. O y Maris. S, 2016).

### **2.1.2 Ventajas**

- Económico
- Tratamiento previo sencillo
- Favorece el proceso de biodegradación

### **2.1.3 Desventajas.** Es difícil de identificar

## **2.2 Azolla**

Son plantas acuáticas flotantes, de hojas pequeñas con raíces cortas. Frondes divididas cuyo color oscila entre rojo y púrpura a pleno sol y de verde pálido a verde azulado en la sombra.

Flotan en la superficie del agua por medio de pequeñas escamas muy numerosas. Azolla es también una seria maleza en muchas partes del mundo, cubriendo cuerpos de agua tanto que no se ve el agua.

**2.2.1 Composición.** El análisis de composición elemental de Azolla reveló que comprende principalmente C (57,6%), O (35,7%), Ca (4,40%), Mg (1,2%), Al (0,045%), Cl (0,015%) y K (0,04%) (Sayyad, J., Vared, M. y Zendehboudi, S., 2015, p-10616).

**2.2.2 Antecedentes.** La caracterización de la Azolla se lleva a cabo a través de diversas técnicas. Los resultados implicaron que la capacidad de captación de Azolla en agua de mar es 10,2 g de aceite / g adsorbente para el aceite de motor (similar al petróleo crudo del Mar Caspio de 18° API) y 5,3 g de aceite / g para el aceite crudo a  $T = 25 \text{ ° C}$  y  $\text{pH} = 8,3$ . Los la capacidad de adsorción de aceite de motor / agua salada es mayor en comparación con otras mezclas. También se encontró que existe una óptima tasa de adsorción de la temperatura de  $25 \text{ ° C}$  y el pH de 9. Este estudio revela que la hoja de Azolla es un eficiente, económico, y aceite ecológico adsorbente para la eliminación del aceite de la superficie del agua (Sayyad, J., Vared, M. y Zendehboudi, S., 2015, p-10615).

### **2.2.3 Ventajas**

- “Bajo condiciones estáticas, Azolla exhibió flotación en las pruebas ya que no se hundió en el aceite agua, incluso después de 24 h” (Sayyad, J., Vared, M. y Zendehboudi, S., 2015, p-16015)
- La cobertura superficial con cera hidrofóbica protege a las plantas de la evaporación excesiva de agua, microorganismos, daño mecánico o degradación por el agua.
- Su uso como sorbentes de hidrocarburo puede llegar a tener gran utilidad debido a que son consideradas especies invasoras.

## **2.3 Algodón**

El algodón es una fibra textil vegetal que crece alrededor de las semillas de la planta de algodón, es la fibra natural más importante que se produce en el mundo, la longitud y el grueso de la fibra

dependen de su procedencia.

**2.3.1 Composición.** La fibra de algodón es de un 94% de celulosa, un 1,23% de proteínas, un 1,2% de sustancias pépticas, un 1,2% de materias minerales, un 0,6% de cera, un 0,3% de azúcar, y el resto por otros elementos.

**2.3.2 Antecedentes.** Como parte de un estudio de la sorción de petróleo crudo por algodón en bruto, un sorbente biodegradable se cuantifica la sorción de aceite (g / g) de micronaire bajo (inmaduro) de algodón. Los resultados mostraron que en el nivel mínimo, el algodón bajo micronaire tiene 30,5 g / g de capacidad de sorción de crudo.

Además, la capacidad de sorción de aceite crudo del algodón micronaire bajo es significativamente más alta que la capacidad de sorción del algodón micronaire alto (Singh, V., Kendall, R., Hake, K. y Ramkumar, S., 2013, p-1).

- Un profesor de ingeniería de la Universidad de Pittsburgh desarrollo una nueva técnica para separar el petróleo del agua. Un filtro de algodón recubierto de un polímero es el elemento principal que permite purificar el agua contaminada. Se utiliza un filtro con un polímero hidrofílico que se une con las moléculas de hidrógeno en el agua y que, a la vez, presenta oleofobicidad, lo que significa que repele el aceite. El filtro se produce al sumergir el algodón empleado en una solución líquida que contiene el polímero, y que posteriormente se seca en un horno o al aire libre (“Nueva técnica para purifican”, 2010).
- Una fibra a partir de algodón, con características únicas en el mundo, se desarrolló por error, según explicó el químico Ernst Krendlinger, el material es capaz de absorber con gran eficacia cantidades importantes de sustancias como aceite, diésel y otros productos químicos, mientras

que al mismo tiempo rechazaba el agua, 100 kilogramos de esta fibra pueden absorber más de 600 litros de aceite.

También tiene enormes ventajas ecológicas, ya que es reciclable, respetuoso del medio ambiente, insoluble en agua, resistente a la intemperie y siempre flota, incluso si está saturado de hidrocarburos (“Derrames de hidrocarburos...”, 2017).

- Una especie mejorada de algodón, llamado Fibertech, también puede absorber los gases nocivos asociados a los derrames de petróleo. El algodón se trata con polímeros adicionales que permiten que el agua pase fácilmente a través de ella, mientras que captura todos los elementos nocivos encontrados en el aceite. Estos polímeros se añaden a la absorbencia del algodón, lo que le permite capturar fácilmente el aceite por lo que se puede transferir a un buque cisterna. Este aditivo se aplica a menudo a las fibras de algodón normales disponibles en el mercado antes de ser utilizado para limpiar el aceite (“Ventajas de algodón”, 2017).

### **2.3.3 Ventajas**

- Es extremadamente absorbente, biodegradable y puede ser reutilizado. También se puede tratar para mejorar aún más sus propiedades de sorción.
- Es capaz de absorber 40 veces su peso en aceite, que es al menos dos veces más que otros materiales sintéticos comúnmente usados para limpiar el aceite, es hidrófobo . El aceite es bastante fácil de recuperar del algodón, y se puede añadir de nuevo en la piscina industrial.
- Las fibras de algodón son biodegradables. Cualquier fibra dejada accidentalmente en el lugar del derrame de petróleo no daña el medio ambiente, ya que pueden ser descompuestos fácilmente.

- El algodón es reciclable, se puede lavar y volver a utilizar después de que el aceite se ha recuperado de él. Sin que sea disminuida la capacidad en cada uso.
- Sometido a una mejora, también puede absorber los gases nocivos asociados a los derrames de petróleo (“Ventajas de algodón”, 2017).

**2.3.4 Desventajas.** No todos los algodones son selectivos con respecto al material a sorber, algunos no son hidrófobos.

## **2.4 Aserrín**

El aserrín es una biomasa disponible y renovable, reconocido como un excelente bioadsorbente por su alta capacidad de adsorción. (Villadiego y Padilla, 2012, p.23).

El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando ésta es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados (Guash, Giral y Quintero, 2016 pp. 395-405).

Arbaiza et al, (1999). Consideran que el aserrín es una materia orgánica de origen vegetal, derivado del aserrío de especies maderables duras y suaves, como la bolaina, el pino, capirona y otros.

El procesamiento de la madera genera cantidades considerables de desechos en forma de aserrín y pequeños pedazos de madera, que causan problemas ambientales por su quema o el vertido en ríos. (Guash, Giral y Quintero, 2016 pp. 395-405) Los aserrines tienen dos zonas; hidrofílica y la hidrofóbica la lignina y celulosa.

**2.4.1 Composición.** En lo referente a la composición de las maderas, al igual que cualquier sustancia de origen natural orgánico, estarán formadas por carbono (50%), oxígeno (42%), hidrógeno (6%) y nitrógeno (0.2%), principalmente, además de otros elementos inorgánicos como fósforo, sodio o calcio.

#### **2.4.2 Antecedentes.**

- En Rusia se realizó un estudio de la adsorción de hidrocarburos utilizando adsorbentes naturales de origen vegetal. Se determinó que la capacidad de aceite es una función de variables tales como densidad, peso molecular, temperatura y viscosidad. En el experimento realizado se extendió una mancha de aceite de 0,5 a 5 mm de espesor sobre la superficie del agua (superficie de 48,52 cm<sup>2</sup>), y el sorbente se distribuyó sobre la mancha de aceite en la superficie de agua, más o menos, 0,3 gramos por cada 10 cm<sup>2</sup>. La solución estándar fue de 5mg/ml donde su capacidad de sorción fue de 1-3 g/g. El aserrín fue comparado con otros adsorbentes naturales donde se encontró que el aserrín carbonizado a la temperatura de 150-250 ° C debe ser usado para productos de aceite altamente viscoso. (Rotar, Iskrizhitsky, Sharipov y Pimenova, 2015).
- El aserrín de bambú se utilizó como materia prima adsorbente, para eliminar metales pesados y colorantes en agua ya que posee una estructura polimérica constituida por celulosa-lignina, capaz de efectuar el mecanismo de la adsorción de protones de los contaminantes
- En Sur África, demostraron la capacidad de adsorción, además, del bajo costo que posee para el tratamiento de aguas residuales que contenían níquel (II) y otros iones de metales pesados. se indicó que el uso de aserrín de pino podría ser una prometedora solución para la eliminación de los iones de níquel a partir de varios componentes de soluciones acuosas.

- Adsorbe aceites pesados como se evidencio con el aceite de oliva: OMWW (olive mil waste – wáter) adsorción del aserrín seguida de combustión. La gran superficie de aserrín permite una evaporación eficiente del contenido de agua en condiciones atmosféricas normales y también elimina los olores asociados con el OMWW.
- En España, la Universidad de Oviedo, se realizó un lecho filtrante, a base de aserrín de Eucalipto, el cual removió un 99%, de aceite contenido en un efluente emulsionado.
- En Colombia, la Universidad de Antioquia crearon un filtro con aserrín para el tratamiento de aguas contaminadas, mediante nano partículas de plata y aserrín, que pueden retener contaminantes como fármacos y con una actividad antimicrobiana, además de esto los degradan.
- La Universidad de Cartagena Colombia, evaluó el potencial de adsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua, se determinó para tres tipos de especies forestales de la costa Caribe colombiana: Cedro (*Cedrela Odorata* L), Camajón (*Sterculia apétala*), Ceiba Amarilla (*Hura Crepitans* L.), donde el mayor porcentaje de adsorción estaba en el cedro con un 58,94% removido, se presentó un mayor porcentaje de remoción cuando la partícula es de menor tamaño en este caso 1mm con una cantidad de 5 g de aserrín, ya que posee un área de contacto más elevada, consiguiendo el adsorbato la máxima capacidad de sorción. En cuanto a la solución la máxima capacidad de sorción se encuentra a una concentración de la solución de 20 mg HC/ L, para adsorber el aserrín de Cedro 11,70 mg HC/L, que corresponde a un 58% de remoción, después de esto el material tiene a saturarse. (Villadiego, Padilla, 2012).
- La Universidad Nacional Mayor de San Marcos evaluó la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol donde el objetivo era reducir la contaminación de suelos contaminados con hidrocarburos (TPH) mediante la técnica de biorremediación, aplicando estiércol orgánico más aserrín, utilizando como planta

indicadora de maíz ya que esta es u tolerante a los hidrocarburos de petróleo, a la cual se le evaluaron la altura de planta (cm), peso seco foliar (gr), y peso seco radicular. (gr). Se recolecto suelo de la refinería la Campila Perú – tanto suelo contaminado con HC como suelo no contaminado, estiércol vacaza y cerdaza y se recolecto aserrines de bolaina, pino y capirona. Se sembraron en diferentes masetas teniendo como indicador el crecimiento de la planta de maíz. la biodegradación asistida, es el proceso por el cual microorganismos indígenas o inoculados (Bacterias y hongos) metabolizan los contaminantes orgánicos del suelo. (Buendia Ríos Hildebrando 2012).

### **2.4.3 Ventajas**

- Como se observa en las evidencias, en los últimos años el aserrín ha tomado un papel importante como material adsorbente con una capacidad de adsorción alta, especialmente para derrames de hidrocarburo pesado, en cuerpos de agua
- Además de ser un adsorbente abundante, es eficiente y económico a la hora de adsorber diferentes contaminantes como tintes, sales, metales, pesados.
- Al tratar el aserrín con ácidos grasos, se incrementa el potencial de absorción del mismo, presentando la mejor capacidad de absorción con el ácido oleico, tanto de petróleo crudo, como de petróleo degradado, aceites pesados y ciertos iones, presentes en el agua contaminada. Dicho método no incrementa en un alto grado el costo del material, haciéndolo sumamente rentable (Shashwat, Milind, Radha, 20006, p.1026 – 1031)
- El compost de aserrín y estiércol a menudo naturalmente abundante o ampliamente disponible como producto del desperdicio de procesos industriales.
- Pueden servir para proteger la vida silvestre en sitios de arrastre.

- Los microorganismos existentes en la materia orgánica (Estiércol y aserrines) restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones fisicoquímicas, incrementando la reducción de la contaminación del suelo, incrementando la producción de cultivos y su protección. Así mismo aumenta de la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal, similar al del ácido giberélico (Buendía Ríos Hildebrando 2012).

#### **2.4.4 Desventajas**

- Este material es relativamente hidrófilo, por lo tanto, su superficie tiene que ser modificada para mejorar la eficacia de la adsorción.
- Difíciles de controlar, pueden ser regados por el viento. (Buendía, 2012)
- Difíciles de recuperar.
- La mezcla de crudo y sorbente puede ser difícil de bombear.
- La disposición de la mezcla crudo sorbente es más limitada que la del crudo solamente

#### **2.5 Bagazo de Caña**

Se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y constituye un subproducto de esta producción.

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.

**2.5.1 Composición.** De forma general, el bagazo está constituido por: Holocelulosa (75%), Celulosa (50%), Celulosa Alfa (37%), Celulosas Beta y Gamma (13%), Hemicelulosa (25%), Lignina (20%), Otros componentes (5%).

**2.5.2 Antecedentes.** En un estudio realizado en Cuba con bagazo integral para su empleo como adsorbente de derrames de crudo medio sobre aguas y/o sobre suelos ha mostrado que la capacidad del mismo sobre una clasificación en malla de 0.5 mm y teniendo en cuenta además su flotabilidad por encima del 90 %, resulta adecuado para estos fines (Armada, A., Barquinero, E. y Capote, E., 2008, p-99).

- En Colombia como parte de un análisis a escala de laboratorio se encontró que los materiales evaluados dentro de los que encontramos el bagazo de caña son efectivos, para ser usados como materiales sorbentes de hidrocarburos para mitigar y controlar derrames y escapes de combustibles líquidos, quienes mostraron capacidades de sorción iguales o superiores al material comercial evaluado.

En general, los materiales sorben más eficientemente el hidrocarburo pesado (25 °API) y medio (30 °API) que el hidrocarburo liviano (35 °API) (Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, G., 2006, p-10).

- Para el año 2013 en Venezuela se investigó la aplicación de partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar en el tratamiento de agua contaminada con hidrocarburos derivados del petróleo. Los resultados obtenidos demostraron que el bagazo de caña de azúcar hidrofobado con parafina tiene potencialidades como adsorbente para la remoción de hidrocarburos en agua, dicho proceso de adsorción depende de la granulometría (a mayor diámetro promedio se desfavorece la adsorción) y del porcentaje de parafina (entre 0-30% m/m se incrementa la

remoción de hidrocarburos, por encima de 30% m/m no hay un efecto significativo sobre ésta). La mayor remoción de querosén en agua (94%) se alcanzó cuando se utilizó este material con una granulometría de 457  $\mu\text{m}$  de diámetro promedio, 30% m/m de parafina y un tiempo de contacto de 30 min en operación discontinua (Danglad, J., Valladares, S., Cova, A. y Linero, G., 2013, Conclusiones, párr.1).

### 2.5.3 Ventajas

- “El bagazo de caña de azúcar tiene potencialidades como sorbente de hidrocarburos, lográndose una remoción significativa de los indicadores de la contaminación: grasas y aceites (98,5%) e hidrocarburos totales (94,8%)” (Martínez, P., Rodríguez, I., Esperanza, G. y Leiva, J., 2013, p-61). Además de su buen desempeño, la abundancia, disponibilidad y bajo costo de este subproducto de la industria azucarera y su biodegradabilidad, lo hacen un excelente material sorbente sostenible.
- Esto permite reducir considerablemente los costos adicionales de almacenamiento o disposición final que tienen los materiales sorbentes sintéticos fabricados en su mayoría con, polipropileno o poliuretano (Martínez, P., Rodríguez, I., Esperanza, G. y Leiva, J., 2013, p-60).
- Una vez ha sido empleado en la limpieza de aguas aceitosas puede ser aprovechado para la generación de energía.
- “Mediante tratamiento termino puede llegar a mejorarse su hidrofobicidad de forma considerable” (Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, G., 2006, p-10).
- “Su biodegradabilidad, lo hace un excelente material sorbente sostenible” (Martínez, P., Rodríguez, I., Esperanza, G. y Leiva, J., 2013, p-60).

