



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Estudio Comparativo de la Adsorción del Biocarbón y Carbón
Modificado por Activación en los Derrames de Petróleo Marítimos:
Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Congona Chalco, Edwin Alonso (ORCID: 0000-0003-1111-732X)

Limache Ramirez, Asia Hellen (ORCID: 0000-0001-9414-2664)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A mi familia, esposo e hijas quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias a mi amada abuelita por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.
(A.H.L.R.)

A toda mi familia, a mis padres que en todo momento estuvieron conmigo apoyándome para el desarrollo de mis metas y seguir adelante, a ellos les dedico con mucha gratitud. (E.A.C.C.)

Agradecimiento

Agradecimiento A dios, por estar presente en mi camino y a mis padres por haberme guiado durante mi etapa universitaria. Al Dr. Fernando Sernaque por su asesoramiento y orientación siendo de gran apoyo en la presente tesis. *(E.A.C.C.)*

Agradecimiento en primer lugar a Dios, a nuestro Asesor Dr. Fernando Sernaque, quien con sus conocimientos y apoyo me guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba. *(A.H.L.R.)*

Índice de contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de abreviaturas	viii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	15
3.3. Escenario de estudio	17
3.4. Participantes	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6. Procedimiento	17
3.7. Rigor científico	19
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES	31
VI. RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	
ANEXOS	

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Ingreso de hidrocarburos de petróleo al medio marino</i>	4
<i>Tabla 2. Causas de derrame de petróleo</i>	5
<i>Tabla 3. Posibles efectos biológicos de los derrames de petróleo en la zona litoral</i>	8
<i>Tabla 4. Matriz de Categorización Apriorística</i>	16
<i>Tabla 5. Técnicas de conversión termoquímica para la adsorción del biocarbón y carbón modificado</i>	21
<i>Tabla 6. Materia prima más usada</i>	23
<i>Tabla 7. Mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado</i>	26

Índice de figuras

<i>Figura 1. Proceso de meteorización que experimenta el petróleo en el mar</i> -----	6
<i>Figura 2. Esquema conceptual de los efectos biológicos característicos y peligros ambientales de los derrames de petróleo en el mar</i> -----	7

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Carbón activado y sus usos</i>	10
<i>Gráfico 2. Procedimiento de selección de artículos</i>	18
<i>Gráfico 3. Comparación porcentual de las técnicas de conversión termoquímica más usadas</i>	22

Índice de abreviaturas

AC	: carbón activado
PB	: biocarbón derivado de turba
CW	: desechos de coco
OSC	: capacidad de sorción de aceite
LCA	: evaluación del ciclo de vida

Resumen

El objetivo de estudio fue determinar los aspectos más sobresalientes a saber sobre el estudio comparativo entre la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos.

Obteniendo, que la técnica de conversión termoquímica más usada se clasifica por las cinco técnicas de conversión, siendo la técnica de gasificación con un 32% de estudios aplicados, la pirolisis lenta, seguida de la torrefacción, y las menos empleadas, la pirolisis rápida y la pirolisis por microondas. La materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado son los residuos de cosechas, forestales y domésticos, donde las más usadas son las cáscaras de residuos agrícolas, hojas secas y tallos. Además, su importancia recae en la temperatura óptima de pirolisis. Así también, la T° de pirolisis desempeña un papel esencial, donde las temperaturas altas mayores a los 350 °C generan una mayor eficiencia del biocarbón, mientras que las temperaturas de pirolisis extremas son deficientes para la eficiencia del productor final. El mecanismo de adsorción usado es; el llenado de poros, la atracción debido a la naturaleza hidrofóbica, la atracción electrostática, la atracción del donante-aceptor de electrones π - π y las interacciones electrofílicas.

Palabras clave: Adsorción, biochar, activación, petróleo, termoquímico

Abstract

The objective of the study was to determine the most outstanding aspects to know about the comparative study between the adsorption of biochar and modified carbon by activation in maritime oil spills.

The most used thermochemical conversion technique is classified by the five conversion techniques, being the gasification technique with 32% of applied studies, slow pyrolysis, followed by torrefaction, and the least used, fast pyrolysis and microwave pyrolysis. The most used raw material and its importance in the adsorption capacity of biochar and modified charcoal are crop, forestry and domestic residues, where the most used are agricultural residue husks, dry leaves and stems. Moreover, its importance lies in the optimum pyrolysis temperature. Also, the pyrolysis T° plays an essential role, where high temperatures above 350 °C generate higher biochar efficiency, while extreme pyrolysis temperatures are deficient for the efficiency of the final producer. The adsorption mechanism used are; pore filling, attraction due to hydrophobic nature, electrostatic attraction, electron donor-acceptor π - π attraction and electrophilic interactions.

Keywords: Adsorption, biochar, activation, petroleum, thermochemical

I. INTRODUCCIÓN

El mayor contribuyente a la contaminación por petróleo en los océanos del mundo (45%) son las descargas operativas de los buques tanque, aunque las filtraciones naturales se consideran considerables y la fuente más importante de contaminación (Zhang B. et al., 2019, p.1).

Los derrames de petróleo en la mayoría de los casos (72%) son a pequeña escala; sin embargo, los derrames de más de 30 toneladas rara vez ocurre (0,1% de los incidentes) pero involucran cerca del 60% de la cantidad total vertida (Li P et al., 2016, p.2).

El derrame de petróleo es un hecho habitual en la región del delta del Níger en Nigeria; el cual es rico en petróleo, se caracteriza por una prevalencia de derrames de petróleo nuevos y antiguos que suman alrededor de 9343 incidentes en los últimos 10 años (Ndimele P et al., 2018, p.369). A pesar que los derrames así sean considerados relativamente pequeños pueden causar una mortalidad significativa entre las aves marinas, como patos de cola larga y pingüinos entre otros, de lo cual se calcula que cada invierno mueren entre 100.000 y 500.000 aves marinas debido a los vertidos de petróleo en los mares del Norte y Báltico (Chen B. et al., 2019, p.407).

Ante ello, las técnicas de remediación ambiental basadas en adsorción han ganado una atención considerable, debido a su viabilidad económica y simplicidad sobre otros métodos (Diagboya P. et al., 2022, p.2).

Siendo así que, la eliminación de aceite mediante la utilización de biocarbón se asume como un concepto de orientación ecológica (Lee Kuan T. et al., 2022, p.1). Este material carbono es considerado de bajo costo rico en carbono con alta porosidad y química de superficie específica, con una enorme potencialidad para la eliminación de aceite de soluciones acuosas (Madhubashani A. et al., 2021, p.2).

Pero las propiedades del biocarbón dependen principalmente del método de producción/síntesis del biocarbón y del tipo de materia prima de biomasa. Para preservar la estabilidad de los grupos funcionales en la estructura, el biocarbón debe producirse/activarse a bajas temperaturas (Luo Z. et al., 2021, p.3).

Ante lo mencionado anteriormente se plantea como problema de estudio:

¿Cuáles son los aspectos más sobresalientes a saber sobre el estudio comparativo entre la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos? de lo cual se va a desarrollar las siguientes preguntas:

PE1: ¿Cuál es la técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos?

PE2: ¿Cuál es la materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos?

PE3: ¿Cuál es el mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos?

Además, bajo lo mencionado se tiene el siguiente objetivo general:

Determinar cuáles son los aspectos más sobresalientes a saber sobre el estudio comparativo entre la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos; y como objetivos específicos:

OE1: Clasificar cuál es la técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos.

OE2: Analizar cuál es la materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimo.

OE3: Definir cuál es el mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos.

Este estudio tiene como finalidad recopilar estudios actuales a nivel mundial para determinar la eficacia del biochar en la eliminación de aceite en soluciones acuosas, quedando claro que la justificación del presente trabajo es teórica. Ante ello este

estudio va dirigido a los futuros investigadores para que puedan despertar el interés y realizar investigaciones teóricas y prácticas mejorando los estudios ya existentes, para así poder llegar a brindar propuestas de solución amigables con el ambiente y viables económicamente.

II. MARCO TEÓRICO

Los derrames de petróleo tienen el potencial de afectar adversamente los hábitats costeros y marinos, sistemas fluviales, vida silvestre, pesca y actividades humanas (Beyer J. et al., 2016, p.28).

Los derrames de petróleo ocurren relativamente con frecuencia a lo largo de la región del delta del Níger, en la costa de Nigeria (Akinwumiju A. et al., 2020, p.1). Con una estimación de 1,5 millones de toneladas de crudo derramado petróleo en los últimos 50 años (Albert O. et al., 2018, p.1). Encontramos que los derrames de petróleo cercanos que ocurren antes de la concepción aumentan la mortalidad neonatal en 38,3 muertes por cada 1000 nacidos vivos, lo que corresponde a un aumento de alrededor del 100% en la media de la muestra (Bruederle A. et al., 2019, p.1). En la tabla N°1 se muestra el ingreso de hidrocarburos a los océanos y sus fuentes

Uno de los mayores derrames de petróleo se dio el 20 de abril del 2010, de la plataforma de perforación Deepwater Horizon de British Petroleum (Strelitz J. et al., 2018, p.1). Donde se derramo 200 millones de galones de petróleo derramados en el Golfo de México durante 3 meses, siendo el mayor vertido de petróleo de la historia de EEUU (Rabalais N. et al., 2018, p.98).

Tabla N°1: Ingreso de hidrocarburos de petróleo al medio marino

FUENTE	RANGO PROBABLE	MEJOR ESTIMADO	POR CIENTO
Filtraciones naturales	20,000-2,000,000	200,000	10
Producción en alta mar	200,000-2,000,000	200,000	10
Buques: liberacion operacional y deliberada	100,000-1,000,000	500,000	26
Accidentes no petroleros	50,000-100,000	75,000	4
Accidentes de petroleros	20,000-100,000	50,000	3
Atmosfera	50,000-500,000	300,000	16
Residuos municipales e industriales y escorrentias de la tierra	200,000-1,500,000	600,000	31
Total	640,000-7,000,000	1,925,000	100

Fuente: Airoidi et al., (2016)

Los metales pesados acumulados en las aguas terrestres y acuáticas los ambientes pueden causar efectos adversos en el ecosistema (Ibrahim H. et al., 2016, p.1).

