



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“Revisión bibliográfica del uso de adsorbentes orgánicos residuales en el  
tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos”.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

López Aquino, Cheryl Alexandra (ORCID: 0000-0002-5596-6318)

**ASESOR:**

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TARAPOTO – PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

A mis queridos Padres, por apoyarme, enseñarme a ser fuerte y luchar por mis ideales.

A mis amados hermanos Fiorella, María Fernanda, Renzo, Dyego, María Solange, María de Fátima, Carlos y Cesar; mis adorados sobrinos Valentina y Emanuel; quienes son la razón de mi vida.

A mi Mamita Nancy por motivarme siempre y darme todo el amor del mundo.

## **Agradecimiento**

A Dios, por protegerme, darme fe y salud para continuar con mis metas.

A mi docente el Dr. Lorgio Valdiviezo, por su comprensión, constante apoyo y orientación para la presente investigación, muchas gracias.

A mi maestra Karina, quien ha seguido paso a paso esta investigación.

De un modo especial, a mis Padres Juan y María, mi eterna gratitud hacia ustedes, por brindarme una excelente educación, velar por mis ideales, motivarme incondicionalmente y ser mi fortaleza.

A mi hermana Fiorella, por su amor, ánimos, compañía y protección siempre.

A mi querido Mauricio, por ser mi gran apoyo y alentarme cada segundo a ser mejor.

A mis segundos padres Doris y Dery, por nunca darme la espalda y apoyarme siempre a lograr mis objetivos.

## Índice de contenidos

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>Realidad Problemática.....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos, formulación del problema y justificación.....</b>	<b>5</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 Hidrocarburos.....	8
2.2 Adsorción.....	12
2.3 Compuestos Orgánicos Residuales.....	18
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Tipo y diseño de investigación.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 Escenarios de estudio.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Participantes.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>28</b>
<b>3.6 Procedimientos.....</b>	<b>28</b>
<b>3.7 Rigor científico.....</b>	<b>29</b>
<b>3.8 Método de análisis de información.....</b>	<b>30</b>
<b>3.9 Aspectos éticos.....</b>	<b>30</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>50</b>

## Índice de tablas

Tabla 1: <i>Composición elemental del petróleo crudo</i> .....	8
Tabla 2: <i>Clasificación del petróleo crudo según el contenido de azufre</i> .....	8
Tabla 3: <i>Fases de una mancha superficial de un vertimiento</i> .....	9
Tabla 4: <i>Tipos de Adsorción</i> .....	13
Tabla 5: <i>Diferencias entre Adsorción Física y Química</i> .....	13
Tabla 6: <i>Factores influyentes de Adsorción</i> .....	14
Tabla 7: <i>Modelos de Equilibrio de Adsorción</i> .....	15
Tabla 8: <i>Modelos Cinéticos</i> .....	17
Tabla 9: <i>Categorías y matriz de categorización</i> .....	26
Tabla 10: <i>Resultados de Mecanismo de Adsorción</i> .....	33
Tabla 11: <i>Resultados de Capacidad de Adsorción</i> .....	34
Tabla 12: <i>Resultados de Eficiencia de Adsorción</i> .....	35

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: <i>Perforación en desarrollo, durante el período 2011- 2020</i> .....	9
Gráfico 2: <i>Mecanismo de Adsorción</i> .....	11
Gráfico 3: <i>Adsorción mediante barreras continuas</i> .....	11
Gráfico 4: <i>Adsorción mediante aplicación directa</i> .....	12
Gráfico 5: <i>Adsorción mediante paños continuos y almohadillas</i> .....	12
Gráfico 6: <i>Diagrama de energía en comparación</i> .....	13
Gráfico 7: <i>Modelos de Equilibrio de Adsorción</i> .....	15
Gráfico 8: <i>Resultados de Compuestos Orgánicos Residuales</i> .....	32

## Resumen

La presente investigación tiene por objetivo realizar una revisión bibliográfica de distintos compuestos orgánicos residuales reportados en la literatura para la adsorción de hidrocarburos en agua, siendo esta una investigación básica, revisando (20) estudios que sustentan el uso de adsorbentes orgánicos. Los resultados indican que el 60% de las investigaciones, basan sus estudios empleando residuos orgánicos de tipo restos de frutas, el 30% fundamentaron sus estudios en compuestos orgánicos con residuos de madera y el 10 % en compuestos orgánicos residuales de cabello humano y animales, respecto a los mecanismos de equilibrio y cinética, los estudios señalan que los más empleados son la Isoterma de Langmuir y Modelo cinético de Pseudo segundo orden, en un 60% y 80% respectivamente, en cuanto a la capacidad y eficiencia de los compuestos, varía según sus propiedades físicas y químicas, así mismo las propiedades del compuesto por adsorber. La capacidad varía entre los 118.5 mg/g y 950 mg/g y la eficiencia en un orden de 65% a 98%, Así los compuestos orgánicos residuales demuestran que son potenciales adsorbentes de hidrocarburos, que además pueden ser limpiados y reutilizados en algunos compuestos hasta 10 veces, esto a su vez permitirá analizar otros tipos de tratamientos y compuestos químicos adicionales que permitan mejorar las propiedades de los compuestos orgánicos residuales y presenten mayor capacidad de adsorción.

**Palabras clave:** hidrocarburos, adsorbentes, isotermas, cinética.

## **Abstrac**

The present research aims to carry out a bibliographic review of different residual organic compounds reported in the literature for the adsorption of hydrocarbons in water, this being a basic research, reviewing (20) studies that support the use of organic adsorbents. The results indicate that 60% of the researches, based their studies using organic residues of fruit remains type, 30% based their studies in organic compounds with wood residues and 10% in residual organic compounds of human and animal hair, regarding the balance and kinetic mechanisms, the studies indicate that the most used are Langmuir's Isotherm and Pseudo second order kinetic model, in 60% and 80% respectively, regarding the capacity and efficiency of the compounds, varies according to their physical and chemical properties, as well as the properties of the compound to be adsorbed. The capacity varies between 118.5 mg/g and 950 mg/g and the efficiency in the order of 65% to 98%. Thus, the residual organic compounds demonstrate that they are potential hydrocarbon adsorbents, which can also be cleaned and reused in some compounds up to 10 times.

**Keywords:** hydrocarbons, adsorbents, isotherms, kinetics



# **I. INTRODUCCIÓN**

El agua es un líquido indispensable para la vida, la salud, los alimentos, la industria, los fines recreativos; por lo que no debe presentar ningún tipo de poluciones que afecte su calidad. Sin embargo, a nivel mundial es un problema fundamental, en su mayoría ocasionado por la acción del hombre.

La escasez de agua válida para el consumo y el carente saneamiento son la principal causa de enfermedades en todo el mundo, todos los años, a diario mueren aproximadamente dos millones de personas, que en su mayoría son niños, a causa de enfermedades transmitidas por el agua (ONU, 2015, p.8).

La explosión del pozo Macondo, de la compañía British Petroleum, ocurrido el 2010, al norte del Golfo de México, generó efectos devastadores en los humedales y hábitats bentónicos, que tardarán más de una década en recuperarse del impacto, afectando la producción primaria, y la etapa inicial de la cadena alimenticia de especies marinas, como de aves acuáticas (Echeverría, 2016, p.33).

Según Zárate la contaminación por hidrocarburos se puede dar tanto en ecosistemas acuáticos como terrestres. De ahí la necesidad e importancia de desarrollar tácticas para controlar la contaminación, y que estos sean efectivos y económicamente viables (2015, p.17).

Songsaeng (2019, p.80) señala que el medio ambiente y los ecosistemas, sufren efectos catastróficos debido a los derrames de petróleo; así pues, se ha reportado en animales vivos residentes de la bahía Barataria, Luisiana, se identificaron 9 enfermedades pulmonares y suprarrenales, sugiriéndose como causa probable la exposición a los residuos de petróleo (Colegrove, 2016, p.119).

A nivel nacional, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA, confirmó que en la Amazonía peruana, ocurrió un nuevo derrame de petróleo teniendo lugar en el oleoducto Shiviycu Capahuari sur del Lote 192, situado en el distrito de Andoas, provincia de Datem del Marañón, operado por la empresa

Frontera Energy Corporation. Según el dirigente de federación indígena, se perjudica a mil personas de las comunidades de Nuevo Jerusalén y Nuevo Nazaret en Andoas, Loreto, (2018, párr. 1).

Estas fugas y derrames, pueden ocurrir durante la extracción, transporte, almacenamiento del petróleo, como resultado un gran número de acuíferos son contaminados; deteriorando el recurso y generando necesidades y enfermedades; también intensificando la lucha de las organizaciones indígenas, ya que suelen ser las más afectadas, debido a que sus zonas son principales fuentes de extracción.

De ahí la importancia de desarrollar una revisión bibliográfica que se centra en los adsorbentes naturales, pues son uno de los métodos más viables, rápidos y fácilmente disponibles para contrarrestar los derrames en aguas contaminadas y reducir su efecto sobre el medio ambiente.

Por lo expuesto anteriormente se plantea el siguiente objetivo general:

Realizar una revisión bibliográfica de distintos compuestos orgánicos residuales reportados en la literatura para la adsorción de hidrocarburos en aguas.

Y los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los mecanismos de adsorción involucrados en la remoción de hidrocarburos usando compuestos orgánicos residuales.
- Determinar la capacidad de adsorción que obtienen los compuestos orgánicos residuales, utilizados por distintos autores.

De este modo se presenta el siguiente problema general:

¿Cuáles son los compuestos orgánicos residuales más estudiados para la adsorción de hidrocarburos en aguas?

Así mismo los problemas específicos:

- ¿Cuáles es el principal mecanismo de adsorción involucrado en la remoción de hidrocarburos usando compuestos orgánicos residuales?
- ¿Qué capacidad de adsorción tendrán los compuestos orgánicos residuales, utilizados por distintos autores?

La investigación realizada se justifica en el hecho de haber observado que a la actualidad son pocas las revisiones bibliográficas respecto al uso de adsorbentes orgánicos residuales en aguas contaminadas por hidrocarburos, pese a la problemática mundial en cuanto a los constantes derrames de petróleo, que causan trágicos eventos en el medio ambiente acuático como terrestre, por ello este estudio indagó en distintas bases de datos, textos, para así obtener nuevos conocimientos sobre compuestos orgánicos residuales con mayor frecuencia en la adsorción y construir en un aporte teórico para los futuros investigadores y porque no, la sociedad en general.

## **II. MARCO TEÓRICO**

El petróleo crudo, es un líquido natural viscoso, inflamable, con un olor específico, algunas de sus propiedades se relacionan con su densidad, mientras otras se ven afectadas por el peso molecular (Vishnyakov, 2020, p.5). Es uno de los recursos energéticos más cruciales de la Tierra (Luo,2020, p.2) que contiene diferentes hidrocarburos puros, acompañados por fragmentos de algunos metales como vanadio, níquel y cobre (Carrillo, 2017, p. 17), aproximadamente el 40% de crudo pesado existe muchos metros bajo tierra (Wen,2016, p.741).

A continuación, se presenta la en la tabla 1 la composición elemental del petróleo crudo.

Tabla 1: *Composición elemental del petróleo crudo*

Elemento	Aceite crudo (%)
<b>Carbono</b>	82-88
<b>Hidrógeno</b>	11-15
<b>Azufre</b>	0.05-5
<b>Nitrógeno</b>	0.06-2
<b>Oxígeno</b>	0.2-2

Fuente: Elaboración propia – (Vishnyakov, 2020, p.6)

De acuerdo a la densidad, clasificada con valores numéricos identificados como grados API.