- “Por su alto valor calorífico puede ser aprovechado en la generación de energía, una vez utilizado en la limpieza de aguas aceitosas” (Danglad, J., Valladares, S., Cova, A. y Linero, G., 2013, Introducción, párr.4).

#### **2.5.4 Desventajas**

- “La sorción de hidrocarburos puede llegarse a ver afectada cuando se aplica un tratamiento térmico para absorber hidrocarburo liviano” (Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, G., 2006, p-10).
- En algunos casos puede llegar a sorber mayor cantidad de agua que los productos sintéticos.

## **2.6 Biochar**

Material sólido rico en carbón, de grano fino y poroso similar al carbón. Es producido por la descomposición térmica de biomasa en condiciones y temperaturas por debajo de 1.000 ° C y en ausencia limitada de oxígeno. (Lehmann and Joseph, 2009, p.1).

Se utiliza como una enmienda del suelo debido a sus diversos efectos positivos como la reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes, el aumento de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, debido principalmente a sus nutrientes y la capacidad de retención de agua.

Caracterizado por su extensa superficie y alta porosidad; Además, su matriz de carbono estructurada es similar a la del carbón activado.

Una de las ventajas más importantes del Biochar es su bajo costo cuando se obtiene de los procesos de producción de energía. En este caso, es el residuo de un proceso de carbonización, por lo que cualquier reutilización de este material puede valorizar un residuo potencial. (Silvani et al., 2017, p. 1-2).

**2.6.1 Composición.** Las propiedades del biochar varían sustancialmente dependiendo de la fuente de biomasa, la velocidad a la que se calienta, la temperatura máxima de calentamiento y la medida en que los volátiles producidos durante la pirólisis se separan del biochar antes del enfriamiento. (Rajakumar y Sankar, 2006, p. 174).

**2.6.2 Antecedentes.** Se aplicaron diferentes enmiendas de biochar a los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo (PHC) en dos zonas de Canadá (Iqaluit y Whitehorse) y en un estudio de laboratorio a  $-5^{\circ}\text{C}$  para determinar los efectos del método de aplicación (inyección o incorporación) y tipo biochar (madera, harina de pescado, masa ósea y / o compost) sobre la degradación de la PHC y las propiedades asociadas del suelo. Al ser incorporado se disminuyeron las concentraciones de nC 10 -C 16 y nC 16 -C 34 en el suelo después del día 31, mientras mediante la inyección las concentraciones de PHC no fueron disminuidas hasta el día 334. La incorporación fue el método de aplicación más exitoso, y aunque las enmiendas de biochar no fueron claramente efectivas en la reducción de las concentraciones de PHC, la evidencia sugiere que puede influir positivamente en las propiedades del suelo y la degradación de PHC bajo condiciones ambientales específicas.

El biochar de Bonemeal mejoró la degradación de los hidrocarburos de petróleo bajo condiciones de congelación. La disponibilidad de nitratos se incrementó en los suelos con enmiendas biochar. (Karppinen, Siciliano y Stewart, 2017).

- En los suelos arenosos del norte (Canadá), el biochar puede mejorar la textura del suelo, aumentando la capacidad de retención del agua, porosidad, superficie y disponibilidad de agua bajo condiciones de congelación, lo que a su vez puede estimular actividad microbiana que

parece ser un factor impulsor en la degradación de hidrocarburos de petróleo (Karppinen, Siciliano y Stewart, 2013).

- En el caso del derrame ocurrido en la costa del golfo de la Florida, ocurrido en 2010 bajo la responsabilidad de BP se llevaron a cabo estudios para determinar el efecto de la aireación mejorada del suelo y la adición de biochar en la tasa de degradación del aceite y salud del ecosistema en un pantano salino impactado por petróleo, las pruebas preliminares muestran un efecto positivo de estos enfoques de remediación pasiva, se aceleró la degradación de los compuestos derivados del petróleo en un 10-60% sin alterar la recuperación de las poblaciones de plantas de pantanos y caracoles a niveles previos al suceso (Zimmerman y Silliman, 2014).

### **2.6.3 Ventajas**

- Es un proceso que se ocupa de los metales pesados y los hidrocarburos.
- Es un proceso que es de acción rápida.
- Es un proceso que requiere un espacio mínimo.
- Es un proceso que es fácil de poner en práctica.
- Es un proceso que puede ser implementado “en el sitio”.
- Es una solución de baja energía.
- Es una solución que no requiere altos costos de infraestructura.
- Según el tipo de materia prima empleada para la producción de biochar se puede llegar a alcanzar cierto grado de biodegradación como se evidencia en un estudio realizado a escala de laboratorio.

#### **2.6.4 Desventajas**

- Según las condiciones experimentales de los ensayos realizados pueden llegar a encontrarse ciertas desventajas, por ejemplo Gaskin et al. (2010) y Rajkovich et al. (2012) encontraron una reducción en el rendimiento del maíz con la adición de biochar.
- Según Prendergast-Miller et al. (como se citó en Villar y Albuquerque, 2016) la mayoría de estudios se han centrado fundamentalmente en el análisis de la biomasa y de la producción vegetal. Éstos no han entrado en detalle de los mecanismos específicos que subyacen a estas respuestas. Así por ejemplo, se ha profundizado muy poco en las respuestas de la raíz a las nuevas condiciones creadas en el suelo tras la adición de biochar característica que debería ser estudiada para tener mejores criterios de selección para su uso.

#### **2.7 Cascara de plátano**

El plátano es una planta nativa de India, Australia y África tropical. Puede crecer hasta 20 pies o más. Su cultivo se ha extendido a los países tropicales en Latinoamérica y el Caribe.

Las cáscaras de plátano cuentan con propiedades antioxidantes, vitaminas y minerales. Ayuda a filtrar el agua, gracias a su capacidad de absorción sobre el plomo y cobre.

El principal subproducto del proceso industrial del plátano, es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto, las aplicaciones potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química.

**2.7.1 Antecedentes.** Según un estudio realizado El-Din, G., Amer, A., Malsh, G. y Hussein, M., (2017) a la capacidad de sorción de la cáscara de plátano da un buen resultado como un nuevo y bajo costo de residuos agrícolas para la limpieza del derrame de petróleo. Las propiedades superficiales, el tipo de aceite, el espesor de la película de aceite, el tiempo de sorción, la temperatura, así como la salinidad, afectan a la capacidad de sorción del aceite. Los resultados de los experimentos mostraron que la mejor condición es un tamaño medio de partícula de 0,3625 mm a 25°C, tiempo de sorción de 15 min, agua de mar artificial al 3,5% y finalmente espesor de película de aceite de 5 mm. Esta condición proporciona valores máximos de capacidad de sorción para gasóleo, 1 día y 7 días de petróleo crudo degradado a 5,31, 6,35, 6,63 g / g de sorbente, respectivamente. Es importante notar que el sorbente puede ser reutilizado más de 10 veces para llegar al 50% del primer valor de sorción (P-8).

### **2.7.2 Ventajas**

- Material alternativo de bajo costo y la capacidad de biodegradarse.
- Buena opción para agua salada, puesto que aumenta su capacidad de sorción y es más hidrófoba.
- “Este sorbente puede ser reutilizado más de 10 veces para llegar al 50% del primer valor de sorción” (El-Din, G., Amer, A., Malsh, G. y Hussein, M., 2017, p-7).

## **2.8 Cascarella de arroz**

Las cáscaras de arroz son un importante subproducto del proceso de molienda del arroz y son los principales residuos de la industria agrícola.

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que resulta abundantemente en las zonas arroceras de muchos países y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. (Calderón, F. 2002).

Normalmente, la cascarilla se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes. Como combustible genera calor, debido a su valor calorífico aproximadamente 16720 kJ/kg), y la ceniza resultante contiene un porcentaje en sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice (Sierram J. 2009).

**2.8.1 Composición.** Entre sus principales propiedades físico-químicas tenemos que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición, es liviano, de buen drenaje, buena aireación y su principal costo es el transporte. La cascarilla de arroz es el sustrato más empleado para los cultivos hidropónicos en Colombia bien sea cruda o parcialmente carbonizada. El principal inconveniente que presenta la cascarilla de arroz es su baja capacidad de retención de humedad y lo difícil que es lograr el reparto homogéneo de la misma (humectabilidad) cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas. (Calderón, F. 2002).

En la naturaleza, la cáscara del arroz es dura, insoluble en agua, leñosa y se caracteriza por su comportamiento de resistencia inherente abrasivo y disposición estructural sílice-celulosa.

Sus componentes principales comprenden celulosa, hemicelulosa, lignina, sílice hidratada y contenido de cenizas, que el exterior de las cáscaras de arroz está compuesto de elementos rectangulares dentados, sobre todo de sílice revestidos con una gruesa cutícula y pelos superficiales, mientras que la región media y la epidermis interna son normalmente conteniendo una pequeña cantidad de sílice (L. Vlaev, P. Petkov, A. Dimitrov, S. Genieva. 2011).

**2.8.2 Antecedentes.** L. Vlaev, P. Petkov, A. Dimitrov, S. Genieva. 2011, Realizaron un estudio donde establecieron las posibilidades de obtener ceniza de cascara de arroz negro y blanco, a través de la pirolisis de cascara de arroz crudo en un reactor de lecho fluidilizado, donde con los resultados se concluyó que la ceniza de cascara de arroz negro tiene una alta capacidad de adsorción mayor que la cascara de arroz blanco, es de bajo costo y puede usarse con éxito como colector y para la limpieza de crudo pesado o los productos de petróleo derramados en cuencas de agua o aguas residuales. La capacidad de sorción que alcanzo la cascarilla de arroz negro en este caso fue de 6,22 g HC/ g de sorbente a 298 K.

- Cárdenas, L. 2017, desarrollaron un estudio donde proponían la reutilización de cascarillas de cacao, banano y de arroz, además de la ceniza de cascarilla de arroz y arcilla bentonita, por medio de la norma ASTM F726 – 12 determinaron si el material era apto para ser utilizado como adsorbente por medio de ciertos tratamientos previos. Los mejores resultados los arrojó la cascarilla de arroz con un tratamiento ácido previo esta tuvo una capacidad de adsorción de 4,46 +- 0,26 (g aceite/ g material), la ceniza de cascarilla de arroz por su parte obtuvo 3.13 +- 0,46, ambas cumplen con los estándares para ser usado como material adsorbente por su flotabilidad y 0% de turbidez en agua.

### **2.8.3 Ventajas**

- Bajo costo.
- Cumple con los estándares para ser utilizado como material adsorbente.
- Tiene un alto valor calorífico por tanto puede ser incinerado o quemado.

#### **2.8.4 Desventajas**

- Su principal costo es el transporte (Calderón, F. 2002).
- Requiere de tratamiento previo.

### **2.9 Corteza de pino**

La corteza de pino es un residuo forestal, gracias a sus características puede ser utilizado como absorbente de gran eficacia. Físicamente, la corteza de pino es un material ligero y de porosidad total muy elevada, lo que da pie a una capacidad de absorción elevada con un fácil manejo en la gestión y transporte. Estas propiedades son el resultado de la distribución porcentual de los diferentes tamaños de partícula (Bures 2016).

Los orígenes del uso generalizado de la corteza de pino como sustrato se remontan a la década de 1960, con el fin de aprovechar los desechos generados por la explotación industrial de especies coníferas que amenazaban con convertirse en un factor de contaminación, debido a su enorme acumulación y a su casi nula descomposición (Rubén, 2014).

**2.9.1 Composición.** Se presenta como un producto sólido poroso de color rojizo oscuro y diámetro de partículas inferior a 18 mm.

**2.9.2 Antecedentes.** Aserrín de pino: En Sur África, demostraron la capacidad de adsorción, además, del bajo costo que posee para el tratamiento de aguas residuales que contenían níquel (II) y otros iones de metales pesados. Se indicó que el uso de aserrín de pino podría ser una prometedora solución para la eliminación de los iones de níquel a partir de varios componentes de soluciones acuosas (Krishnie M, Ruella S, Evans T, Maurice S, Aoyi O. 2011).

- Bures (2016). Realizaron el estudio de la capacidad de sorción que tiene el biomaterial corteza de pino en agua, donde los resultados fueron favorables ya que este presentó una capacidad de absorción del 56% para crudo, y porcentajes entre 43 y 55% para queroseno, gasolina, metanol, gasóleo, benceno.

### **2.9.3 Ventajas**

- La fibra de pino al absorber no tiene ninguna reacción química.
- El porcentaje de absorción es alto gracias a su estructura porosa.
- Tiene la capacidad de absorber hidrocarburo, y además de esto según estudios realizados (Krishnie M, Ruella S, Evans T, Maurice S, Aoyi O. 2011), se puede emplear en el tratamiento de aguas residuales para absorber metales pesados.
- Su manejo en gestión y transporte son sencillos (Bures 2016).
- El alto contenido de taninos y lignina es una de sus propiedades más importantes para su buena capacidad de sorción.

**2.9.4 Desventajas.** Requiere tratamiento previo de secado en caso de estar húmedo el biomaterial.

### **2.10 Fibra Calotropis**

Arbusto rico en látex, es una especie ruderal y vino típicamente para actuar como planta ornamental, sin embargo, debido a su rápido establecimiento y adaptación, fue y es considerada una planta invasora. Se asume el papel dominante por ser capaz de establecerse en los lugares más improbables, en condiciones desfavorables, invadiendo nichos desocupados en las áreas

abandonadas y / o degradadas física y químicamente, asumiendo un papel de planta indicadora de ese tipo de perturbación (Silva. A. 2016).

Calotropis gigantea y Calotropis procera se encuentran en zonas calientes y secas, crece en zonas arenosas cercanas a playas (Catálogo de la biodiversidad de Colombia, 2017).

**2.10.1 Composición.** La fibra de Calotropis Procera está compuesta por una fase amorfa de la fibra celulósica y otro la fase cristalina y amorfa. El grado de cristalinidad de la fibra fue alrededor del 62%. La composición química de mayor porcentaje en masa se atribuye al óxido de potasio en aproximadamente el 76% (Silva. A. 2016).

**2.10.2 Antecedentes.** Silva. A. 2016, en la Universidad Federal de Rio Grande del norte, realizo el estudio de la fibra Calotropis con el objetivo de evaluar si esta podía ser un material adsorbente para la remoción de hidrocarburo en agua de mar, según los resultados al medir el ángulo de contacto, se caracterizó la fibra de Calotropis Procera como hidrofóbica y oleofílica. El petróleo usado para el desarrollo de la investigación era crudo liviano 33° API y agua salina obtenida de una zona costera de la playa de Mãe Luiza, al cabo de 30 segundos la remoción de hidrocarburo fue del 82,23% y a los 60 segundos se obtuvo una remoción del 92,93%.

- Zheng. Y, Cao. E, Zhu. Y, Wang. A, Hu. H. 2016, propusieron la estrategia para mejorar el rendimiento de absorción de aceite de la fibra de Calotropis gigantea (CGF) mediante un procedimiento de inmersión simple que toma solo un segundo ("instantáneo") en una solución etanólica de 1H, 1H, 2H, 2H-Perfluorooctiltrietoxisilano (PFOTES). La fibra tratada PFOTES-CGF mostro un notable mejoramiento en la absorbencia de aceite, con un porcentaje de incremento de 52,2% para aceite de soja, 22,0% para aceite de motor y 112,2 % para el queroseno, respectivamente. Las ventajas de este procedimiento es que hacían que la fibra de Calotropis

tuviera una absorción rápida, alta capacidad de absorción y buena capacidad de reciclaje, y se proponía la opción de la construcción de un sistema de separación inducido por gravedad para el posterior aceite-agua separación. Este enfoque fácil puede aplicarse además a la fibra de kapok y demostró ser muy eficiente para mejorar su rendimiento de absorción de aceite. Se mejoró de 56,8 g de HC/ g sorbente a 86,5 g de HC/ g sorbente.

### **2.10.3 Ventajas**

- Tiene propiedades hidrofóbicas, oleofílico, baja densidad.
- Cumple con la característica de flotabilidad para ser usada en cuerpos de agua.
- Tiene compuestos orgánicos, lo que caracterizan a la fibra como fuente natural y biodegradable.
- Debido a la abundancia y la biodegradabilidad, la mejora de esta fibra a través de métodos versátiles puede explorar aún más su potencial como una alternativa atractiva para el tratamiento de aguas residuales oleosas.
- Hay evidencia de con tratamiento pueda mejorar sus propiedades de absorción.
- La saturación de absorción es rápida.
- Se puede usar en varios ciclos.