Los derrames de petróleo en el medio ambiente son ocasionados por medios naturales o resultado de actividades antropogénicas (provocados por el ser humano) pueden ser deliberados o accidentales (Chen B. et al., 2019, p.407). Por ejemplo, las catástrofes naturales, como los terremotos, condiciones meteorológicas adversas y los huracanes son responsables del vertido de crudo en el océano (Hester M. et al., 2016, p.1).

Por otro lado, las actividades antropogénicas se pueden dar por resultado de vandalismo en oleoductos, actos de terrorismo, el vertido intencionado de petróleo durante las guerras, y el lavado de petroleros y buques en el mar (Xin Q. et al., 2022, p.1). También, por perforaciones en alta mar, los fallos mecánicos de las máquinas utilizadas en las perforaciones, la limpieza de tanques y las fugas de los petroleros son otras causas de los vertidos de petróleo (Huettel M. et al, 2022, p.1).

Durante décadas, los derrames de petróleo y la contaminación relacionada con el petróleo han dañado la calidad del suelo, el agua y el aire y han expuesto a los organismos vivos a la extinción (Ugwu C. et al., 2021, p.439). Ver Tabla N°2.

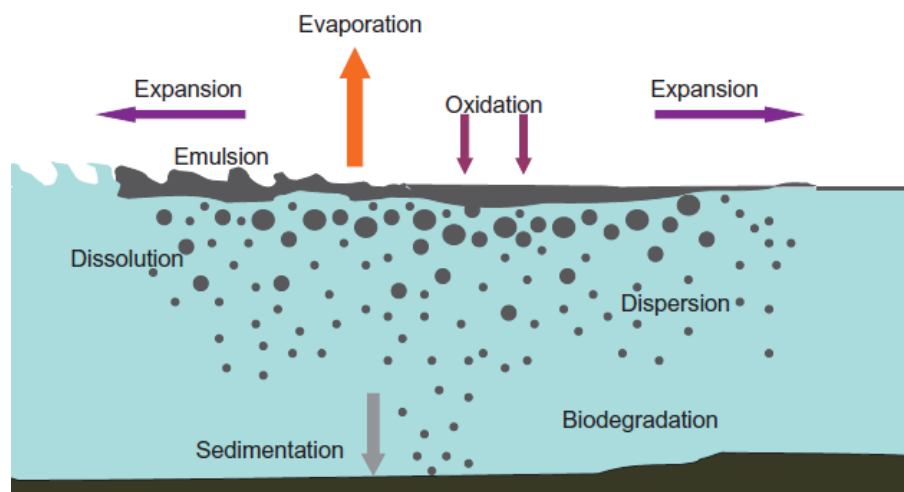
Tabla N°2: Causas de derrame de petróleo

CAUSAS DE DERRAMES DE DIFERENTES TAMAÑOS	DERRAMES PEQUEÑOS E INTERMEDIOS (MENOS DE 700 TONELADAS)	DERRAMES MAYORES (MÁS DE 700 TONELADAS)
Tomas de tierra	19	34.2
Colisiones	25	28.4
Carga/descarga	28	8.6
Fallos en el casco	7	12.4
Incendios y explosiones	1	8.6
Abastecimiento de combustible	2	0
Otras operaciones	5	0.3
Desconocido	13	7.5

Fuente: Bagby S. et al., (2017)

El petróleo a menudo se libera accidentalmente en el océano, como una aglomeración de múltiples compuestos: alcanos, cicloalcanos y aromáticos, al dispersarse en el agua cubre una superficie de entre 1 y 10 m² por cada gramo vertido (Parviainen T. et al., 2022, p.1). Ver Figura N°1. Al ingresar al mar libera aproximadamente 125 hidrocarburos de petróleo alifáticos, aromáticos y biomarcadores que se asientan en el fondo del océano profundo (Bagby S. et al., 2017, p.1).

Figura N°1. Proceso de meteorización que experimenta el petróleo en el mar



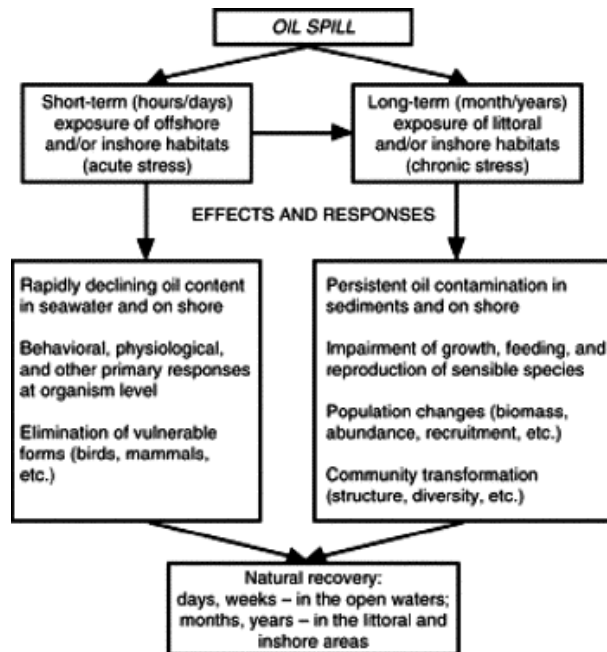
Fuente: Chequer L. et al., (2017)

Los derrames de petróleo en ambientes acuáticos, particularmente en mar abierto y aguas oceánicas, dan como resultado la formación de una película flotante, estos componentes se asientan en el sedimento donde pueden afectar a los peces y al ecosistema del lecho oceánico (Legorburu I. et al., 2018, p.75). Además, la capa de aceite flotante actúa como una barrera entre el agua y el aire, reduciendo la entrada de oxígeno a la cuenca de agua que asfixia aún más a los organismos vivos (Bryant W. et al., 2020, p.1).

Los vapores explosivos que siguen a los derrames de petróleo pueden ser desplazados por el aire a las ciudades cercanas donde pueden encenderse fácilmente (Gonzales D. et al., 2022, p.1).

En la tierra se desplaza verticalmente, penetrando en los diferentes terrenos, en ocasiones pudiendo llegar hasta el agua subterránea (Alpers W. et al., 2018, p.1). Esta contaminación afecta la calidad del suelo (Textura) y su fertilidad, esto afectando la tasa de germinación, degrada las tierras de cultivo, mata las plantas y árboles pequeños (Ndimele P. et al., 2018, p.369). La porosidad del suelo se ve afectada debido a que el petróleo tiende a forzar las partículas del suelo a juntarse, disminuyendo así la porosidad, además se reduce la disponibilidad de dióxido de carbono el cual sirve para la respiración de un organismo vivo (Adam P. et al., 2019, p.817).

Figura N°2. Esquema conceptual de los efectos biológicos característicos y peligros ambientales de los derrames de petróleo en el mar



Fuente: Patin S. et al, 2013

En las costas marinas y de agua dulce son el ecosistema natural de muchas especies animales, incluidos los elefantes marinos, los leones marinos y los salmones, entre muchos otros, que pueden verse afectados por derrames en tierra (Kunka A. et al., 2018, p.1).

Los aceites livianos, como los alcanos, pueden evaporarse y degradarse sin esfuerzo; los hidrocarburos ligeros rara vez se encuentran cerca de las costas (Li X. et al., 2018, p.231). Por otro lado, el petróleo pesado puede ser laberíntico ya que puede formar espumas, bolas de alquitrán y asfaltos que son extremadamente difíciles de erradicar (Williams B. et al., 2018, p.1).

La evaporación, la oxidación y la biodegradación son tres procesos naturales que intervienen en la limpieza de los derrames de petróleo, de hecho, el 50 % de los componentes livianos del petróleo se evaporan dentro de las primeras 12 horas después de un derrame (Kienhuis P. et al., 2016, p.685).

Los efectos tóxicos pueden ser agudos o crónicos sobre los organismos vivos en función del periodo de exposición y de la concentración del vertido de petróleo, los

agudos se producen en corto plazo y por lo contrario los crónicos se refiere a los efectos a largo plazo (Beyer J. et al., 2016, p.28). Ver tabla N°3.

Tabla N°3: Posibles efectos biológicos de los derrames de petróleo en la zona litoral

Costa tipo ^a	Recuperar capacidad	Los niveles típicos de contenido de aceite en		Efectos biológicos característicos	Tiempo de recuperación
		Agua ^b mg l ⁻¹	Inferior mg kg ⁻¹		
I	Elevado	< 0.1	< 10 ²	Mortalidad entre las especies más sensibles dentro de los primeros días de contacto; efectos subletales; cambios estructurales primarios en las comunidades.	Hasta un mes
II	Medio	0.1–1.0	10 ² –10 ³	Eliminación de crustáceos, predominio de poliquetos; disminución de la biomasa y cambios estructurales en las comunidades.	Hasta medio año
III	Bajo	1–10	10 ³ –10 ⁴	Mortalidad masiva entre las especies más sensibles; una biomasa en constante disminución y una diversidad de especies más pobre.	Hasta un año
IV	Muy bajo	> 10	> 10 ⁴	Mortalidad masiva entre la mayoría de las especies; disminución pronunciada de la biomasa, la abundancia y la diversidad de especies.	Más de un año

Fuente: Briggs I. et al., (2018)

Las propiedades físicas de los hidrocarburos pueden dañar el ADN y provocar mutagénesis, carcinogénesis y disminución de la capacidad reproductiva, también, la exposición a largo plazo puede dañar el hígado, los riñones y la médula ósea o incluso causar cáncer en humanos (Little D. et al., 2021, p.1).

En el caso de la salud animal, las manchas de aceite en las plumas de las aves pueden disminuir el aislamiento y provocar la muerte durante el invierno, se estima

que cada invierno mueren entre 100.000 y 500.000 aves marinas debido a los vertidos de petróleo en los mares del Norte y Báltico (Bejarano A. et al., 2016, p-709). Para los peces pueden asfixiarse cuando sus branquias están cubiertas de petróleo, de igual forma se presenta una elevación de la frecuencia cardíaca de los peces que fueron contaminados por este hidrocarburo (Grosell M. et al., 2020, p.1). También, las manchas de petróleo en las plantas dan como resultado una disminución del metabolismo y asfixia (Punwong P. et al., 2017, p.1).