Tabla 2: *Clasificación del petróleo crudo según su densidad*

<b>Crudo</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>API</b>
<i>Extra pesado</i>	>1	10.0
<i>Pesado</i>	1.0 – 0.92	10.00 – 22.3
<i>Mediano</i>	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
<i>Ligero</i>	0.87 – 0.83	31.1 – 39.0
<i>Super ligero</i>	<0.83	39.0

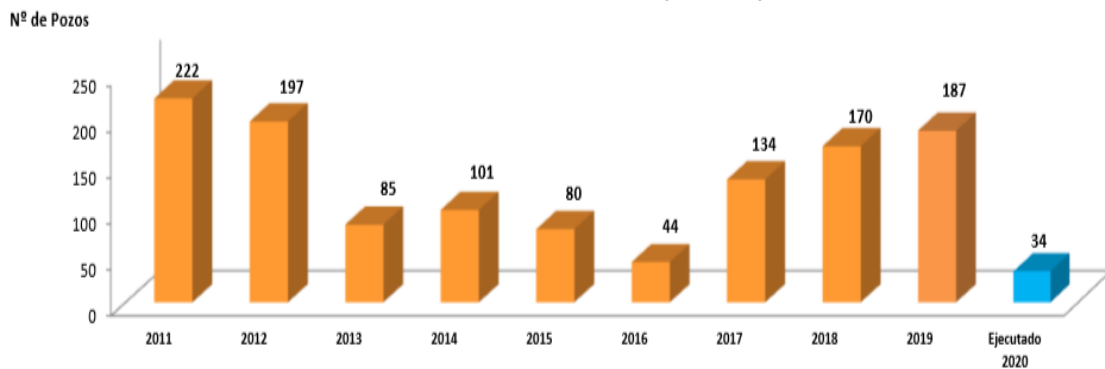
Fuente: Elaboración propia – (Instituto Americano de Petróleo).

Velásquez, menciona que los hidrocarburos son combustibles fósiles empleados en todo el mundo como alternadores fundamentales (2017, p. 152); los de mayor peso molecular, estuvieron por largos períodos en procesos de evaporación,

difusión, dilución, concentración, acción química, fotoquímica y bacteriana, etc. (Tinoco, 2019, p. 53). Actualmente la extracción está colocándose cada vez más en regiones apartadas y biodiversas, (Wen, 2016, p. 740) generando una serie de impactos ambientales y socioeconómicos (Bozigar, 2015, p.126), que no reciben la atención debida (Benedetti, 2014, p.116).

En la siguiente figura, se muestra la cantidad perforaciones para extracción de hidrocarburos, hasta el año 2020.

Gráfico 1: *Perforación en desarrollo, durante el período 2011- 2020.*



Fuente: PeruPetro, 2020.

(PeruPetro, 2016, p.5), el Perú es país abundante en hidrocarburos, sosteniendo más de 18 cuencas sedimentarias, la mayoría de ellas en la selva, (Figueroa, 2016, p. 163) son escasos los trabajos presentados sobre Hidrocarburos y sus efectos; (Ahmad, 2020, Párr..3) aun sabiendo que son tóxicos, genotóxicos, cancerígenos y mutagénicos para los organismos.

El vertimiento de petróleo produce la formación de una mancha superficial que, causan efectos catastróficos en el medio ambiente y el ecosistema, (Songsaeng, 2019, p. 80) además, efectos adicionales, como el aumento de la demanda bioquímica de oxígeno y originando estados anóxicos (Velásquez, 2017, p. 155).

Tabla 3: *Fases de una mancha superficial de un vertimiento*

<b>Fase volátil - Evaporación</b>	Ocurre con los compuestos ligeros, ocurre inmediatamente después del derrame y su evolución.
-----------------------------------	--

<b>Fase dispersa</b>	Consiste en la disgregación de la mancha de crudo en gotas de diferentes tamaños que se introducen en la columna de agua.
<b>Fase de dilución</b>	Las fuerzas mecánicas tales como fuerzas de inercia, gravedad, viscosidad y tensión superficial provocan una expansión significativa de la mancha de crudo

Fuente: Elaboración propia – (Afenyo,2016, p. 208)

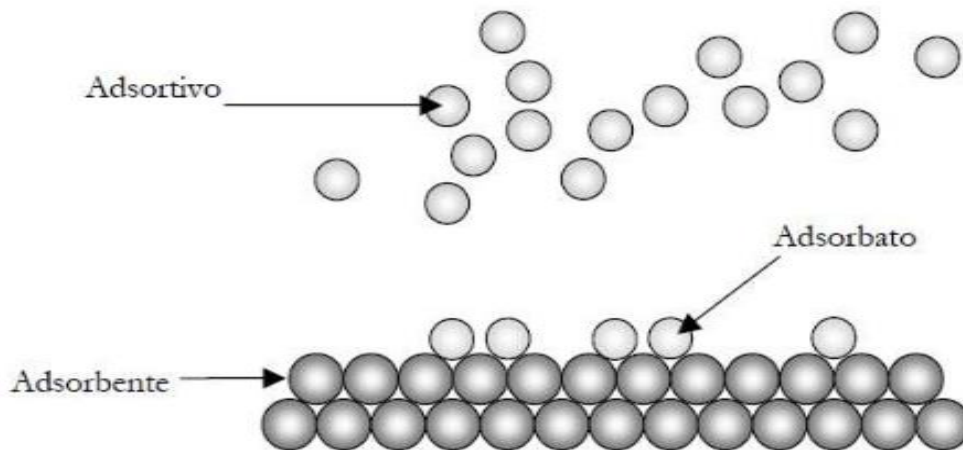
Pese a realizarse grandes esfuerzos de eliminación, los residuos orgánicos, presentan serias dificultades, por eso, es crucial investigar nuevas metodologías eficientes y económicas (Ramírez, 2015, p. 25). Melo, indica que, en los países desarrollados, el plátano es una de las frutas más valiosas, la cáscara y tallo generan residuos de gran porcentaje (2015, p.78); así como en nuestro país existe abundancia de coco, llegando en los últimos años a superar las 35 mil toneladas, en su mayoría en la Selva peruana, en especial en San Martín. (MINAGRI, 2015, párr. 6).

La necesidad de generar mayor economía, hace que ciertas acciones humanas sean negativas para el medio ambiente (Garzón, 2017, p. 310), ocasionando controversias que nos (Gil, 2015, p.118) obligan a implementar herramientas para minimizar el potencial efecto que llevan consigo los derrames de hidrocarburos, el cual debe tener atención de la sociedad en general; (Díaz, 2018, p. 290) costo, conveniencia y eficiencia son (AMR, 2019, p. 205) la razón, los biodegradables se convierten en el centro de atención actual para la fabricación de adsorbentes de hidrocarburos, así como también. El Gheriany (2020, p. 925) considera que el uso de uso de adsorbentes es uno de los métodos más eficaces (Rodríguez, 2017, p.19) para adsorber concentrar y transferir el petróleo derramado. Por su parte Zárate (2015, p. 9), refiere que la adsorción significa que sustancias presentes en un fluido son acumuladas sobre una fase sólida, a este constituyente removido se conoce como adsorbato y el sólido donde se retiene se denomina adsorbente.

En el siguiente gráfico, se muestra que la sustancia a adsorber recibe el nombre de adsortivo, que al adherirse a la superficie del adsorbente cambia a adsorbato:



Gráfico 2: Mecanismo de *Adsorción*



Fuente: Zárate, 2015, p. 10.

Por consiguiente, Churipard (2019, p.129) menciona que son pocos los reportes de adsorción en derrames de petróleo por lo que hay una gran demanda para el desarrollo de adsorbentes (Castillo, 2017, p.38) empleados controlar los derrames en acuíferos, los que deben poseer alta flotabilidad antes y después del proceso de adsorción, (Larios, 2019, p.48) pudiendo ser materiales de bajo costo, como residuos orgánicos, que llevan consigo características de ser hidrófobas y tener alta porosidad, (Aarab, 2020, p. 11) a las que por medio de la tasa de adsorción, podemos evaluar la eficiencia que presenta.

Gráfico 3: Adsorción mediante barreras continuas



Fuente: ITOPF, 2012, p.4.

Gráfico 4: Adsorción mediante aplicación directa



Fuente: ITOPF, 2012, p.6; Castillo, 2017, p.52.

Gráfico 5: Adsorción mediante paños continuos y almohadillas.



Fuente: ITOPF, 2012, p.8.

La adsorción puede clasificarse en química (o quimisorción) y adsorción física (o fisisorción), según del tipo de interacciones que participan en el proceso (Cabal, 2009, p.23). La fisisorción, es cuando las moléculas de adsorbatos y también el propio adsorbente mantienen su propia Individualidad, dando lugar a unos calores de adsorción de unas pocas kcal/mol. (Rodríguez, 2015, p.8), para Waals y Duque, como se menciona en (Devi, 2017, p.12), consiste en la unión entre la superficie del adsorbente y las fuerzas de atracción electrostática o de Van der Waals, (Rodríguez, 2015, p.9) Por otro lado, la adsorción química, trata de un fenómeno con calores de adsorción más elevados, (Martinez, 2017, p.5) las partículas se unen en las superficies formando un enlace químico con valores alrededor de  $200 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . En la siguiente tabla, se indica los tipos de adsorción más estudiados y utilizados.

Tabla 4: *Tipos de Adsorción*

Adsorción Física	Adsorción Química
Originada por las fuerzas de Van der Waals, en el que el adsorbato se fija en el adsorbente a través de fuerzas débiles.	Los enlaces de interacción entre adsorbato y adsorbente son fuertes, prácticamente un enlace químico.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Arroyo (2018, p.46); Ramos, (2017, p. 58).

De tal modo, se establecen las diferencias más significativas entre los tipos de adsorción.

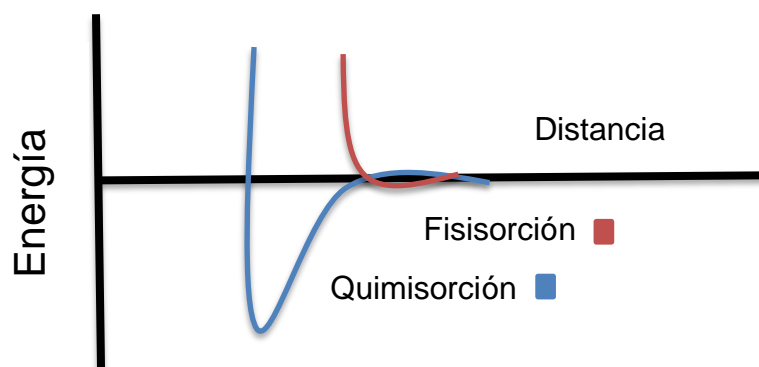
Tabla 5: Diferencias entre Adsorción física y Adsorción química:

Fisiorción	Quimisorción
Multicapas	Monocapa
Interacción de largo alcance, pero débil.	Mayor entalpía, enlaces fuertes.
Significativa a temperatura relativamente bajas	Posible en un amplio intervalo de temperatura
Reversible	Irreversible
Sin transferencia de electrones, pero puede polarizar el adsorbato.	Existe transferencia de electrones con un enlace entre el adsorbato y adsorbente.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Martínez, 2017, p.6

A continuación, se presenta el diagrama, donde se muestra la fuerza de interacción de la adsorción química y adsorción física.