### **2.10.4 Desventajas**

- Requiere tratamiento previo
- Se considera como especie invasiva (Salamanca. B, 2016.p-42)

## 2.11 Fibra de Coco

La fibra de coco es un sustrato (casi) inerte en cuanto a nutrientes, obtenido a partir de los residuos que genera el coco, es un producto ecológico, dada que su extracción no requiere ningún impacto medioambiental. Posee un peso muy ligero, alta capacidad de retención, PH neutro.

La fibra de coco es un sustrato orgánico, 100% natural y renovable. Se procesa de diferentes maneras en función del uso al que esté destinado. La fácil rehidratación del material permite su secado y prensado en origen

La fibra de coco presenta una excelente capacidad de retención de agua y aireación. Permite un óptimo uso del agua. Tiene una gran resistencia al estrés hídrico. La fibra de coco es totalmente biodegradable.

**2.11.1 Composición.** Está constituida por fibras grandes, delgadas y resistentes, conformadas por una red de fibrillas. El fluido puede penetrar a estos tubos ya sea por la parte superior o inferior, y en menos proporción de forma transversal (Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, L., 2006, p-22).

**2.11.2 Antecedentes.** Como parte de un trabajo cuyo fin fue evaluar la eficiencia de remoción de benceno, tolueno y naftaleno en soluciones acuosas empleando las fracciones de cáscara de coco (CsF), cáscara de coco con fibra (CcF) y fibra de coco (F) como concentradores de hidrocarburos. Se mostró que los principales constituyentes de los tres materiales fueron: celulosa, hemicelulosa y lignina.

La fibra de coco fue la que tuvo la capacidad de adsorción más elevada: 225, 96 y 5.85 mg/g de benceno, tolueno y naftaleno, respectivamente.

En general las capacidades de adsorción tuvieron el siguiente orden: F>CcF>CsF. Las cinéticas de adsorción mostraron que se requiere un tiempo corto, de aproximadamente 5 horas, para llegar al equilibrio (Zárate, V. 2015, Resumen, párr.1).

- Dentro de un estudio en el cual evaluó la capacidad de sorción de tres materiales dentro de los que se encontraba la fibra de coco, con tres hidrocarburos: 35, 30 y 25°API, y dos tipos de agua: destilada y marina artificial. Se encontró que tiene mayor capacidad de sorción con respecto a un producto comercial con el que fue comparado. Se observó que los resultados de la capacidad de sorción dependían de algunas variables como la viscosidad del hidrocarburo, granulometría y estructura del material. En la sorción de agua la fibra de coco consiguió mejores resultados con el hidrocarburo medio (30°API) y pesado (35°API), con capacidad de sorción de 15,77 g/g siendo recomendada para suelos y aguas tranquilas (Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, L., 2006, p-20).

### **2.11.3 Ventajas**

- Buena capacidad de sorción para hidrocarburos medio y pesado, con valor máximo de 15,77 g/g.
- Es una buena alternativa de uso ya que son considerados residuos agroindustriales y están causando una problemática ambiental por la dificultad de su disposición final.
- Biodegradable.
- “Tiende a flotar tanto en agua pura como en mezclas hidrocarburo-agua, lo que les permite mantenerse en la superficie al ser aplicados en un derrame de hidrocarburo sobre agua y evita llevar consigo hidrocarburo al sedimento acuático” (Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, L., 2006, p-23).

**2.11.4 Desventajas.** No se recomienda para aguas turbulentas.

## **2.12 Fibra de kapok**

Es una fibra suave, cilíndrica, hueca, impermeable y elástica, con un contenido de hasta un 65% de celulosa y hemicelulosa. Se suele mezclar con otras fibras vegetales para uso textil. Esta es obtenida de los frutos del “ceibo” (nombre que denomina a varias especies del género Ceiba).

El kapok es uno de los productos no maderables con significación comercial a nivel mundial, dentro de la categoría "fibras e hilos" (FAO, 1995).

**2.12.1 Composición.** Está compuesta de celulosa (35% de fibra seca), xilano (22%) y lignina (21,5%). La fibra de kapok se caracteriza por tener un alto nivel de grupos acetilo (13.0%). La fibra de Kapok es significativamente hidrófoba y no se moja con agua (Hori, K., Flavier, M., Kuga, S., Tuyet, T. y Liyama, K., 2012, Abstract, párr.1).

Puede soportar 30 veces su propio peso en el agua y pierde únicamente 10 % de flotabilidad en un período de 30 días (Olympus Microscopy Resource Center, 2006).

**2.12.2 Antecedentes.** Considerando su carácter hidrofóbico, el kapok ha sido ensayado como absorbente de sustancias oleosas. Se comprobó que la fibra absorbe selectivamente cantidades significativas de aceite (40 g/g de kapok) de suspensiones en agua dulce y en agua salada. Esto ha sugerido que la fibra podría ser utilizada para recuperar petróleo derramado en el mar (Hori, K. et al., 2012, Abstract, párr.1).

- Se examinó minuciosamente la capacidad de sorción de aceite y las características hidrofóbicas-oleófilas del Kapok. Su rendimiento se comparó con el de un polipropileno (PP), un

sorbente de aceite comercial. Los aceites investigados fueron diésel, aceite hidráulico (AWS46) y aceite de motor (HD40). También se evaluó la reutilización del kapoc después de la aplicación a diversos aceites. Se examinaron en su estado natural y densamente compactadas. Las capacidades de sorción de los conjuntos de kapok embalados dependían en gran medida de sus densidades de empaquetamiento. A  $0.02 \text{ g/cm}^3$ , sus capacidades de sorción de aceite fueron 36, 43 y 45 g/g para diésel, ASW46 y HD40, respectivamente. Los valores disminuyeron a 7.9, 8.1 y 8.6 g/g a  $0.09 \text{ g/cm}^3$ . Sus capacidades de sorción para los tres aceites fueron significativamente mayores que las del PP. Cuando se dejó drenar los conjuntos de kapok saturados de aceite, mostraron una alta capacidad de retención de aceite, con menos del 8% del diésel absorbido y HD40, y el 12% de AWS46 absorbido se perdió incluso después de 1 h de goteo. Cuando se aplicó en baños de aceite sobre agua, el kapoc exhibió una alta selectividad para los aceites sobre el agua; casi todos los aceites derramados podrían ser removidos con el kapok, dejando una mancha de aceite invisible en el agua. Después del 4to ciclo de reutilización, el conjunto de kapok reutilizado sólo perdió el 30% de su capacidad de sorción, y la pérdida en la capacidad de sorción fue mucho menor a mayores densidades de empaquetamiento (Lim, T. y Huang, X., 2006, p-1).

### **2.12.3 Ventajas**

- Posee alta selectividad para aceites sobre el agua lo que hace que sea un sorbente atractivo en la limpieza de derrames de aceite, ya que reducirá el volumen de recogida de líquido que debe manipularse a bordo o en tierra (Lim, T. y Huang, X., 2006, p-956).
- Con ciertas configuraciones de empaquetamiento puede llegar a retener significativas cantidades de aceite. También posee alta flotabilidad.

- Biodegradable, poseen gran capacidad de retención de aceite, alta flotabilidad y puede llegar a ser reutilizado según Lim, T. y Huang, X. (2006) “después del 4to ciclo de reutilización, el conjunto de kapok reutilizado sólo perdió el 30% de su capacidad de sorción” para cierta configuración de empaquetado (p-955).

**2.12.4 Desventajas.** Ciertas configuraciones con empaquetamientos de diferentes densidades permiten mayores porcentajes de retención dinámica pero para obtener estos resultados en muchos casos se reduce la capacidad de sorción del material.

### **2.13 Harina de pollo y plumas de pollo**

Las plumas son estructuras dérmicas de las aves cuya función principal es la de regular la temperatura, están compuestas hasta en un 90 % por queratina (AguayoVillareal, 2011).

Las plumas de pollo tienen un comportamiento hidrofóbico y están compuestas por una red de fibras de queratina que forman una gran cantidad de espacios intersticiales. (Salinas, 2010. p-5)

**2.13.1 Composición.** La queratina es una proteína natural que se encuentra en muchos vertebrados, aproximadamente 95% de las plumas de aves está compuesto de esa proteína. Una de las principales características químicas de la queratina es la de atraer y retener (absorber) contaminantes, principalmente metales pesados. (Milenio Diario, S.A, 2014, párr. 2-3).

**2.13.2 Antecedentes.** En México en el Instituto Tecnológico de Queretano, aprovechando las redes de queratina donde una de sus principales características químicas es la de atraer y retener contaminantes, principalmente metales pesados y el comportamiento hidrofóbico de las plumas, se creó una membrana con plumas de pollo para descontaminar el agua.

La membrana logra limpiar hasta 10 litros con una concentración de 20 ppm de cromo, plomo o arsénico. Elaborarla cuesta menos de un dólar. El tiempo aproximado para llevar a cabo el proceso dura alrededor de 4 horas. (Molina, M. 2014, párr.6)

- En España un grupo de investigadores de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), estudio las posibilidades de utilizar las plumas para fabricar materiales compuestos que se puedan aprovechar en la industria. Desarrollaron un sistema de separación de las impurezas que acompañan a la queratina y buscaron las condiciones óptimas para el proceso de fabricación del biomaterial. Las plumas de pollo se biodegradan en cuestión de horas, estas fueron mezcladas con un plasto biodegradable para crear el nuevo biomaterial. (González, V. 2014)
- En México, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, realizaron la evaluación de un biopolímero en este caso plumas de pollo como sorbente de hidrocarburo. Para esto se tuvieron en cuenta parámetros como porcentaje de Raquis, tiempo de retención, tamaño de la pluma el cual fue el que más importancia tuvo, a menor tamaño favorece más los procesos tanto de adsorción como de absorción, donde *la absorción* se favorece ya que al cortar las plumas se generan un gran número de caminos que permiten la difusión del hidrocarburo hacia el interior de los espacios generados en el sorbente. *La adsorción* es incrementada debido a que un tamaño de pluma pequeño aumenta el área específica del biopolímero permitiendo que el hidrocarburo disponga de un área mayor donde poder adherirse y este es el mecanismo principal de retención del crudo. Donde los resultados arrojaron que tanto para crudo medio y pesado la capacidad de retención es del 59% y capacidad de adsorción de 20,5 g HC/ g sorbente. Este biopolímero mostró una mejor capacidad de retención que otros sorbentes naturales orgánicos como el algodón, kenaf, fibra de coco, buchón de agua y fibra de caña. El desempeño de las plumas fue

incluso mejor que el reportado para sorbentes comerciales orgánicos fabricados a base de musgo. (Salazar, E. 2012).

- En Ecuador, en la Universidad Politécnica del Ejército desarrollaron la investigación de la producción de harina de plumas de pollo y su uso como adsorbente de hidrocarburos en agua dulce. Se realizó el tratamiento previo para la obtención de la harina a partir de las plumas de pollo. Se contaminó un volumen de agua con hidrocarburo mediano, se determinó que se puede trabajar con harina sin tamizar, gruesa y fina. Utilizaron 11 gramos por cada 25 ml de crudo que contamina 5,75L de agua. La capacidad de sorción fue de 2,86 g HC/g sorbente. La diferencia entre las plumas de pollo y la harina de pollo es que esta tendrá una mayor superficie de contacto, pero actúa mejor en movimiento.

### **2.13.3 Ventajas**

- Las plumas de pollo son un sorbente efectivo de hidrocarburos en agua.
- Las plumas de pollo tienen una mejor capacidad de retención que otros sorbentes naturales orgánicos como el algodón, kenaf, fibra de coco, buchón de agua y fibra de caña y que algunos sorbentes comerciales.
- Para su disposición final se resalta su capacidad de biodegradabilidad que es en pocas horas.
- Facilidad de uso y disponibilidad

**2.13.4 Desventajas.** Conocedores de que la pluma de pollo absorbe, pero genera olores pestilentes cuando entra en contacto con el hidrocarburo o el agua, hubo empresas que presentaron otras alternativas de mantas: de turba saturada, cuero molido, celulosa, cáscara de maní.

## **2.14 Hoja de palma de aceite**

La palma de aceite es una monocotiledónea. Su lugar de origen está localizado a lo largo del Golfo de Guinea y se extiende hasta 15° de latitud norte y sur. Es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie. Además de su alto rendimiento por unidad de superficie, la palma de aceite es importante por la gran variedad de productos que genera, los cuales se utilizan en la alimentación y la industria.

Se calcula que la industria local de palma aceitera genera 30 millones de toneladas de biomasa lignocelulósica al año en forma de troncos, frondas, racimos de frutas y hojas vacías. Estos desechos no se están utilizando eficazmente; el llenado de tierras y la quema a cielo abierto son prácticas comunes para eliminar estos residuos de palma de aceite, y estos métodos pueden causar contaminación que afecta negativamente al ecosistema. Por lo tanto, la búsqueda de usos para estas abundantes biomásas, especialmente a gran escala, sería rentable tanto desde un punto de vista medioambiental como económico.

**2.14.1 Composición.** Posee hojas de 5 a 7 m de longitud. La cara superior es plana y la inferior redondeada. Sus bordes son espinosos, con fibras. Las hojas permanecen adheridas al tronco por 12 años o más (“Palma de aceite”, 2015).

Las hojas de palma de aceite constan de 47,7% de holocelulosa, 44,53% de celulosa y 27,35% de lignina [14]. Debido a la disponibilidad de los grupos funcionales específicos tales como grupos

hidroxilo (AOH) en la OPL, las características superficiales de la OPL pueden modificarse para mejorar sus propiedades de adsorción (Sidik et al., 2012, p-10).

**2.14.2 Antecedentes.** Se investigó la eliminación de aceite crudo del agua por hojas de palma de aceite modificada con ácido laurico (LA) por adsorción discontinua después de variar el pH (2-11), el tiempo de contacto (10-60 min), la dosis de adsorbente (0-52 g/L), concentración de aceite inicial (0-6400 mg/L) y temperatura (303 - 323 K). La modificación aumentó significativamente la hidrofobicidad del adsorbente, creando así hojas de palma de aceite modificadas con ácido laurico con una capacidad de adsorción mucho mayor para la eliminación de crudo. Los resultados dieron la capacidad máxima de adsorción de  $1176 \pm 12,92$  mg/g a 303 K. (Sidik et al., 2012, p-10).

### **2.14.3 Ventajas**

- Mayor biodegradabilidad y su rentabilidad en comparación con los materiales orgánicos inorgánicos y sintéticos adsorbentes que se utilizan normalmente (Sidik et al., 2012, p-10).
- Producto que se encuentra en abundancia.
- Resuelve problemas de disposición final de los desechos del cultivo de palma de aceite, actualmente son utilizadas prácticas como el llenado de tierras y la quema a cielo abierto métodos que pueden causar contaminación que afecta negativamente al ecosistema.
- Debido a la disponibilidad de los grupos funcionales hidroxilo, pueden modificarse sus características superficiales y mejorar su capacidad de sorción (Sidik et al., 2012, p-10).
- Mayor capacidad de sorción con pH de 7, lo cual favorece los casos de derrames en el mar donde usualmente el pH esta entre 6-9 (Sidik et al., 2012, p-15).

- Debido a la disponibilidad de los grupos funcionales específicos tales como grupos hidroxilo (AOH) en la OPL, las características superficiales de la OPL pueden modificarse para mejorar sus propiedades de adsorción (Sidik et al., 2012, p-10).

#### **2.14.4 Desventajas**

- La capacidad de sorción no es muy alta en comparación con otros sorbentes aun después de ser sometida a modificaciones para mejorar este aspecto.
- Una fuerte acidez puede causar coalescencia e inducir en el aumento de tamaño de las gotas de petróleo crudo. Estas gotitas de petróleo crudo en la capa hidrófoba pueden ser fácilmente desorbidas del sorbente (Sidik et al., 2012, p-15).

#### **2.15 Kikuyo**

Biosorbente vegetal, su nombre viene de los Kikuyo, una etnia del este de África, de la región donde el kikuyo es originario. Este pasto fue introducido en Colombia alrededor de 1930. Se ha propagado por casi todos los potreros y campos fértiles, desplazando a la mayor parte de las hierbas que crecen en estos lugares (Franco. H, Cardona. L, Mendoza. N. 2017).