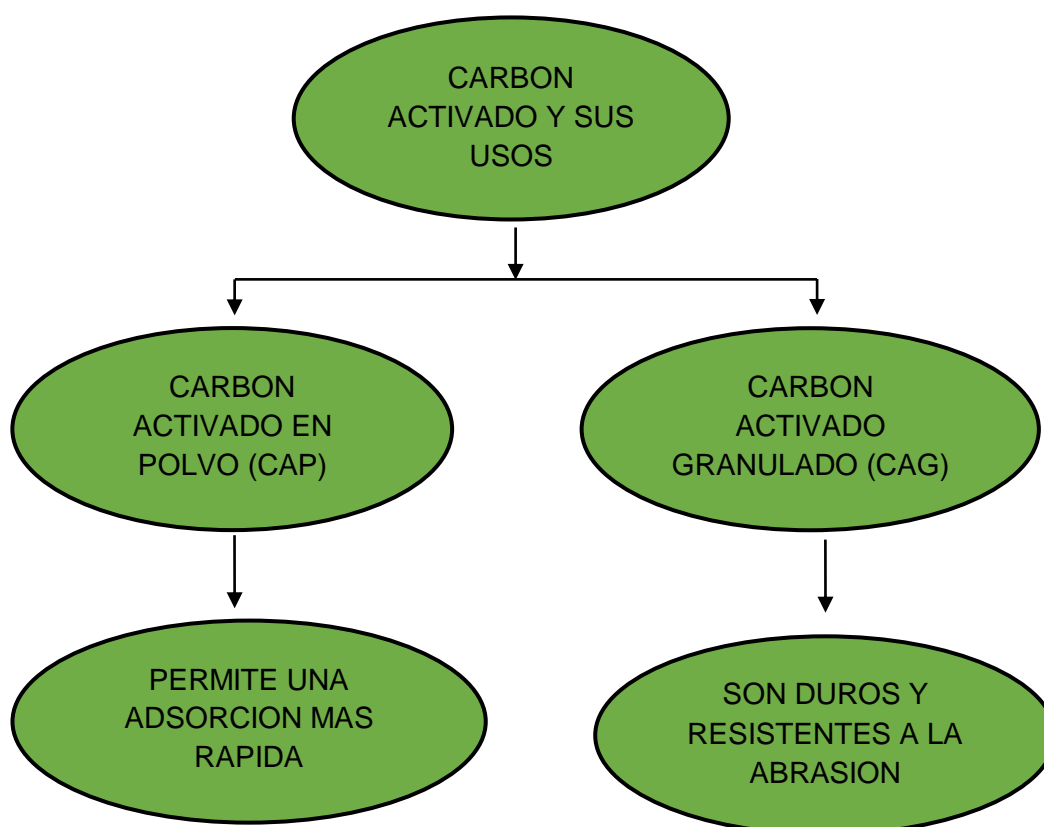
El biocarbón se define como un material sólido obtenido de la conversión termoquímica de biomasa en un entorno con oxígeno limitado (Moreira M. et al., 2017, p.135). Sus principales fuentes y materias primas del biocarbón incluyen paja y residuos de cultivos, estiércol animal, huesos de frutas, ramitas y desechos forestales de hojarasca, así como restos de alimentos y bagazo (Shaaban M. et al., 2021, p.189).

Los procesos de producción de biocarbón van desde los tradicionales hornos y montículos de tierra, hasta sistemas de ingeniería basados en reactores de lecho plano o fluidizado para pirólisis o la gasificación (Roy P. et al., 2017, p.59). A pequeña escala, la alternativa preferida para producir biocarbón es la gasificación descendente con aire, que produce un gas que se quema inmediatamente en un motor para producir calor y electricidad (Qambrani N. et al., 2017, p.255). Se puede reciclar y reutilizar entre tres y cinco veces manteniendo una capacidad de adsorción estable y eficiente (Sarmah A. et al., 2021, p.1).

El carbón activado es ampliamente aplicable como adsorbente en el tratamiento del agua y el control de la contaminación del aire (Belhachemi M. et al., 2021, p.355). También, tiene buena capacidad de adsorción, valencias libres activas, alta área superficial, estructura porosa, reactividad superficial, inercia y estabilidad térmica (Soni R. et al., 2020, p.278).

El carbón activado tiene limitaciones como la ineficacia de los costes, el coste de la materia prima, la dificultad para separar el polvo del efluente y los costosos métodos de regeneración (Uddin M. et al., 2017, p.1).

Gráfico N°1: Carbón activado y sus usos



Elaboración propia

El carbón activado generalmente se obtiene de fuentes como carbón bituminoso, lignito, subproductos industriales y biomasa de lignocelulosa (Gandu B. et al., 2021, p.1). La primera fase en la entrega de carbón activado es la carbonización, toda la humedad y las sustancias volátiles se eliminan mediante esta operación y se seguirá una activación física o química (Tehrani-Bagha A. et al., 2018, p.375). Se utiliza comúnmente como adsorbente en el tratamiento de gases, limpieza de agua, etc (Surkatti R. et al., 2021, p.1).

El costo de producción del biocarbón es mucho menor que el del carbón activado, en el mercado el biocarbón es de aproximadamente 750 USD por tonelada, que es aproximadamente el 50 % del precio del carbón activado (1400 USD por tonelada) (Antunes E. et al., 2021, p.1).

Yang Mouyuan et al., (2020); en su estudio se investigó el proceso de adsorción y la reutilización. Donde la metodología experimental consiste en preparar las cáscaras de algodón mediante pirólisis a alta temperatura y se utilizaron para adsorber diferentes aceites. Descubriendo mediante los resultados que las cáscaras de

algodón carbonizadas (CNH) exhiben una rápida capacidad de adsorción y una excelente capacidad de sorción y reutilización, lo que puede ser el gran candidato para la aplicación de limpieza de derrames de petróleo.

Kandanelli Ramesh et al., (2018); en su trabajo analizó el estudio detallado de los biocharres producidos a partir de dos alimentos diferentes (cáscara de arroz y aserrín), a dos temperaturas diferentes (450 y 550 °C) y dos velocidades diferentes (rápida y lenta) de pirólisis para la mitigación de derrames de petróleo. Biochar se caracteriza en detalle por diversas técnicas como FTIR, ^{13}C CPMAS, FESEM, RAMAN, TGA para determinar la composición estructural y observar el grado de pirólisis. Se han demostrado las pruebas para evaluar el rendimiento de los biocharres producidos como adsorbentes para la mitigación de derrames de petróleo. Los biocarbón producidos absorbieron selectivamente el petróleo crudo de mezclas bifásicas de petróleo/agua en varias capacidades.

Silvani Ludovica et al., (2017); en su artículo caracterizó el biochar como un nuevo material carbonoso para la adsorción de tolueno del agua. El BC probado se produjo a partir de la gasificación de madera de pino, y su capacidad de sorción se comparó con la de materiales carbonosos más comunes, como el carbón activado (AC). Ambos materiales se caracterizaron en términos de características texturales y capacidad de sorción mediante pruebas cinéticas y de equilibrio. AC y BC mostraron una alta eliminación de tolueno del agua. Las pruebas cinéticas demostraron que BC se caracteriza por una eliminación de tolueno más rápida que AC. Las características texturales demostraron que la porosidad de AC es el doble que la de BC. La capacidad de adsorción específica ($\text{mg sorbidos m}^{-2}$ de superficie) del BC es mayor que el del AC: el tolueno se absorbe más en la superficie del biocarbón. Además, el biocarbón se obtiene a partir de biomaterial tratado térmicamente para generar energía; esto también hace que el uso de BC sea económica y ambientalmente conveniente en comparación con AC, que, como material fabricado, debe obtenerse en condiciones seleccionadas para este tipo de aplicación.

Alameri K. et al., (2019); en su estudio evaluó el uso de biocarbón derivado de turba (PB) como biosorbente para la sorción y eliminación de derrames de petróleo crudo del agua de mar sintética. Se diseñaron experimentos para determinar el efecto de cuatro factores operativos (tiempo de contacto de PB/petróleo crudo, dosificación de PB, dosificación de aceite y temperatura) en dos indicadores de desempeño

(capacidad de sorción de crudo de PB, S y eficiencia de remoción de petróleo, R %). Los indicadores de rendimiento se predijeron con un alto grado de precisión, es decir, con valores de coeficiente de determinación (R^2) superiores al 90 %. Los valores óptimos de S y R% se estimaron en 32,5 g de crudo/g de adsorbente y 91,2% respectivamente. Estos valores óptimos se alcanzaron luego de 70 min de tiempo de contacto PB/crudo y a una temperatura de 45 °C. Concluyendo que el sorbente gastado mantuvo su rendimiento después de tres ciclos de regeneración y reutilización, lo que sugiere que el material es reutilizable.

Jesus J. et al., (2017); en su trabajo evaluó el uso de biomásas y sus biochars como adsorbentes para remover hidrocarburos aromáticos policíclicos del agua. Los desechos de coco (CW) y los desechos de naranja (OW) se pirolizaron a 350 °C para producir los biocarbón correspondientes (BCW y BOW). Ensayos de adsorción utilizando una solución mixta de benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno y dibenzo(a , h)antraceno mostraron porcentajes de eliminación de 30,33–83,43 % (CW), 47,09–83,02 % (BCW), 24,20–74,25 % (OW) y 23,84–84,02 % (BOW). Donde los resultados muestran que no hubo indicios de competencia entre los PAH por los sitios de adsorción y hubo evidencia de adsorción cooperativa. Los PAH se pudieron desorber de los adsorbentes con eficiencias en el rango de 34,88 a 72,32 %, y la reutilización de los adsorbentes en dos ciclos más demostró su potencial para su uso en la eliminación de PAH del agua.

Hoang A. et al., (2018); en su investigación estudió el cuadrado del área de petróleo quemado y se estableció para el método de combustión térmica/in-situ que fue que se calificó como restringido e ineficaz para el tratamiento de la marea negra. Demostrando una gran eficiencia en la recuperación de petróleo con el método físico, aunque sólo es adecuado para su aplicación antes de que el petróleo se emulsione. Mientras tanto, el método químico podría ser compatible con todos los tipos de petróleo, pero el residuo químico es perjudicial para el medio ambiente marino. Además, entre los métodos introducidos, la biorremediación se consideró el más eficaz y seguro.