Gráfico 6: Diagrama de energía en comparación; Adsorción: química-física.



Fuente: Elaboración propia- Merino (2016, p. 12).

Seguidamente se indican los factores comunes que están influenciados en la adsorción:

Tabla 6: *Factores influyentes en la adsorción*

<b>Factores Influyentes</b>	
Área superficial	Se define como la parte disponible para la adsorción.
Naturaleza del adsorbato	Relación entre la solubilidad del adsorbente y el grado de adsorción
Concentración del ion hidrogeno (pH)	El pH del adsorbente puede afectar el pH del adsorbato.
Temperatura	A mayor temperatura, mayor adsorción, o en algunos casos viceversa.
Solutos presentes en la mezcla	Los elementos pueden actuar independientemente o entre sí.
Naturaleza del adsorbente	Las características fisicoquímicas pueden presentar dificultades o progreso en la capacidad de adsorción.

Fuente: Elaboración propia a partir de lo mencionado por Kovach, en (Abanto, 2018 p.17).

El mecanismo y la naturaleza del proceso de adsorción pueden ser interpretados usando el equilibrio y cinética de adsorción (Devi, 2017, p.23).

Las isotermas de Adsorción, son conocidas como el equilibrio de adsorción y es uno de los aspectos más importantes a estudiar (Carbonel, 2018, p.263), son representadas gráficamente (Martinez, 2017, pág.7), la concentración del adsorbato en la solución y la concentración de adsorbato en la superficie (Ureta, 2017, p.18) describiendo el modo de cómo interactúa el adsorbato con la superficie del material adsorbente (Lavado, 2016, p.408), proporcionando el dato básico, de cuánto es capacidad que tiene un sólido para adsorber y cómo varían esas cantidades con la presión y la temperatura (Casquero, 2015, p.111) que a menudo se utilizan para modelos experimentales, los cuales no realizan afirmaciones sobre los mecanismos ocultos (Vargas, 2019, p.8). Con el objetivo

de determinar la cantidad adsorbida en la superficie del adsorbente y la concentración de equilibrio (Phele, 2019, p.259) se han utilizado varios modelos isotérmicos: Langmuir, Freundlich, Tempkin y Dubinin-Radushkevich (Carrillo, 2017, p.596) aunque por lo común, se utilizan las isothermas de Langmuir y Freundlich (Castillo, 2017, p.22). Además, la isoterma de Redlich-Peterson es capaz de representar los equilibrios de adsorción en un amplio rango de concentración y puede ser aplicado sistemas homogéneos como heterogéneos (Tran, 2017, p.28). Dichos modelos se muestran en la siguiente figura:

Gráfico 7: Modelos de equilibrio de adsorción

Isoterma	Ecuación	Parámetros del modelo
Langmuir	$q_e = q_{max}(K_L C_e / (1 + K_L C_e))$	$K_L, q_{max}$
Freundlich	$q_e = K_F C_e^{1/n}$	$K_F, n$
Langmuir - Freundlich	$q_e = q_{max} K_{LF} C_e^{1/nLF} / (1 + K_{LF} C_e^{1/nLF})$	$K_{LF}, q_{max}, n_{LF}$
Dubinin - Radushkevich	$q_e = q_{max} \exp(-(RT \ln(C_e/C_s) / \beta E_o)^2)$	$\beta, q_{max}$
Temkin	$q_e = (RT/b_T) \ln(A_T C_e)$	$b_T, A_T$
Redlich - Peterson	$q_e = K_R C_e / (1 + \alpha_R C_e^{\beta R})$	$K_R, \alpha_R, \beta_R$

Fuente: Carbonel, 2018, p. 266.

También, otros autores presentan las isothermas de adsorción, del siguiente modo:

Tabla 7: Modelos de equilibrio de adsorción

Isoterma de Langmuir	$\frac{1}{X/M} + \frac{1}{b} + \frac{1}{ab} X \frac{1}{C_e}$	X: Masa del adsorbato (mg) M: Masa del adsorbente (mg) Ce: Concentración de soluto restante (mg/l) a: Coeficiente (constante). b: Constante	La capacidad máxima de adsorción, es producida por el cubrimiento completo en monocapa de la superficie adsorbente.
Isoterma Freundlich	$\log \frac{X}{M} = \log K_f + \frac{1}{n} X \log C_e$	X: Masa del adsorbato (mg) Ce: Concentración de soluto restante en equilibrio (mg/l) M: Masa del adsorbente (mg) Kf: Constante n: intensidad de adsorción	Asume que la superficie del adsorbente es heterogénea, en primer lugar, ocupan las posiciones de mayor afinidad y posteriormente se va ocupando el resto, para un crecimiento multicapa.

		Ce: Concentración en la solución.	
Isoterma de Redlich-Peterson	$\frac{q_e}{q_m} = \frac{(K_{LF} C_e)^{n_{LF}}}{1 + (K_{LF} C_e)^{n_{LF}}}$	Qe: Cantidad adsorbida de soluto por unidad de masa (mg). Qm: Adsorción máxima por unidad de masa de adsorbente (mg). Ce: Concentración en fase líquida Klf: Constante del tipo de la ecuación de Langmuir.	Combina los elementos de las ecuaciones de Langmuir y Freundlich, teniendo como mecanismo un híbrido único.
Isoterma de Dubinin-Radushkevich	$\ln q_e = \ln q_{max} - B_{DR} \epsilon^2$	Ce: concentración del adsorbato en el equilibrio (mg/L). Qe: capacidad de adsorción (mg/g). Qmáx: máxima capacidad de adsorción (mg/g). BDR: constante relacionada a la energía de adsorción. E <sup>2</sup> :Potencial de Polanyi, es un parámetro que se obtiene de la ecuación	Considera que el mecanismo de adsorción se expresa mediante una distribución de energía Gaussiana
Isoterma de Temkin	$q_e = \left(\frac{RT}{b}\right) \ln A + \left(\frac{RT}{b}\right) \ln C_e$	Qe: Capacidad de adsorción en el equilibrio (mg.L-1). Ce: Concentración de soluto presente en la solución en el equilibrio (mg.L-1). T: Temperatura absoluta (Kelvin) R: Constante universal de los gases (8,314 J.mol-1) ln: Constante b: Está relacionada con el calor de adsorción.	Se caracteriza por la distribución uniforme de energía hasta alcanzar la máxima energía de unión

Fuente: (Cayo, 2019, p.20) (Guevara, 2016, p.149) (Castellar, 2013, 11 p. 66, 75).

Según García, la cinética es la velocidad del proceso de adsorción (2012, p. 122), es decir, son utilizados para determinar cómo se manifiesta la velocidad en una transferencia de masa (Zárate, 2015, p.56), indicando la rapidez de interacción, el cual es una característica importante que define la eficiencia de un adsorbente. (Amaringo, 2018, p.17). Existen varios modelos cinéticos de adsorción, como el modelo de pseudo-primero orden, el modelo de pseudo-segundo orden, el modelo de Elovich y la transferencia de masa (Wang, 2020, p.10), sin embargo, los modelos comúnmente utilizados son los modelos cinéticos de primer y segundo

orden (Mahmoud, 2019, p.2), aunque la mayoría de estudios informan que el modelo cinético de pseudo segundo presenta mejores resultados (Devi, 2017, p. 21). Por otro lado, Tejada manifiesta que la cinética de adsorción indica el desarrollo de las etapas y el tipo de reacción que intervienen en todo el proceso (2016, p.118).

Tabla 8: Modelos Cinéticos

Modelo Cinético	Ecuación	Parámetros	Descripción
Modelo de pseudo primer orden:	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	$q_e$ : Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g). $q_t$ : Capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g). e: Equilibrio $k_1$ : Constante (g/mg.min). T: Tiempo	Describe la adsorción sobre sólidos, de compuestos disueltos en fase líquida.
Modelo de pseudo segundo orden:	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t$	$q_e$ : Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g). $q_t$ : Capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g). e: Equilibrio $k_2$ : Constante (g/mg.min). t: Tiempo	Basado en formación de enlaces en una monocapa de superficie.
Modelo de Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$	$q_t$ : Capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g). t: Tiempo $\alpha$ : Constante (mg/g min) $\beta$ : Exponente (g/mg)	Explica que los sitios activos del adsorbente son heterogéneos.
Modelo de difusión intrapartícula	$q_t = k_3 \sqrt{t}$	$q_t$ : Capacidad de adsorción en el tiempo t (mg/g). t: Tiempo $k_3$ : Constante (g/mg.min).	Describe la quimisorción de fases sobre superficies sólidas considerando un intercambio de especies en la superficie homogénea del sólido.

Fuente: (Candelaria, 2016, p.119) (Vargas, 2019, p.8) (Arroyo, 2018, p. 58).

Tran menciona que algunos de los adsorbentes orgánicos para remover hidrocarburos han sido cáscara de coco verde, bagazo de caña de azúcar,

quitina, quitosano, aserrín de bambú y pino, y cáscara de arroz (2015, p.363), para Prieto, las cenizas de bagazo de caña, poseen un conjunto de propiedades superficiales, gran superficie específica, alta estabilidad térmica, capacidad de adsorción (2017, p.64). Por su parte, Villegas (2017, p.66) comenta que al realizar el proceso de molienda al coco, se obtiene una cascarilla de nuez; éste presenta capacidades de remoción de crudo con filtración de 90-99% debido a sus capacidades oleofílicas. Sin embargo, Tejada (2015, p.60) señala otros compuestos, entre los más utilizados se tienen: cáscara de naranja, limón, coco, cacao, uvas, encontrándose en cada una característica óptima de adsorción; (Alaa, 2017, p.2062) así como también la cáscara de plátano, que demuestra una alta capacidad de adsorción para la limpieza de derrames de petróleo, además (Serred, 2016, p.396) los residuos forestales como el aserrín de pino, por su ligeres y porosidad, da pie a una capacidad de adsorción elevada.

Rincones et al, llevaron a cabo una investigación experimental para la adsorción de hidrocarburos (querosene, diésel y heptano) en una columna de lecho fijo, con bagazo de caña de azúcar, previamente hidrofobadas por un surfactante no iónico. Los valores de capacidad de adsorción fueron 1.105,7 mg/g, 760,6 mg/g, 1,368 mg/g respectivamente. La eficiencia de remoción de hidrocarburos fue superior al 90% lo que muestra que aplicando el bagazo de caña de azúcar hidrofobado con surfactante, se obtienen gran remoción de hidrocarburos de petróleo en aguas (2015, p. 441-250).

Denisova (2016, p.1742-1749), en este estudio, aplica los residuos madereros, los cuales son una prometedora fuente de materiales de adsorción para extraer petróleo. Se realizó un tratamiento de aserrín mezclado con 3% de ácido nítrico, colocando una malla en una placa de Petri, luego se vertieron 50 cm<sup>3</sup> de aceite y 1 g de aserrín, obteniendo mayor capacidad de adsorción de petróleo de 43,2% y 37,4%, además de un 97% de eficiencia, para las muestras de aserrín tratadas con un 3% de HNO<sub>3</sub>, lo que muestra que éste afecta al petróleo y aumenta la capacidad de adsorción. Determinando que el aserrín es un residuo económico y de gran abasto, efectivo, amigable con el ambiente y puede ser utilizado con éxito para la eliminación del petróleo derramado en el agua superficiales.



