



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Técnicas de remediación y recuperación de aguas contaminadas  
con hidrocarburos aromáticos policíclicos: Revisión sistemática

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Vargas Alminagorda, Ana María (ORCID: 0000-0001-8093-5313)

Cóndor Jesús, Julián Raúl (ORCID: 0000-0002-9455-6346)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LIMA – PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a nuestras familias, a nuestros hijos ya que ellos son nuestro motor y motivo para salir adelante y seguir luchando en la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la Universidad Cesar Vallejo por habernos dado la oportunidad de concluir nuestra carrera, al ingeniero que contribuyo con este logro profesional en nuestra vida.

## ÍNDICE DEL CONTENIDO

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	vii
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.....	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación de los HAPs presentes en el medio acuático</i>	5
<i>Tabla 2. Matriz de categorización apriorística</i>	16
<i>Tabla 3. Tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos</i>	21
<i>Tabla 4. Promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos</i>	24
<i>Tabla 4. Ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación</i>	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Generación y transmisión de los HAPs</i>	4
<i>Figura 2. Mecanismo general del destino medioambiental de los HAP en el ecosistema acuático</i>	6
<i>Figura 3. Proceso de extracción de solventes, diagrama de flujo del proceso simplificado</i>	8

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Efectos toxicológicos para la salud de la sobreexposición a los hidrocarburos del petróleo</i>	7
<i>Gráfico 2. Tipos de métodos de filtración</i>	9
<i>Gráfico 3. Procedimiento de selección de artículos</i>	18
<i>Gráfico 4. Tecnologías de recuperación y remediación de hidrocarburo en medio hídrico</i>	22

## RESUMEN

Este informe de investigación presenta como metodología de estudio un tipo aplico de diseño narrativo; donde se buscó y seleccionó 21 artículos mediante el análisis documental y la ficha recolección de datos como instrumento; pudiendo obtener lo siguiente:

Las tecnologías más usadas son la extracción líquido - líquido con un 38%, la técnica de filtración con un 33% y la técnica de adsorción con un 29%, ello debido a las amplias ventajas que presenta la técnica de extracción líquido – líquido como la alta capacidad del extractante y la alta selectividad de separación. El promedio de remoción por tecnología es alto, siendo el promedio de 60 a 90 %. Además, de acuerdo a la tecnología usada el método líquido - líquido presenta una buena recuperación que oscilaba entre el 94,0% y el 110,5% con una buena regresión de hasta el 99,7%. Las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología, demuestran que las técnicas de filtración en varios procesos, ya sea como compuesto o como membrana real, pueden ser utilizados como membrana en varios procesos de filtración para eliminar los HAP del agua contaminada. Mientras que la tecnología de adsorción como la aplicación de nanotubos de carbón se contaminan en el proceso lo que puede hacer que dichas tecnologías no sean higiénicas para la purificación del agua y por último, la tecnología de líquido – líquido presenta algunos inconvenientes como la fragilidad, la baja eficiencia de extracción, los altos efectos de matriz y las dificultades con la separación de fases utilizando algunos disolventes orgánicos.

**Palabras clave:** Remediación, Recuperación, Aguas contaminadas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, adsorción, filtración

## ABSTRACT

This research report presents as methodology of study an applied type of narrative design; where 21 articles were searched and selected by means of documentary analysis and the data collection form as an instrument; being able to obtain the following:

The most used technologies are the liquid-liquid extraction with 38%, the filtration technique with 33% and the adsorption technique with 29%, this due to the wide advantages that the liquid-liquid extraction technique presents such as the high capacity of the extractant and the high separation selectivity. The average removal rate per technology is high, with an average of 60 to 90 %. In addition, according to the technology used, the liquid-liquid method presents a good recovery that ranged from 94.0% to 110.5% with a good regression of up to 99.7%. The advantages and limitations by each type of technology, show that filtration techniques in various processes, either as composite or as actual membrane, can be used as membrane in various filtration processes to remove PAHs from contaminated water. While adsorption technology such as the application of carbon nanotubes are contaminated in the process which may make such technologies unhygienic for water purification and finally, liquid-liquid technology presents some drawbacks such as brittleness, low extraction efficiency, high matrix effects and difficulties with phase separation using some organic solvents.

**Keywords:** Remediation, Recovery, Polluted water, polycyclic aromatic hydrocarbons, adsorption, filtration, filtration

# I. INTRODUCCIÓN

La elevada demanda de energía en la industria y la agricultura, así como para uso civil, ha llevado a un amplio uso de grandes cantidades de materiales orgánicos, como la madera, el carbón y el petróleo (Sutilli Marina et al., 2019, p.1). Estos producen grandes cantidades de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) debido a su combustión incompleta (Han Jun et al., 2019, p.1).

Las principales fuentes de emisiones de PAH son; combustión incompleta de biomasa, combustibles fósiles, derrames de petróleo y diagénesis de materia orgánica (Szopinska Malgorzata et al., 2019, p.2).

Como resultado de la circulación atmosférica., transporte de polvo y procesos cíclicos de volatilización / deposición, los HAP se distribuyen en varios elementos del medio ambiente como la atmósfera, agua de mar, agua dulce, sedimentos y biota (Rodríguez Carolina et al., 2018, p.2).

Los HAPs son altamente tóxicos y tienen propiedades teratogénicas, mutagénicas y cancerígenas y han sido catalogados como contaminantes de control prioritario por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Bhadra Biswa et al., 2018, p.3). Lamentablemente, los HAPs siguen siendo vertidos y han provocado una grave contaminación del medio ambiente a escala mundial (Manousi Natalia et al., 2021, p.2).

Las emisiones de HAP derivadas de la combustión incompleta de combustible en China ascendieron a 32.720 toneladas en 2016 (Xiao Xin et al., 2017, p.2). La contaminación por HAP en la Antártida refleja la contaminación total emitida en el hemisferio sur, a pesar de la masa terrestre comparativamente pequeña (con el hemisferio norte), la baja actividad humana y la corta historia de actividad industrial del continente (Cao Shengkai et al., 2018, p.3).

Además, la emisión de efluentes, la deposición atmosférica y la escorrentía superficial han provocado una grave contaminación del medio acuático acuático por HAP, especialmente naftaleno (NAP), acenafteno (ACE), y fenantreno (PHE), debido a su relativamente alta volatilidad y solubilidad en el agua (Meng Yuan et al., 2019, p.2).

Es, por tanto, importante y urgente buscar una tecnología de remediación eficiente para las aguas contaminadas con HAPs (Lamichhane S. et al., 2016, p.2).



En la actualidad, los métodos utilizados para eliminar los HAP de nuestro medio ambiente pueden clasificarse ampliamente en procesos físicos, químicos y biológicos (Saleh Tawfik A., 2018, p.2).

Ante ello, la adsorción se considera la mejor tecnología de tratamiento de aguas residuales porque es rentable, universal y fácil de operar; presenta ventajas que lo ponen por encima de los tratamientos químicos o biológicos y su aplicación es diversa con respecto a los contaminantes orgánicos solubles e insolubles de diversas fuentes (Poo Kyung Min et al., 2018, p.2).

En este contexto, el presente estudio tuvo como problema general plantear: ¿Cuáles son los aspectos más resaltantes de la aplicación de las tecnologías de recuperación y remediación en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos? y como problemas específicos se propuso:

**PE1:** ¿Cuáles son las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos?

**PE2:** ¿Cuál es el promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos?

**PE3:** ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleada en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos?