**2.15.1 Composición fisicoquímica.** Posee rizomas gruesos y suculentos, que pueden alcanzar hasta un metro de longitud. Las hojas alcanzan de 10 a 20 cms de largo, y de 8 a 15 mm de ancho. Algunos tallos crecen erectos (50 a 60 cms) (Franco. H, Cardona. L, Mendoza. N. 2017).

**2.15.2 Antecedentes.** Martínez. M, 2013. Realizo una investigación utilizando kikuyo como bioadsorbente para la remediación de agua contaminada con petróleo, este estaba compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina que demostró tener buena capacidad de adsorción de hidrocarburo, donde los resultados arrojaron que el mayor porcentaje de remoción de petróleo con 1,5 g se obtuvo

una remoción del 97,44% de hidrocarburo liviano procedente de la refinería de Shushufindi en agua dulce, en un tiempo de 15 minutos el cual era el tiempo óptimo para que el biosorbente no se hundiera.

### **2.15.2 Ventajas**

- Bajo costo
- No necesita ningún tratamiento previo, si este no tiene humedad
- Tiene la propiedad de flotar sobre la superficie de agua lo que facilita su posterior extracción
- Es de fácil obtención
- Tiene alta capacidad de adsorción

### **2.15.3 Desventajas**

- Se convierte en residuo al mezclarse con el hidrocarburo, por lo cual para su disposición final se puede incinerar, para que no se convierta en causa de contaminación
- Con grandes tiempos de adsorción se adsorbe también agua y el adsorbente una vez empapado se hunde y deja de adsorber (Martínez. M, 2013).

## **2.16 Lana**

La lana es una fibra elástica. Tiene una estructura molecular alargada. Las cadenas de células se unen en forma de muelle. Esto les genera su Elasticidad.

**2.16.1 Composición.** La superficie de la fibra de lana se ve como una sólida capa protectora de escamas solapadas que están ordenadas, mostrándose como si fuera el tronco de una palmera. Las escamas de la cutícula tienen una dureza y estructura química que permite proteger a la fibra de todo daño. Además, una capa cerosa sobre ellas impide que el agua líquida penetre dentro de la fibra de lana, y sin embargo tiene la capacidad de absorber el vapor de agua rápidamente.

El análisis de las fibras de lana demuestra que químicamente es una proteína; en ella hay básicamente dos clases de proteínas combinadas que difieren por las cantidades de azufre que ellas contienen.

La lana repele el agua y absorbe el aceite, y se ha demostrado capaz de absorber diez veces su propio peso de fuelóleo pesado.

**2.16.2 Antecedentes.** Se llevaron a cabo experimentos con lana gruesa para ver cuán buena es en la recolección de petróleo. Resultó ser muy buena. La lana gruesa (el tipo más barato, con un diámetro de fibra entre 25 y 40 micras) fue capaz de absorber diez veces su propio peso de fuelóleo pesado, un producto de refinería similar al crudo. Además, el aceite podría ser exprimido y la lana reutilizada. De hecho, incluso después de una docena de inmersiones en aceite, durante 15 a 20 segundos cada vez, la capacidad de absorción de la lana no disminuyó (The Economist 2010).

- Investigadores en Nueva Zelanda han estado mirando nuevos usos para la lana cruzada, aparte de los productos tradicionales de telas y alfombras. Ciertos productos eliminan el aceite del agua, usando la habilidad natural de la lana para repeler el agua atrayendo agresivamente y manteniendo grasa y aceite. Los productos son ligeros y fáciles de transportar; son

biodegradables y altamente eficientes en la absorción de derrames de petróleo (The Encyclopedia of New Zealand).

- Los resultados muestran una alta capacidad de sorción de lana para diferentes tipos de aceite. Este sorbente también exhibió una excelente flotabilidad después de 24 h de sorción, así como una buena reutilización puesto que el la disminución de la capacidad de sorción no superó el 50% del valor inicial después de cinco ciclos de sorción en aceite sin agua (Radetic, M., 2008, p-525).

### **2.16.3 Ventajas**

- La lana gruesa es capaz de absorber diez veces su propio peso.
- Biodegradable y puede llegar a ser reutilizable, alcanzando altas tasas de recuperación de aceite.
- Los derrames que oscilan entre 300.000 y 1 millón de toneladas de petróleo podrían limpiarse en 10 horas con 10.000 toneladas de lana cruda afirmación hecha por Rossetti, M. en (Farmonline home, 2011, Sección de noticias, párr.11).
- Una compleja y muy versátil estructura química y una compleja y excelente estructura física cuya superficie se encuentra conformada por escamas
- Alta capacidad para absorber humedad y repeler en su superficie agua y/o líquidos
- Durabilidad a pesar de la baja resistencia en las fibras
- Alta resistencia al fuego y excelente aislante al frío y al calor
- Resistencia a la suciedad y fácil limpieza
- Alta capacidad de elasticidad y recuperación
- Aparte que se considera un producto biodegradable, puede llegar a ser reutilizada varias veces disminuyendo en cantidades mínimas su capacidad de absorción en cada una de estas. “La

misma lana se puede utilizar al menos 10 veces es más. El aceite puede ser procesado inmediatamente en cualquier refinería" según afirmo Rossetti, M. en (Farmonline Home, 2011, Sección de noticias, párr.3).

## 2.17 Lirio acuático

El lirio acuático o Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es una planta considerada plaga, el lirio acuático, conocido también como Jacinto de agua pertenece a la familia de las Pontederiaceas de la especie *Eichhornia crassipes*. (Wikipedia 2017).

Los lirios de agua por lo general habitan, los cuerpos de agua tranquila de dos a seis pies (0.6 a 1.8 m) de profundidad con fondos fangosos y agua ligeramente ácida. Estos florecen y se multiplican en los estanques, las aguas poco profundas generalmente les permiten crecer en toda la laguna. A diferencia de las plantas acuáticas flotantes, los lirios de agua tienen sus raíces en el fondo del estanque y la mayoría de las especies no pueden crecer en aguas mucho más profundas de seis pies (1.8 m). Como resultado, ellos sólo se encuentran en los bordes poco profundos y no crecen en zonas más profundas (Mac, E. 2017).

**2.17.1 Composición.** Las composiciones del lirio acuático reflejan una gran variación en el contenido de su material lignocelulósico. En general, se reporta que la hemicelulosa es el polímero mayoritario, encontrando alrededor de  $28.0 \pm 9.5\%$  (base seca [bs]) de hemicelulosa, seguido por la celulosa ( $25.0 \pm 6.2\%$  bs) y la lignina ( $11.5 \pm 7.4\%$  bs) (Gregorio. N, 2011).

**2.17.2 Antecedentes.** En México, se desarrolló un absorbente biodegradable partir de un ingrediente principal, el cual es el Lirio Acuático, de acuerdo con las pruebas de laboratorio que se desarrollaron un kilo del producto puede absorber 4 litros de hidrocarburo. Cuando se aplica el producto en polvo sobre una superficie sólida, este se integra con el hidrocarburo hasta formar un conglomerado que permite manipularlo de forma sencilla. En el caso de ríos o mares no se usa el absorbente. TEMA implemento el mecanismo de purificación de lirio acuático, el cual oxida la materia orgánica a través de bacterias asociadas a la raíz de la planta. Esta acción favorece el transporte de oxígeno, lo que facilita que la planta absorba el nitrógeno. (Castro, M. 19 de agosto de 2015)

- En México se realizó un estudio dado que había una gran producción de lirio acuático en Xochimilco (México), se evaluó esta planta como acumuladora de metales, el análisis dio como resultado que el Lirio acuático presta un servicio fitorremediador al extraer metales del agua, pero es necesario retirarlo constantemente. (Carrión. C, Ponce-de León. C, Cram. S, Somer. I, Hernandez. M, Vanegas. C 2012).
- En La universidad Autónoma de Puebla, utilizaron el lirio acuático en la remediación de suelo contaminado con aceite residual, tomaron muestras de suelo agrícola de la ciudad de Puebla México, y la contaminaron con aceite residual de vehículo, la zona de la raíz de la planta fue el indicador en la degradación del aceite residual, se observó la absorción del aceite en un 90% en 5 días. (Velasco H, Andrade R, Pérez C, Trejo M, Zayas R. 2017).
- En la Universidad Nacional de Colombia se realizó una investigación de diferentes biomateriales para la limpieza de derrames de hidrocarburo en suelos y cuerpos de agua, entre los que estaban fibra de coco, buchón de agua, y fibra de caña. El buchón de agua mostro un

mejor desempeño con el hidrocarburo liviano, pero también presenta alta sorción de agua dulce y marina artificial, por lo que se limita para el uso exclusivo en suelos

### **2.17.3 Ventajas**

- El lirio acuático acondicionado y procesado actúa de manera eficiente, segura, y rápida para captar, retener y absorber sustancias industriales; es una fibra absorbente.
- Por presentar una estructura porosa (es una esponja natural) abre alternativas para diseñar y desarrollar su aprovechamiento.
- Retiene metales pesados
- Ha tenido éxito para la remediación de suelos y recuperación de hidrocarburos de suelos.
- Recurso renovable, activo ambiental y una planta protectora del ecosistema debido a su capacidad de operar como filtro natural, capaz de contener derrames de aceites de hidrocarburos.
- Material de bajo costo
- Saturación rápida lo que es una alternativa rápida de limpieza y control de derrames de hidrocarburo.

### **2.17.4 Desventajas**

- Reproducción desmedida ha llegado a causar serios problemas en embalses y ríos porque genera eutrofización afectando la supervivencia de otras especies acuáticas (Atehortua. E y Gartner C 2013).
- Se recomienda usar solo en suelos ya que es bastante hidrofílico (Gonzalez. D, Fonseca. F, Rodríguez. G, Montenegro, L. 2006).

## 2.18 Luffa

Luffa es una planta trepadora subtropical. Tiene una larga historia de cultivo en los países tropicales de Asia y África (Abdelwahab. O, 2013).

La luffa o esponja vegetal es una planta exótica de origen asiático que nace de manera silvestre en la zona del Amazonas. (Esponjas vegetales, 2017)

Las esponjas vegetales, al ser un producto 100% natural son biodegradables y ecológicas, ya que tras su utilización pueden volver a la naturaleza donde se descompondrán formando sustrato para que nazcan nuevas plantas. (Esponjas vegetales, 2017).

**2.18.1 Composición.** Una vez cosechadas, peladas y procesadas las esponjas vegetales tienen una forma cilíndrica (esponjas vegetales, 2017).

**2.18.2 Antecedentes.** Abdelwahab. O, 2013, evaluó la capacidad de adsorción de la luffa cruda para la limpieza de derrames de petróleo en agua de mar. La eficiencia de las fibras para eliminar el petróleo crudo del mar estaba relacionada con las propiedades superficiales de las fibras, la concentración del aceite, la cantidad de fibras, y la temperatura del hidrocarburo. Se probaron dos tipos de hidrocarburo diésel e hidrocarburo pesado, en agua de mar sintética, los resultados arrojaron un porcentaje de diésel: 12,5 g hc/ g sorbente y para el hidrocarburo pesado: 9 g hc / g sorbente. La luffa podría perder el 50% de su capacidad de sorción de aceite cuando se reutiliza. Por lo anterior, luffa puede considerarse como una mejor alternativa a los materiales absorbentes sintéticos ampliamente utilizados. Económicamente, luffa es relativamente barato en comparación con las fibras sintéticas y el algodón. Ambientalmente, puede eliminarse en última instancia para la recuperación de energía de la biomasa debido a su biodegradabilidad. Por lo tanto, su uso no deja residuos secundarios al medio ambiente.

- Koseoglu, H. (2015). Desarrollo un sorbente orgánico biotecnológico a base de Luffa cilíndrica recubierto con quitosano para el suministro eficiente de gotas a través de los lumenes de fibra, el cual arrojo buenos resultados en cuanto a la capacidad de sorción de aceite en agua de mar. El sorbente puede utilizarse eficazmente como sorbente natural en el proceso de limpieza de derrame de petróleo.

### **2.18.3 Ventajas**

- Bajo costo
- La luffa tiene una excelente hidrofobicidad – oleofilicidad (Abdelwahab. O, 2013).
- Por sus grandes capilares en las fibras tienen una gran capacidad de absorción y retención de aceite (Abdelwahab. O, 2013).
- Puede eliminarse en última instancia para la recuperación de energía de la biomasa debido a su biodegradabilidad. Por lo tanto, su uso no deja residuos secundarios al medio ambiente (Abdelwahab. O, 2013).
- Se puede usar en hasta 3 ciclos de sorción / desorción

**2.18.4 Desventajas.** La luffa podría perder el 50% de su capacidad de sorción de aceite cuando se reutiliza (Abdelwahab. O, 2013).

### **2.19 Paja de cebada, trigo y avena**

La paja es el principal residuo que deja el cultivo de un cereal y desde tiempos remotos ha sido utilizada como alimento. Es un subproducto fibroso altamente disponible, aunque su utilización en alimentación animal está limitada por su bajo valor nutritivo.

**2.19.1 Composición.** La composición de la paja depende de la proporción de hojas/tallos, el diámetro del tallo y la altura de la planta, de modo que se presentan variaciones ligadas a la especie, el ecotipo o la climatología.

La cebada y trigo tienen una composición similar, siendo el valor energético algo superior en la cebada. La matriz que se acompaña corresponde a una media de ambas. La paja de avena y, sobre todo, el cañote de maíz tienen un valor energético superior (+12 y +40%, respectivamente). Las pajas de leguminosas tienden a tener un contenido proteico algo superior.

La mayor parte de los componentes de las pajas de cereales (incluyendo proteína y minerales), están asociados a la pared celular. Como media, contienen un 72% de FND distribuida en un 38% de celulosa, un 25% de hemicelulosa, un 8% de lignina y un 0,2% de cutina. Las dos primeras son potencialmente fermentables por la flora digestiva, pero su degradación se ve limitada por la estructura cristalina de la celulosa y por la existencia de enlaces covalentes con la lignina. Como consecuencia, la velocidad de degradación (del orden de un 10 y un 25% a las 12 y 24 h, respectivamente) (FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) 2017).

Las pajitas de avena están compuestas principalmente por carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N) en las formas celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa

**2.19.2 Antecedentes.** Mansour T, Aqsha N. 2016, examinaron cuatro biomásas para evaluar sus afinidades con los aceites teniendo en cuenta para esto, tamaño de partícula, recubrimiento superficial y reutilización, además de esto la compararon con sorbente comercial. La prueba de desorción de aceite, con el fin de evaluar la reutilización del sorbente, se realizó con un trozo de tela. El tejido se utilizó como un filtro, en el que el sorbente de biomasa humedecida en aceite se colocó en la parte superior del tejido y después se comprimió. El tejido y la biomasa se pesaron de nuevo para determinar el aceite atrapado dentro de la biomasa. A continuación, se llevó a cabo un segundo experimento de sorción de aceite sobre la misma biomasa recuperada. Los resultados arrojaron que la paja de cebada tiene una capacidad de sorción de aceite de 6,69 g HC/ g sorbente, la paja de trigo de 5,64 g HC/ g sorbente y la paja de avena de 5,34 g HC/ g sorbente, finalmente la paja de lino mostro la menor capacidad con 3,01 g HC/ g sorbente. La reutilización de la paja de avena redujo la capacidad de sorción de aceite en un 18,45% después de seis ciclos de sorción / desorción de aceite

### **2.19.3 Ventajas**

- La paja de avena puede ser usada en varios ciclos de sorción y desorción disminuyendo muy poco su capacidad de sorción de aceite
- Se requiere un tratamiento previo sencillo
- La paja de avena tiene mayor capacidad de sorción en agua de mar
- Se puede realizar un recubrimiento superficial el cual es una modificación que puede hacerse sobre una superficie sorbente para protegerla y aumentar su capacidad de sorción de aceite.

(Mansour T, Aqsha N. 2016)

#### 2.19.4 Desventajas

- Hay una alta demanda y uso directo de cebada en otras aplicaciones por lo cual se podría presentar un precio alto de la materia prima
- Hay una alta demanda y uso directo paja de trigo en otras aplicaciones por lo cual se podría presentar un precio alto de la materia prima
- La densidad relativamente alta de la paja de lino puede resultar en el hundimiento en agua.
- Las pajitas son materiales naturalmente inflamables; la protección de la biomasa contra la llama es esencial (Mansour T, Aqsha N 2016)
- En Colombia la producción de las pajas ha disminuido (Agronet, 2017)

#### 2.20 Planta *hibiscus cannabinus* I (*kenaf*)

Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), es un cultivo anual herbáceo con alta producción de biomasa que el hombre viene sembrando desde hace más de 4000 años por su fibra. Posee muy rápido crecimiento, alcanza en solo 4 meses alturas superiores a los 3m o 6m. En áreas tropicales y subtropicales se pueden obtener 2 cosechas al año. El kenaf se reconoce como cultivo para biomasa y para fitoremediación de suelos. . (Falasca. S, Anschau. A, Pizarro. M, Cazenave, G. 2011. p-1).