Palomino (2016, p.183-193), para este estudio de adsorción, se utilizó residuos de pelo de vacuno de curtiembre, los que fueron aplicados con hidrólisis ácida, evaluando el efecto del pH en la adsorción, así como el mecanismo de adsorción para lo cual se realizaron los estudios de las isothermas. Los ensayos se ajustaron al modelo de isoterma de Langmuir, entendiéndose que la adsorción es química - monocapa sobre la superficie del adsorbente, implicando un intercambio iónico; obteniendo un resultado de 321,20 mg de capacidad máxima de adsorción de Pb (II), concluyendo que los residuos de pelos tratados por hidrólisis ácida, pueden ser utilizados como adsorbentes eficientes.

Gran, emplea un residuo económico, amigable con el medio ambiente y altamente selectivo para adsorción de hidrocarburos, que además muestra altas propiedades hidrófobas y superoleofílicas. Se realizó con una combinación de aserrín y nanopartículas magnéticas de  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  que se dispersaron en una mezcla de 6 ml de hidrocarburos en 20 ml de agua; después de un minuto se removió el aserrín introduciéndolo en una solución de etanol por 5 minutos, para secarla a 110 °C durante 12 horas, para su posterior reutilización, a través de la isoterma de Langmuir, por energías químicas, obteniendo gran capacidad de adsorción de hasta 11,5 su peso en 1 minuto y también una eficaz reutilización; proporcionando una potencial habilidad de materiales de desecho para descontaminar aguas (2016, p.4-33).

Rodríguez, determinó el porcentaje de remoción de hidrocarburos empleando residuos de cachaza y bagazo de caña de azúcar. Para ello, los sistemas de experimentación se trabajaron en proporciones de suelo/residuo con cachaza y bagazo de 95:5, 90:10 y 85:15. Con un tiempo de 15 días en condiciones ambientales. Para el proceso de medición de la efectividad del bagazo y cachaza se analizaron las concentraciones de Hidrocarburos tipo F1 (C5-C10), F2 (C10-C28) y F3 (C28-C40). Las muestras realizadas por grupos, se mantuvieron a una temperatura ambiental por 15 días; para ello se distribuyó en tres tratamientos en relación a las proporciones. Por medio de un sistema de adsorción física, los sistemas de experimentación de bagazo presentaron mejor efecto removedor de HTP de hasta 61%, a diferencia de la cachaza que presentó 45% de efecto

removedor. indica que tanto el bagazo como la cachaza de caña de azúcar contribuyen a la remoción de hidrocarburos (2017, p.61-65).

Martínez, indica que el bagazo de caña, se sometió a un proceso de secado, molienda y tamizado para obtener una biomasa uniforme, y realizar una caracterización físico-química. Para determinar la capacidad de adsorción, se adaptó la metodología aplicada por Ortiz et al. y Salager y Forgiarini, basada en el protocolo canadiense Oil Sorbente, con el hidrocarburo seleccionado (32,7 °API). La fase experimental consiste en cada vaso de precipitado de 1 litro de capacidad se añadió la cantidad del hidrocarburo correspondiente, se tomó su peso (g) y se llevó a volumen final de 1 litro con agua destilada, luego fueron sumergidos en un termostato, se comenzó la agitación (450 rpm) y se le adicionó 1 g de bagazo, para un tiempo de contacto de 15 minutos. Las muestras fueron filtradas por escurrimiento de 1 h a través de un embudo de malla 0,125 mm. La cantidad de hidrocarburo agregado a cada frasco tenía una concentración inicial de: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; g de diésel por litro de agua, respectivamente. Al filtrado residual se le determinó el contenido de hidrocarburos por el método de extracción gravimétrica con hexano. Se realizaron 3 réplicas a dos temperaturas diferentes (35 °C y 45 °C), obteniendo un 65% de eficiencia de remoción. Su buen desempeño, abundancia, disponibilidad, bajo costo y biodegradabilidad, hacen del bagazo, un excelente material adsorbente sostenible (2017, p. 35-38).

Así mismo, Castillo utilizó Bagazo de caña y adicionalmente el Estopajo. Se evaluaron los parámetros físicos, para determinar la capacidad retención y su ejecución como contención en derrames de petróleo, determinando que el mecanismo de llevará a cabo por adsorción física. La concentración inicial del petróleo fue de 18.5 g para la adsorción de la caña de azúcar y de 15.6 g para el estopajo, el ensayo se realizó cinco veces, los datos obtenidos fueron la base de las isothermas de adsorción Freundlich. En condiciones estáticas se obtiene 9,10 g de adsorción por luffa y 10,90 gramos por bagazo (2017, p. 25-56).

Villabona, estimó el uso de aserrín de Cedro, ajustándolo al modelo de isoterma de Freundlich debido a que el enlace se da principalmente por fuerzas físicas basándose en una cinética de segundo orden. A los 180 minutos del proceso se alcanzó una remoción de 48,64 mg/g a un flujo de 0,1mL/s y 4 g de biomasa,

después, se empleó mejores condiciones hasta obtener la saturación de la biomasa, la cual se alcanzó al remover el 15% del aceite, logrando una capacidad de 62,93mg/g. Por lo tanto, se determinó que el aserrín de cedro conlleva un gran potencial para ser usado en la remoción de diésel (2018, p.31-44).

Díaz, tuvo por objetivo un material absorbente a base de bagazo de caña, realizando una preparación de 30 kg de material absorbente seca, sometido a un tratamiento con hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno, luego fabricó almohadillas con bolsas de malla de nylon, la prueba se realizó en una fase acuosa en movimiento con hidrocarburos, crudo ligero y crudo mediano, obteniendo valores de capacidad de 556 mg/g – 592 mg/g respectivamente, con una eficiencia del 90% mediante la isoterma de Lagmuir y el modelo cinético de pseudo segundo orden, el bagazo modificado por tratamiento químico se considera aceptable (2018, p.290-296).

Por otro lado; Rodríguez, evaluó el uso de biomasa residual como alternativa de remoción por medio de la adsorción. Tal es el caso de la cáscara de huevo, para la que se observó un mejor resultado empleando 6g de compuesto, con agitación constante de tres horas a temperatura de 25 °C, obteniendo una remoción de 46,29%. obteniendo una isoterma favorable, caracterizada por una carga relativamente elevada, vinculado a una adsorción en monocapa; por consiguiente, para el cabello humano, se alcanzó un mejor resultado, en un espacio de tres horas, a 100 rpm de agitación constante, temperatura de 25 °C. y 6g de cabello, con un mayor porcentaje de remoción de 74,80%, obteniendo una isoterma del tipo BET, que se caracteriza por presentar adsorción física-multicapas. La eficiencia como adsorbentes fue de 1,98 mg/g, y 3,19 mg/g respectivamente, lo que demuestra que la cáscara de huevo como el cabello humano son residuos orgánicos efectivos para remover aceites y grasas (2018, p.53-88).

En su estudio, Abanto y Taboada, utilizaron la fibra de coco, para determinar su capacidad de adsorción en tres hidrocarburos (kerosene, diésel y gasolina) a tres temperaturas (30, 50 y 70°C) y tres concentraciones de NaCl (300, 900 y 1500 mg NaCl), fue evaluada adaptando la norma ASTM F-726 y el protocolo

canadiense “Oil Spill Sorbents: Testing Protocol and Certification Listing Program” (SAIC, 1999). En el mecanismo se escogió los modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich, siendo Lagmuir el modelo que se ajustó más a los modelos experimentales; concluyendo que la fibra de coco demostró una mayor capacidad y eficiencia de adsorción para el diésel B5, hallándose un valor máximo de 98.762% a 50°C y 900 mg NaCl/L, con el modelo de isoterma de Langmuir que fue el que más se ajustó a los datos experimentales a 50°C, lo que indica que realizó mediante adsorción física, debido a que presenta un porcentaje significativo de adsorción a una temperatura media (2018, p. 29-53).

El artículo de Murrieta, presenta una evaluación de revisión de estudios acerca del aprovechamiento de residuos orgánicos de frutas, pero principalmente la cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) y su potencial uso para obtener carbón activado. La biomasa de naranja produce un alto contenido de compuestos orgánicos, con características sumamente aprovechables a la hora de someter a un mecanismo de activación química, además de tener la función para tratar el agua en cuanto a la eliminación de contaminantes. Para concluir, tras la evaluación de los trabajos se infiere que las biomazas lignocelulósicas de naranja son muy útiles ya que tuvieron mayor porcentaje de capacidad de adsorción y en consecuencia lograr un porcentaje mayor de remoción (2019, p.4-17).

Hussein, presenta el uso de un compuesto orgánico residual maderable. Se realizaron dos muestras: aserrín puro y aserrín con tratamiento de una mezcla de 200 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 0.5% en peso y 7 ml de peróxido de hidrogeno al 30%; el peso de los adsorbentes se registró antes y después para la medición de la capacidad de adsorción del aceite y agua. Se llenó 400 ml de agua de mar (3.5 % NaCl y 100 ml de petróleo) con el fin de simular una contaminación real, se dejó al aire libre durante 1 día para que se evaporen los componentes ligeros y volátiles, luego se colocaron tres gramos de aserrín sobre la superficie, después de 30 y 60 minutos, concluyendo que el tratamiento de aserrín con ácido mostró una mayor eficiencia de adsorción, mediante el mecanismo de quimisorción, el en diferentes condiciones de superficie y

temperaturas, la que mientras más alta, obtuvo mayor energía necesaria para que las partículas de aceite se adhieran al absorbente (2019, p. 1383-1389).

Por su parte; Songsaeng en su investigación aplicada utilizó corteza de caucho natural, a temperatura ambiente con 100 ml de agua de mar, ya que puede aumentar la doble capa eléctrica entre el sorbato y absorbentes, se le añadió 3g de aceite y un sistema de ondas generadas por un agitador (0-200 rpm); los materiales absorbentes fueron cortados en cubos ( $0,7 \times 0,7 \times 0,7 \text{ cm}^3$ ) y pesados; después se realizó el mecanismo físico- químico; fueron introducidos al sistema y retirados luego de 15 minutos. La capacidad de adsorción dependía de la densidad y la viscosidad del aceite, el de baja viscosidad (gasolina) se unió fácilmente en la superficie, mientras el aceite altamente viscoso (petróleo crudo) se manifestó lento, además la temperatura y las ondas son factores que afectan la capacidad. La isoterma de adsorción se aproximó a la isoterma de Langmuir y el método para la determinación de la capacidad de adsorción de petróleo se basó en el método de prueba estándar para el rendimiento del adsorbente (ASTM F726-12). Concluyendo que adicionando óxido de grafeno reducido al caucho natural se consiguió un aumento de la capacidad de adsorción de aceite de petróleo de 21 mg/g, afirmando que estos adsorbentes minimizan la generación de residuos en vertederos y reduce costos para la eliminación en derrames de petróleo (2019, p. 80-88).

Soliman, emplea una síntesis de nanopartículas de magnetita recubiertas de aserrín de madera con ácido, con el objetivo de aumentar la longitud de la cadena de hidrocarburo, por lo tanto, aumentar la naturaleza hidrofóbica, fue evaluado con el pH real de las muestras y a temperatura ambiente 25 °C. El análisis de los datos de equilibrio de adsorción de petróleo se ajustaba bien al modelo de Freundlich y los datos cinéticos en armonía con el pseudo segundo orden. A medida que la masa aumenta, la capacidad de adsorción para la eliminación de aceite y petróleo también aumenta, se alcanzaron valores máximos de 283.2 mg/g y 412.2 mg/g, siendo una novedosa nanotecnología amigable con el medio ambiente (2020, p.2-12).