Y como objetivo general se propuso: Determinar los aspectos más resaltantes de la aplicación de las tecnologías de recuperación y remediación en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos; y los objetivos específicos son:

**OE1:** Analizar las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos

**OE2:** Identificar el promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos

**OE3:** Clasificar las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleada en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos

Ante la realidad problemática descrita, se expone la justificación del presente estudio; siendo presentada una justificación teórica, debido al análisis que se realizará con estudios ya existentes de los últimos 10 años de antigüedad, con el objetivo de resolver la contaminación del agua por HAP, para lo cual se estudiarán diversas tecnologías de remediación y recuperación, con la finalidad de brindar un aporte teórico de estudios actualizados a nivel mundial.

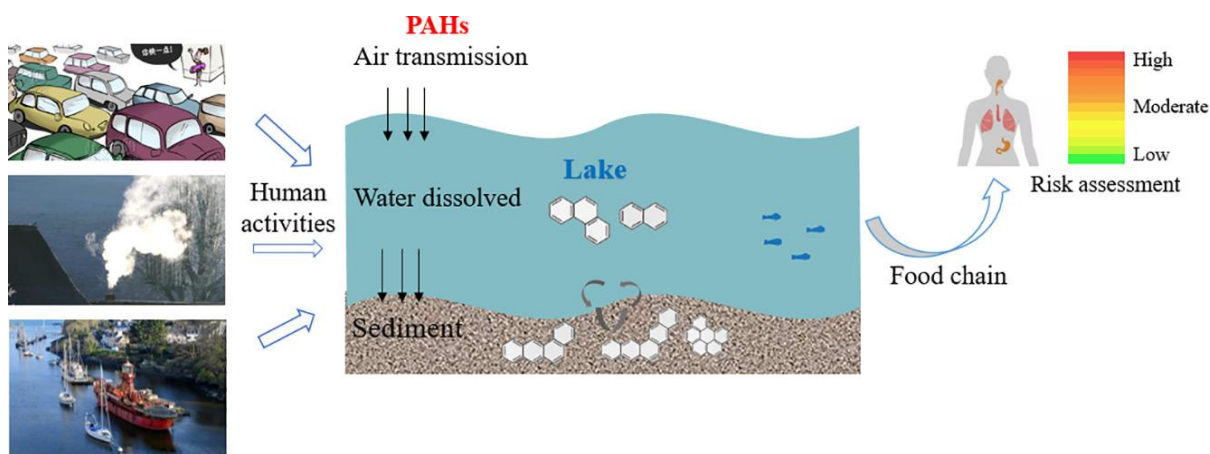
## II. MARCO TEÓRICO

Los entornos acuáticos se han visto perturbados por las actividades humanas durante milenios, lo que ha provocado cada vez más el deterioro de las cadenas alimentarias y, en última instancia, la destrucción de las redes alimentarias acuáticas (wu Y., 2017, p.71).

Es así que, los HAP son motivo de especial preocupación dada su ubicuidad en varios compartimentos ambientales y sus efectos potencialmente dañinos sobre los ecosistemas (Guo Jing et al., 2018, p.1). Los HAP se derivan principalmente de fuentes antropogénicas debido a la combustión incompleta de carbón, madera o gasolina, así como a procesos industriales (Tan Xiangling et al., 2019, p.3). Así mismo, también pueden ser emitidos por fuentes naturales, incluidos incendios forestales, actividad volcánica y microorganismos, lo que contribuye a la contaminación de fondo en el medio ambiente (Suzuki N. y Col, 2019, p.2).

Es decir, las fuentes de entrada de hidrocarburos de petróleo en el medio ambiente son numerosas, ya que el número de componentes individuales de los hidrocarburos es bastante grande. (Ver figura 1.)

**Figura N°1. Generación y transmisión de los HAPs**



*Fuente: Meng, Yuan, et al. (2019)*

Como se observa en la figura 1, los HAP pueden transportarse a largas distancias y pueden ingresar al medio ambiente acuático a través de vías atmosféricas después de procesos de deposición secos o húmedos.

Es decir que, la liberación antropogénica inadvertida o deliberada e incontrolada de contaminantes de hidrocarburos de petróleo resultante de la exploración y producción

de petróleo y gas, el transporte y el almacenamiento, las fugas de los tanques, los derrames accidentales en la carga y descarga, el lastrado y deslastrado, el abastecimiento de combustible (Freiji Afnan M., 2016, p.2). Así como, el incidente de los petroleros, el vertido de efluentes de la industria petroquímica, las emisiones fugitivas, la rotura de tuberías subterráneas envejecidas, la guerra y las crisis políticas, el sabotaje y los desastres naturales perturban el medio ambiente y dejan impactos negativos en los entornos terrestres y marinos (Varjani S. y Upasanni V., 2017, p.2).

Todas estas fuentes suponen un riesgo directo e indirecto para la salud de todas las formas de vida en el entorno afectado a través de la alteración de la dinámica de la población y la perturbación de la interacción trófica y la estructura natural de la comunidad dentro del ecosistema (Ite Aniefiok E. et al., 2018, p.2).

También pueden ser vertidos directamente en cuerpos de agua a través del transporte o uso industrial de petróleo, aguas residuales industriales o escorrentías urbanas (Hatzianestis Loannis et al., 2020, p.2). Donde estos HAPs son especialmente detectados en el medio ambiente acuático, incluyendo el agua, los sedimentos, los peces, los invertebrados bentónicos, las aves marinas y los mamíferos marinos (Uno Seiichi et al., 2017, p.2).

Además, se considera que los HAPs en el medio acuático son principalmente de cuatro tipos como se muestra en la tabla 1.

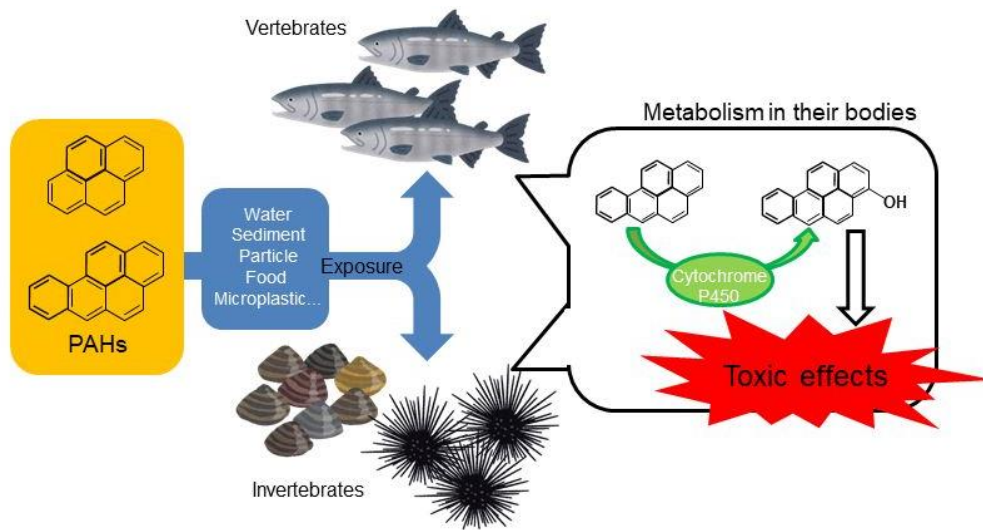
**Tabla N°1. Clasificación de los HAPs presentes en el medio acuático**

<b>Tipo de HAPs en el medio acuático</b>	<b>Definición</b>
<i>Petrogénicos</i>	Derivados de combustibles
<i>Pirogénicos</i>	Derivados de un proceso de combustión incompleta
<i>Biogénicos</i>	Generados por el metabolismo orgánico
<i>Diagenéticos</i>	Generados por el proceso de transformación en los sedimentos

*Fuente: Romero Isabel C. et al., (2018)*

De los cuatro tipos de fuentes, las fuentes petrogénicas y pirogénicas son principalmente artificiales y son importantes contribuyentes de la contaminación ambiental por HAP en los ecosistemas acuáticos. (Ver figura 2)

**Figura N°2.** Mecanismo general del destino medioambiental de los HAP en el ecosistema acuático



*Fuente: Honda M. y Suzuki N, (2020)*

La afinidad de los compuestos individuales por la materia orgánica está determinada por parámetros fisicoquímicos como el coeficiente de partición carbono orgánico / agua (Koc), que es alto para los HAP (Ferrero Luca et al., 2019, p.2).