Pagnucco R. et al., (2018); en su estudio se compararon barreras que contenían desechos de cabello humano como sorbente con otros sorbentes naturales, incluidos subproductos de algodón, celulosa reciclada, así como barreras que contenían polipropileno sintético, para evaluar su eficacia en la adsorción de la contaminación

por petróleo crudo, el mantenimiento de la flotabilidad y la adsorción de agua de mar. Una serie de mesocosmosoceánicos. Se utilizaron experimentos para simular eventos de contaminación por derrames de petróleo y para probar la eficacia del sorbente. Se encontró que el subproducto de cabello era significativamente mejor para adsorber petróleo crudo en promedio (es decir, 0,84 g de petróleo crudo por 1 g de sorbente) que todos los demás materiales, aunque tenía una variación más amplia en la adsorción probablemente asociada con la naturaleza no homogénea de cabello humano mixto. También se observó que el sorbente de cabello tiene menos flotabilidad natural que otros materiales, posiblemente debido a la baja tensión superficial o al aumento de la porosidad.

Nasir M. et al., (2018); en su trabajo de investigación se investigó la microporosidad del DPF (también conocido como fibras superficiales). En primer lugar, la pirólisis hidrotérmica utilizando un reactor escalable con sólo agua como disolvente a alta temperatura (480 °C) bajo atmósfera de nitrógeno seco. El rendimiento del biocarbón varió del 30,5 al 33,6% (32%), con poco bioaceite. A continuación, el biocarbón resultante se activó físicamente con KOH y la mezcla se calentó a 750°C (0,5°C/min) y se mantuvo a 750°C durante 2 horas bajo flujo de Argón en un horno tubular para producir carbón activado. En segundo lugar, el biocarbón y los carbones activados resultantes se caracterizaron mediante un analizador de partículas para medir su área superficial, el volumen de los poros y el diámetro de los mismos. La capacidad de sorción de aceite (OSC) de los DPF crudos, el biochar y el biochar activado se probó con el aceite solo y con un aceite sobre la superficie del agua y el valor se calculó gravimétricamente. Los valores máximos de OSC de los sorbentes fueron en el orden de: DPF < biochar < biochar activado con valores de OSC de 8,952, 11,712 y 33,402 g*aceite/g*sorbente, respectivamente a un tiempo de sorción de 30 min.

Smebye A. et al., (2017); en su estudio realizó una evaluación del ciclo de vida (LCA) utilizando métodos de punto final para la generación y el secuestro de un kg de biocarbón mediante varios métodos de pirólisis adecuados para las condiciones tropicales rurales. En la clasificación LCA, se demostró que los hornos de montículos de tierra tienen impactos ambientales potenciales negativos debido a sus emisiones de gases y aerosoles. Los hornos de cortina de llama tuvieron un impacto potencial levemente menor que los hornos de retorta y un impacto mucho menor que los hornos de montículo de tierra debido a que se evita la madera de arranque y al bajo uso de materiales y emisiones de gases. Se observó que la producción de biocarbón a partir

de hornos de cortina de llama es ambientalmente neutral en una perspectiva de ciclo de vida, ya que las emisiones de producción se compensan con el secuestro de carbono.

Silvani L. et al., (2019); en su estudio probó diferentes biocarbón (BC) con características muy diversas como materiales para la adsorción de los isómeros (α , β , γ y δ) del hexaclorociclohexano (HCH) del agua. Se probaron tres BC producidos a partir de digestato (700 °C), residuos de tomate de invernadero (550 °C) y cáscara de durian (400 °C). Los BC demostraron características fisicoquímicas variables, especialmente con respecto al área superficial, con un área superficial de CO₂ que varió de 5,4 a 328,6 m² g⁻¹ y un contenido de hierro que varió de 0,0733 a 11,17 g kg⁻¹. También se llevaron a cabo pruebas de isotermas para comprender qué mecanismos impulsan la absorción de HCH a BC, para evaluar si la estereoquímica afecta la adsorción y para evaluar si ocurre una sorción competitiva. Los valores de Log K_F oscilaron entre 3,7 y 5,8 ($\mu\text{g kg}^{-1}$) ($\mu\text{g L}^{-1}$)⁻ⁿ para los diversos isómeros en los tres biochars. Sin competencia (t-test, P < 0,0001) entre α -, β -, γ - y δ -HCH.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

Los tipos de investigación nos ayudan a definir en qué camino o con qué fin se realiza una investigación, en este caso al inclinarnos en una investigación aplicada lo que se busca es crear conocimientos a través del fenómeno aplicado en la realidad, es decir, aplicarla en la sociedad; en el espacio o entorno donde se vive dicha problemática. (Lozada, 2014).

En el presente trabajo la problemática por derrames de petróleo marítimo se permitió aplicar directamente en su entorno los problemas específicos y a través de los datos e información ya existente se dieron los resultados presentados en el capítulo IV.

El diseño de una investigación nos permite encaminar el procedimiento que se efectuará para obtener resultados de lo estudiado. En el presente trabajo de investigación se usó el diseño narrativo como estructura para el desarrollo de lo estudiado, este diseño permite al investigador captar las ideas de los participantes y traspasar la información a la investigación de la forma como lo piensan y sienten, donde los sucesos o hechos se transcriban tal cual fueron vividos (Hernández, 2016, p.487). La investigación presentó ideas y datos reales que se recolectaron de diferentes artículos científicos, el investigador transcribió las ideas como fueron encontradas. Al enfocar esta investigación en un tema específico Mertens considera clasificar dentro de un diseño narrativa de tópicos específicamente, por ello se aplicó al estudio esta clasificación.

3.2 Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística

Las categorías y subcategorías fueron planteados de acuerdo a los problemas y objetivos específicos (Ver tabla N°1).

Tabla N° 4: Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de Análisis
Clasificar cuál es la técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos	¿Cuál es la técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos?	Técnica de conversión termoquímica para la adsorción del biocarbón y carbon	<ul style="list-style-type: none"> - Pirolisis lenta. - Pirólisis rápida. - Torrefacción. - Gasificación. 	(Yang Mouyuan et al., 2020, p.2), (Kandanelli Ramesh et al., 2018, p.1), (Li P et al., 2016, p.2).
Analizar cuál es la materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimo	¿Cuál es la materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimo?	Materia prima para la adsorción del biocarbón y carbon	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos Forestales - Residuos agrícolas 	(Silvani Ludovica et al., 2017, p.3), (Alameri K. et al., 2019, p.3), (Zhang B. et al., 2019, p.1).
Definir cuál es el mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos	¿Cuál es el mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos?	Mecanismo de adsorción del biocarbón y carbon	<ul style="list-style-type: none"> - Interacciones π-π. - Hidrofobicidad. - Relleno de poros. 	(Jesus J. et al., 2017, p.1), (Ndimele P et al., 2018, p.369).

Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Los espacios como laboratorios, campos de investigación y/o bibliotecas encontradas en las lecturas como son los artículos científicos que se usaron para la extracción de información, forman el escenario de estudio del presente trabajo de investigación ya que ellas formaron parte y estuvieron en contacto con los hechos que se dieron con el fenómeno que se estudió.

3.4 Participantes

Las plataformas virtuales como: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed fueron fuentes que ayudaron a extraer y recolectar información que ayudo a resolver la presente problemática planteada en este estudio.

En este caso estas plataformas son tomadas como participantes, ya que, a través de ellas se tomó toda la información a analizar e interpretar del fenómeno que se estudió.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

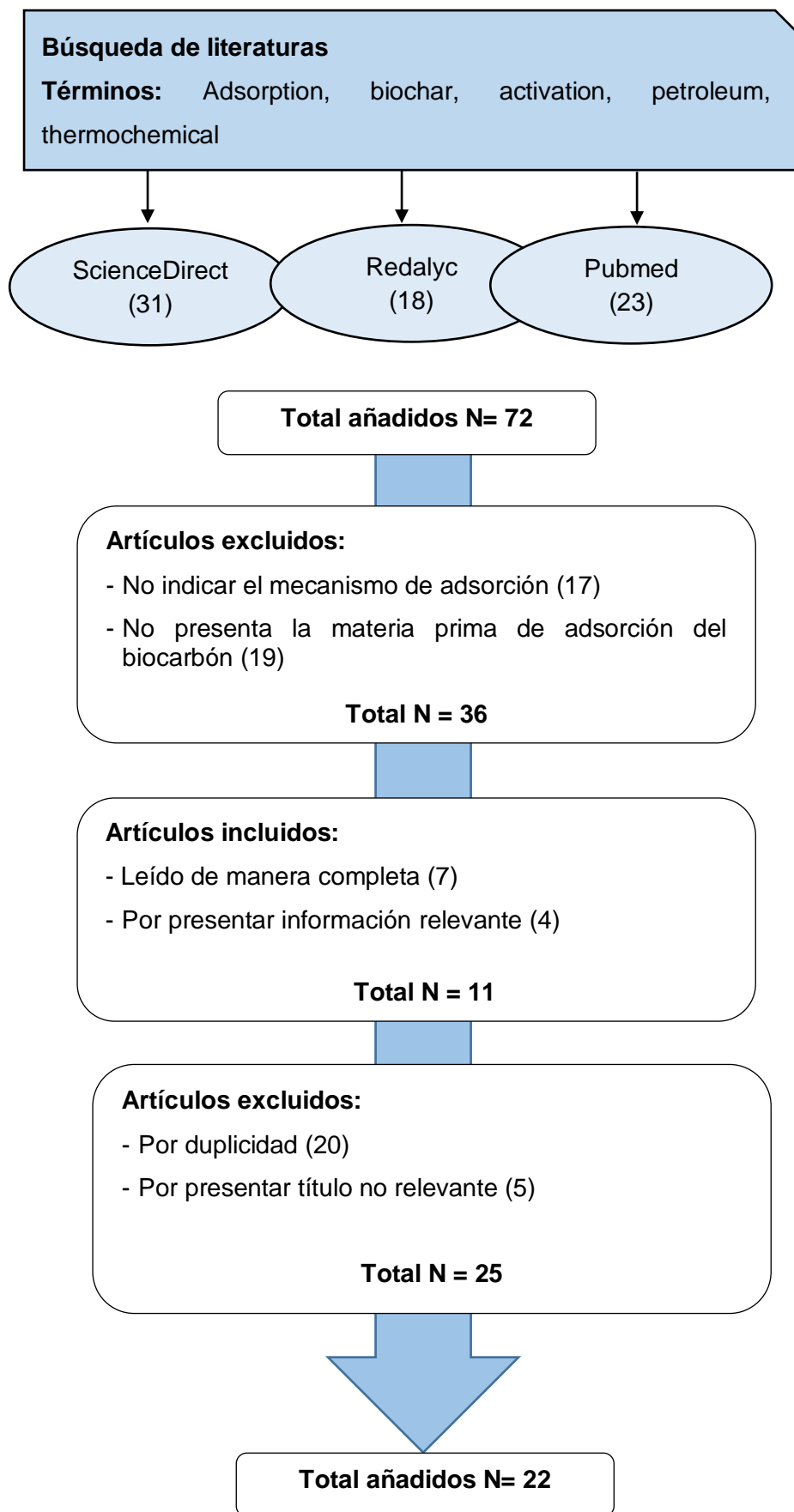
Para la recolección de datos se usan diferentes técnicas que son aplicadas en los participantes quienes forman parte de la población relacionada con la problemática. Al ser una revisión sistemática en el presente estudio se aplicó el análisis documental que permitió organizar las informaciones tomadas de las diferentes plataformas virtuales para obtener un nuevo documento que permitió representar todo lo analizado y tomar las ideas relevantes. A través de este documento el investigador pudo recuperar la información con facilidad (Peña T. y Pírela J. 2007, p.59).