### **III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El tipo de investigación por el objeto que busca se estima que es una investigación básica, está validado en la recopilación de información con el propósito de ampliar la base de conocimientos para teorías nuevas (Gersbach, 2018, p.12). Para el desarrollo de la presente investigación se ha recopilado información estadística, teórica, artículos científicos; con la finalidad de obtener una revisión bibliográfica que sustenten el uso de adsorbentes orgánicos.

El diseño de la investigación es diseño cualitativo narrativo de tópico. (Salgado, 2007, p.72), se recolecta información para describirla y analizarla, (Moriña, 2017, p.76) ser la conexión entre el estudio y la sociedad asegurando que reciban este conocimiento. Así mismo, en la presente investigación, se reúne datos acerca de la capacidad y eficiencia que tienen distintos compuestos orgánicos residuales; obtenidos de varias revistas y artículos científicos, los mismos que son analizados y descritos desde el proceso hasta la obtención; con el objeto de determinar cómo se lograron.

### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.**

En la siguiente tabla, se presenta los objetivos y problemas específicos, de los que se realizó una categorización

Tabla 09: Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis	
Identificar los compuestos orgánicos residuales que presentan mayores eficiencias en la adsorción de hidrocarburos.	¿Qué compuestos orgánicos residuales presentan mayores eficiencias en la adsorción de hidrocarburos?	Compuestos orgánicos residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de frutas.</li>   <li>• Residuos de madera.</li>   <li>• Residuos de cabello (humano-animal)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tran (2015, p.363)</li> <li>- Prieto (2017, p.64).</li> <li>- Villegas (2017, p.66)</li> <li>- Tejada (2015, p.60)</li> <li>- Zárate (2015, p. 9)</li> <li>- Alaa (2017, p.2062)</li> <li>- Rodríguez (2017, p.63)</li>   <li>- Serred (2016, p.396)</li> <li>- Gan (2016, p.4)</li> <li>- Villabona (2018, p.31)</li>   <li>- Tran (2015, p.363)</li> <li>- Palomino (2016, p.183)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Martínez (2017, p.35)</li> <li>- Castillo (2017, p. 25)</li> <li>- Rodríguez (2018, p. 55).</li> <li>- Abanto (2018, p.30).</li> <li>- Murrieta (2019, p.4)</li> <li>- Rincones et al (2015)</li> <li>- Díaz (2018)</li>   <li>- Soliman (2020)</li> <li>- Denisova (2016, p.1742)</li> <li>- Hussein (2019, p. 1383)</li> <li>- Songsaeng (2019, p.80)</li> </ul>





### **3.3. Escenario de estudio**

El escenario de estudio sobre los cuales se realizaron las investigaciones. pertenece a fuentes hídricas contaminadas particularmente por derrames de hidrocarburos, los que causan efectos negativos en el medio ambiente, ocasionando escases de agua apta para su consumo, perjudicando la salud de los seres vivos. Para contrarrestar estos efectos negativos, se investiga y aplica el uso de compuestos orgánicos residuales que tengan propiedades eficientes para remover dichos contaminantes.

### **3.4. Participantes**

El estudio recoge información en inglés y español, sobre el uso de compuestos orgánicos residuales para la adsorción de hidrocarburos en aguas de las fuentes que provienen de internet en libros, leyes, revistas, artículos calificados indexados como Scielo, Science Direct, Dialnet, Concytec, Scopus, BiBlat, Redalyc, Sci-hub, Google académico, páginas del gobierno, entre otros.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la presente investigación, se empleó la técnica de análisis de la información, para lo cual desarrolló una ficha de recolección de datos, que incluye la siguiente información de los antecedentes: Autor, título, objetivo, compuestos orgánicos residuales utilizados, metodología, resultado y conclusión, los cuales se presentan en el anexo N° 01.

### **3.6. Procedimiento**

Para el desarrollo de la investigación, se realizó una búsqueda de información, en documentos como libros, colecciones y capítulos de libros, leyes, normativas, estadísticas públicas, artículos de revistas indexadas; en bases de datos como Scielo, Science Direct, Dialnet, Concytec, Scopus, BiBlat, Redalyc, Sci-hub, Google académico, páginas del gobierno, entre

otros. Se comenzó la búsqueda por el idioma español con palabras claves como: Revisión bibliográfica, hidrocarburos, adsorción, datos estadísticos, clasificación, mecanismos, análisis, capacidad, eficiencia, metodología cualitativa, diseño narrativo. Así mismo en el idioma inglés, con palabras claves como: bibliographic review, analysis, hydrocarbons, adsorption, classification, typology, compounds, research basic, comparative study, efficiency, capacity, statistical data, qualitative, narrative design. Luego de obtener una cantidad considerable de información, se realizó un criterio de selección, empezando por priorizó la antigüedad, tipos de compuestos orgánicos residuales utilizados, procedimientos, tipo de contaminación (agua/suelo). Cabe señalar que, para los documentos en inglés, se utilizó la aplicación Deelp.

### **3.7. Rigor científico**

Para la evaluación del rigor científico, la presente investigación, radica en el correcto desarrollo de los siguientes criterios: Dependencia, credibilidad, transferencia y confirmabilidad (Varela, 2016, p.194).

La dependencia o Consistencia lógica: Se obtuvo mediante el uso de bases de datos para la búsqueda de información en documentos como libros, capítulos de libros, leyes, normativas, estadísticas públicas y artículos de revistas indexadas.

La credibilidad: Presenta credibilidad, debido a que la información extraída de artículos, libros, revisiones y otros; presentan resultados significantes y equivalentes al objeto de estudio; que además está registrado por varios investigadores.

Transferencia (aplicabilidad de resultados): Los estudios extraídos amplían sus resultados, en este caso se transfirió los conocimientos establecidos por los autores en su mayoría de estudios aplicados sobre compuestos orgánicos residuales comúnmente utilizados para un proceso de adsorción, diferido a un estudio de contexto bibliográfico.

Confirmación o Confirmabilidad: Se ha realizado una indagación de temas similares a la adsorción de hidrocarburos, recopilando y desarrollando conceptos, ideas, propósitos y resultados, que luego se analizaron con el fin de incluirlos en el cuerpo y desarrollo de la presente investigación.

### **3.8. Método de análisis de información**

Se analizó la información, realizando estrategias de búsqueda, seleccionando documentos bajo los criterios de inclusión y exclusión (Ronda, et al. 2014, p. 677), en el que se priorizó la antigüedad del documento extraído, para posteriormente categorizar la información relevante que se eligió, por variables del título y similitudes entre ellos, como es el tipo de adsorción, el tipo de adsorbente que se utilizó, documentos en inglés, en español; desarrollando tablas de datos e interpretando los resultados, para relacionarlos con los objetivos de la presente investigación.

### **3.9. Aspectos éticos**

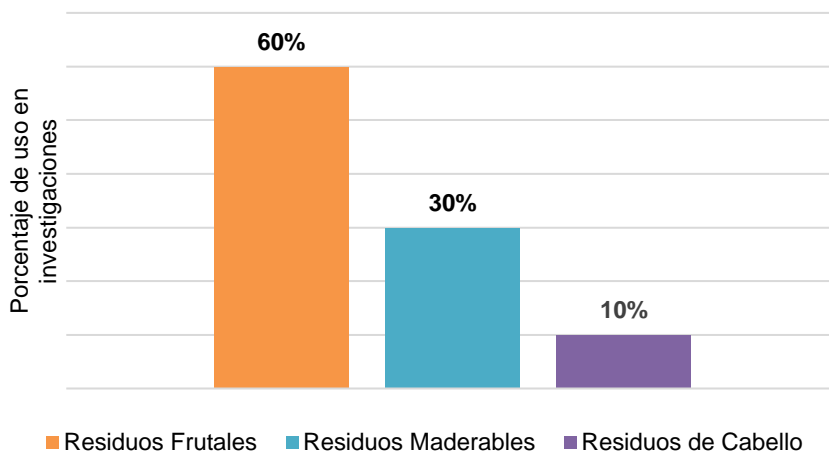
Las consideraciones éticas para la presente investigación es el respeto a la autoría de las fuentes de información: Las referencias fueron citadas correctamente con la adaptación de la norma de la International Organization for Standardization (ISO) 690 y las indicaciones estipuladas en la Guía de la Universidad Cesar Vallejo.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## COMPUESTOS ORGÁNICOS RESIDUALES

De acuerdo a los 20 estudios analizados, los compuestos orgánicos residuales mayormente investigados y empleados en la adsorción de hidrocarburos se presentan en el gráfico 8.

Gráfico 8: *Resultados de Compuestos Orgánicos Residuales usados en la elaboración de adsorbentes*



Los resultados sobre los compuestos orgánicos residuales mayormente estudiados para la adsorción de hidrocarburos, indican que el 60% de las investigaciones, basan sus estudios empleando residuos orgánicos de tipo restos de frutas, los cuales son: cáscaras y bagazo; el 30% fundamentaron sus estudios en compuestos orgánicos con residuos de madera, tal es el caso de aserrín de bambú, pino, cedro, entre otros. Por último, el 10 % basó sus estudios en compuestos orgánicos residuales de cabello humano y animal.

Unos residuos son más utilizados que otros debido a que llevan consigo características hidrófobas (repelen al agua) y oleofílicas (adsorben aceites), además, otros tienen mayor compatibilidad con ciertos compuestos químicos que aumentan la capacidad y eficiencia de adsorción.

## MECANISMO DE ADSORCIÓN

Los mecanismos de adsorción empleados en las investigaciones, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Resultados de Mecanismos de adsorción

Autor	Mecanismo	
	Isoterma	Cinética
Tran (2015)	Isoterma Lagmuir y Dubinin Radush	Modelo de Pseudo segundo orden
Tejada (2015)	Isoterma Freundlich	Modelo de Elovich
Rincones et al (2015)	Isoterma Freundlich	Pseudo Segundo orden
Denisova (2016)	Isoterma Lagmuir	Modelo de Pseudo Segundo orden
Palomino (2016)	Isoterma Lagmuir	Modelo de Pseudo Segundo orden
Gan (2016)	Isoterma Lagmuir	Modelo de Pseudo Segundo orden
Alaa (2017)	Isoterma de Redlich Peterson	Modelo de Pseudo Primer orden
Villegas (2017)	Isoterma de Freundlich	Pseudo Segundo orden
Rodríguez (2017)	Isoterma Freundlich	Pseudo Segundo orden
Martínez (2017)	Isoterma de Redlich Peterson	Modelo de Pseudo Primer orden
Castillo (2017)	Isoterma Freundlich	Pseudo Segundo orden
Villabona (2018)	Isoterma Lagmuir - Freundlich	Pseudo Segundo orden
Díaz (2018)	Isoterma Lagmuir	Pseudo Segundo orden
Rodríguez (2018)	Isoterma Lagmuir	Pseudo Segundo orden
Abanto (2018)	Isoterma Lagmuir	Pseudo Segundo orden
Murrieta (2019)	Isoterma Freundlich	Pseudo Segundo orden
Hussein (2019)	Isoterma Lagmuir	Pseudo Segundo orden
Songsaeng (2019)	Isoterma Lagmuir – Isoterma Freundlich	Pseudo Segundo orden
Soliman (2020, p.2-12).	Isoterma Freundlich	Pseudo primer orden

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de las investigaciones recolectadas, señalan que el mecanismo de equilibrio y cinética de adsorción para hidrocarburos usualmente se ajustan a la Isoterma de Langmuir y Modelo cinético de Pseudo segundo

orden, en un 60% y 80% respectivamente, lo que significa que el adsorbente tiene una superficie homogénea, con un número específico para adsorber las moléculas, las cuales llevan una energía independiente de la presencia de otras, es decir, no hay interacción entre moléculas retenidas limitándose a la formación de una monocapa.