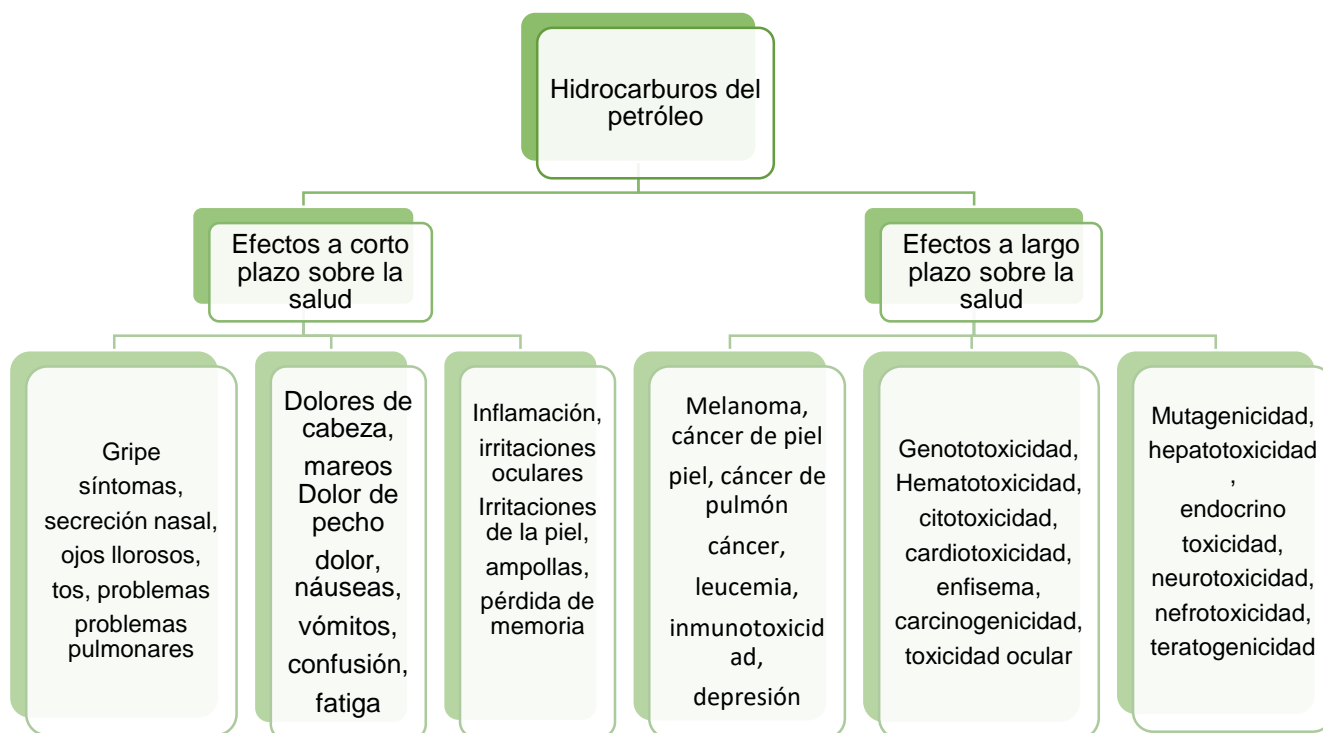
Ello se debe a que, los HAP son muy persistentes y muestran una solubilidad en agua de moderada a baja, lo que promueve la adsorción de material particulado y la posterior acumulación en sedimentos; por tanto, los sedimentos actúan como sumideros de PAH (Al Hawash A. et al., 2018, p.3). Además, gracias a su liposolubilidad, que les permite atravesar las membranas celulares y penetrar y asentarse en los tejidos adiposos, pueden acumularse en organismos acuáticos y cadenas alimentarias (Neroda Andrey S. et al., 2019, p.4).

Se sabe que algunos HAP tienen propiedades cancerígenas, mutágenas y teratogénicas, en consecuencia, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha evaluado 16 HAP como sustancias peligrosas prioritarias (Khatmullina R. et al., 2018, p.1). Además, los HAP se han clasificado como compuestos ubicuos persistentes, bioacumulativos y tóxicos según la Directiva Marco del Agua de la UE (Arockiaraj S. y Kankara R., 2019, p.1).

Además de los efectos mutagénicos y cancerígenos, estudios toxicológicos recientes han revelado el potencial de los HAP para causar estrés oxidativo y genotoxicidad y

actuar como disruptores endocrinos (Honda M. y Suzuki N, 2020, p.2). Siendo mostrado en el gráfico 1 los efectos sobre la salud de los hidrocarburos de petróleo.

**Gráfico N°1.** Efectos toxicológicos para la salud de la sobreexposición a los hidrocarburos del petróleo



Fuente: Ossai I. et al., (2019)

Ante esta problemática se buscan tecnologías eficientes y viables que puedan remediar y recuperar las aguas contaminadas con HAP, sin embargo, los HAP suelen ser inmunes a la descomposición biológica y, lo que es más importante, no siempre se extraen de forma eficiente mediante métodos químicos y fisicoquímicos habituales, como la ozonización, la coagulación y la sedimentación (Abdel Shafy H. et al., 2016, p.2). Ello también a que estas técnicas presentan sub productos tóxicos (Baskar G. et al., 2018, p.2).

Por ejemplo, los procesos químicos tienen algunos contratiempos ya que algunos de los subproductos de los procesos de descontaminación de HAP son más peligrosos que los HAP en sí (Ukiwe et al., 2013, p.1). Así también, el uso de procesos biológicos se ha visto limitado por la naturaleza biorrecalcitrante, tóxica y de baja solubilidad de los HAP en el agua (Mojiri Amin et al., 2019, p.5).

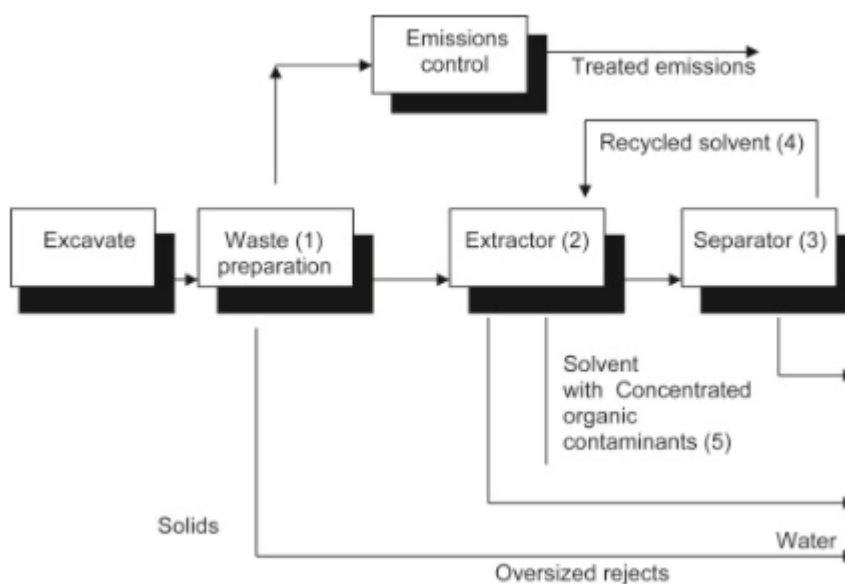
Por lo tanto, la mayoría de estas tecnologías en lo que respecta a los HAP no pueden solucionar la contaminación del agua de manera sostenible (Kuppusamy Saranya et al., 2017, p.1).