La ficha de análisis de contenido es una hoja encargada de sintetizar el contenido a analizar, brindando datos del autor, metodología y objetivos. Esta ficha fue aplicada en el presente y nos permitió sintetizar las lecturas de diferentes investigaciones con perspectivas similares al estudio comparativo de la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos.

3.6 Procedimientos

Las fuentes recolectadas para el presente estudio de investigación se dieron como indica en el grafico N°2.

Gráfico N°2. Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

3.7 Rigor científico

El rigor científico con los que se basó el presente estudio fue cuatro de acuerdo con Guba L. et al., 1989, p-241.

La credibilidad nos hace referencia como el investigador demuestra mediante análisis que los resultados brindados por diferentes autores son iguales o parecidos, esto nos demuestra que la información brindada es verídica (Arias G. et al., 2011, p.4). Este criterio se cumple con las fuentes que se extrajo de cada autor.

La confirmabilidad nos hace referencia a la neutralidad del proyecto de investigación se transpone del investigador como un tema, y en su lugar se concentra en la información y en sus interpretaciones (Hamberg K. et al., 1994, p.179). Este criterio se cumple dejando toda la información de los diferentes artículos en las bibliografías así otros investigadores puedan continuar con el estudio.

La transferibilidad nos hace referencia al poder de ampliar la información de los artículos científicos encontrados, para esto se debe contar con toda la información y cumplir con un correcto análisis (Hernández et al., 2014, p.456). Este criterio se cumple dejando toda la información sobre el estudio comparativo de adsorción del biocarbón y carbón modificado.

La dependencia, este criterio se basa en la estabilidad de los datos, los datos varían de acuerdo a los diferentes contextos, los investigadores tratan de crear una estabilidad a través de su información para obtener resultados congruentes (Arias et al., 2011, p.503). Este criterio se cumple mediante la certeza de los datos obtenidos de fuentes confiables, los cuales fueron dejados en la bibliografía.

3.8 Método de análisis de información

El análisis de información para el desarrollo de esta investigación se dividió en categorías y subcategorías de acuerdo con los objetivos específicos.

Las categorías fueron divididas en tres: Técnica de conversión termoquímica para la adsorción del biocarbon y carbón, la materia prima para la adsorción del biocarbón y carbón, mecanismos de adsorción del biocarbon y carbón. Las subcategorías fueron divididas en tres: Sub categoría 1 en pirolisis lenta, Pirólisis rápida, Torrefacción,

Gasificación; subcategoría 2 en residuos forestales, residuos agrícolas; subcategorías 3 en interacciones π - π , Hidrofobicidad, relleno de poros.

3.9 Aspectos éticos

Se utilizaron los siguientes aspectos éticos: La veracidad de los datos pasando por la revisión de sistemática antiplagio (Turnitin), La norma ISO 690 y 690-2, para el correcto uso de las referencias bibliográficas usadas. La Guía de productos observables de la Universidad Cesar Vallejo, se respeta el código de ética estipulado por la universidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aspectos más sobresalientes a saber sobre el estudio comparativo entre la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos se desarrollan en las tablas 5, 6 y 7; donde los aspectos más sobresalientes son la técnica de conversión más usada, debido a que los métodos termoquímicos para convertir biomasa en biocarbón, incluyendo la pirolisis, la torrefacción y la gasificación son esenciales para determinar el máximo rendimiento; así también la materia prima usada por el carbón y el biocarbón modificado; siendo este también un indicador para determinar el rendimiento y por último el mecanismo de adsorción comparativo entre el carbón y el biocarbón.

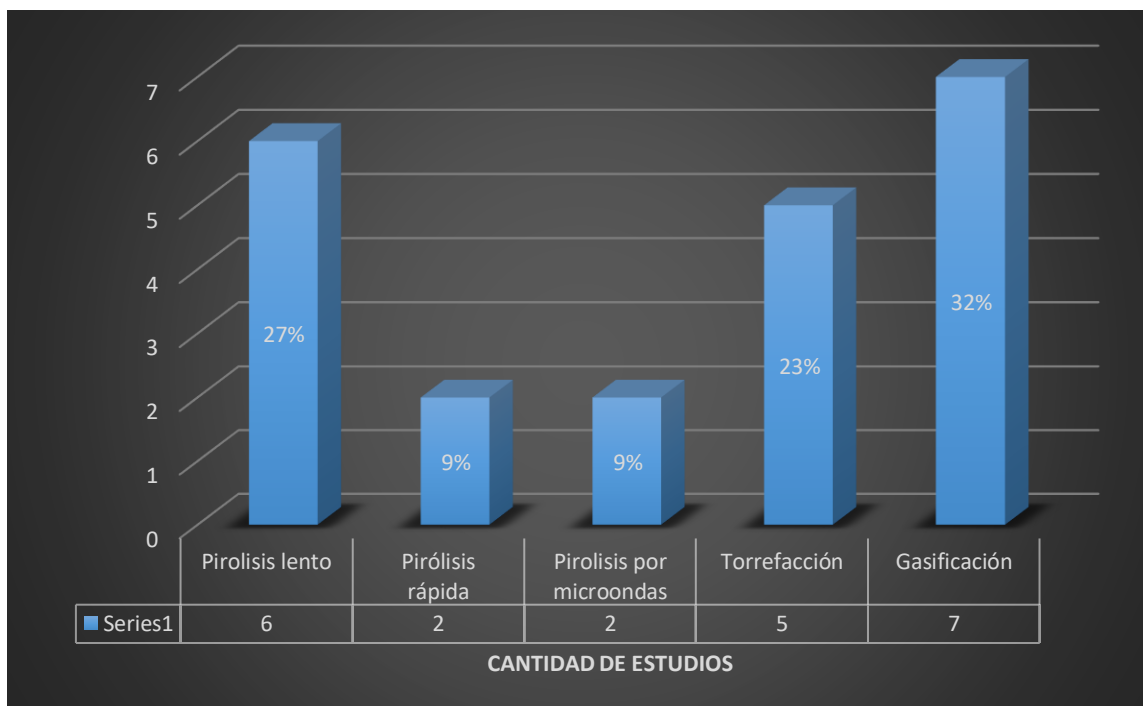
Siendo así que en la tabla 5, se realiza la comparación de la técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos.

Tabla N° 5: Técnicas de conversión termoquímica para la adsorción del biocarbón y carbón modificado

Técnica	Temperatura °C	Tiempo de residencia	Objetivo producto (%)	Velocidad de calentamiento	Aireación	Autores (es)
Pirolisis lento	350–980	1 h	biochar	<10 °C/min	O ₂ libre o limitado	6
Pirólisis rápida	400–1000	<2 s	bioaceite	~1000 °C/s	Sin O ₂	2
Pirolisis por microondas	450–650	0.5–10 s	Bioaceite, biochar	0.1 °C/s to > 1000 °C/s	-	2
Torrefacción	200–300	10–60 min	torrefacción biomasa	<10 °C/min	Sin O ₂	5
Gasificación	700–1500	10–20 s	gas de síntesis	Moderado - muy rápido	O ₂ libre o limitado	7

De acuerdo a la tabla 5 la técnica de conversión para la adsorción del biocarbón y carbón modificado se clasifican por las cinco técnicas de conversión, siendo la técnica de conversión termoquímica más usada la gasificación y la pirolisis lenta; quedando demostrado mediante la cantidad de estudios aplicados por temperatura y velocidad de calentamiento.

Gráfico N° 3: Comparación porcentual de las técnicas de conversión termoquímica más usadas



Elaboración propia

Por ende, de acuerdo a la tabla 5 respecto al gráfico 3 la técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos son la gasificación con un 32% de estudios aplicados y la pirolisis lenta con un 27%, seguida de la torrefacción con un 23%, por último, la pirolisis rápida y la pirolisis por microondas fueron las menos empleadas con un 9% para ambas.

De acuerdo con You et al., (2017), ello es debido a que la gasificación es un proceso termoquímico de combustión parcial que oxida la fracción orgánica y produce biocarbón a temperaturas más altas (700-1500 °C) con un tiempo de residencia corto de 10-20 s.

Siendo corroborado por los siguientes investigadores presentes en el estudio: Ahamad T. et al., 2019, Yang E. et al., 2018, Nasir M. et al., 2018, Piperopoulos E. et al., 2020, Sohaimi y N., 2016, Navarathna et al., 2020, Chen et al., 2019.

Pero, por otro lado, Yang M. et al., (2020); refuta lo mencionado anteriormente, mencionando que el rendimiento del biocarbón del proceso de gasificación es menor que el del proceso de pirolisis.

Así también, se realizó un estudio donde analizaron comparativamente las propiedades del biocarbón que se sintetizó mediante pirolisis lenta, pirolisis rápida y gasificación, donde los resultados mostraron que la capacidad del biocarbón producido por pirolisis lenta era mayor que la del biocarbón producido por pirolisis rápida y gasificación sugiriendo que la pirolisis lenta es el método más adecuado para la producción de biocarbón destinado a la eliminación de petróleo.

Siendo ello respaldado por los estudios del 27% de los artículos: Yang M. et al., 2020, Jesus J. et al., 2017, Jiang Y. et al., 2016, Stefelova J. et al., 2017, Anwana Abel et al., 2020, Shokry et al., 2020. Ello es también corroborado por la mención realizada en el estudio de Hernández-Mena L. et al., (2015, p.3), donde señala que la pirolisis lenta se considera el proceso de producción de biocarbón más factible y fiable proceso de producción de biocarbón en comparación con otros procesos.

Por otro lado; mediante la tabla 6, se analizó la materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimo.