Los datos experimentales son representados por determinadas isothermas debido a que indican la factibilidad de la adsorción, describiendo el modo de interacción del adsorbato con la superficie del material adsorbente, de ese modo proporcionar el dato básico, es decir, de cuánto es capacidad que tiene un sólido para adsorber y cómo varían esas cantidades con la presión y la temperatura; además, los modelos cinéticos señalan cuál es la velocidad del proceso de adsorción o cómo se manifiesta la velocidad en una transferencia de masa, indicando la rapidez de interacción, el cual es una característica importante que define la eficiencia de un adsorbente.

## CAPACIDAD Y EFICIENCIA DE ADSORCIÓN

La capacidad adsorptiva de los compuestos orgánicos residuales, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11: Resultados de Capacidad de adsorción

<b>Autor</b>	<b>Capacidad de Adsorción</b>
<i>Tran (2015)</i>	204.278 mg/g - 156 mg/g
<i>Tejada (2015)</i>	385,80 mg/g - 356,86 mg/g
<i>Rincones et al (2015)</i>	1.105,7 mg/g – 760,6 mg/g – 1,368 mg/g
<i>Denisova (2016)</i>	254.6 mg/g
<i>Palomino (2016)</i>	321.20 mg/g
<i>Gan (2016)</i>	950 mg/g
<i>Alaa (2017)</i>	794 mg/g
<i>Villegas (2017)</i>	528 mg/g
<i>Rodríguez (2017)</i>	149.08 mg/g - 132.4 mg/g
<i>Martínez (2017)</i>	505.4 mg
<i>Castillo (2017)</i>	115 mg/g - 110 mg/g
<i>Villabona (2018)</i>	629.3 mg/g
<i>Díaz (2018)</i>	556 mg/g – 592 mg/g
<i>Rodríguez (2018)</i>	118.5 mg/g - 191.5 mg/g
<i>Abanto (2018)</i>	824.7 mg/g - 769.3 mg/g - 633 mg/g



<i>Murrieta (2019)</i>	258.26 mg/g
<i>Hussein (2019)</i>	442 mg/g
<i>Songsaeng (2019)</i>	215 mg/g - 170.4 mg/g
<i>Soliman (2020)</i>	283.2 mg/g - 412.2 mg/g

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de los compuestos orgánicos residuales, varía según sus propiedades físicas y químicas, así mismo las propiedades del compuesto por adsorber. Para el caso de los residuos frutales el nivel de adsorción más bajo presenta 110 mg/g utilizando bagazo de estropajo, por el contrario, utilizando bagazo de caña se obtiene 1.368,0 mg/g.

La eficiencia de adsorción de los compuestos orgánicos residuales, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Resultados de Eficiencia de adsorción

<b><i>Autor</i></b>	<b><i>Eficiencia de Adsorción (%)</i></b>
<i>Tran (2015)</i>	90%
<i>Tejada (2015)</i>	93%
<i>Rincones (2015)</i>	99.8 % - 94.3% - 93.3 %
<i>Denisova (2016)</i>	97%
<i>Palomino (2016)</i>	96%
<i>Gan (2016)</i>	98%
<i>Alaa (2017)</i>	94%
<i>Villegas (2017)</i>	90 %
<i>Rodríguez (2017)</i>	70%
<i>Martínez (2017)</i>	65.1%
<i>Castillo (2017)</i>	73%
<i>Villabona (2018)</i>	74.5 %
<i>Díaz (2018)</i>	90%
<i>Rodríguez (2018)</i>	71% - 73%
<i>Abanto (2018)</i>	93.9% - 85.88% - 98.762%
<i>Murrieta (2019)</i>	95%
<i>Hussein (2019)</i>	72%
<i>Songsaeng (2019)</i>	82%
<i>Soliman (2020)</i>	92 % - 96%

Fuente: Elaboración propia

La eficiencia de los compuestos orgánicos residuales, varía en función a los criterios dentro del proceso, como la temperatura, peso de adsorbente, cantidad

de fluido, tiempo de adsorción, características hidrófobas del compuesto. El porcentaje de eficiencia más bajo, lo presenta Rodríguez (2017), con el uso de bagazo de caña natural, obteniendo un 65.1 % reconociendo que en este estudio no se agregó ningún otro compuesto que mejore las propiedades de adsorbente por ende su eficiencia, por el contrario, utilizando bagazo de caña hidrofobado con surfactante se obtiene una eficiencia de 99.8 %.

## **V. CONCLUSIONES**

Las conclusiones del presente estudio fueron las siguientes:

Las investigaciones reunidas, indican que los compuestos orgánicos residuales más estudiados para la adsorción de hidrocarburos, son en un 60% estudios empleando residuos orgánicos de tipo restos de frutas, los cuales son: cáscaras y bagazo; el 30% fundamentaron sus estudios en compuestos orgánicos con residuos de madera, tal es el caso de aserrín de bambú, pino, cedro, entre otros. Por último, el 10 % asentó sus estudios en compuestos orgánicos residuales de cabello humano y animal.

Las propiedades físicas y químicas de los compuestos orgánicos residuales en especial las propiedades hidrófobas que poseen, demuestran que son potenciales adsorbentes de hidrocarburos, pues los resultados varían entre los 118.5 mg/g y 1.368,0 mg/g, además pueden ser limpiados y reutilizados, en algunos casos hasta 10 veces.

Los compuestos orgánicos residuales que presentan mayores eficiencias de adsorción son los residuos de frutas, en su mayoría con valores significativos en un orden de 90 % a 99.8 %, de acuerdo a los estudios los compuestos presentan altos niveles de eficiencia, cuando se encuentran involucrados con un o varios compuestos químicos.

Los mecanismos de adsorción, se identifican mediante el equilibrio y cinética de adsorción, los que interpreta mejor la naturaleza de la adsorción en cuanto a la isoterma y cinética que más se ajustan a los compuestos estudiados, es el modelo de Langmuir y el de Pseudo segundo orden, en un 60% y 80% respectivamente, lo que significa que el adsorbente tiene una superficie homogénea, limitándose a la formación de una monocapa.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

1. Realizar una evolución histórica de los compuestos orgánicos residuales empleados en la adsorción de hidrocarburos, puesto que, es necesario saber las propiedades que estos contenían y en qué medida aumentaron su capacidad de adsorción, con la finalidad de superar dichos resultados.
2. Ampliar el desarrollo de la investigación, mediante una nueva variable la cual es el recurso suelo, así como también la adsorción de otros tipos de contaminantes, mediante la aplicación de compuestos orgánicos residuales.
3. Realizar pruebas experimentales utilizando otros compuestos residuales y diferentes productos de hidrocarburos para su uso en la remoción y recuperación de aceites en las etapas finales de limpieza.
4. En la medida posible, analizar otros tipos de tratamientos y compuestos químicos adicionales que permitan mejorar las propiedades de los compuestos orgánicos residuales y presenten mayor capacidad de adsorción.

## REFERENCIAS

- AARAB, Nouh. [et al]. Removal of an emerging pharmaceutical pollutant (metronidazole) using PPY-PANi copolymer: Kinetics, equilibrium and DFT identification of adsorption mechanism, *Groundwater for Sustainable Development*. Journal Pre-proof. 11 pp. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100416>.
- ABANTO, Fernando; Taboada, Eduardo. "Uso de la fibra de coco para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos - agua y su relación con la salinidad y temperatura". Tesis (pregrado) Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú. 2018, 29-53 pp.
- AFENYO, Mawuli & Khan, Faisal & Veitch, B. & Yang, Ming. Modeling oil weathering and transport in sea ice. *Marine Pollution Bulletin*. 208 pp., 2016. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.070
- AHMAD, F., ZHU, D. y SUN, J. Bacterial chemotaxis: a way forward to aromatic compounds biodegradation. *Environmental Science Europe* [en línea], 32: 3 párr. (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00329-2>.
- ALAA El-Din, G., Amer, A. A., Malsh, G., & Hussein, M. (2017). *Study on the use of banana peels for oil spill removal. Alexandria Engineering Journal*. DOI :10.1016/j.aej.2017.05.020
- AMARINGO, Fredy; Hormaza Angelina. Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio y cinética. *Revista Tecnura*, 22(56): 17. (2018). DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12961>
- AMR, Ismail; Huda, Sheshtawy & Nagla, Khalil. Biorremediation process of oil spill using fatty-lignocellulose sawdust and its enhancement effect. *Egyptian Journal of Petroleum* 28:205 pp. 2019. Doi.org:10.1016 /j.ejpe,2019.03.002
- ARROYO, Laura; Ruiz, Diana. Determinación de la cinética en vertimientos del sector agrícola cultivos energéticos, sobre carbón activado comercial. Universidad de América. Bogotá. 46,58 pp. 2018.

- BENEDETTI, Maura [et al]. Environmental Hazard from natural hydrocarbons seepage: Integrated classification of risk from sediment chemistry. *Environmental Pollution* 185 :116 pp, 2014. Science direct. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.023>
- BOZIGAR, M., Gray, C. L., & Bilsborrow, R. Oil Extraction and Indigenous Livelihoods in the Northern Ecuadorian Amazon. *World Development*, 78: 126,128 pp. 2016. DOI: 10.1016/j.worlddev.2015.10.035
- CABAL, María. Depuración de efluentes contaminados por hidrocarburos aromáticos policíclicos mediante carbones activados: evaluación del proceso de adsorción. Universidad de Oviedo. Tesis (doctorado). 23 pp. 2009.
- CARBONEL, Dalia. Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética. vol.23 (3): 263-266 pp. 2018. ISSN 0121-750X.
- CARRILLO, Laura. Evaluación de la influencia de características fisicoquímicas ambientales y de hidrocarburos, de derrames en ríos, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 17 pp. 2017.
- CARRILLO, Francisco [et al]. Adsorption of chromium from steel plating wastewater using blast furnace dust. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 33 (4): 596 pp. 2017. ISSN 0188-4999.
- CASTILLO Velandia, Ángela Esperanza. Absorbentes naturales en la mitigación del impacto adverso causado por derrames de crudo en fuentes hídricas. Tesis (pregrado). Universidad Libre, Bogotá, 2017. 25-56 pp.
- CASTELLAR, Grey [et al.] equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVZ Córdoba* 24(2): 7232-7238. 2019. ISSN: 1909-0544
- CASQUERO, Juan. Adsorción de hidrocarburos sobre gamma-alumina. Universidad copulente de Madrid. Tesis (doctoral). 111 pp. 2015.