Ante ello, enfoques en los procesos de extracción física por solventes líquido - líquido, la filtración y la adsorción parecen ser los métodos más apropiados, eficientes y asequibles con respecto a la naturaleza y facilidad de operación (Baskar G. et al., 2019, p.187).

La extracción por solvente es en última instancia un proceso de partición entre dos solventes inmiscibles, y para su optimización, es necesario conocer en primer lugar los parámetros operativos del sistema (Crompton T., 2016, p.192). Donde, la extracción por solvente puede ocurrir bajo tres enfoques de procesamiento.

El enfoque más común emplea dos fases en contacto en condiciones ambientales de temperatura y presión, en las que los contaminantes se intercambian entre la matriz sólida y un solvente líquido (Picayo G. y Jensen M., 2018, p.2). En otro enfoque, los gases licuados, como el propano, se utilizan como disolvente, finalmente, los sistemas de extracción por solvente a temperatura de solución crítica utilizan solventes, como aminas alifáticas, en los que la solubilidad puede variar en el rango de temperatura de operación del proceso (Zhang Z. et al., 2016, p.287).

**Figura N°3.** *Proceso de extracción de solventes, diagrama de flujo del proceso simplificado*



Fuente: Muralikrishna I. et al., (2017)

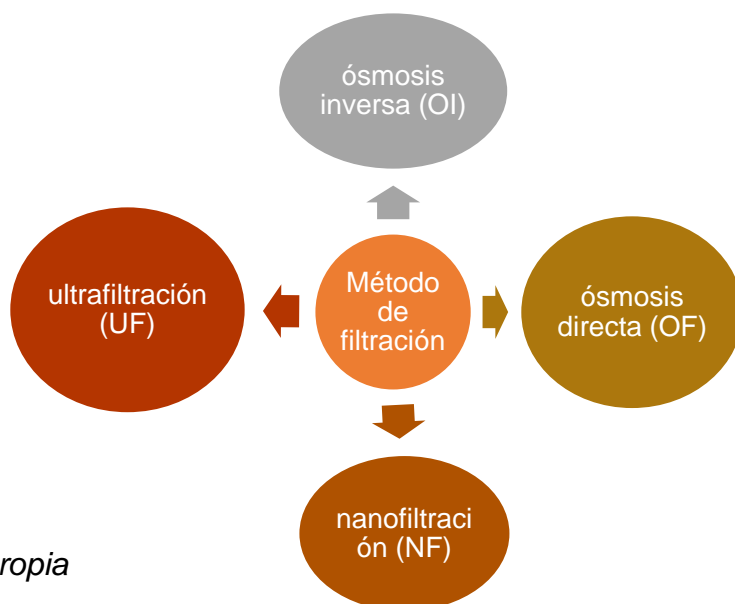
Como se muestra en la figura 3, la extracción con solvente consiste en las operaciones unitarias.

Estos procesos utilizan extracción líquido-líquido a dos temperaturas diferentes, donde a las temperaturas de funcionamiento más bajas, los disolventes son miscibles, mientras que, a las temperaturas más altas, los dos disolventes son completamente inmiscibles (Gasser M. y Rahman R., 2021, p.2). Así mismo, los procesos de extracción de solventes operan en modo discontinuo o continuo, y todos emplean operaciones unitarias similares (Sajid M. et al., 2018, p.1).

Por otro lado, la filtración es un proceso que elimina los solutos de los fluidos a través de un medio (filtro) que permite el paso del fluido y retiene los solutos; donde el procedimiento puede ser mecánico, físico o biológico y el fluido que pasa por el filtro se denomina filtrado (Nakagawa T. et al., 2022, p.2).

Es así que, en la actualidad, la membrana es el medio común utilizado por el proceso de filtración para la eliminación de los HAP y la aplicación de diferentes procedimientos de filtración depende del tamaño de las partículas retenidas en la membrana (Smol M. et al., 2016, p.2). Por lo tanto, la microfiltración no se ha considerado realmente para la eliminación de HAPs porque el tamaño de las partículas de HAPs es mucho menor que el tamaño de los poros de las membranas de microfiltración (MF) (Smol M. et al., 2017, p.4).

**Gráfico N°2. Tipos de métodos de filtración**



*Elaboración propia*



Así, los procedimientos más comunes aplicados en la filtración para la eliminación de HAPs se muestran en el gráfico 2.

Pero también, los métodos físicos presentan ciertos inconvenientes referente a los materiales que se usan para aplicación, siendo en algunos de los casos empleado incorporados nanotubos de carbono (CNT) (Takahiro M., 2021, p.230). Estos son moléculas cilíndricas grandes que consisten en una disposición hexagonal de átomos de carbono hibridados, que pueden formarse enrollando una sola hoja de grafeno (nanotubos de carbono de pared simple, SWCNT) o enrollando varias hojas de grafeno (multipared nanotubos de carbono, MWCNT) (Holban A. y Grumezescu A., 2016, p.3).

También se puede considerar a los métodos de adsorción los cuales consisten en la adhesión de partículas en la superficie o en las interfaces como resultado de la interacción entre la superficie y las partículas (Oh Junho et al., 2021, p.2).

La adsorción en el medio acuático actúa como una interfaz entre el agua contaminada y el adsorbente sólido (Ma Xiancheng et al., 2022, p.428). En tal sentido; la partícula adsorbida se denomina adsorbato mientras que la fase adsorbente se conoce como adsorbente (Fu Xin ge et al., 2021, p.4).

Por otro lado, se muestran los antecedentes de estudios internacionales que se encontraron enfocados en el tema tratado:

Hao Zheng et al., (2021), en este estudio se aplicó un nuevo biocarbón de esponja de lufa magnética de malla tridimensional (MagLsBC), elaborado a partir de un producto agrícola natural, para remediar los sedimentos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). En comparación con otros materiales a base de carbono, MagLsBC logró una alta reducción del contenido de HAP y la biodisponibilidad en el sedimento en un 31,9% y un 38,1%, respectivamente, después de 350 días. Concluyendo que estos resultados brindan nuevos conocimientos sobre el efecto de los materiales de carbono magnético en la comunidad microbiana y la función de degradación de contaminantes orgánicos durante la enmienda a largo plazo, lo que demuestra que MagLsBC es un material eficaz con potencial de bioestimulación para el control de riesgos de contaminación por PAH.

Bolade Oladotun et al., (2021), este estudio investigó la caracterización del petróleo crudo de Nigeria usando cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) y la eficiencia del persulfato de sodio activado alcalino en la degradación de hidrocarburos de petróleo en agua contaminada con petróleo crudo. Los hidrocarburos (alifáticos y aromáticos), no hidrocarburos y otros constituyentes se caracterizaron en muestras de petróleo crudo. Dando como resultados que, a partir de una concentración inicial de TPH de  $\sim 137 \text{ mg L}^{-1}$  en agua, se logró una degradación casi completa con una dosis de oxidante de 0.3 y 0.5 M. Con persulfato de sodio 0,7 M, el 76% de TPH se degradó en 8 días. Concluyendo que, el persulfato alcalino activado es eficaz para la remediación de la contaminación por hidrocarburos de petróleo.