Tabla N°6: Materia prima más usada

Materia prima	Temperatura de pirolisis (°C) / Velocidad de calentamiento	Contaminante	Fuente
CARBÓN			
Cáscaras de algodón	800, 4	Bomba oi Gasóleo Aceite de cacahuete Aceite lubricante	Yang M. et al., 2020
Cáscara de arroz	450, 10	Petróleo crudo	Kandanelli R. et al., 2018
Madera de pino	850, -	Tolueno	Silvani L. et al., 2017
Turba	300, -	Petróleo crudo	Alameri K. et al., 2019
Residuos de coco y Naranja residuos	350, 5	Naftalina, acenafteno, antraceno, pireno	Jesus J. et al., 2017
Mazorca de maíz Tallo de maíz Cáscara de arroz	300, -	Aguas residuales aceitosas	Ha N. et al., 2020
Arroz	300, -	-Diesel -Aceite de bomba de vacío	Huang X. et al., 2021

		-Queroseno - Aceite de parafina	
Residuos de trigo	600, -	Gasóleo	Jiang Y. et al., 2016
BIOCARBÓN MODIFICADO			
Huesos de palmera datilera / Modificación con nanocristales magnéticos de Fe ₃ O ₄ (impregnación magnética)	800, 5	Diesel	Ahamad T. et al., 2019
		Gasolina	
Bambú / Activación química del ZnCl ₂ , oxidación con HNO ₃ CONCENTRADO	700, 3	Dibenzotiofeno de combustible modelo	Yang E. et al., 2018
Palmera datilera / Activación Física con KOH	750, -	Aceite de motor	Nasir M. et al., 2018
Madera, algas Cladophora, bacterias	500, 10	Acetona, etanol, tolueno, cloroformo, aceite de motor, aceite de silicona, aceite mineral	Stefelova J. et al., 2017
Lechuga / Modificar con PDMS	180, -	Petróleo crudo N-hexano diésel Aceite de motor	Wang Z. et al., 2016
Material leñoso esloveno / Preparar forma de silicona llena de carbón	900, -	Queroseno Petróleo crudo Bomba de aceite	Piperopoulos E. et al., 2020
Lodos textiles / Activación química con ácido H ₃ PO ₄	700, 5	Aceite de cocina	Sohaimi y N., 2016
Cascara de mango / Activación química con ácido H ₃ PO ₄	450, -	Petróleo crudo ligero	Olufemi B. y Olorin A., 2017
Fibra de coco / Activación química con pellets de KOH	600, -	Petróleo crudo	Anwana Abel et al., 2020
Jacinto de agua	350-400, -	Gasolina	Shokry et al., 2020
Tallo de plátano / Impregnación con ZnCl ₂ , magnetización	400, -	Combustible de petróleo	Nazifa et al., 2019
Biocarbón disponible comercialmente / Modificación con ácido láurico y óxido de hierro	900, -	Petróleo crudo	Navarathna et al., 2020

Tallo de plátano / Impregnación con magnetización ZnCl ₂	400, -	Gasóleo	Nazifa et al., 2019
Cáscara de pomelo / Incorporación de micropartículas de biocarbón poroso en nanofibras híbridas de PVDF/SiO ₂ a través del proceso de formación por congelación	800, 5	Cloroformo Aceite de soja	Chen et al., 2019

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 6, la materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimo son los residuos de cosechas, forestales y domésticos, donde las más usadas son las cáscaras de residuos agrícolas, hojas secas y tallos. Además, su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado recae en la temperatura óptima de pirólisis.

Siendo así que, la temperatura de pirólisis desempeña un papel esencial, donde las temperaturas altas mayores a los 350 °C generan una mayor eficiencia del biocarbón, mientras que las temperaturas de pirólisis extremas es deficiente para la eficiencia del productor final. Además, la producción de biocarbón producción a temperaturas extremas (>700 °C) puede reducir el número de grupos funcionales en la estructura, limitando las propiedades químicas del biochar

Siendo así demostrado por Jindo K. et al., (2015); donde afirma que las temperaturas de pirólisis extremas provocan daños en algunas partes de la estructura de agujeros en el biocarbón derivado de los residuos de cáscaras, lo que da lugar a una disminución de la eficiencia de eliminación al 70%.

Lo que es apoyado por Jesus J. et al., (2017); quien manifiesta que la polimerización gradual de la celulosa y la lignina da lugar a la formación de una estructura de agujeros sueltos en el interior de la biomasa natural a alta temperatura (350 °C) y se atribuye a una mayor eficiencia de eliminación de aceite (65,3%) que el biocarbón sintetizado a temperaturas más bajas (inferiores a 350 °C) para el biocarbón derivado de la cáscara de arroz.

Pero, Silvani et al., (2017), manifiesta que el área superficial del biocarbón también juega un papel clave en la sorción de aceite de soluciones acuosas, ya que las interacciones específicas contaminante-superficie son de mayor alcance y las interacciones π - π entre los materiales orgánicos hidrofóbicos y la superficie del biocarbón influyen en la sorción de aceite en el biocarbón.

Así también lo confirma Yang M. et al., (2020), en la tabla 6, donde menciona que el biocarbón que posee una alta porosidad puede tener una elevada capacidad de sorción de aceite; presentando apoyo con su estudio Kandaneli R. et al., (2018), señala que el petróleo queda atrapado entre las disposiciones porosas del agua aceitosa, lo que da lugar a una elevada capacidad de sorción de petróleo.

Por último, se definió el mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos, mediante la comparación de los estudios presentados en la tabla 7.

Tabla N°7: Mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado

Materia prima	Contaminante	Capacidad de adsorción (g/g)	Mecanismo de adsorción	Fuente
CARBÓN				
Cáscaras de algodón	Bomba oi Gasóleo Aceite de cacahuete Aceite lubricante	5.5 3.1 3.2 5.1	Hidrofobicidad y porosidad	Yang M. et al., 2020
Cáscara de arroz	Petróleo crudo	Agua normal - 3,23 Agua salada - 3.03	Hidrofobicidad	Kandaneli R. et al., 2018
Madera de pino	Tolueno	Agua desionizada - 0,178 Agua de mar sintética - 0,09	Interacciones π - π	Silvani L. et al., 2017

Turba	Petróleo crudo	32.5	Relleno de poros, hidrofobicidad	Alameri K. et al., 2019
Residuos de coco y Naranja residuos	Naftalina, acenafteno, antraceno, pireno	47,09-83,02 × 10 ⁻⁶ para los residuos de coco 23,84-84,02 × 10 ⁻⁶ de naranja residuos de naranja	Interacciones π-π, hidrofobicidad	Jesus J. et al., 2017
Mazorca de maíz Tallo de maíz Cáscara de arroz	Aguas residuales aceitosas	2.3 6.4 5.7	Sorción debido a estructura microporosa, hidrofobicidad	Ha N. et al., 2020
Arroz	-Diesel -Aceite de bomba de vacío -Queroseno - Aceite de parafina	8.24 10.33 6.85 10.88	Hidrofobicidad	Huang X. et al., 2021
Residuos de trigo	Gasóleo	0.0237	Difusión intrapartícula	Jiang Y. et al., 2016
BIOCARBÓN MODIFICADO				
Huesos de palmera datilera / Modificación con nanocristales magnéticos de Fe ₃ O ₄ (impregnación magnética)	Diesel	En agua desionizada – 22,37 En agua de mar – 21,86	Hidrofobicidad, sorción debido a la estructura porosa	Ahamad T. et al., 2019
	Gasolina	En agua desionizada – 21,87 En agua de mar – 21.01		
Bambú / Activación química del ZnCl ₂ , oxidación con HNO ₃ CONCENTRADO	Dibenzotiofeno de combustible modelo	0.0384	interacciones π-π	Yang E. et al., 2018
Palmera datilera / Activación Física con KOH	Aceite de motor	Biocarbón – 11.712 Biocarbón activado – 33.402	Relleno de poros, hidrofobicidad	Nasir M. et al., 2018

Madera, algas Cladophora, bacterias	Acetona, etanol, tolueno, cloroformo, aceite de motor, aceite de silicona, aceite mineral	6–22 64–120	Sorción por porosidad	Stefelova J. et al., 2017
Lechuga / Modificar con PDMS	Petróleo crudo N-hexano diésel Aceite de motor	10.6 8.4 3.3 11.4	Acción capilar, hidrofobicidad	Wang Z. et al., 2016
Material leñoso esloveno / Preparar forma de silicona llena de carbón	Queroseno Petróleo crudo Bomba de aceite	5.57 1.57 1.3	Hidrofobicidad, porosidad	Piperopoulos E. et al., 2020
Lodos textiles / Activación química con ácido H ₃ PO ₄	Aceite de cocina	0.120	Adsorción física	Sohaimi y N., 2016
Cascara de mango / Activación química con ácido H ₃ PO ₄	Petróleo crudo ligero	0.0055	Adsorción física	Olufemi B. y Otolurin A., 2017
Fibra de coco / Activación química con pellets de KOH	Petróleo crudo	4.86	Quimisorción	Anwana Abel et al., 2020
Jacinto de agua	Gasolina	30.2	Relleno de poros, hidrofobicidad	Shokry et al., 2020
Tallo de plátano / Impregnación con ZnCl ₂ , magnetización	Combustible de petróleo	1.90	Adsorción física	Nazifa et al., 2019
Biocarbón disponible comercialmente / Modificación con ácido láurico y óxido de hierro	Petróleo crudo	3.31–9.4	Hidrofobicidad	Navarathna et al., 2020
Tallo de plátano / Impregnación con magnetización ZnCl ₂	Gasóleo	4.85	Quimisorción	Nazifa et al., 2019
Cáscara de pomelo /	Cloroformo Aceite de soja	120.3 118.5	Hidrofobicidad	Chen et al., 2019

Incorporación de micropartículas de biocarbón poroso en nanofibras híbridas de PVDF/SiO ₂ a través del proceso de formación por congelación				
--	--	--	--	--

Elaboración propia

Mediante la tabla 7, se definió el mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos: obteniendo que la capacidad de sorción de un material adsorbente depende en gran medida del llenado de poros, la atracción debido a la naturaleza hidrofóbica del adsorbente, la atracción electrostática, la atracción del donante-aceptor de electrones π - π y las interacciones electrofílicas. Siendo la hidrofobicidad la más encontrada por 13 de los investigadores.