La estructura interna altamente compleja y porosa de Kenaf puede convertirse en un adsorbente superior y más barato que las otras fuentes de carbono, como cáscaras de palma, cáscaras de pistacho, pulpa de madera, serrín, coco, fibra de maíz, fibra de abeto y macademia. Esto se debe a su área de superficie BET muy alta (que alcanza hasta 3000 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) y a un gran volumen de microporos (1 mL g<sup>-1</sup>) (Vincent, 2008. p-1).

**2.20.1 Composición.** El *hibiscus cannabinus* es una hierba alta generalmente de tallo no ramificado. La calidad de la fibra depende del grado de crecimiento. Las fibras comerciales en el kenaf se hallan en las cortezas de los tallos, delgados y cilíndricos, divididos en nudos en las inserciones de las hojas. La corteza que contiene las fibras comerciales es constituida por floema y tejidos corticales. Las fibras son células alargadas de ápice muy agudo, soldadas firmemente unas con otras formando haces o cordones, con paredes muy gruesas por el depósito de capas de celulosa y con el centro o lumen muy angosta. La longitud de las células fibrosas varía de 0,5 a 3 milímetros (León, J, 2000. p-120).

**2.20.2 Antecedentes.** Othman. M, Akil. H, Kim. J, 2008, exploraron el potencial de la planta carbonífera *Hibiscus Cannaninus L.* para el uso en el tratamiento de agua contaminada con petróleo y metales pesados. La capacidad máxima de sorción a saturación para el gasóleo y el aceite de cocina fueron de 35 y 30 g de HC/ g sorbente, lo compararon con un adsorbente comercial el cual su capacidad de sorción era 20 g HC/g, igualmente el material carbonoso fue eficaz a la hora de secuestrar metales como  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  y  $Fe^{2+}$ .

- Vinent, et al., En cuba se realizó el estudio de absorbentes a base de kenaf (*Hibiscus Cannaninus L*), los resultados arrojaron que este absorbe aceite u otros hidrocarburos, con una acción de succión que atrae al hidrocarburo y al aceite a sus células y las encapsula. Tiene la capacidad de flotar sobre el agua incluso al estar saturado con aceite. Es 100% biodegradable, puede absorber 13 veces su peso.

### **2.20.3 Ventajas**

- Bajo costo, tiene la capacidad de encapsular y retener hidrocarburos derramados en superficie acuática. (Vinent, et al. Pp1)

- Su aplicación no afecta la flora y fauna
- Es de peso liviano, por lo tanto, cuando se satura de aceite, tiene la capacidad de seguir flotando.  
(Vinent, et al. Pp4)
- Es biodegradable

#### **2.20.4 Desventajas**

- Su cultivo es anual o máximo bianual.
- A pesar de tener propiedades hidrofóbico y oleofílico, puede absorber agua.
- No hay cultivo registrado en Colombia de Kenaf

#### **2.21 Quitosano**

El quitosano es un polímero que se encuentra en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos; sin embargo, su principal fuente de producción es la hidrólisis de la quitina en medio alcalino, a altas temperaturas. La quitina forma parte de la estructura de numerosos organismos vivos, tales como artrópodos (crustáceos e insectos), moluscos y hongos.

El quitosano se obtiene por desacetilación extensiva de la quitina (*Cualquier reacción que elimina uno o más grupos acetilo de una molécula*)

Las principales propiedades físico-químicas del quitosano que determinan sus propiedades funcionales son su grado de desacetilación y su peso molecular promedio, el grado de desacetilación del quitosano tiene un rango aproximado del 70-95%. (Andrade, 2015, pp. 20)

La transformación de la quitina en quitosano modifica sustancialmente sus propiedades, de modo que éste es fácilmente soluble en soluciones acuosas de la mayor parte de los ácidos

orgánicos e inorgánicos ( $\text{pH} < 6.5$ ) y es insoluble en agua, en ácidos concentrados, bases y los solventes orgánicos comunes.

Las propiedades funcionales del quitosano son: biodegradabilidad biocompatibilidad, promotor de adsorción, actividad antimicrobiana, anticolesterolémica y antioxidante

En la figura 2 se puede observar el diagrama de flujo para la obtención de la Quitina y el Quitosano a partir de la cáscara de camarón, donde se le realiza un tratamiento previo: lavado, secado, molienda, desmineralización y desacetilación.

Las variables que se tienen en cuenta para el tratamiento de aguas contaminadas con crudo: temperatura, masa de quitosano y tiempo de contacto del quitosano con el crudo.

**2.21.1 Antecedentes.** En Ecuador se realizó el estudio de la aplicación del quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. Se utilizó un exoesqueleto de la cola de camarón para obtener el quitosano y luego aplicarlo como biocoagulante. Tomaron muestras de agua contaminada para analizar el TPH, cromo, vanadio, Bario y Plomo. Se obtuvo una remoción positiva para la turbidez 98.19%, DQO 78,17%, color 91,45%, TPH 99,09% donde inicialmente había 416 mg HC/L solución y finalmente 3,80 mg/L. (Alava, 2015, p 52-64)

- En la Universidad Central del Ecuador, se realizó un estudio para el tratamiento de aguas contaminadas con crudo utilizando quitosano como adsorbente, allí se ejecutó el análisis desde la obtención de la cascara de camarón hasta el resultado final en aguas dulces contaminadas con hidrocarburo liviano de 32° API, este resultado fue comparado con un sorbente comercial donde resulto ser el más eficiente. El adsorbente comercial tiene 7,3 kg HC/ kg de producto mientras que el Quitosano adsorbe 0,344 g de HC/ g de quitosano, y resulta ser más costoso. (Andrade, 2015)

- La universidad de Regina, Canadá, realizó un estudio para evaluar la eficiencia de cuatro tipos de biomateriales para eliminar el aceite del agua. Los aceites utilizados fueron aceite mineral estándar como liviano, aceite vegetal como mediano y aceite de corte como crudo muy ligero. El resultado en cuanto al quitosano fueron favorables para un pH de 7,6 se alcanzó una capacidad de adsorción mayor a 86 mg HC/g en aceite muy ligero, para crudo liviano alcanzo el 96 mg HC/g de capacidad de adsorción, alcanzando la máxima capacidad de adsorción fue para el crudo mediano. La concentración inicial fue de 200 mg/L con un pH entre 5 y 7,6 durante 6 horas, donde se necesita 191 kg de quitosano para cada 100 m<sup>3</sup> de agua contaminada.
- En el tratamiento de agua el quitosano se lo utiliza como coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alta alcalinidad, como floculante para remoción de partículas coloidales sólidas y aceites, y para la captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas. (Andrade, 2015, pp. 22-23). La temperatura es lo más importante en la remoción de HC con Quitosano cuando la temperatura es mayor se remueve la mayor cantidad de hidrocarburos totales de petróleo.

### **2.21.2 Ventajas**

- Como coagulante tiene un buen porcentaje de remoción en aguas residuales contaminadas con TPH.
- Es una alternativa eficiente para el crudo mediano
- A pesar de que necesita tratamiento previo, el costo para la obtención del quitosano es mucho menor que al adquirirlo ya tratado. Esto representa una buena opción para usar el quitosano como adsorbente de crudo mediano y pesado a un menor costo que un adsorbente comercial.

### 2.21.3 Desventajas

- No es tan eficiente el quitosano para crudo liviano
- Requiere de tratamiento previo para su uso como adsorbente o coagulante
- Requiere largo tiempo de contacto entre el sorbente y el agua contaminada.

## 2.22 Residuos de capullo de gusano

El capullo de gusano de seda es el resultado de ciertos procesos por los que pasa esta especie a través de su vida, al final de la vida adulta el gusano comienza a tejer el capullo, una tarea que les lleva tres o cuatro días. El gusano va segregando el hilo de seda y envolviéndose en él hasta que queda dentro transformado en crisálida.

En el capullo la forma, el color, el volumen, el peso absoluto y la cantidad de seda pueden variar en función de la raza, por lo cual estos caracteres pueden constituir elementos para una clasificación.

El peso absoluto y el volumen son características variables.

**2.22.1 Composición.** Fibroina 65 – 70%, Sericina 20 –25%, agua 10 – 12%, sustancias minerales 1 – 2%, materias colorantes 0,5% materias grasas 0,1%.

**2.22.2 Antecedentes.** A nivel de laboratorio se realizó un estudio de la utilización de residuos de capullos de gusanos de seda, como capullos perforados o manchados, como material sorbente para la eliminación de aceites motores y vegetales del agua. Se evaluó la capacidad de aceite de sorción, la velocidad y la reutilización del material. Los resultados muestran la alta capacidad de sorción del sorbente de gusanos de gusano de seda (42-52 g de aceite / g sorbente).

El aceite sorbido sobre el material se pudo recuperar apretando el sorbente, y el material exprimido mostró una capacidad de sorción de aceite de más de 15 g de aceite / g de sorbente (Moriwaki, H. et al., 2008, p-266).

- El material sorbente hecho de residuos de capullos de gusanos de seda (SCWS) mostró una naturaleza repelente al agua y flotó sobre el agua. Las pruebas de flotabilidad mostraron que después de 15 minutos en agua purificada y marina, que la mayor parte del material permanecía en la superficie del agua y no había mucha sedimentación en condiciones estáticas y dinámicas (Moriwaki, H. et al., 2008, p-267)

### **2.22.3 Ventajas**

- La preparación del residuo de capullo de gusanos de seda por sus siglas en inglés SCWS es muy simple, y el material es de bajo costo.
- El SCWS tiene una alta capacidad de sorción para el aceite debido a la alta propiedad hidrófoba del material.
- El aceite sorbido sobre el material podría ser recuperado por compresión, y el material de SCWS puede ser reutilizado como sorbente de separación de aceite, que muestra la capacidad de sorción sobre 15 g de aceite / g de sorbente (Moriwaki, H. et al., 2008, p-269)

### **2.22.4 Desventajas.** El SCWS tiene una biodegradabilidad lenta.

## **2.23 Salvinia y Pistia stratiotes**

Salvinia molesta y Pistia stratiotes proceden de América del Sur y se extienden por las partes tropicales y subtropicales del mundo donde proliferan y se convierten en una plaga. Estas plantas de plagas que se encuentran en abundancia en la naturaleza son candidatos potenciales para ser

utilizados no sólo para la eliminación de contaminantes inorgánicos como metales pesados, nitrato y fosfato de agua, sino también como sorbentes de aceite natural.

Este último se debe a una combinación de repelencia al agua, humedecimiento superficial incrementado con líquidos de baja tensión superficial tales como aceites, y acción capilar en los intersticios entre tricomas.

**2.23.1 Salvinia.** Es una pequeña planta flotante que crece en racimos y se convierte en colonias densas y flotantes en aguas tranquilas, sin ser perturbada por la acción de las olas. Las hojas flotantes de salvinia son más o menos redondas (1/2 a 3/4 de pulgada).

Son helechos y no tienen flor. Si colonias de salvinia común cubren la superficie del agua, entonces pueden producirse agotaciones de oxígeno y muertes de peces, razón por la cual deben ser controladas.

Se encuentra en todas las regiones tropicales, subtropicales y templadas, estas condiciones climáticas se producirán en diferentes épocas del año.

Según Ribeiro (como se citó en Prieto, J. y Rueda, A., s.f.) la hidrofobicidad, superficie específica y capilaridad de los absorbentes son los factores determinantes en la eliminación de petróleo y otros hidrocarburos. El género *Salvinia* tiene alta hidrofobicidad (96%) y excelentes características capilares que la hacen un muy eficiente bioabsorbente de compuestos no polares (párr.17).

**2.23.2 Pistia Stratiotes.** Es una de las plantas acuáticas enmarcadas dentro del grupo de plantas acuáticas flotantes. Pertenece a la familia de las Aráceas y su distribución nativa es incierta.

Flota sobre la superficie del agua mientras sus raíces cuelgan sumergidas debajo de sus hojas. Es una planta perenne, monocotiledónea, con hojas gruesas y suaves que se desarrollan en forma de roseta de unos 5 a 20 centímetros de circunferencia normalmente. Sus hojas pueden tener hasta 14 centímetros de largo y son de color verde con las venas alineadas en paralelo.

Su temperatura de desarrollo normal se sitúa entre los 17°C a 30°C evitando que descienda por debajo de 15°C en la que suele paralizar su crecimiento. Su rango de pH del agua está entre ligeramente ácido a ligeramente alcalino, más concretamente entre 5 y 8.

**2.23.3 Antecedentes.** Ribeiro (como se citó en Prieto, J. y Rueda, A., s.f) llevó a cabo una comparación con una turba comercial para evaluar su capacidad de adsorción de petróleo crudo, donde se demostró que esta biomasa vegetal tiene una mayor capacidad de adsorción (4.8 g vs. 2.7 g de petróleo g-1 biomasa).

- *Salvinia* sp. también ha sido probada como un filtro para la absorción de emulsiones acuosas de petróleo crudo y otros hidrocarburos como vaselina. Los resultados mostraron que la biomasa de *Salvinia* absorbió de 2 a 3 veces más petróleo y vaselina en comparación con una turba comercial (11.8 vs. 4.8 g de petróleo g-1 de biomasa y 7.3 vs. 3 g de vaselina g-1 de biomasa). Esta superioridad de *Salvinia* sp. Parece deberse principalmente a su hidrofobicidad y a los filamentos presentes en su superficie.
- Khan (como se citó en Prieto, J. y Rueda, A., s.f) llevo a cabo un estudio donde la biomasa de *Typha dominguensis* y de *Salvinia* sp. También ha sido probada y comparada en relación con su capacidad de remoción de gasolina respecto a un absorbente sintético comercial como fibra

de poliéster y otros absorbentes. Se encontró que más del 70 % de la gasolina presente fue removida por la mayoría de los absorbentes.

- Como parte de un estudio realizado a hojas frescas de los helechos acuáticos *Salvinia* consideradas superhidrófobas y superoleófilas, propiedades selectivas de humectación óptimas para absorber aceite. Se cuantificó la capacidad de absorción de cuatro especies de *Salvinia* con diferentes estructuras superficiales, lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y hojas de loto (*Nelumbo nucifera*), y fue comparada con la capacidad de absorción de aceite de un sorbente artificial. Las capacidades de absorción de aceite de las hojas *Salvinia molesta* y *Pistia stratiotes* son comparables a sorbentes artificiales.

Se determinó que en el ocurre una mayor absorción a mayor viscosidad del crudo por parte de *Salvinia molesta* y que las estructuras superhidrófobas peludas (*Salvinia molesta* y *Pistia stratiotes*), absorben significativamente más aceite que las estructuras superhidrófobas papilares no peludas (*Nelumbo nucifera*) (Zeiger et al., 2016).

- A escala de laboratorio se determinó mediante un estudio en el que se describe la eliminación y sorción de aceite de soluciones salinas por hojas (L) y raíces (R) de *Pistia stratiotes*. Los efectos de la dosis de biomasa (0,5 y 1,0 g), el tiempo de contacto (30, 60, 90 y 120 min) y la concentración inicial de aceite en la extracción y sorción. Los estudios incluyeron una caracterización fisicoquímica de la biomasa. Se encontró alta eliminación de aceite y valores de sorción. Una sorción tan alta podría estar relacionada con factores tales como una alta superficie, un alto grado de hidrofobicidad relativa en el caso de las hojas y la acción capilar (Sánchez, 2013).