An Jiwoo et al., (2017), se desarrollaron un método de microextracción de gota única en el espacio de cabeza (HS-SDME) y un método de microextracción líquido-líquido dispersivo (DLLME) utilizando dos líquidos iónicos magnéticos (MIL) basados en tetracloromanganato ( $[\text{MnCl}_4]^{2-}$ ) como disolventes de extracción para la determinación de doce compuestos aromáticos, incluidos cuatro hidrocarburos poliaromáticos, mediante cromatografía líquida de alta resolución en fase inversa (HPLC). Donde, el rendimiento analítico del método HS-SDME desarrollado se comparó con el enfoque DLLME que emplea las mismas MIL. Dando como resultados que, los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) variaron de 0,994 a 0,999 y los límites de detección (LOD) variaron de 0,04 a  $1,0 \mu\text{g L}^{-1}$  con recuperaciones relativas del agua del lago que variaron de 70,2% a 109,6% y las recuperaciones relativas de las muestras de agua del lago oscilaron entre el 68,7% y el 104,5%.

Yin Jun et al., (2016), Se preparó una membrana de nanocompuesto de película delgada (TFN) que contenía nanohojas de óxido de grafeno (GO) mediante el proceso de polimerización interfacial in situ. En este proceso se utilizaron soluciones de mezcla acuosa de m-fenilendiamina (MPD) y cloruro de trimesoilo orgánico (TMC) - GO. Se prepararon nanohojas GO con una estructura multicapa y un espaciado entre capas de alrededor de 0,83 nm y se usaron como rellenos en concentraciones que van de 0 a 0,02 % en peso durante la fabricación de la membrana. Donde los resultados indicaron que las nanohojas de GO se dispersaron bien en la capa de poliamida (PA) y su incorporación mejoró el rendimiento de la membrana. Con una concentración creciente de GO de 0 a 0.015 % en peso en la fase TMC-hexano durante la fabricación, el flujo de permeado por debajo de 300 psi aumentó de 39.0

$\pm 1.6$  a  $59.4 \pm 0.4$  L / m<sup>2</sup> h, mientras que los rechazos de NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> disminuyeron ligeramente de  $95,7 \pm 0,6\%$  a  $93,8 \pm 0,6\%$  y  $98,1 \pm 0,4\%$  a  $97,3 \pm 0,3\%$ , respectivamente.

Inukai Shigeki et al., (2016), en este trabajo, se preparó con éxito una membrana delgada compuesta de ósmosis inversa (RO) de alto rendimiento que utiliza nanotubos de carbono de paredes múltiples (MWCNT) y poliamida aromática (PA) mediante polimerización interfacial. Se estudió el efecto de MWCNT sobre la resistencia al cloro, el comportamiento antiincrustante y de desalinización de las membranas de nanocompuestos. Encontramos que una cantidad adecuada de MWCNT en PA, 15,5% en peso, no solo mejora el rendimiento de la membrana en términos de flujo y antiincrustante, sino que también inhibe la degradación del cloro en estas membranas. Por lo tanto, los presentes resultados establecen claramente una base sólida hacia la desalinización de agua a gran escala y otros procesos de tratamiento de agua más eficientes.

Sabir Aneela et al., (2016), en este estudio, nanotubos de carbono de paredes múltiples prístinos (MWCNT) se modificaron por ingeniería superficial (SE) en un medio ácido fuerte mediante el método de purificación por oxidación para formar SE-MWCNT. Cinco cantidades diferentes de SE-MWCNT que van desde 0,1 a 0,5 % en peso se dispersaron completa y uniformemente en una matriz de polímero de acetato de celulosa / polietilenglicol (CA / PEG400) durante la síntesis de la membrana mediante el método de moldeo por disolución. Donde, el flujo de permeación y el rechazo de sal se determinaron utilizando una planta piloto de ósmosis inversa fabricada en el país con 1000 ppm de solución de alimentación de NaCl. Los resultados mostraron que la membrana de matriz de polímero SE-MWCNT / CA / PEG400 anclada, con una fuerte interacción SE-MWCNT / matriz de polímero, mejoró el rendimiento de rechazo de sal de la membrana con el rechazo de sal del 99,8% para el contenido más alto de SE-MWCNT.

Aksu Abdullah., (2016), en este estudio, se seleccionó la atmósfera de la región de Estambul-Tuzla como el área de trabajo para la contaminación atmosférica. El material particulado se filtró de los aerosoles mediante un muestreador de aire de alto volumen. Donde, las concentraciones medias de metales pesados individuales se encontraron como Cd (0,06 ng / m<sup>3</sup>) <Cr (0,09 ng / m<sup>3</sup>) <Zn (0,21 ng / m<sup>3</sup>) <Pb (0,23 ng / m<sup>3</sup>) <Cu (0,48 ng / m<sup>3</sup>)<sup>3</sup>). Las concentraciones de elementos corticales

Fe y Al se modificaron entre 5,48 ng / m<sup>3</sup> , 74 ng / m<sup>3</sup> y 14 ng / m<sup>3</sup> , 284 ng / m<sup>3</sup> respectivamente durante el período de muestreo. Excepto que la contribución antropogénica de Cr y Fe se observó en las concentraciones de Zn, Cu, Pb y Cd en un orden creciente. Si bien el elemento de la corteza Fe no mostró un cambio apreciable en la concentración, la concentración de Al sí mostró un cambio importante en la concentración dependiendo del transporte del viento.

He Zeying et al., (2014), en este estudio, se sintetizó con éxito una nueva nanopartícula magnética balanceada hidrófila-lipófila, poli (divinilbenceno-co-N-vinilpirrolidona) (HLB-MPNP) y se aplicó para la extracción y determinación de plaguicidas triazina y organoclorados en muestras de agua ambiental. Se investigaron y optimizaron los parámetros experimentales que afectan la eficiencia de la extracción, incluidas las condiciones de desorción, el pH de la muestra, el volumen de la muestra y el tiempo de extracción. En las condiciones óptimas, se obtuvo una buena linealidad en el rango de 0,20 a 10 µg L<sup>-1</sup> para herbicidas de triazina y 5.0–100 ng L<sup>-1</sup> para plaguicidas organoclorados, con coeficientes de correlación que van de 0,994 a 0,999. Los límites de determinación estuvieron entre 0.048 y 0.081 µg L<sup>-1</sup> para herbicidas triazínicos y 0.39 y 3.26 ng L<sup>-1</sup> para pesticidas organoclorados.

Son Moon et al., (2016), se propone una membrana de nanocompuesto de película delgada (TFN) con nanotubos de carbono (CNT) incrustados verticalmente en la capa activa para maximizar la permeabilidad de la membrana sin sacrificar significativamente la selectividad. Donde, la membrana TFN desarrollada, por lo tanto, mostró un flujo de agua aún más alto y un flujo de sal inverso más bajo en comparación con las membranas de FO comerciales proporcionadas recientemente. Este método es fácil de ampliar con un proceso de fabricación de un solo paso y es rentable debido a su simplicidad y la baja concentración de la solución de CNT utilizada. Por lo tanto, estos hallazgos podrían contribuir a la producción de agua dulce utilizando el proceso FO para superar la escasez mundial de agua.