- CAYO, Richar; Montalvo, Claudia. Cinética e Isotermas de adsorción de iones de Arsénico (III). Universidad Peruana Unión. 149 pp. 2019
- CHURIPARD, S. R. [et al.]. Porous Polydivinylbenzene (PDVB) as an Efficient Adsorbent for Hydrocarbons: Effect of Porogens on Adsorption Capacity. Chemical Engineering Journal, 129 pp. 2019. DOI: 10.1016/j.cej.2019.122481
- COLEGROVE, K. T. Fetal distress and in utero pneumonia in perinatal dolphins during the Northern Gulf of Mexico unusual mortality event. Diseases of Aquatic Organisms, 2016. 119 pp.
- DECRETO SUPREMO N° 037-2008-PCM. El Peruano Lima, miércoles 14 de mayo de 2008.
- DENISOVA, Tatiana, [et al.]. The Influence of Ash Tree Sawdust Acid Treatment On the Removal of Crude Oil from Water Surfaces. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 7 (5): 1742-1750 pp. 2016. ISSN: 0975-8585
- DEVI, Parmila; SAROHA, Anil. Utilization of sludge based adsorbents for the removal of various pollutants: A review. Science of The Total Environment, 578:12, 21, 23 pp. 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.220
- DIAZ, Miguel. Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas y suelos. Rev. Cubana Química: 30 (2): 290, agosto, 2018. ISSN: 2224-5421.
- ECHEVERRIA, Adan. Apuntes sobre el derrame de petróleo del Deepwater Horizon, y la exploración en aguas profundas en el Golfo de México. Xenankó, el último hábitat, No. 0: 33 pp. [en línea], Setiembre 2016. Disponible en ResearchGate.
- EL GHERIANY [et al.] Oil spill sorption capacity of raw and thermally modified orange peel waste. Alexandria Engineering Journal, 59(2): 925 pp. 2020. DOI: 10.1016/j.aej.2020.03.024

- FIGUEROA [et al.]. Degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos de residuos de barrido de calles usando compost Revista de sociedad química del Perú 82 (2): 163 pp. ISSN 1810-634X 2016
- GAN, Wentao, [et al.] Removal of oils from water surface via useful recyclable CoFe 2O<sub>4</sub>/sawdust composites under magnetic field. Materials & Design. 98: 1-35. 2016. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.03.018
- GARCÍA Norma [et al.] Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de agua. Revista de Estudios Territoriales. 14(1): 122. 2012 ISSN: 1405-8626.
- GARZÓN, Jennyfer; Rodríguez, Juan & Hernández, Catalina. Revisión del aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. Rev Univ. Salud. 2017;19(2):310. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- GERSBACH, Hans. [et al.] Basic and Applied Research, Journal of Economic Dynamics & Control, 12 pp. 2018. DOI: 10.1016/j.jedc.2018.03.007
- GIL, Diego [et al.]. Environmental sensitivity index for oil spills in marine and coastal areas in Colombia Journal CT&F, 6 (1): 118 pp. June 2015. ISSN 0122-5383
- GUEVARA, Maria [et al.]. Simulador de isothermas de adsorción de Langmuir, Freundlich y Tempkin en diferentes bioadsorbentes. Revista Tlamati. 7: 149 pp. 2016.
- HUSSEIN, Siti. [et al.]. Study of Acid Treated Mixed Sawdust as Natural Oil Sorbent for Oil Spill. 19: 1383,1389 pp., 2019. ISSN: 1382–1389
- LARIOS Giles, Gerson Arturo. Evaluación de tres métodos de tratamiento químico de la fibra de coco para su uso como absorbente de diésel en agua. Tesis (pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú. 48 pp. 2019.

- LAVADO, Carmen; JIMÉNEZ, Franklin. Estudio de la biosorción de plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maíz (zea mays). Rev. Soc. Química. Perú. 82(4): 408 pp. 2016.  
ISSN: 1810-634X
- LUO, Z., [et al.] Photothermal hierarchical carbon nanotube/reduced graphene oxide microspherical aerogels with radially orientated microchannels for efficient cleanup of crude oil spills. Journal of Colloid and Interface Science. 2 pp. 2020. DOI: 10.1016/j.jcis.2020.02.097
- MAHMOUD, Abdel [et al.]. Adsorption mechanism and modelling of hydrocarbon contaminants onto rice straw activated carbons. Polish Journal of Chemical Technology. 21: 2 pp. 2019. DOI:10.2478/pjct-2019-0032
- MARTÍNEZ, Pastrora [et al.] e Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [en línea]. 51(2), 35-38 pp., 2017. ISSN: 0138-6204
- MARTINEZ, Susana. Evaluación sobre el uso de arcillas para la adsorción de colorantes utilizados en la industria textil. [Tesis de Doctorado]. Argentina, La Plata. 6-7 pp. 2017.
- MELO, Diana [et al.]. Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (musa paradisiaca spp) Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [en línea],13(2): 78 pp. julio - diciembre 2015. DOI:10.18684/BSAA(13)76-85.
- MERINO, Miguel; Marín, Francisco. Aplicaciones de adsorbentes y catalizadores en procesos medioambientales y energéticos. Universidad internacional de Andalucía servicio de publicaciones Monasterio de Santa María, 12 pp. 2016.  
ISBN: 978-84-7993-309-8
- MORIÑA, Anabel. Investigar con historias de vida. Metodología biográfico narrativa. Revista de Investigación en Educación 15(1): 76 pp., abril, 2017. ISSN 2172-3427.

- MURRIETA, Lley. Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (*Citrus Cinensis*) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales. 5-17 pp. 2019
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Derrame de petróleo ocurrido en el Lote 192 en Loreto, 2018. Disponible: [eofa.gob.pe/Noticias](http://eofa.gob.pe/Noticias) (mayo, 2016). Extraído de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=19061](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=19061)
- Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería. (OSINERGMIN), Normas legales/normativa sectorial/Hidrocarburos. Párr.6, 2015 Disponible: [Osinermin.gob.pe](http://Osinermin.gob.pe)
- Organización de las Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida», 8 párra. 2015. 32950—DPI/2378
- PALOMINO, Carmen; Vargas, Rocío & Visitacion, Lizardo. Aprovechamiento de pelos de vacuno del proceso de pelambre enzimático de las curtiembres. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 82(2): 183-193 pp. 2016. ISSN 1810-634X
- PERUPETRO. Actividades de exploración y explotación de hidrocarburos en el Perú. 2016, 2019, 2020. [en línea].
- PHELE, Mokete; Ejidike, Ikechukwu & Mtunzi, Fanyana. Adsorption efficiency of activated macadamia nutshell for the removal Organochlorine pesticides: Endrin and 4,4-DDT from aqueous solution. *Journal Pharm. Sci. & Res.* Vol. 11(1): 258-262 pp. 2019. ISSN: 0975-7459
- PRIETO, Julio. Estudio de la adsorción en ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Revista centro azúcar* 1 (44): 64, julio-septiembre, 2017. ISSN: 2223- 4861
- RAMÍREZ, Laura, AZUARA, Araceli y MARTÍNEZ, J. Merced. Adsorción del naranja de metilo en solución acuosa sobre hidróxidos dobles laminares. *Revista Acta universitaria*, 25 (3): 25 pp. junio 2015. ISSN 0188-6266.
- RAMOS, Roberto. Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida. [en línea] 58 pp. 2017.

- RINCONES, Félix [et al.] Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar. *Saber*, Universidad de Oriente, Venezuela 27 (3): 441-453. 2015. ISSN: 2343-6468
- RODRIGUEZ, Alfonso. Biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos mediante sistemas bio-absorbentes Universidad de Granada. 12,19 pp. 2017. ISBN: 978-84-9163-647-2
- RODRÍGUEZ, Geldres. Remoción de hidrocarburos totales mediante residuos de Cachaza y Bagazo de caña de azúcar. *UCV - Scientia* 9(1):61-65 2017. DOI: [dx.doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v9n1a6](https://doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v9n1a6)
- RODRÍGUEZ, Maricruz. Proceso de biosorción a través de materiales de origen orgánico como alternativa para disminuir el contenido de aceites. *Universidad de Carabobo, Venezuela*. 53-88 pp. 2018.
- RONDA, Elena [et al.] Características generales de los artículos originales incluidos en las revisiones bibliográficas. *Rev. Esp. Salud Publica*. 88 (6) 677 pp. 2014. ISSN 2173-9110. DOI:10.4321/S1135-57272014000600002.
- SALGADO, Ana. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit* 13: 72, setiembre, 2007. ISSN: 1729-4827.
- SERRET, Nurian; Giral, Giselle & Quintero, Mairet. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *RTQ [online]*, 36 (3):396 pp. 2016. ISSN 2224-6185.
- SONGSAENG, S., Thamyongkit, P., & Poompradub, S. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills. *Journal of Advanced Research*. 80-88 pp. 2019. DOI: 10.1016/j.jare.2019.05.007
- SOLIMAN, Ezzat; Ahmed, Salwa & Fadl, Aliaa. Adsorptive removal of oil spill from sea water surface using magnetic wood sawdust as a novel nano-composite synthesized via microwave approach. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2-12 pp. 2020. DOI: 10.1007/s40201-019-00440-4.

- TEJADA, Calendaria. [et al]. Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana. *Prospect*.13 (1): 60, junio 2015. DOI: <https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.360>
- TEJADA, Calendaria; Villabona, Ángel & Garcés, Luz. Adsorción usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*.18(34): 118, 119. 2015. ISSN: 0123-7799.
- TINOCO, Jesús. Concentración y composición de hidrocarburos derivados del petróleo en aguas, sedimentos y peces de la bahía de Cartagena. *Bol, Cient. CIOH Cartagena (Colombia)* 6: 5, enero 2019. ISSN 0120 0542
- TRAN, Hai [et al.] Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review. *Water Research*, 120 (88): 28 pp. 2017- DOI: 10.1016/j.watres.2017.04.01
- TRAN, Son Van. [et al.] Typical low cost biosorbents for adsorptive removal of specific organic pollutants from water for, *Bioresource Technology* [on line] 182: 353-363, april, 2015. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.02.003
- URETA, Anais. Evaluación de la capacidad de adsorción de las arcillas organofílicas para la adsorción de nitratos y nitritos en soluciones acuosas. Pontificia Universidad Católica Del Perú Escuela De Posgrado. Tesis (postgrado). 18 pp. 2017.
- VARELA, Margarita; Vives, Tania. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa. 5(19): 194. DOI: 10.1016/j.riem.2016.04.006
- VARGAS, Karen. Evaluación de un adsorbente natural a partir de residuos de cascara de mandarina. Universidad de Bogotá. 8 pp. 2019.
- VELÁSQUEZ, Johana. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(1): 152-155, enero 2017. ISSN: 2145-6097. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
- VILLABONA, Ángel; Tejada, Candelaria & Tejada, Lesly. Adsorción de diésel en solución acuosa sobre aserrín cedro (*cedrela odorata* L.) en columna de lecho

fijo. Revista Investigaciones Andina. 35(19): 31-44. 2018. DOI: 10.33132/01248146.946. ISSN 0124-8146

VILLEGAS, Juan [et al.] Remoción de hidrocarburos de agua de producción de la industria petrolera por Revista DYNA, 84(202): 66 pp. setiembre 2017. ISSN 0012-7353

VISHNYAKOV, V., Suleimanov, B., Salmanov, A., & Zeynalov, E. Hydrocarbon and oil reserves classification. Primer on Enhanced Oil Recovery, 5–6, pp, 2020. doi:10.1016/b978-0-12-817632-0.00002-5


WEN, Z., [et al.] Classification and hydrocarbon distribution of passive continental margin basins. Petroleum Exploration and Development, 43(5): 740, 741 pp. 2016 doi:10.1016/s1876-3804(16)30089-1

ZÁRATE, Víctor. Biosorción de hidrocarburos solubles en agua mediante fracciones de la cáscara de coco. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales). Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica. Potosí, Bolivia, 2015. 17,10, 9. pp.