#### 2.23.4 Ventajas

- Estas hojas tienen gran potencial para ser empleadas como barreras de contención de hidrocarburos debido a como menciona Zeiger, C. et al. (2016) además de la repelencia al agua, las hojas cubiertas con tricomas retienen una capa de aire estable en su superficie, lo que garantiza la flotabilidad y supervivencia de la planta cuando se arrastra bajo el agua.
- Capacidades de absorción de aceite de las hojas *Salvinia molesta* y *Pistia stratiotes* comparable a sorbentes de aceite artificial (Zeiger, C., Rodrigues, I., Mail, M., Kavalenka, M., Barthlott, W. y Hölscher, H., 2016, p-1).
- Según Sayyad, J., Vared, M. y Zendehboudi, S. (2015). “Tienen una capacidad significativa para la absorción de superficie del agua para reducir los costos de tratamiento y efectos nocivos sobre los ecosistemas” (p-16015)
- Las hojas frescas de los helechos acuáticos *Salvinia* son superhidrófobas y superoleófilas, y pueden absorben selectivamente el aceite mientras repelen el agua.
- Alta eliminación de aceite por parte de las hojas (L) y raíces (R) de *Pistia Stratiotes* ( $L = 93,71 \pm 0,18\%$  y  $R = 80,93 \pm 0,11\%$ ) y valores de sorción ( $L=2,904,47 \pm 4,49 \text{ mg g}^{-1}$  y  $R = 2,324,38 \pm 29,29 \text{ mg g}^{-1}$ ) (Sánchez, G., Mercado, F. y Olguin, E., 2013, abstract, párr.1).




#### 2.23.5 Desventajas

- El uso de plantas vivas como método de remediación no es fácil de aplicar debido a que en muchas ocasiones las plantas también son sensibles a ciertos compuestos tóxicos de los hidrocarburos (Prieto, J. y Rueda, A., s.f., marco teórico, párr.15)

- Mientras que las hojas de Pistia Stratiotes están cubiertas en ambos lados por tricomas, los cuales permiten la hidrofobicidad, las hojas secas de Salvinia solo presentan estos tricomas por un lado lo que hacen que por el lado opuesto absorba agua además de aceite.




### 2.3 Resumen biomateriales investigados





Tabla 2 *Resumen: Principales características de los biomateriales investigados*






Material	Capacidad De Sorción	Cuerpo	Tipo De Crudo	Disponibilidad en Colombia
Algas codium fragile	 Barbara, I. (2013). Codium frágil. [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=geec97b2fec1aa47b">http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=geec97b2fec1aa47b</a>	7,1 gHC / gSorb.	Suelo  Crudo mediano	Zona pacífica y Caribe  Colombia.
Algodón	 Algodón. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://adagro.co/algodon/">http://adagro.co/algodon/</a>	40 g HC / gSorb.	Agua salada  Crudo pesado	Antioquia, atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre, Casanare, Meta, Vichada, Tolima, Valle de cauca, Huila y Cundinamarca
Aserrín carbonizado	 Aserrín de madera. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de	1-3 g HC / gSorb.	Agua dulce  Crudo mediano	Regiones bajas y piedemonte Andino





<https://construir.esnicaragua.com/desventajas-y-ventajas-de-los-productos-derivados-del-aserrin/>





Azolla	 <p>Stüber, K. (2004). Azolla caroliniana. [Imagen]. Recuperado de <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azolla_caroliniana0.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azolla_caroliniana0.jpg</a></p>	11,29 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo pesado	Boyacá, Cundinamarca y Risaralda
Bagazo	 <p>Bagazo. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="https://twenergy.com/mx/a/residuos-organicos-de-la-cana-de-azucar-para-generar-energia-limpia-1593">https://twenergy.com/mx/a/residuos-organicos-de-la-cana-de-azucar-para-generar-energia-limpia-1593</a></p>	13,37 g HC / gSorb.	Agua dulce	Crudo mediano	Norte y centro del departamento del Cauca y sur del departamento de Risaralda
Biochar	 <p>Biochar. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.spin-project.eu/index.php?node_id=58.79&amp;lang_id=1">http://www.spin-project.eu/index.php?node_id=58.79&amp;lang_id=1</a></p>	4-6,3 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo liviano	Toda Colombia
Cascara de plátano	 <p>Cascara de plátano. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.ar13.cl/magazine/6-beneficios-de-la-cascara-de-platano-para-piel">http://www.ar13.cl/magazine/6-beneficios-de-la-cascara-de-platano-para-piel</a></p>	6,63 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo liviano	Quindío, Meta, Antioquia, Tolima, Córdoba, Arauca, Valle, Caldas, Cundinamarca, Santander y Norte de Santander, Huila, Risaralda y Nariño





<p>Cascarilla de arroz negro</p>	 <p>Cascarilla de arroz (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.hazchela.com/esp/item/166/42/cascarilla-de-arroz-briess-250g">http://www.hazchela.com/esp/item/166/42/cascarilla-de-arroz-briess-250g</a></p>	<p>4-6 g HC / gSorb.</p>	<p>Agua dulce y aguas residuales</p>	<p>Crudo pesado</p>	<p>Antioquia, Arauca, Atlántico, Bolívar, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Choco, Córdoba, Cundinamarca, Guaviare, Huila, La Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca y Vichada</p>
<p>Compost Aserrín pino-estiércol vacaza y cerdaza</p>	 <p>Aserrín, subproducto de la madera (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://ecosiembra.blogspot.com.co/2011/05/como-se-debe-utilizar-el-aserrin-en-el.html">http://ecosiembra.blogspot.com.co/2011/05/como-se-debe-utilizar-el-aserrin-en-el.html</a></p>	<p>25 % Reducción TPH por cada 150 g.</p>	<p>Suelo</p>	<p>TPH</p>	<p>Regiones bajas y piedemonte Andino</p>
<p>Corteza de pino</p>	 <p>Usos y beneficios de la corteza de pino (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="https://www.jardineriaon.com/ usos-y-beneficios-de-la-corteza-de-pino.html">https://www.jardineriaon.com/ usos-y-beneficios-de-la-corteza-de-pino.html</a></p>	<p>56%</p>	<p>Agua dulce</p>	<p>Mediano</p>	<p>Magdalena, Casanare, Pereira, Cali y Popayan</p>

Fibra calotropis gigantea tratada		56,8 g HC / gSorb.	Agua salada y agua dulce	Crudo Liviano	Bolívar, Magdalena, Guajira, Tolima, Valle
Fibra calotropis procera		>90% de remoción en 60 s	Agua salada	Crudo Liviano	Bolívar, Magdalena, Guajira, Tolima, Valle
Fibra de coco		15,77 g HC / gSorb.	Agua dulce	Crudo mediano	Principalmente Chocó y la Costa Atlántica.
Fibra Kapok		43 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo pesado	Valles de los ríos Magdalena, Cauca y Zulia, en la región de Urabá, los Llanos Orientales y la Amazonía.

Harina de pollo		2,86 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo mediano	Bogotá, Medellín, Cali y ciudades de la Costa Atlántica, Santander y Cundinamarca.
Hoja de palma de aceite		1,176 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo pesado	Bucaramanga, Norte de Santander, el Meta y Casanare, Tumaco y Caquetá.
Kikuyo		7,1 g HC / gSorb.	Suelo	Crudo mediano	Toda Colombia
Lana gruesa		11,05 g HC / gSorb.	Agua dulce	Crudo Liviano	Principalmente por las regiones de Santander, Boyacá, Cundinamarca, Caldas y Nariño.
Lirio Acuático		Hasta el 90% de sorción en 5 días	Suelo	Crudo liviano	Aguas dulces en toda Colombia principalmente Amazonas

Luffa cruda		9-12 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo pesado y crudo liviano	Huila, Valle del Cauca
	<small>A famosa bucha vegetal. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="https://www.portalaroca.com.br/a-famosa-bucha-vegetal/">https://www.portalaroca.com.br/a-famosa-bucha-vegetal/</a></small>				
Paja de avena		5,34 g HC / gSorb.	Agua dulce	Crudo mediano	Cundinamarca, Nariño y Boyacá, Cauca, Santander, Caldas, Tolima y Valle
	<small>Yaumenenka, N. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="https://www.vix.com/es/imi/salud/4463/beneficios-de-la-paja-de-avena">https://www.vix.com/es/imi/salud/4463/beneficios-de-la-paja-de-avena</a></small>				
Paja de cebada		6,69 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo mediano	Cundinamarca, Nariño y Boyacá, Cauca, Santander, Caldas, Tolima y Valle.
	<small>Paja. (2010). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.rgbstock.es/photo/mLKnbq/Paja">http://www.rgbstock.es/photo/mLKnbq/Paja</a></small>				
Paja de trigo		5,64 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo mediano	Cundinamarca, Nariño y Boyacá, Cauca, Santander, Caldas, Tolima y Valle.
	<small>Paja de trigo. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.agroanuncios.es/anuncios/paja-y-forraje/Paja-de-trigo-en-Badajoz.html">http://www.agroanuncios.es/anuncios/paja-y-forraje/Paja-de-trigo-en-Badajoz.html</a></small>				
Pistia stratiotes		2,9 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo mediano	Toda Colombia
	<small>Stüber, K. (2004). Pistia stratiotes. [Imagen]. Recuperado de <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pistia_stratiotes0.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pistia_stratiotes0.jpg</a></small>				

<p>Planta hibiscus cannabinus L</p>		<p>35 g HC / gSorb.</p>	<p>Agua salada y agua dulce</p>	<p>Crudo mediano</p>	<p>En Colombia no hay un cultivo registrado de esta planta. Hay un gran cultivo en América central, en Brasil, Cuba (Cultivos extensivos Tropicales 2006)</p>
<p>Plumas de pollo</p>		<p>20,5 g HC / gSorb.</p>	<p>Agua salada, agua dulce y aguas residuales</p>	<p>Crudo mediano</p>	<p>Bogotá, Medellín, Cali y ciudades de la Costa Atlántica. Santander y Cundinamarca</p>
<p>Quitosano (cascara de camarón)</p>		<p>99% TPH removido</p>	<p>Agua residuales</p>	<p>TPH</p>	<p>Costa Atlántica como Bolívar, Córdoba, Atlántico, Magdalena y la Guajira</p>
<p>Quitosano (Cascara de cangrejo)</p>		<p>0,099 g HC / gSorb.</p>	<p>Aguas residuales</p>	<p>Crudo mediano</p>	<p>Costa Atlántica como Bolívar, Córdoba, Atlántico, Magdalena y La Guajira</p>

Residuos de capullo de gusano		42 – 52 g HC / gSorb.	Agua salada	Crudo liviano	Toda Colombia
	<p>Capullo de gusano. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://jose Luisregojo.blogspot.com.co/2012/01/se-da-que-fue-baba-la-fuga-del-gusano.html">http://jose Luisregojo.blogspot.com.co/2012/01/se-da-que-fue-baba-la-fuga-del-gusano.html</a></p>				
Salvinia mínima		4,5 g HC / gSorb.	Agua dulce	Crudo mediano	Llanos orientales, cuerpos de agua dulce en el Caribe y la Amazonia.
	<p>Stüber, K. (2004). Salvinia mínima. [Imagen]. Recuperado de <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salvinia_minima_1.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salvinia_minima_1.jpg</a></p>				
Salvinia molesta		11,8 g HC / gSorb.	Agua dulce	Crudo mediano	Amazonia Colombiana
	<p>El helecho acuático, Salvinia molesta. [Imagen]. Recuperado de <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salvinia_molesta.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salvinia_molesta.jpg</a></p>				
Salvinia sp		4,8 g HC / gSorb.	Suelo	Crudo mediano	Santander y La Guajira
	<p>Salvinia sp. (s.f.). [Imagen]. Recuperado de <a href="http://www.aquaticquotient.com/forum/showthread.php/5745-Salvinia-sp-pictures">http://www.aquaticquotient.com/forum/showthread.php/5745-Salvinia-sp-pictures</a></p>				

---

### 3. Metodología

#### 3.1 Descripción del software

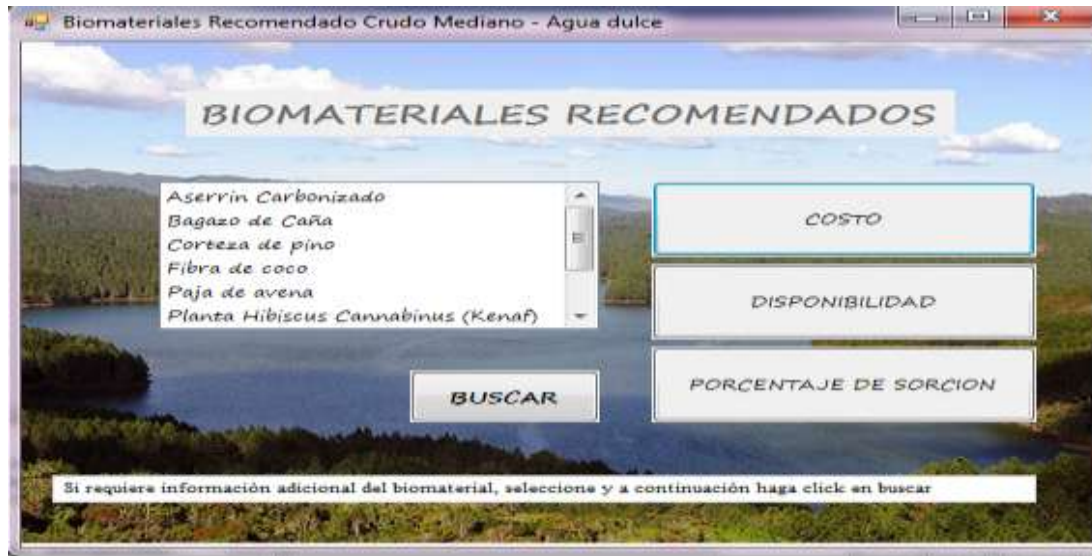
Para el desarrollo del software se hizo uso del programa Visual Basic 2010. El primer filtro que se usó para la posterior clasificación de los biomateriales sorbentes fue el tipo de crudo (Liviano, mediano, pesado), y el cuerpo donde ocurrió el derrame (Agua dulce, agua salada, aguas residuales, suelo).

Figura 2 Primer filtro para la selección del biomaterial recomendado.



De acuerdo a la selección que realice el usuario, el programa arroja como resultado los biomateriales que podrían ser usados en determinado caso que se haya presentado, como se observa en la figura 4.

Figura 3 Ejemplo caso derrame de crudo mediano en agua dulce.



En la figura 5, se encuentra la posibilidad de tener una noción de los precios aproximados del biomaterial, **COSTO**, la figura 6 en que regiones de Colombia se dispone del biomaterial, **DISPONIBILIDAD**, finalmente y la figura 7, basado en las evidencias de cada uno de los biomateriales, la cantidad de hidrocarburo que estos podrían llegar a sorber, **PORCENTAJE DE SORCIÓN**.

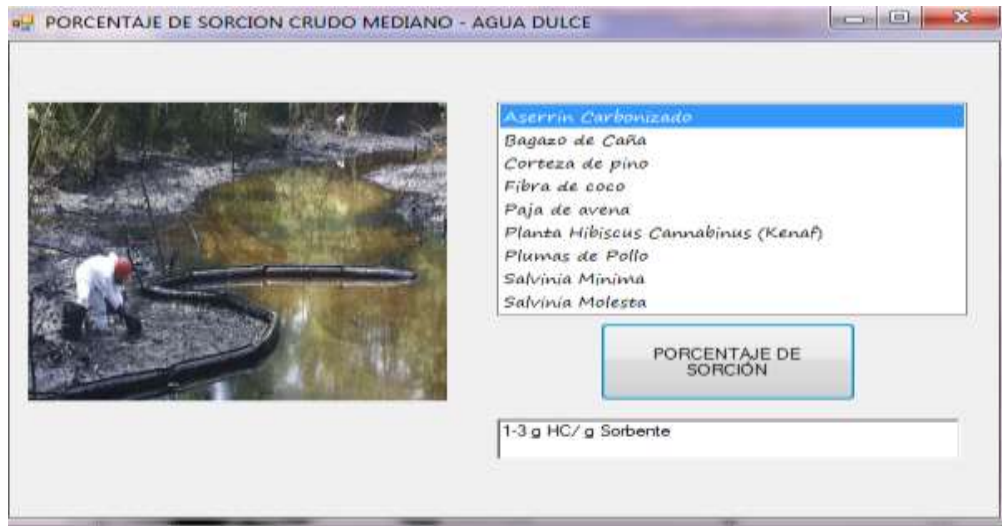
Figura 4 Ejemplo costo crudo mediano en agua dulce



Figura 5 Ejemplo disponibilidad crudo mediano en agua dulce



Figura 6. Ejemplo porcentaje de sorción crudo mediano en agua dulce



El software de biomateriales sorbentes, también da la opción de que si se requiere información adicional para conocer más acerca del material que se recomienda, proporcione información el material, las evidencias de las investigación en las cuales el biomaterial ha sido usado a escala de laboratorio, ventajas y desventajas que se podrían presentar y finalmente la bibliografía relacionada con el biomaterial, como se observa en la figura 8.