Yap Chiew L. et al., (2012), Se midieron las solubilidades de fenantreno, antraceno, fluoranteno y benzo [a] pireno en mezclas de lactato de etilo / agua y etanol / agua usando técnicas de equilibrio. Los poderes de cosolvencia derivados de los datos de solubilidad se aplicaron luego al modelo desarrollado a partir del enfoque solvofóbico para predecir la capacidad del lactato de etilo y el etanol para mejorar la desorción de contaminantes de los suelos. Demostrando que, tanto el lactato de etilo como los

codisolventes de etanol podían mejorar la solubilización de los cuatro hidrocarburos aromáticos policíclicos ensayados en > 4 órdenes de magnitud por encima de los niveles obtenidos con agua sola. Sin embargo, el lactato de etilo demostró una mayor capacidad para mejorar la solubilidad de PAH que el etanol.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipos de investigación**

La presente investigación cualitativa nos va a permitir conocer los hechos en su escenario real y conocer como los participantes del fenómeno investigado vivieron los hechos. Según Hernández (2014), la investigación cualitativa permite que en el transcurso o desarrollo de esta no se tenga una secuencia trazada con esto inferimos que después de la recolección de datos se pueden obtener o resultar nuevas ideas o hipótesis en la investigación.

La investigación aplicada, este tipo de investigación usada en el presente trabajo nos permitirá utilizar conocimientos ya obtenidos hasta el momento al mismo tiempo que generamos otros nuevos que conllevaran a resolver las incógnitas del fenómeno estudiado.

El diseño narrativo utilizado en esta investigación nos permitió utilizar las informaciones encontradas específicamente en artículos científicos para analizarlas y contemplarlas dentro de este trabajo tal cual han sido estudiados y cómo ocurrieron los hechos o experiencias.

#### **3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización**

En la matriz apriorística se debe tener en cuenta la búsqueda y determinación de las categorías y sub categorías como se presenta en la siguiente tabla 2.

**Tabla 2. Matriz de categorización apriorística**

<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>SUB CATEGORÍAS</b>	<b>UNIDAD DE ANÁLISIS</b>
¿Cuáles son las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos?	Definir las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos	Tecnologías de recuperación y remediación (Abdel Shafy H. et al., 2016, p.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microextracción de una gota</li> <li>• Fase líquida de fibra hueca</li> <li>• Líquido dispersivo</li> </ul>	(Baskar G. et al., 2019, p.187), (Crompton T., 2016, p.192), (Picayo G. y Jensen M., 2018, p.2), Son Moon et al., (2016, p.1)
¿Cuál es el nivel de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos?	Analizar los promedios de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos	Promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación (Crompton T., 2016, p.192)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción alta</li> <li>• Remoción media</li> <li>• Remoción baja</li> </ul>	(Kuppusam y Saranya et al., 2017, p.1), (Abdel Shafy H. et al., 2016, p.2), (Baskar G. et al., 2018, p.2), Yin Jun et al., (2016, p.2).
¿Cuáles son las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleadas en las aguas contaminadas con hidrocarburos?	Evaluar las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleadas en las aguas contaminadas con hidrocarburos	Ventajas y limitaciones de la remediación (Poo Kyung Min et al., 2018, p.2).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por aplicación</li> <li>• Por rentabilidad</li> <li>• Por eficiencia</li> </ul>	(Arockiaraj S. y Kankara R., 2019, p.1), (Khatmullina R. et al., 2018, p.1), Hao Zheng et al., (2021, p.1)

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3 Escenario de estudio**

A través de las lecturas extraídas como son los artículos científicos se tuvo como escenario los campos, laboratorios y otros usados dentro de estas investigaciones que fueron recogidas y usadas en el presente trabajo, al ser esta una revisión sistemática se emplea como escenario todo campo donde surgió o se estudió el fenómeno.

### **3.4 Participantes**

Los participantes a mencionar son: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed. Estas plataformas fueron usadas para la extracción de toda información plasmada en el presente trabajo por ello estas plataformas virtuales son consideradas las participantes.

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

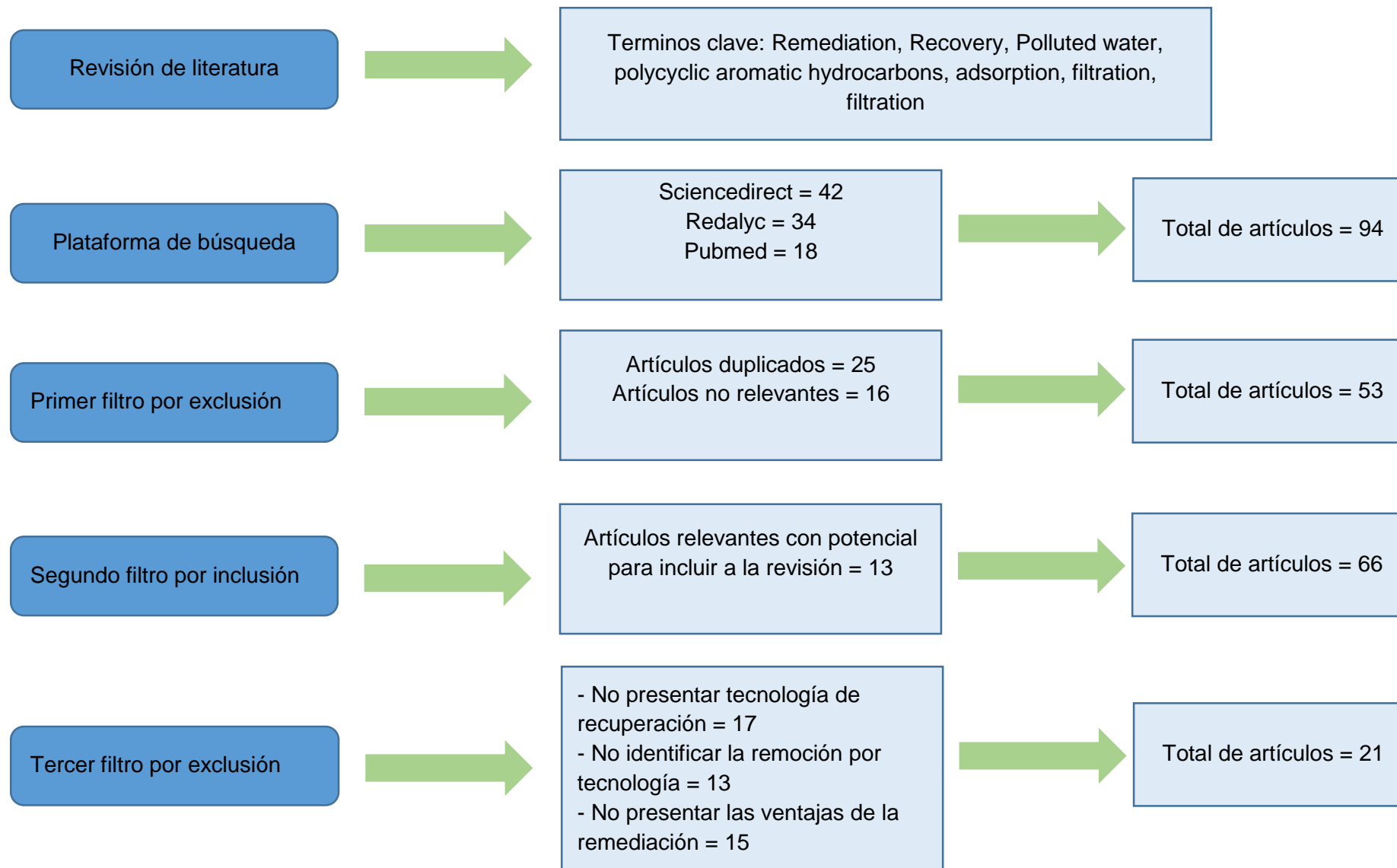
El análisis documental técnica aplicada en esta investigación nos permitió recaudar toda información extraída en un solo documento, es decir, esta técnica ha permitido que generemos un documento sintetizado con nociones de las diferentes lecturas científicas analizadas. La información sintetizada en esta investigación ha permitido representar a todas las lecturas que se usaron para el desarrollo de este trabajo.