Además, ello es corroborado por: Yang M. et al., 2020, Kandaneli R. et al., 2018, Alameri K. et al., 2019, Jesus J. et al., 2017, Ha N. et al., 2020, Huang X. et al., 2021, Ahamad T. et al., 2019, Nasir M. et al., 2018, Wang Z. et al., 2016, Piperopoulos E. et al., 2020, Shokry et al., 2020, Navarathna et al., 2020 y Chen et al., 2019; quienes muestran que la naturaleza hidrofóbica del adsorbente es el principal mecanismo de adsorción,

De acuerdo con Ahamad T. et al., (2019); un material hidrofóbico repele las moléculas de agua y, en consecuencia, la capacidad de sorción de aceite aumenta debido a la disminución de la competencia entre las moléculas de agua y aceite. Así también, Kandaneli R. et al., (2018), menciona que los adsorbentes se pueden clasificar como oleófilos, oleofóbicos y superoleofóbicos midiendo el ángulo de contacto de los aceites.

Pero, Yaashikaa et al., (2020), menciona en su estudio que a temperaturas de pirólisis superiores a 500 °C, se observa una mayor hidrofobicidad en el mecanismo de adsorción. Pero ello es ciertamente opuesto a lo mencionado por Sohaimi y N., (2016); quien menciona en su estudio experimental que el mecanismo de adsorción

usado por las diversas materias primas es la adsorción física. Siendo ello corroborado también por: Olufemi B. y Otolorin A., 2017, Nazifa et al., 2019.

V. CONCLUSIONES

Los aspectos más sobresalientes a saber sobre el estudio comparativo entre la adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos reveló que el biocarbón podría desempeñar un papel vital en el tratamiento de los derrames de petróleo pero aunque, las características excepcionales, como las excelentes propiedades hidrofóbicas, la elevada área superficial y la interacción específica contaminante-superficie del biochar, intensifican la capacidad de eliminación del petróleo, muchos casos indicaron que la modificación del biocarbón podría mejorar significativamente la potencialidad de absorción de aceite.

1. La técnica de conversión termoquímica más usada para una mayor adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos se clasifican por las cinco técnicas de conversión, siendo la técnica de conversión termoquímica más usada la gasificación y la pirolisis lenta; quedando demostrado mediante la cantidad de estudios aplicados por temperatura y velocidad de calentamiento. Además, se demostró ello obteniendo que la gasificación presentó un 32% de estudios aplicados, la pirolisis lenta con un 27%, seguida de la torrefacción con un 23%, por último, la pirolisis rápida y la pirolisis por microondas fueron las menos empleadas con un 9% para ambas.
2. La materia prima más usada y su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimo son los residuos de cosechas, forestales y domésticos, donde las más usadas son las cáscaras de residuos agrícolas, hojas secas y tallos. Además, su importancia en la capacidad de adsorción del biocarbón y carbón modificado recae en la temperatura óptima de pirolisis. Así también, la temperatura de pirolisis desempeña un papel esencial, donde las temperaturas altas mayores a los 350 °C generan una mayor eficiencia del biocarbón, mientras que las temperaturas de pirolisis extremas es deficiente para la eficiencia del productor final. Además, la producción de biocarbón producción a temperaturas extremas (>700 °C) puede reducir el número de grupos funcionales en la estructura, limitando las propiedades químicas del biochar.

3. El mecanismo de adsorción usado por las diversas materias primas usadas y el biocarbón o carbón modificado por activación en los derrames de petróleo marítimos son; el llenado de poros, la atracción debido a la naturaleza hidrofóbica del adsorbente, la atracción electrostática, la atracción del donante-aceptor de electrones π - π y las interacciones electrofílicas. Siendo la hidrofobicidad la más encontrada por los investigadores.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a la revisión exhaustiva realizada a nivel nacional e internacional se puede recomendar a los futuros investigadores seguir investigando el efecto de las condiciones de producción del biocarbón, los tipos de materia prima, la temperatura de pirolisis, la temperatura de adsorción y el contenido de fluido oleófilo extraído del biocarbón, etc., para la eliminación del aceite.

También, se recomienda no solo enfocarse en la contaminación de un elemento como los hidrocarburos en el mar; si no, debe investigarse la eficacia del biocarbón y carbón modificado en la adsorción de aceites en soluciones acuosas contaminadas con múltiples elementos.

Así mismo, se recomienda llevarse a cabo ensayos de campo a gran escala para realizarlos en condiciones climáticas normales y extremas para explorar la aplicabilidad práctica del biocarbón para la eliminación de derrames de petróleo.

Deben realizarse estudios a largo plazo para evaluar los efectos del envejecimiento y la toxicidad del biocarbón y su relación con la absorción de petróleo.

Por último, debido a que, el biocarbón producido a partir de biomasa que contiene contaminantes nocivos puede perturbar la vida acuática cuando se aplica a los vertidos de petróleo. En consecuencia, debe realizarse una evaluación adecuada del ciclo de vida para la preparación de biocarbón a partir de biomasa mediante diversos métodos de pirolisis y materias primas.

REFERNCIAS

1. ADAM, Paul. Salt marsh restoration. En Coastal wetlands. Elsevier, 2019. p. 817-861. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63893-9.00023-X>.
2. AHAMAD, Tansir, et al. Ultra-fast spill oil recovery using a mesoporous lignin based nanocomposite prepared from date palm pits (*Phoenix dactylifera* L.). International journal of biological macromolecules, 2019, vol. 130, p. 139-147. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.038>
3. AKINWUMIJU, Akinola S.; ADELODUN, Adedeji A.; OGUNDEJI, Seyi E. Geospatial assessment of oil spill pollution in the Niger Delta of Nigeria: an evidence-based evaluation of causes and potential remedies. Environmental Pollution, 2020, vol. 267, p. 115545. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115545>
4. ALBERT, Oshienemen N.; AMARATUNGA, Dilanthi; HAIGH, Richard P. Evaluation of the impacts of oil spill disaster on communities and its influence on restiveness in Niger Delta, Nigeria. Procedia engineering, 2018, vol. 212, p. 1054-1061. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.136>
5. Alpers, W., Liu, A. K., & Wu, S. Y. Satellite Remote Sensing SAR. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2018, vol 5, pag. 429-442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11615-X>
6. ALAMERI, Khawla, et al. Sorption and removal of crude oil spills from seawater using peat-derived biochar: An optimization study. Journal of environmental management, 2019, vol. 250, p. 109465. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109465>
7. ANTUNES, Elsa, et al. Application of biochar for emerging contaminant mitigation. En Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection. Elsevier, 2021. p. 65-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2021.08.003>

8. BAGBY, Sarah C., et al. Persistence and biodegradation of oil at the ocean floor following Deepwater Horizon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, vol. 114, no 1, p. E9-E18. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1610110114>
9. BANIASADI, Mahsa; MOUSAVI, Seyyed Mohammad. A comprehensive review on the bioremediation of oil spills. *Microbial action on hydrocarbons*, 2018, p. 223-254. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1840-5_10
10. BEJARANO, Adriana C.; MICHEL, Jacqueline. Oil spills and their impacts on sand beach invertebrate communities: A literature review. *Environmental pollution*, 2016, vol. 218, p. 709-722. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.065>
11. BELHACHEMI, Meriem. Adsorption of organic compounds on activated carbons. En *Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution*. Elsevier, 2021. p. 355-385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00006-7>
12. BEYER, Jonny, et al. Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: a review. *Marine pollution bulletin*, 2016, vol. 110, no 1, p. 28-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.027>
13. BRUEDERLE, Anna; HODLER, Roland. Effect of oil spills on infant mortality in Nigeria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, vol. 116, no 12, p. 5467-5471. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1818303116>
14. BRYANT, Wade L., et al. Harnessing a decade of data to inform future decisions: Insights into the ongoing hydrocarbon release at Taylor Energy's Mississippi Canyon Block 20 (MC20) site. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, vol. 155, p. 111056. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111056>
15. CHEN, Bing, et al. Marine oil spills—Preparedness and countermeasures. *World seas: An environmental evaluation*, 2019, p. 407-426. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00025-5>

16. Chen, B., Ye, X., Zhang, B., Jing, L. y Lee, K. (2019). Derrames de petróleo en el mar: preparación y contramedidas. Mares del mundo: una evaluación ambiental, 407–426. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00024-3>
17. DE JESUS, J. H. F., et al. Evaluation of waste biomasses and their biochars for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons. Journal of environmental management, 2017, vol. 200, p. 186-195. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.084>
18. DIAGBOYA, Paul N., et al. Comparative empirical evaluation of the aqueous adsorptive sequestration potential of low-cost feldspar-biochar composites for ivermectin. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2022, vol. 634, p. 127930. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127930>
19. GANDU, Bharath; RAO, A. Gangagni; CAHAN, Rivka. Air pollution control by using different types of techniques and sorbents. Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution, 2021, p. 575-594. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00002-X>
20. GONZALEZ, David JX, et al. Upstream oil and gas production and ambient air pollution in California. Science of The Total Environment, 2022, vol. 806, p. 150298. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150298>
21. GROSELL, Martin; PASPARAKIS, Christina. Physiological responses of fish to oil spills. Annual review of marine science, 2021, vol. 13, p. 137-160. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-040120-094802>
22. HÀ, Nguyễn Thanh. Research on Oil Adsorption Capacity of Carbonized Material Derived from Agricultural by-product (Cor Cob, Corn Stalk, Rice Husk) Using in Oily Wastewater Treatment. 2020. Disponible en: http://192.168.1.231:8080/dulieusoDIGITAL_123456789/5879
23. HERNANDEZ-MENA, Laidy E.; PÉCORAA, A. A.; BERALDOB, Antonio L. Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of biochar properties. Chem Eng, 2015, vol. 37, p. 115-120. Disponible en: <https://doi.org/10.3303/CET1437020>