Figura 7 Ejemplo información adicional del biomaterial



### 3.2 Evaluación metodología caso mundial

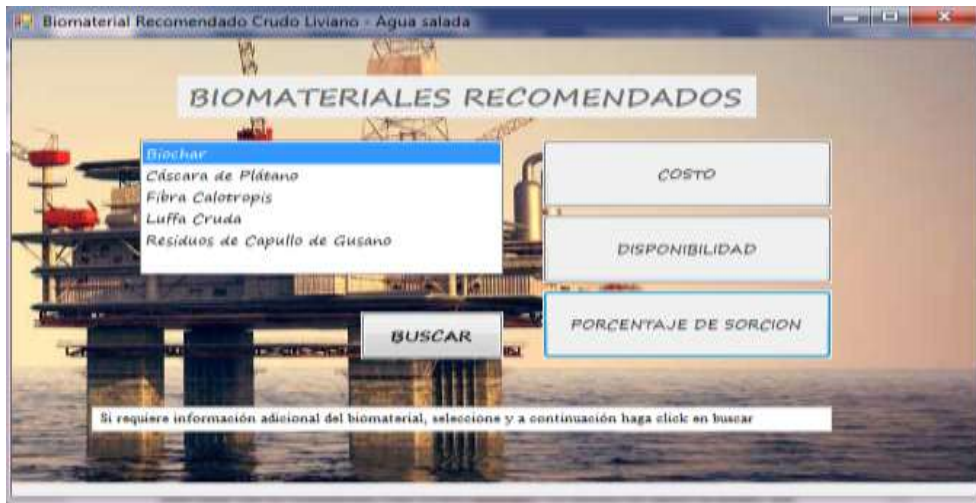
**3.2.1 Derrame en el golfo de México.** La Deepwater Horizont fue una plataforma petrolífera semisumergible de posicionamiento rápido de aguas ultra-profundas construida en el año 2001 y situada en el golfo de México, compartido por Estados Unidos, Cuba y el propio México que se hundió el 22 de abril de 2010 como resultado de una explosión que había tenido lugar dos días antes provocando el más importante vertido de petróleo de la historia, estimado en 779 000 t de petróleo crudo.

Para esta situación se registró el uso de biomateriales en la mitigación del derrame para un crudo liviano: “Adiciones de biochar a los sedimentos ya que este agente es un sorbente natural (materiales orgánicos pirolizados tales como residuos agrícolas) que pueden minimizar el daño ecológico mientras se mantiene o mejora la degradación del aceite” (The Gulf of Mexico Research Initiative, 2010).

#### Software

Haciendo uso del software, gracias a su facilidad en cuanto a los parámetros iniciales, se escoge curdo liviano y agua salada, como se puede evidenciar en la figura 9. el “biochar” es uno de los biomateriales que se recomienda según esta situación. Este biomaterial se encuentra entre los que tienen la posibilidad de ser usados según este caso, además de esto es el de menor costo, al compararlo con los otros biomateriales que se recomiendan, el biochar tiene un porcentaje de sorción entre 4 y 6.3 g HC/ g sorbente el cual es excelente, pero también una buena opción de uso pudo haber sido los biomateriales como la fibra calotropis y los residuos de capullo de gusano, que según los estudios que se han realizado tienen una capacidad de sorción 86 g HC/ g sorbente y 42-52 g HC/ g sorbente, respectivamente.

Figura 8 Evaluación del software en el caso de derrame mundial caso agua salada – crudo liviano



**3.2.2 Nigeria.** “Cada año se vierte más petróleo en el Delta del Níger que el total derramado por British Petroleum (BP) en el Golfo de México el 2010. Entre 1970 y 2000 ocurrieron más de siete mil derrames de petróleo, de los cuales más de mil se atribuyen a Shell” (Veoverde, 2011).

En este caso se registra “un algodón superabsorbente fue probado de manera muy exitosa en un derrame de petróleo reciente, ocurrido en Nigeria, con resultados sorprendentes en torno a la enorme absorción que demostró”, (Foro Ambiental, 2017).

### Software

En el software ingresando como primer filtro el crudo pesado y agua salada, recomienda que unos de los biomateriales que se puede usar es el algodón, tiene un bajo costo, y es el que presenta el mayor porcentaje junto con la fibra kapok por encima de 40 g HC/ g sorbente, el algodón es reciclable, se puede lavar y volver a utilizar después de que el aceite se ha recuperado de él. Sin que sea disminuida la capacidad en cada uso, según lo observado en la figura 10.

Figura 9 Evaluación del software en el caso de derrame mundial caso agua salada – crudo pesado



### 3.3 Evaluación metodología caso nacional

**3.3.1 Tumaco.** El 22 de Junio de 2015 se produjo un derrame a causa de un atentado llevado a cabo por parte de los guerrilleros de las Farc contra el Oleoducto Transandino, lo que causó el derrame de 410.000 galones de crudo en la quebrada Pianulpí, que surte al río Guisa, y éste a su vez al río Mira que alimenta el acueducto de Tumaco (Colombiano, 2015) Allí se hizo posible probar la efectividad en situaciones de derrames reales de un absorbente de hidrocarburo fabricado en Colombia con los sobrantes de la madera de pino que desechan las madereras (corteza), ecológico, orgánico y sin presencia de químicos, con flotabilidad, oleofílico e hidrofóbico (Semana, 2016).

#### Software

En el caso de Tumaco, el crudo derramado era mediano en agua dulce, el software recomienda hacer uso de la corteza de pino, figura 11, ya que tiene un bajo costo, y además de esto presenta un alto grado de sorción, según las evidencias más del 56% de hidrocarburo, este porcentaje es alto

gracias a su estructura porosa. En Colombia se encuentra fácilmente disponible. Este biomaterial que recomienda el software fue el que se usó en el derrame de Tumaco y mostro gran efectividad.

Figura 10 Evaluación del software en el caso de derrame mundial caso agua dulce – crudo mediano



#### 4. Conclusiones

- El estudio de los biomateriales como sorbentes en derrames de hidrocarburos cada vez es mayor, actualmente surgen como una alternativa a tratamientos convencionales con productos que en su mayoría son mucho más costosos y pueden llegar a causar un impacto ambiental mayor al causado por el derrame.
- Para el estudio de un biomaterial como sorbente se pueden llegar a tener en cuenta un gran número de características propias de este y del medio en el que va a ser usado, pero en términos generales al momento de llevar a cabo esta discretización es importante revisar inicialmente el medio en el que ocurrió; cuerpo (agua salada, agua dulce, aguas residuales o suelo) y el tipo de hidrocarburo que fue derramado. Mientras que para el material es importante definir la capacidad de sorción esperada con la aplicación, la disponibilidad en la región que ocurre el derrame, el costo en el mercado y las ventajas y desventajas que ofrece frente a otros productos; flotabilidad, el impacto del residuo que se genera después de llevarse a cabo este proceso (si es biodegradable o tiene alguna otra disposición final), la posibilidad y rendimiento al ser reutilizado, si se requiere tratamiento previo para su uso, entre otras.
- Muchos de estos biomateriales brindan la posibilidad de ser sometidos a tratamientos sencillos que mejoran ampliamente sus propiedades como sorbentes; oleofilidad, hidrofobicidad, capacidad de encapsular el hidrocarburo, biodegradabilidad, etc. Ampliando su rango de aplicación.
- Gran parte de los biomateriales contemplados en esta revisión bibliográfica son residuos de diferentes actividades económicas que genera por lo tanto su implementación como sorbente en derrames de hidrocarburo se hace mucho más económica y soluciona inconvenientes con la disposición final.

## 5. Recomendaciones

Aunque se encuentran documentados numerosos estudios para el uso biomateriales sorbentes en derrames de hidrocarburo y en su gran mayoría se describen las condiciones en las que estos actúan mejor, es recomendable llevar a cabo estudios en otros cuerpos y diferentes tipos de hidrocarburos ya que no se descarta que estos puedan ser efectivos en otras condiciones.

En este trabajo se encuentran solo algunas de las numerosas opciones de productos a ser usados como materiales sorbentes, pero existen muchísimos más los cuales pueden ir siendo agregados a la base de datos existentes para contar con más alternativas que brinden diferentes ventajas y desventajas que cubran las necesidades con las que se cuenta en el momento.

Con el tiempo y el avance en los estudios con respecto a este tema, pueden integrarse más conceptos de los que se tenga información específica al momento de definir el derrame para así tener más filtros y obtener opciones más precisas de acuerdo a cada caso.

### Bibliografía

- ¿Evolución y comportamiento de las manchas de petróleo?. (2017). Recuperado de: <http://www.cetmar.org/documentacion/comportamiento.htm>
- ABC Ciencia, s.f. *El lirio Acuático, eficaz contra los derrames de hidrocarburo*. ABC Ciencia. Recuperado de: <http://www.abc.es/ciencia/20150530/abci-lirio-absorve-hidrocarburos201505301057.html>.
- Abdelwahab, O. (2013). Assessment of raw luffa as a natural hollow oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Alexandria Engineering Journal*, 53, 213–218.
- Abdullah, M., Rahmah, A. y Man, Z. (2010). Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian Ceiba pentandra (L.) Gaertn. As a natural oil sorbent. *Journal of Hazardous Materials* 177, 683-691.
- Acosta, G. (consulta 2017). *Aspectos generales del kenaf (Hibiscus cannabinus, L.)*, en Cuba. Recuperado de: <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/e0703.pdf>
- Alava, M., (2015), Aplicación de quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. *Foquete*, 6(3), 52-64. Recuperado de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoquete/index.php/revista/article/view/69>
- Alegre, J., (Marzo, 2016). Estudiantes crean el primer absorbente de petróleo 100 % colombiano. *Semana*. Recuperado de <http://www.semana.com/educacion/articulo/primer-absorbente-de-petroleo-e-hidrocarburos-creado-en-colombia/466434>
- Andrade, C. (2015). *Tratamiento de aguas contaminadas con crudo utilizando quitosano como adsorbente* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador.
- Armada, A., Barquinero, E. y 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. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120667013.pdf>
- Atehortua, E. y Gartner, C. (2013). *Estudios preliminares de la biomasa seca de eichhornia crassipes como adsorbente de plomo y cromo en aguas*. Universidad de Antioquia. Recuperado de: [http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/5750/1/AtehortuaElizabeth\\_2013\\_biomasa\\_eichhorniacrassipes.pdf](http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/5750/1/AtehortuaElizabeth_2013_biomasa_eichhorniacrassipes.pdf).
- Banerjee, S., Joshi, M. y Jayaram, R. (2006). Treatment of oil spill by sorption technique using fatty acid grafted sawdust. *Chemosphere*, 64, 1026–1031.
- Barcena, M., (2017). *Derrames de hidrocarburos pueden limpiarse con novedosa fibra*. México: foroambiental.com.mx. Recuperado de <http://www.foroambiental.com.mx/derrames-de-hidrocarburos-pueden-limpiarse-con-novedosa-fibra/>
- Biblioteca Digital ILCE. (2012). *Plumas y plumajes*. Recuperado de [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec\\_8.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/138/htm/sec_8.htm).

- Buendía, H. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles* (tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Calderón, F. (2002). *La cascarilla de arroz "caoinizada"; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos*. Dr. Calderón Labs. Bogotá Colombia.
- Cárdenas, D., Castaño, N., Sua, S. y Quintero, L. (2015). *Planes de Manejo para la Conservación de Abarco, Caoba, Cedro, Palorosa, y Canelo de los Andaquies*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI, Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.
- Carrión, C., Ponce de León, C., Cram, S., Somer, I., Hernandez, M. y Vanegas, C. (2012). *Aprovechamiento potencial del lirio acuático (eichhornia crassipes) en xochimilco para fitorremediación de metales*. *Agrociencia* 46 (6). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v46n6/v46n6a7.pdf>.
- Carvajal, L. y Jara, F., (2005). *Aspectos técnicos sobre derrames de crudo* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Castro, A. (2007). *Estudio de las propiedades de la fibra vegetal ("kapok") de Ceiba trichistandra en función a clase diamétrica y nivel altitudinal, proveniente del bosque seco de Bolívar, Cajamarca* (Título de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/474/K10-C3551-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Castro, M. (19 de agosto de 2015). *Lirio acuático sería un absorbente biodegradable capaz de combatir derrames de petróleo*. Oil channel tv. Recuperado de: <http://www.oilchannel.tv/noticias/lirio-acuatico-seria-un-absorbente-biodegradable-capaz-de-combatir-derrames-de-petroleo>.
- Cavazos, J., Pérez, B. y Gutiérrez, A., (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de acatzingo, Puebla, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(4). Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722014000400006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000400006&lng=es&tlng=es)
- Cho, B., Chino, H., Tsuji, H., Kunito T., Nagaoka, K., Otsuka, S., Yamashita, K., Matsumoto, S., y Oyaizu, H. (1997). Laboratory-scale bioremediation of oil-contaminated soil of Kuwait with soil amendment materials. *Chemosphere*, 35, 1599-1611. doi: 10.1016 / S0045-6535 (97) 00220-8
- Coria, I. (2007). *Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Universidad Abierta Interamericana. Recuperado de: <http://sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/UAIS-IGA-600-001%20-%20Remediacion.pdf>
- Cultivos extensivos tropicales* (2006). Apuntes tema 16. Recuperado de: <https://freal.webs.ull.es/TEMA16.pdf>
- Cusiritati (2017). *Ventajas de algodón en derrames limpieza de petróleo*. cusiritati.com. Recuperado de <http://www.cusiritati.com/93LjgQ9zd/>

- Danglad, J., Valladares, S., Cova, A. y Linero, G. (2013). Partículas hidrofobadas de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de hidrocarburos en agua. *Saber*, 25(1), 97-103. Recuperado de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-01622013000100011](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622013000100011)
- Departamento de Agricultura. (2017). *Conservación de heno y paja – Capítulo V cultivos para heno – cereales y gramíneas forrajeras*. Depósito de documentos de la FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/x7660s/x7660s09.htm>
- Dugarte, M., y Ovalles, L. (1991). *La producción de pastos de altura*. Kikuyo y Ryegrass perenne en el estado Mérida. Recuperado de [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_tec/FonaiapDivulga/fd36/texto/produccionpastos.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd36/texto/produccionpastos.htm)
- El cáñamo podría ayudar a resolver problemas de derrames de petróleo* (2016). Cultura Cannabica. Recuperado de: <http://www.culturacannabica.es/2016/09/18/el-canamo-podria-ayudar-a-resolver-problemas-de-derrames-de-petroleo/>
- El-Din, G., Amer, A., Malsh, G. y Hussein, M., (2017). Study on the use of banana peels for oil spill removal. *Alexandria Engineering Journal*. 1-8. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016817301849?via%3Dihub>
- Elvira, M. (2009). *De qué está hecha la lana y principales características textiles*. Esquel, Argentina: Sitio Argentino de Producción Animal. Recuperado de [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_ovina/produccion\\_ovina\\_lana/11-lana.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina_lana/11-lana.pdf)
- Falasca, S., Anschau, A., Pizarro, M. y Cazenave, G. 2011. *Las posibilidades de cultivo del kenaf (hibiscus cannabinus L.) como productor de biomasa en Argentina*. Recuperado de: [http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfuseen\\_2011/trabajos/12-059.pdf](http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2011/hyfuseen_2011/trabajos/12-059.pdf)
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) (2017). *Paja de cereales (trigo y cebada)*. Recuperado de: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/paja-de-cereales-trigo-y-cebada](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/paja-de-cereales-trigo-y-cebada)
- Foro ambiental, (Julio, 2017). Derrames de hidrocarburos pueden limpiarse con novedosa fibra. *Foro ambiental*. Recuperado de <http://www.foroambiental.com.mx/derrames-de-hidrocarburos-pueden-limpiarse-con-novedosa-fibra/>
- Franco, H., Cardona, L. y Mendoza, N. (2017). *Pasto Kikuyo*. Recuperado de <http://publimvz.galeon.com/#HISTORIA>
- Gaskin, W., Speir, A., Harris, K., Das, k., Lee, R., Morris, A. y Fisher, D. (2010). Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633. doi: 10.2134/agronj2009.0083
- González, D., Fonseca, F., Rodríguez, G, y Montenegro, L. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Revista Ingeniería e Investigación* 26 (2). Universidad Nacional de Colombia.