Se usó la ficha de análisis de contenido como instrumento de recolección de datos y a través de ella se realizó el análisis documental.



### 3.6 Procedimientos

**Gráfico N°3.** Procedimiento de selección de artículos



### **3.7 Rigor científico**

Como toda investigación científica esta nos permite conseguir nuevos conocimientos por ello la validez de la información generada es un aspecto primordial. El rigor científico nos permite evaluar la credibilidad del contenido de una investigación, de acuerdo con Hernández se cumplió en el presente trabajo con cuatro criterios para cumplir con el rigor científico (2014, p. 455):

Credibilidad, la transparencia de la información entregada será esencial para avalar los resultados finales, este será el respaldo donde las investigaciones tomadas para el desarrollo de la investigación presente tengan las cualidades para ser verificadas con el resultado obtenido. Toda información extraída y plasmada en el presente trabajo envuelve veracidad en su contenido.

Transferencia, este criterio permite que la información obtenida en la investigación se pueda plasmar en otro contexto. Mediante una profunda descripción de los hechos y del escenario de la investigación a desarrollar, así permitirá realizar comparaciones y revelar similitudes con otros estudios. Se tuvo una exhaustiva descripción de lo investigado en el presente trabajo.

Confirmabilidad, mediante este criterio los resultados obtenidos de la investigación deben proyectar la veracidad de lo descrito por los participantes. Donde los datos no han sido manipulados por parte del investigador así poder ser llevada estos resultados a otro contexto.

Dependencia, la estabilidad de los datos extraídos es decir la información dada o brindada debe tener seguridad es decir respaldo de que lo contenido es verídico y transparente. A través de las referencias bibliográficas detalladas y dadas se respalda la información plasmada en la presente investigación

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

El procedimiento usado para la presente investigación fue el de la triangulación; en donde se dividió en categorías y sub categorías de acuerdo a los problemas y objetivos específicos aplicados a las tecnologías de remediación y recuperación de aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Las categorías son:

- Tecnologías de recuperación y remediación
- Ventajas y limitaciones de la remediación
- Promedio de remoción por tecnologías de recuperación y remediación

Las subcategorías son:

- Microextracción de una gota
- Fase líquida de fibra hueca
- Líquido dispersivo
- Remoción alta
- Remoción media
- Remoción baja
- Por su aplicación
- Por su rentabilidad
- Por su eficiencia

### **3.9 Aspectos éticos**

Se aplicaron de manera idónea los siguientes aspectos éticos:

La norma ISO 690, respeto a la autoría situando las referencias bibliográficas correctamente.

La guía de productos observables normativa vigente establecida por la universidad Cesar Vallejo Filial Lima, respeto del código de ética.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la búsqueda del objetivo de determinar los aspectos más resaltantes de la aplicación de las tecnologías de recuperación y remediación en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos, de tiene la definición de las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos en la tabla 3.

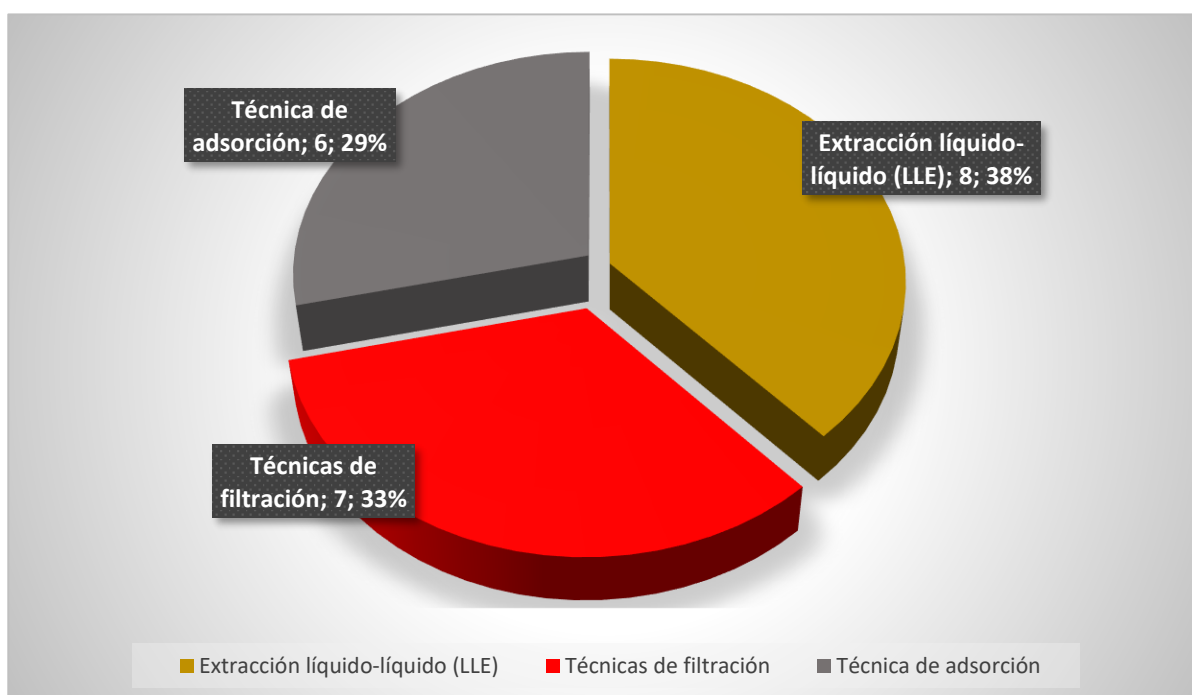
**Tabla N°3. Tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos**

<b>Tecnologías de recuperación</b>	<b>Tipo de tecnología</b>	<b>Fuente</b>
<b>LLE / microextracción en fase líquida de fibra hueca (HF-LPME)</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	Ratola Nuno et al., 2010
<b>Método de microextracción de una sola gota con espacio de cabeza (HS-SDME) / método de microextracción líquido-líquido dispersivo (DLLME)</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	An Jiwoo R. et al., 2017
<b>Método de microextracción de una sola gota con espacio de cabeza (HS-SDME) / método de microextracción líquido-líquido dispersivo (DLLME)</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	Shi Z. y Lee H., 2011
<b>SFOD-ME / microextracción en fase líquida (LPME)</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	Pedersen B. et al., 2010
<b>HF-LLLME / Microextracción en fase líquida mejorada</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	Bendicho Carlos et al., 2015
<b>HF-LLME / Microextracción en fase líquida</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	Sarafraz Y. y Amiri A., 2012
<b>Microextracción líquido-líquido dispersiva (DLLME)</b>	Extracción líquido-líquido (LLE)	Bendicho C. et al., 2016
		Yang Yang et al., 2013
<b>Ultrafiltración (UF)</b>	Técnicas de filtración	Zhao S. y Cyy T., 2013
<b>Nanofiltración (NF)</b>	Técnicas de filtración	Yin Jun et al., 2015
		Inukai Shigeki et al., 2016
<b>Ósmosis inversa (RO)</b>	Técnicas de filtración	Sanchez Sandra et al., 2011
<b>Ósmosis directa (FO)</b>	Técnicas de filtración	Sabir Aneela et al., 2016
		Guo Jin et al., 2016
		Aksu Abdullah, 2016