## **Anexos**



## Anexo 1: Ficha de análisis de contenidos

	<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>
<b>Título</b>	“Revisión Bibliográfica del uso de adsorbentes orgánicos residuales en el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos”.
<b>Autor</b>	Cheryl Alexandra Lopez Aquino
<b>Palabras claves</b>	Hidrocarburos, adsorbentes, isothermas, cinética.
<b>Tipo de investigación</b>	En una investigación básica, con diseño cualitativo narrativo de tópicos.
<b>Parámetros</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Residuos de frutas.</li><li>• Residuos de madera.</li><li>• Residuos de cabello (humano-animal)</li></ul>
<b>Resultados</b>	Unos residuos son más utilizados que otros debido a que llevan consigo características hidrófobas y oleofílicas, a esto se suma su capacidad y eficiencia de adsorción, los que varía según sus propiedades físicas y químicas, tanto del adsorbente como adsorbato. Además, el mecanismo de equilibrio y cinética de adsorción para hidrocarburos usualmente se ajustan a la Isoterma de Langmuir y Modelo cinético de Pseudo segundo orden, en un 60% y 80% respectivamente.
<b>Conclusiones</b>	La eficiencia y capacidad de adsorción obtenidas, demuestran que los compuestos orgánicos residuales, son potenciales adsorbentes de hidrocarburos, que además pueden ser limpiados y reutilizados, en algunos compuestos hasta 10 veces.

**Anexo 2:** Compuestos Orgánicos Residuales utilizados como adsorbentes

Autor	Título	Compuestos orgánicos Residuales	Mecanismo	Resultado	Conclusión
TRAN, Son Van [et al.] (2015)	Típicos biosorbentes de bajo costo para la remoción por adsorción de los contaminantes del agua.	Cáscara de arroz.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoterma de Langmuir.</li> <li>- Cinética de modelo de Pseudo segundo orden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Adsorción: 156.48 mg/g</li> <li>- Eficiencia de Adsorción: 71 %</li> </ul>	Los biosorbentes, no sólo son de bajo costo, también demuestran una alta eficiencia, capacidad de adsorción y fácil modificación.
TEJADA, Candelaria; HERRERA, Adriana; RUIZ, Erika. (2015)	Cinética e isotermas de bioadsorción usando materiales residuales tratados con ácido cítrico.	Bagazo de palma y cáscaras de ñame.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoterma de Freundlich.</li> <li>- Cinética de modelo de Elovich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Adsorción: 385,80 mg/g 356,86 mg/g</li> <li>- Eficiencia de Adsorción: 93 %</li> </ul>	La modificación con ácido cítrico mejora la capacidad de absorción de los compuestos.
RINCONES, Felix et al (2015)	Adsorción de hidrocarburos de petróleo en agua mediante una columna empacada con bagazo de caña de azúcar	Bagazo de caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoterma de Freundlich.</li> <li>- Cinética de modelo de Pseudo segundo orden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Adsorción: 1.105,7 mg/g – 760,6 mg/g – 1,368 mg/g.</li> <li>- Capacidad de Adsorción: 99.8 % - 94.3% - 93.3 %</li> </ul>	Las eficiencias demuestran que el bagazo de caña con surfactante es aplicable para la remoción de hidrocarburos, su capacidad aumento a mayor altura del lecho.

DENISOVA, Tatiana [et al.] (2016)	La influencia del tratamiento con ácido de aserrín en la eliminación del crudo Aceite de las superficies de agua.	Aserrín	- Isoterma de Langmuir.  - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden.	- Capacidad de Adsorción: 254.6 mg/g  - Eficiencia de Adsorción: 97 %	El tratamiento con ácido mejora las propiedades del aserrín aumentando su capacidad de adsorción. Además, es un residuo respetuoso con el medio ambiente y puede ser usado con efectividad para la eliminación del petróleo derramado en el agua superficies.
PALOMINO, Carmen; Vargas, Rocío & Visitación, Lizardo. (2016)	Aprovechamiento de pelos de vacuno del proceso de pelambre enzimático de las curtiembres en la remoción.	Pelos de vacuno	- Isoterma de Langmuir.  - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden.	- Capacidad de Adsorción: 321,20 mg/g  - Eficiencia de Adsorción: 96 %	Los residuos de pelos de vacuno, tratados por hidrólisis ácida, son bioadsorbentes eficientes y eficaces, siendo la adsorción química la que interviene en el proceso.
GAN, Wentao [et al.] (2016)	Eliminación de los aceites de la superficie del agua a través de aserrín de álamo de sierra útil y reciclable Compuestos.	Aserrín de Álamo	- Isoterma de Langmuir.  - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden.	- Capacidad de Adsorción: 950 mg/g.  - Eficiencia de Adsorción: 98 %	El aserrín modificado con propiedades magnéticas, mejoraron la superficie inferior, repelando totalmente el agua. haciendo que el aserrín tenga capacidad y eficiencia de absorber aceite lubricante hasta

					11,5 veces su peso, además, el aserrín puede ser reutilizado por lo menos 10 veces.
ALAA, El Din [et al.] (2017)	Estudio sobre el uso de cáscaras de plátano para el derrame de petróleo retiro	Cáscara de plátano	- Isotherma de Redlich Peterson.  - Cinética de Modelo de Pseudo Primer orden.	- Capacidad de Adsorción: 794 mg/g  - Eficiencia de Adsorción: 96 %	Las propiedades del tipo, superficie, espesor del aceite, temperatura y salinidad, afectan la capacidad de adsorción, sin embargo, el adsorbente puede ser reutilizado para alcanzar el 50% del primer valor de adsorción, obteniendo un buen resultado en cuanto a capacidad para la limpieza del derrame de petróleo.
VILLEGAS, Juan [et al.] (2017)	Remoción de hidrocarburos de aguas de producción de la industria petrolera utilizando nanopartículas magnéticas.	Cascarilla de nuez	- Isotherma de Langmuir  - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 528 mg/g  - Eficiencia de Adsorción: 90 %	La inclusión de las nanopartículas incrementó drásticamente la capacidad de adsorción.

RODRÍGUEZ, Geldres (2017)	Remoción de hidrocarburos mediante residuos de Cachaza y Bagazo de caña de azúcar.	Cachaza y Bagazo de Caña	- Isoterma de Freundlich - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 149.08 mg/g – 132.4 mg/g. - Eficiencia de Adsorción: 70 %	Se observó, una mejor remoción en proporción de 85:15, teniendo Bagazo: (61%) y Cachaza: (45%), lo que muestra que son eficientes para la eliminación de compuestos de hidrocarburos.
MARTÍNEZ, Pastora et al. (2017)	Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua	Bagazo de caña	- Isoterma de Redlich Peterson - Modelo de Pseudo Primer orden	- Capacidad de Adsorción: 505.4 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 65.1%	El porcentaje de eficiencia de remoción, demuestra que el buen desempeño, abundancia, disponibilidad, bajo costo y biodegradabilidad, hacen del bagazo, un excelente material adsorbente sostenible.
CASTILLO, Angela (2017)	Adsorbentes naturales en la mitigación del impacto adverso causado por derrames de crudo en fuentes hídricas	Bagazo de caña y Estopajo.	- Isoterma de Freundlich - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 115 mg/g - 110 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 73%	La estructura compuesta de fibrillas y flotabilidad de los compuestos, los convierte en eficientes removedores para el control de derrames de petróleo.
VILLABONA, Ángel et al. (2018)	Adsorción de diésel en solución acuosa sobre aserrín cedro (cedrela odorata l.) en columna de lecho fijo.	Aserrín de cedro	- Isoterma de Langmuir-Freundlich - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 629.3 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 74.5 %	Los adsorbentes presentan grupos de hidroxilo y carbonillo que favorecen el proceso de adsorción, aumentado la velocidad de flujo y su capacidad.

DÍAZ, Miguel et al. (2018)	Material absorbente para recogida de hidrocarburos en derrames en aguas.	Bagazo de caña	- Isoterma de Langmuir - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 556 mg/g – 592 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 90%	El bagazo modificado, obtiene una gran capacidad de adsorción para su aplicación ante la ocurrencia de un derrame de hidrocarburos.
RODRÍGUEZ, Maricruz (2018)	Proceso de biosorción a través de materiales de origen orgánico como alternativa para disminuir el contenido de aceites.	Cáscara de huevo y cabello humano.	- Isoterma de Langmuir - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 118.5 mg/g - 191.5 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 71% - 73%	La eficiencia de los residuos orgánicos utilizados es efectiva para remover aceites y grasas, además a mayor tiempo de contacto entre el adsorbato y adsorbente el proceso resulta más efectivo.
ABANTO, Fernando; Taboada, Eduardo (2018)	Uso de la fibra de coco para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos - agua y su relación con la salinidad y temperatura.	Fibra de Coco	- Isoterma de Langmuir - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 824.7 mg/g, 769.3 mg/g, 633 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 93.9%, 85.88%, 98.762%	La fibra de coco de tamaño grueso resultó adecuada para la adsorción de posibles derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua.
MURRIETA, Llely (2019)	Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (Citrus Cinensis).	Cáscara de naranja	- Isoterma de Freundlich - Cinética de modelo de Pseudo segundo orden	- Capacidad de Adsorción: 258.26 mg/g - Eficiencia de Adsorción: 95%	Se evidencia que los residuos de biomasa lignocelulósica (cáscaras de frutas) demuestran gran potencial en cuanto a la capacidad de adsorción, por lo tanto, logra un porcentaje mayor de remoción.

HUSSEIN, Siti et al. (2019)	Estudio del aserrín mixto tratado con ácido como absorbente natural de aceite para derrame de petróleo	Aserrín	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoterma de Langmuir</li> <li>- Cinética de modelo de Pseudo segundo orden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Adsorción: 442 mg/g</li> <li>- Eficiencia de Adsorción: 72 %</li> </ul>	El uso de aserrín tratado con ácido tiene mayor criterio, pues obtuvo resultados significativos en cuanto a la capacidad de adsorción.
SONGSAENG, Siripak; Thamyongkit, Patchanita & Poompradub, Sirilux.	Materiales compuestos de caucho natural/óxido de grafito reducido: Propiedades morfológicas y de absorción de petróleo para el tratamiento de derrames de petróleo	Caucho natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoterma de Langmuir-Freundlich</li> <li>- Cinética de modelo de Pseudo segundo orden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Adsorción: 215 mg/g - 170.4 mg/g</li> <li>- Eficiencia de Adsorción: 82 %</li> </ul>	Adicionando óxido de grafeno reducido al caucho natural se consigue un aumento en la capacidad de adsorción de aceite de petróleo, lo que afirma que no solo minimizan la generación de residuos sino también reducen costos para la eliminación en derrames de petróleo.
SOLIMAN, Ezzat; Ahmed, Salwa; & Fadl, Aliaa (2020).	Eliminación por adsorción del derrame de petróleo de la superficie del agua de mar utilizando el aserrín de madera como un novedoso nanocompuesto sintetizado.	Aserrín	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isoterma de Freundlich</li> <li>- Cinética de modelo de Pseudo segundo orden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de Adsorción: 283.2 mg/g - 412.2 mg/g</li> <li>- Eficiencia de Adsorción: 92% - 96 %</li> </ul>	Aplicación del nano compuesto con el aserrín de madera, es una novedosa nanotecnología respetuosa con el medio ambiente y permite alcanzar un alto valor de remoción de petróleo.