- González, V. (2014). Un biomaterial hecho con plumas de pollo. Muy interesante. Recuperado de: <https://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/un-biomaterial-hecho-con-plumas-de-pollo>.
- Gregorio, N. (2011). *Cambios en la composición del lirio acuático (Eichhronia Crassipes) debido a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica* (tesis de pregrado). Universidad Politécnico Nacional.
- Hori, K., Flavier, M., Kuga, S., Tuyet, T. y Liyama, K. (2012). Excellent oil absorbent kapok [Ceiba pentandra (L.) Gaertn.] fiber: Fiber structure, chemical characteristics, and application. *Journal of Wood Science*, 46, 401. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00776404>
- Hubert, T., Smith, R. y Rubio, J. (2000). Sorption of Oils by the Nonliving Biomass of a *Salvinia* sp. *Environmental Science and Technology*, 34(24), 5202-5205. doi: 10.1021/es991139g
- Jiménez, A. y Cova, L., (2012). *Ventajas y desventajas del uso de sorbentes en la remediación de aguas marinas contaminadas por derrames de crudo* (tesis de especialización). Universidad de San Buenaventura. Cartagena, Colombia.
- Jiménez, E. y Padilla, G. (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, Colombia.
- Jiménez, A., Cova, L. (2012). *Ventajas y desventajas del uso de sorbentes en la remediación de aguas marinas contaminadas por derrames de crudo*. Título de especialización de Ingeniería. Universidad de San Buenaventura.
- Karppinen, E., Siciliano, S. y Stewart, K. (2017). Application Method and Biochar Type Affect Petroleum Hydrocarbon Degradation in Northern Landfarms. *Journal of Environmental Quality*. 46(4), 751-759, doi: 10.2134/jeq2017.01.0038
- Karppinen, E., Siciliano, S. y Stewart, K. (Septiembre de 2013). Northern biochar for northern remediation and restoration. *Conference Proceeding of the 2013 Northern Latitudes Mining Reclamation Workshop*. Conferencia llevada a cabo en 38th Annual Meeting of the Canadian Land Reclamation Association, Whitehorse, Yukon, Canada.
- Katusich, O. y Maris, S. (2016). Materiales naturales alternativos para la remoción de Hidrocarburos en suelos. *Revista del Grupo Especializado de Adsorción de la RSEQ*, (2), 5-12. Recuperado de [http://www.adsorcion.com/uploads/revistas/MAyC\\_numero%208.pdf](http://www.adsorcion.com/uploads/revistas/MAyC_numero%208.pdf)
- Katusich, O. y Maris, S. (2016). Materiales Naturales alternativos para la remoción de hidrocarburos en suelos. Materiales en adsorción y catálisis. *Revista del Grupo Especializado de adsorción de la RSEQ* (8). Argentina.
- Koseoglu, H. (2015). *Biotemplated Luffa cylindrica for the oil spill clean-up from seawater*. Recuperado de: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2016.1152513?scroll=top&needAccess=true>

- Lehmann, J. y S. Joseph. (2009). Biochar for Environmental Management. Recuperado de <https://blogs.cornell.edu/cicca/files/2015/03/Biochar-for-Environmental-Management-An-Intorduction-ww6b3n.pdf>
- Leon, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. Pág. 120. Recuperado de: [https://books.google.com.co/books?id=NBtu79LJ4h4C&dq=REGIONES+DE+COLOMBIA+kenaf&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.co/books?id=NBtu79LJ4h4C&dq=REGIONES+DE+COLOMBIA+kenaf&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Lim, T. y Huang, X. (2006). Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*, 66(5), 955-963. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16839589>
- López, P., (2014). *Obtención de quitosano a partir de desechos del exoesqueleto de camarón títí (*xiphopenaeus riveti*) para el desarrollo de películas poliméricas plastificadas con glicerina* (tesis de pregrado). Universidad de San Buenaventura, Santiago de Cali, Colombia. Recuperado de [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/3127/1/Obtencion\\_quitosano\\_desechos\\_lopez\\_2014.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/3127/1/Obtencion_quitosano_desechos_lopez_2014.pdf)
- Mac, E. (2017). *Habitat de los lirios acuáticos*. Ehowo en español. Recuperado de: [http://www.ehowenespanol.com/habitat-lirios-acuaticos-sobre\\_419767/](http://www.ehowenespanol.com/habitat-lirios-acuaticos-sobre_419767/)
- Mansour, T. y Aqsha, N. (2016). Development of oil-spill sorbent from straw biomass waste: Experiments and modeling studies. *Journal of Environmental Management*, 171. p 166-176
- Martínez, A.L, 2014. *Científica usa plumas de pollo para descontaminar agua*. Milenio Diario, S.A de C.V [http://www.milenio.com/cultura/plumas-descontaminar-agua\\_0\\_335966412.html](http://www.milenio.com/cultura/plumas-descontaminar-agua_0_335966412.html).
- Martínez, M. (2013). *Remediación de agua contaminada con petróleo utilizando pennisetum clandestinum como bioadsorbente* (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1989/1/T-UCE-0008-04.pdf>
- Martínez, P., Rodríguez, I., Esperanza, G. y Leiva, J. (2013). Caracterización y evaluación del bagazo de caña de azúcar como biosorbente de hidrocarburos. *Saber*, 27(3), 441-453. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/saber/v27n3/art10.pdf>
- Molina, M. (Julio, 2014). A partir de las plumas de pollo desarrollan membrana para remover metales pesados en aguas contaminadas. Conacyt. Recuperado de: <http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/78-a-partir-de-las-plumas-de-pollo-desarrollan-membrana-para-remover-metales-pesados-en-aguas-contaminadas>.
- Moriwaki, H., Kitajima, S., Kurashima, M., Hagiwara, A., Haraguchi, Z., Shirai, K., Kanekatsu, R. y Kiguchi, K. (2008). Utilization of silkworm cocoon waste as a sorbent for the removal of oil from water. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2), 266-270. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410012409>
- Nguyen, N. y Pignatello, J. (2013). Laboratory Tests of Biochars as Absorbents for Use in Recovery or Containment of Marine Crude Oil Spills. *Environmental Engineering*

- Science*, 30(7), 374-380. Recuperado de <http://web.b.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=10928758&AN=89528644&h=YRSZ8%2bPgV6Scz6lmtlNhlK%2fZ5yI8xsHVc8UMBxLSAzTM%2bjNRb6ikMFdH4gfPb3D78gxEyaPINUZIFYi7idYSOQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=logi n.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawle r%26jrnl%3d10928758%26AN%3d89528644>
- Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, G. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Ingeniería e Investigación*, 26(2), 20-27. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-56092006000200003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092006000200003&lng=es&nrm=iso)
- Ortiz, D., Andrade, F., Rodríguez, G. y Montenegro, G. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua. *Ingeniería e Investigación*, 26(2), 20-27. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-56092006000200003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092006000200003&lng=es&nrm=iso)
- Othman, M., Akil, H. y Kim, J. (2008). Carbonaceous *Hibiscus cannabinus L.* for treatment of oil – and metal – contaminated water. *Biochemical Engineering Journal* 41, 171 – 174.
- Pérez, N., Cuervo, A., Martínez, C., Montes, C., Herrera, F., Madriñán, S. y Jaramillo, C. (2017). Paleogene *Salvinia* (Salviniaceae) from Colombia and their paleobiogeographic implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 246, 85-108. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034666716302007?via%3Dihub>
- Periolatto, M. y Gozzelino, G. (2015). Greasy Raw Wool for Clean-up Process of Marine Oil Spill: from Laboratory Test to Scaled Prototype. *The Italian Association of Chemical Engineering*, 43, 2269-2274. doi: 10.3303/CET1543379
- Piacente, P., (2010). *Nueva técnica para purificar agua contaminada por petróleo*. Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. Recuperado de [http://www.tendencias21.net/Nueva-tecnica-para-purificar-agua-contaminada-por-petroleo\\_a4618.html](http://www.tendencias21.net/Nueva-tecnica-para-purificar-agua-contaminada-por-petroleo_a4618.html)
- Portafolio, (Agosto, 2017). Este año aumentara producción de pollo y huevos. Portafolio. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/el-sector-avicola-crecera-503863>.
- Portafolio. (2017). *Creció la producción de arroz mecanizado del país*. Portafolio. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/crece-produccion-de-arroz-mecanizado-en-colombia-503335>
- Presa, J. (2015). Estructura, composición y clasificación de la madera. *Artículos de divulgación técnica sobre acabado, cuidado y protección de la madera, Albura – Cedria*, 1(1). 4. Recuperado de: <http://blog.cedria.es/wp-content/uploads/2015/04/ALBURA-N1-ESTRUCTURA-COMPOSICION-Y-CLASIFICACION-DE-LA-MADERA.pdf>

- Prieto, J. y Rueda, A. (s.f), Elaboración de una membrana con la planta acuática *Salvinia* Con fitorremediación por derrames de hidrocarburos en ambientes marinos. Recuperado de <https://docslide.net/documents/salvinia-correcto.html>
- Procesos de remediación de agua subterránea en ambientes de baja permeabilidad. (2013). Gidahatari (Gestión sostenible del agua). Recuperado de: <http://gidahatari.com/ih-es/procesos-remediacion-aguas-subterraneas-ambientes-baja-permeabilidad>
- Que son y para qué sirven las esponjas vegetales* (2017). Recuperado de: <http://www.esponjasvegetales.com/que-es-y-para-que-sirve-esponja-vegetal-luffa-loofah.html>
- Rajakumar, R. y Sankar, J. (2006). Biochar for Sustainable Agriculture – A Review. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 2(9).174. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/311641161\\_Biochar\\_for\\_Sustainable\\_Agriculture\\_-\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/311641161_Biochar_for_Sustainable_Agriculture_-_A_Review)
- Rajkovich S, Enders A, Hanley K, Hyland C, Zimmerman AR, and Lehmann J (2012). Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biol Fertil Soils*, 48(3), 271–284. doi: 10.1007/s00374-011-0624-7
- Rodríguez, A. (2014). Remediación sostenible de suelos contaminados o erosionados [diapositivas de PowerPoint]. Recuperado de [http://ccs.org.co/memoriascongreso/Files/Soluciones\\_integrales/ENVIROMENTAL\\_TECHNOLOGY-REMEDIACION\\_DE\\_SUELOS.pdf](http://ccs.org.co/memoriascongreso/Files/Soluciones_integrales/ENVIROMENTAL_TECHNOLOGY-REMEDIACION_DE_SUELOS.pdf)
- Rotar, O., Rotar, V., Iskrizhitsky, A., Sharipov, Z. y Pimenova A. (2015). *Adsorption of hydrocarbons using natural adsorbents of plant origin*. 16th International Scientific Conference “Chemistry and Chemical Engineering in XXI century” dedicated to Professor L.P. Kulyov
- Salazar, E. (2012). *Remoción de hidrocarburo mediante biopolímeros naturales: Efecto del tamaño de la partícula* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México
- Salazar, G. (2005). *Visión general del sector acuícola nacional - Colombia*. National Aquaculture Sector Overview Fact Sheets In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Recuperado de [http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_colombia/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es)
- Salinas, P. (2010). *Producción de harina de plumas de pollo y su utilización como un adsorbente de hidrocarburos en agua dulce* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui Ecuador.
- Sánchez, G., Mercado, F. y Olguin, E. (2013). Leaves and Roots of *Pistia stratiotes* as Sorbent Materials for the Removal of Crude Oil from Saline Solutions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 224(2), 1-4. doi: 10.1007/s11270-012-1421-0
- Sayyad, J., Vared, M. y Zendeboudi, S. (2015). Natural Sorbent for Oil Spill Cleanup from Water Surface: Environmental Implication. *Industrial y Engineering Chemistry Research*, 54(43), 10615-10621. doi: 10.1021/acs.iecr.5b01715

- Schahczenski, J. (2010). Biochar and Sustainable Agriculture. *National Sustainable Agriculture Information Service*. Recuperado de <http://www.pacificfarmers.com/wp-content/uploads/2015/08/biochar.pdf>
- Serret, N., Giralt, G. Y Quintero, M. (2016). *Caracterización de aserrín de diferentes maderas*, 36(3). 395-405. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso). ISSN 2224-6185.
- Sidik, S., Jalil, A., Triwahyono, A., Adam, S., Satar, M. y Hameed B. (2012). Modified oil palm leaves adsorbent with enhanced hydrophobicity for crude oil removal. *Chemical Engineering Journal*, 203. 9-18. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894712008625>
- Sierra, M. y Jiménez, R., (2016). *Caracterización de los nanomateriales para restaurar derrames de hidrocarburos en zonas afectadas en Colombia* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Sierram, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia* (tesis de maestría). Universidad de Sucre. Sincelejo, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/211/2/333.794S571.pdf>
- Silvani, L., Vrchotova, B., Kastanek, P., Demnerova, K., Pettiti, I. y Papini, M. (2017). Characterizing Biochar as Alternative Sorbent for Oil Spill Remediation. *Scientific Report*, 7(43912), 1-2, doi: 10.1038/srep43912.
- Singh, V., Kendall, R., Hake, K. y Ramkumar, S. (2013). Crude Oil Sorption by Raw Cotton. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(18), 6277-6282. doi: 10.1021/ie4005942
- Srinivasan, A. y Viraraghavan, T., (2009). *Oil removal from water using biomaterials*. University of Regina, SK, Canada.
- The Economist en línea (2011). *A golden fleece?*. Roma: The Economist Group. Recuperado de [https://www.economist.com/blogs/babbage/2011/05/cleaning\\_up\\_oil\\_spills](https://www.economist.com/blogs/babbage/2011/05/cleaning_up_oil_spills)
- Torres, F., (Diciembre, 2011). Desastre petrolero en las costas de Nigeria. *Veo Verde*. Recuperado de <https://www.veoverde.com/2011/12/desastre-petrolero-en-las-costas-de-nigeria/>
- University Of Florida (2014). *Biodegradation of the deepwater horizon oil in Florida marsh ecosystems and exploration of novel passive remediation strategies- Final report*. Recuperado de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:iLuoHoM-hNgJ:https://www.fio.usf.edu/research/fio-block-award-gri-year-1-funds%3Fdownload%3D36:biodegradation-of-the-oil-spill-in-fl-marsh-ecosystems-and-exploration-of-novel-passive-remediation-strategies+&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=es>
- Vargas, J. (2017). *Lirio acuático: fortaleza en la gestión ambiental*. Foro en Materia Ambiental y Ecológica, con enfoque y visión municipal. Recuperado de: [http://www.cefimslp.gob.mx/V2/images/Presentaciones/Foro\\_San\\_Luis\\_Sustentable\\_2017/2017-Lirio\\_Acuatico.pdf](http://www.cefimslp.gob.mx/V2/images/Presentaciones/Foro_San_Luis_Sustentable_2017/2017-Lirio_Acuatico.pdf).

- Velasco, H., Andrade, R., Pérez, C., Trejo, M. y Zayas R. (2017). *Utilización de lirio acuático en la remediación de suelo contaminado con aceite residual*. Recuperado de: [http://web.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/congresos/OAXACA%202004/carteles/T92-T121.pdf](http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/OAXACA%202004/carteles/T92-T121.pdf)
- Villar, R. y Albuquerque, J. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal* (tesis doctoral). Recuperado de <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>
- Vinent, E., Fajardo, O., Batista, R., Martínez, A., Sánchez, A., Beltrán, L., Diago, E. y Nuñez, J. (2011). *Explotación sostenible del kenaf (Hibiscus cannabinus, L.). I. Absorbentes naturales de hidrocarburos*. Temas de ciencia y tecnología. Recuperado de: [http://www.utm.mx/edi\\_anteriores/temas44/2NOTAS\\_44\\_1.pdf](http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas44/2NOTAS_44_1.pdf)
- Vlaev, L., Petkov, P., Dimitrov, A. y Genieva, S. (2011). Cleanup of water polluted with crude oil or diesel fuel using rice husks ash. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, Science Direct*. 957 – 964.
- Wang, J., Zheng, Y., Kang, Y. y Wang, A. (2013). Investigation of oil sorption capability of PBMA/SiO<sub>2</sub> coated kapok fiber. *Chemical Engineering Journal*, 223, 632-637.
- Zárate, L. (2015). *Biosorción de hidrocarburos solubles en agua mediante fracciones de la cáscara de coco* (tesis de maestría). Recuperado de [http://www.ipicyt.edu.mx/actividades\\_resumen.php?evento=2991](http://www.ipicyt.edu.mx/actividades_resumen.php?evento=2991)
- Zeiger, C., Rodrigues, I., Mail, M., Kavalenka, M., Barthlott, W. y Hölscher, H. (2016). Microstructures of superhydrophobic plant leaves - inspiration for efficient oil spill cleanup materials. *Bioinspiration y Biomimetics*, 11(5), 1-9. doi: 10.1088/1748-3190/11/5/056003