24. HESTER, Mark W., et al. Impacts of the Deepwater Horizon oil spill on the salt marsh vegetation of Louisiana. *Environmental Pollution*, 2016, vol. 216, p. 361-370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.065>
25. HOANG, A. Tuan; PHAM, V. Viet; NGUYEN, D. Nam. A report of oil spill recovery technologies. *Int. J. Appl. Eng. Res*, 2018, vol. 13, no 7, p. 4915-4928. ISSN 0973-4562
26. HUANG, Xiaoye; JIANG, Ying; YU, Ruobing. Popped rice biochar and superhydrophobic SiO₂/popped rice biochar for oil adsorption. *Silicon*, 2021, vol. 13, no 8, p. 2661-2669. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00621-z>
27. HUETTEL, Markus. Oil pollution of beaches. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 2022, vol. 36, p. 100803. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100803>
28. IBRAHIM, Haytham MM. Biodegradation of used engine oil by novel strains of *Ochrobactrum anthropi* HM-1 and *Citrobacter freundii* HM-2 isolated from oil-contaminated soil. *3 Biotech*, 2016, vol. 6, no 2, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0540-5>
29. JIANG, Yu Feng, et al. Impact of biochar produced from post-harvest residue on the adsorption behavior of diesel oil on loess soil. *Environmental geochemistry and health*, 2016, vol. 38, no 1, p. 243-253. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9712-1>
30. JINDO, Keiji, et al. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 2014, vol. 11, no 23, p. 6613-6621. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/bg11-6613-2014>
31. KANDANELLI, Ramesh, et al. Cost effective and practically viable oil spillage mitigation: Comprehensive study with biochar. *Marine pollution bulletin*, 2018, vol. 128, p. 32-40. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.010>

32. KIENHUIS, Paul GM, et al. CEN methodology for oil spill identification. En Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics. Academic Press, 2016. p. 685-728. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00014-3>
33. KUNKA, Antonin; DAMBORSKY, Jiri; PROKOP, Zbynek. Haloalkane dehalogenases from marine organisms. Methods in enzymology, 2018, vol. 605, p. 203-251. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2018.03.005>
34. LEE, Kuan-Ting, et al. Spent coffee grounds biochar from torrefaction as a potential adsorbent for spilled diesel oil recovery and as an alternative fuel. Energy, 2022, vol. 239, p. 122467. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122467>
35. LEGORBURU, Irati; JOHNSON, Kate R.; KERR, Sandy A. Multi-use maritime platforms-North Sea oil and offshore wind: Opportunity and risk. Ocean & Coastal Management, 2018, vol. 160, p. 75-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.044>
36. Li, P., Cai, Q., Lin, W., Chen, B. y Zhang, B. (2016). Prácticas de respuesta a derrames de petróleo en alta mar y desafíos emergentes. Boletín de contaminación marina, 110(1), 6–27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.020>
37. LI, X.; NUNZIATA, F.; GARCIA, O. Oil spill detection from single-and multipolarization SAR imagery. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10407-5>
38. LITTLE, David I.; SHEPPARD, Stephen RJ; HULME, David. A perspective on oil spills: What we should have learned about global warming. Ocean & Coastal Management, 2021, vol. 202, p. 105509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105509>
39. LUO, Zejun, et al. High-value utilization of mask and heavy fraction of bio-oil: From hazardous waste to biochar, bio-oil, and graphene films. Journal of Hazardous Materials, 2021, vol. 420, p. 126570. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126570>

40. MADHUBASHANI, A. M. P., et al. Propensity and appraisal of biochar performance in removal of oil spills: A comprehensive review. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 288, p. 117676. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117676>
41. MAFIANA, Macdonald Ogorm, et al. Petroleum contamination significantly changes soil microbial communities in three oilfield locations in Delta State, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, no 24, p. 31447-31461. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12955-1>
42. MOREIRA, M. T.; NOYA, I.; FEIJOO, G. The prospective use of biochar as adsorption matrix—A review from a lifecycle perspective. *Bioresource technology*, 2017, vol. 246, p. 135-141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.041>
43. NASIR, Mohammad Ibrahim; HOSSAIN, Md Zakir; CHARPENTIER, P. A. Synthesis and Characterization of Date Palm Fiber-Based Bio-Char and Activated Carbon and its Utilization for Environmental Remediation. *Journal of Petroleum Research and Studies*, 2018, vol. 8, no 2, p. 209-222.
44. Ndimele, P. E., Saba, A. O., Ojo, D. O., Ndimele, C. C., Anetekhai, M. A., & Erondu, E. S. (2018). Remediation of Crude Oil Spillage. *The Political Ecology of Oil and Gas Activities in the Nigerian Aquatic Ecosystem*, 369–384. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809399-3.00024-0>
45. NDIMELE, Prince Emeka, et al. Remediation of crude oil spillage. En *The political ecology of oil and gas activities in the Nigerian aquatic ecosystem*. Academic Press, 2018. p. 369-384. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809399-3.00024-0>
46. OLUFEMI, Babatope Abimbola; OTOLORIN, Funmilayo. Comparative adsorption of crude oil using mango (*Mangnifera indica*) shell and mango shell activated carbon. *Environmental Engineering Research*, 2017, vol. 22, no 4, p. 384-392. Disponible en: <https://doi.org/10.4491/eer.2017.011>
47. PAGNUCCO, Rebecca; PHILLIPS, Megan L. Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms. *Journal of*

- environmental management, 2018, vol. 225, p. 10-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.094>
48. PAPAGEORGIOU, Asterios, et al. Biochar produced from wood waste for soil remediation in Sweden: Carbon sequestration and other environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 776, p. 145953. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145953>
49. PARVIAINEN, Tuuli; KUIKKA, Sakari; HAAPASAARI, Päivi. Enhancing science-policy interface in marine environmental governance: Oil spill response models as boundary objects in the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Marine Policy*, 2022, vol. 135, p. 104863. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104863>
50. PIPEROPOULOS, E., et al. Sustainable reuse of char waste for oil spill recovery foams. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2020, vol. 231, no 6, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04671-2>
51. PUNWONG, Paramita; JUPRASONG, Yotin; TRAIPEM, Paweena. Effects of an oil spill on the leaf anatomical characteristics of a beach plant (*Terminalia catappa* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 27, p. 21821-21828. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9814-7>
52. QAMBRANI, Naveed Ahmed, et al. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 79, p. 255-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>
53. RABALAIS, Nancy N.; SMITH, Leslie M.; TURNER, R. Eugene. The Deepwater Horizon oil spill and Gulf of Mexico shelf hypoxia. *Continental Shelf Research*, 2018, vol. 152, p. 98-107. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.11.007>
54. ROY, Poritosh; DIAS, Goretty. Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

2017, vol. 77, p. 59-69. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.136>

55. SARMAH, Ajit K. Biochar: Fundamentals and Applications in Environmental Science and Remediation Technologies. Academic Press, 2021. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2021.08.007>
56. SHAABAN, Muhammad; ABID, Muhammad. Biochar as a sorbent for organic and inorganic pollutants. En Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution. Elsevier, 2021. p. 189-208. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00001-8>
57. SILVANI, Ludovica, et al. Characterizing biochar as alternative sorbent for oil spill remediation. Scientific Reports, 2017, vol. 7, no 1, p. 1-10. Disponible en:
<https://doi.org/10.1038/srep43912>
58. SILVANI, Ludovica; CORNELISSEN, Gerard; HALE, Sarah E. Sorption of α -, β -, γ - and δ -hexachlorocyclohexane isomers to three widely different biochars: Sorption mechanisms and application. Chemosphere, 2019, vol. 219, p. 1044-1051. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.070>
59. SMEBYE, Andreas Botnen, et al. Life-cycle assessment of biochar production systems in tropical rural areas: Comparing flame curtain kilns to other production methods. Biomass and Bioenergy, 2017, vol. 101, p. 35-43. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.04.001>
60. SONI, Richa; BHARDWAJ, Shefali; SHUKLA, Dericks Praise. Various water-treatment technologies for inorganic contaminants: current status and future aspects. En Inorganic Pollutants in Water. Elsevier, 2020. p. 273-295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00014-7>
61. ŠTEFELOVÁ, Jana, et al. Drying and pyrolysis of cellulose nanofibers from wood, bacteria, and algae for char application in oil absorption and dye adsorption. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2017, vol. 5, no 3, p. 2679-2692. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b03027>

62. STRELITZ, Jean, et al. Deepwater Horizon oil spill exposures and nonfatal myocardial infarction in the GULF STUDY. *Environmental Health*, 2018, vol. 17, no 1, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0408-8>
63. SURKATTI, Riham; IBRAHIM, Mohamed H.; EL-NAAS, Muftah H. Date pits activated carbon as an effective adsorbent for water treatment. En *Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution*. Elsevier, 2021. p. 135-161. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820042-1.00007-9>
64. TEHRANI-BAGHA, Ali R.; BALCHI, Tarek. Catalytic wet peroxide oxidation. En *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*. Academic Press, 2018. p. 375-402. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00012-7>
65. UDDIN, Mohammad Kashif. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 308, p. 438-462. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>
66. UGWU, Chukwuma Felix; OGBA, Kalu TU; UGWU, Chioma S. Ecological and Economic Costs of Oil Spills in Niger Delta, Nigeria. En *Economic Effects of Natural Disasters*. Academic Press, 2021. p. 439-455. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817465-4.00026-1>
67. WANG, Zhuqing, et al. Biomass-derived porous carbonaceous aerogel as sorbent for oil-spill remediation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2016, vol. 8, no 48, p. 32862-32868. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsami.6b11648>
68. Williams, B. H., Burek Huntington, K., & Miller, M. Mustelids. *Pathology of Wildlife and Zoo Animals*, 2018, pag. 287–304.
69. XIN, Qin; HOUNJET, Lindsay J.; HARTWELL, Austin. Spill behaviours of pipeline-[transportable](#) processed bitumen products in fresh water. *Fuel*, 2022, vol. 309, p. 122040. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122040>

70. YANG, Enbo, et al. Bamboo-derived porous biochar for efficient adsorption removal of dibenzothiophene from model fuel. *Fuel*, 2018, vol. 211, p. 121-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.099>
71. YANG, Mouyuan, et al. Biochar produced from cotton husks and its application for the adsorption of oil products. En *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. p. 012022. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/545/1/012022>
72. Zhang, B., Matchinski, EJ, Chen, B., Ye, X., Jing, L. y Lee, K. (2019). Derrames de petróleo en el mar: contaminación por petróleo, fuentes y efectos. *Mares del mundo: una evaluación ambiental*, 391–406. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00024-3>

ANEXO:

Anexo N°1: Ficha de análisis de contenido

 Universidad César Vallejo	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	---------------------------------------

TITULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACION <input type="text"/>
TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR (ES):	
CÓDIGO :		
PALABRAS CLAVES :		
TIPO DE METODOLOGÍA :		
TÉCNICA DE CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA :		
MATERIA PRIMA MÁS USADA :		
MECANISMO DE ADSORCIÓN :		
RESULTADOS :		
CONCLUSIONES:		