<b>Alkyl bonded de sílice</b>	Técnica de adsorción	He Zeying et al., 2015
<b>Sistema de bacterias degradadoras de petróleo inmovilizadas</b>	Técnica de adsorción	Fu Xing G. et al., 2021
<b>Copolímero sorbentes</b>	Técnica de adsorción	Limam I. y Driss M., 2014
		Gao Lei y Chen L., 2014
<b>Magnético sorbentes</b>	Técnica de adsorción	Limam I. y Driss M., 2014
		Sobiesiak M. et al., 2006

*Elaboración propia*

**Gráfico N°4.** Tecnologías de recuperación y remediación de hidrocarburo en medio hídrico



*Elaboración propia*

De acuerdo al gráfico 4 respecto a la tabla 3 se tiene que las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburo son la extracción líquido - líquido con un 38%, la técnica de filtración con un 33% y la técnica de adsorción con un 29%.

De acuerdo con Wu C. y Tu X., (2016, p.335), la técnica de extracción líquido – líquido ofrece varias ventajas, como la alta capacidad del extractante y la alta selectividad de separación.

Así también lo respalda An Jiwoo R. et al., 2017, quien utilizó la extracción líquido – líquido mediante el método de microextracción de una sola gota con espacio de cabeza (HS-SDME) / método de microextracción líquido-líquido dispersivo (DLLME). Mientras que Bendicho C. et al., 2016, utilizó nanotubos de carbono utilizados para reforzar la microextracción líquido-líquido dispersiva; afirmando que la implementación de nanomateriales en la microextracción en fase líquida da como resultado una combinación sinérgica que produce un rendimiento mejorado.

Ello también es respaldado por Ratola Nuno et al., 2010, An Jiwoo R. et al., 2017, Shi Z. y Lee H., 2011, Pedersen B. et al., 2010, Bendicho Carlos et al., 2015, Sarafray Y. y Amiri A., 2012, Bendicho C. et al., 2016, Yang Yang et al., 2013.

Pero, ello es refutado por Guo Jin et al., 2016, quien utilizó ósmosis directa (FO) en la técnica de filtración como tecnologías de recuperación y remediación; usando así, dos tipos de membranas de lámina plana: PS35 y PES900C/D (PES) (las membranas PS35 eran hidrofílicas con un límite de peso molecular de 20 kDa y las membranas de PES eran hidrofóbicas con un límite de peso molecular de 20 kDa); las membranas de ultrafiltración modificadas con papel bucky de CNT se prepararon filtrando una suspensión de CNT a través de la membrana de lámina plana en una unidad de ultrafiltración sin salida.

Así también, se encuentran Sabir Aneela et al., 2016 y Aksu Abdullah, 2016, quienes también consideran a la técnica de filtración mediante la ósmosis directa (FO), como tecnologías de recuperación y remediación.

Pero autores como Inukai Shigeki et al., 2016 y Yin Jun et al., 2015, también corroboran lo mencionado anteriormente respecto a la técnica de filtración, a diferencia del método usado, siendo la nanofiltración la utilizada.

También, por su parte Sanchez Sandra et al., 2011 y Zhao S. y Cyy T., 2013, utilizaron la técnica de filtración, con variación del método siendo la usada la Ósmosis inversa (RO) y la Ultrafiltración (UF) respectivamente.

**Tabla N°4.** Promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos

<b>Tipo de tecnología</b>	<b>de Contaminante</b>	<b>Promedio de remoción</b>	<b>de Fuente</b>
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	PAH, TPH	91%	Ratola Nuno et al., 2010
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	BTEX, Co, Hg, Pb	91.2%, 98%, 98.3%, 102%	An Jiwoo R. et al., 2017
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	HAP, BTEX, Bifenilo, Benzofenona	83.6%, 9.9%, 70.2%, 93.7%	Shi Z. y Lee H., 2011
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	PAH, Co, Ni	27-78%, 100%, 107%	Pedersen B. et al., 2010
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	Metanfeta mina, PAH	94%, 84.4%-110%	Bendicho Carlos et al., 2015
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	Diazepam, Prazepam, PAHs	103%, 75%, 73-115%	Sarafraz Y. y Amiri A., 2012
<i>Extracción líquido-líquido (LLE)</i>	HAP, benzodiazepinas y psicotrópicos drogas	63.2-111.3, 6-127%	Bendicho C. et al., 2016
			Yang Yang et al., 2013
<i>Técnicas filtración</i>	de HAP, ftalatos	97%, 50- 99.9%	Zhao S. y Cyy T., 2013
<i>Técnicas filtración</i>	de HAPs, plaguicidas	98- 99.95%	Yin Jun et al., 2015
			Inukai Shigeki et al., 2016
<i>Técnicas filtración</i>	de HAP, COT, DQO, Amonio nitrógeno	81-86%, 96%, 97%, 90%	Sanchez Sandra et al., 2011

<i>Técnicas filtración</i>	de	PAH	78%, 100%, 107%	Sabir Aneela et al., 2016
				Guo Jin et al., 2016
				Aksu Abdullah, 2016
<i>Técnica adsorción</i>	de	PAH, Al <sup>3+</sup> , Ni <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup>	55.61 – 92.14 %, 99%	He Zeying et al., 2015
<i>Técnica adsorción</i>	de	Diesel	95%	Fu Xing G. et al., 2021
<i>Técnica adsorción</i>	de	PAHs	82%	Limam I. y Driss M., 2014
				Gao Lei y Chen L., 2014
<i>Técnica adsorción</i>	de	HAPs	63.86% 63%	Limam I. y Driss M., 2014
				Sobiesiak M. et al., 2006

*Elaboración propia*

De acuerdo a la comparación de las literaturas seleccionadas encontradas en la tabla 4 se tiene que el promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos es alto, siendo el promedio de 60 a 90 %.

Además, de acuerdo a la tecnología usada el método líquido - líquido presenta una buena recuperación que oscilaba entre el 94,0% y el 110,5% con una buena regresión de hasta el 99,7%.

Pero Bendicho C. et al., (2016), contrarresta el resultado señalando que el mayor inconveniente de esta técnica como tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos es la inestabilidad de la gota y la interacción lejana entre el disolvente de extracción y la matriz de la muestra, lo que conlleva a un tiempo significativo para que los analitos se desplacen hacia el disolvente de la microgota, lo que puede a veces conducir a la evaporación del disolvente.

Pero esto es refutado por An Jiwoo R. et al., 2017, quien afirma mediante su estudio experimental que las recuperaciones relativas de las muestras de agua del lago



oscilaron entre el 68,7 % y el 104,5 % y el promedio de remoción del BTEX, Co y los metales Hg, Pb fueron de 91.2%, 98% y 98.3%, 102% respectivamente.

Así mismo, Ratola Nuno et al., 2010, presenta similares resultados, lo que apoyan los mencionad, obteniendo un porcentaje de remoción del 91% para el hidrocarburo aromático policíclico. Al igual que lo mencionado, están los autores: Shi Z. y Lee H., 2011, Pedersen B. et al., 2010, Bendicho Carlos et al., 2015, Sarafray Y. y Amiri A., 2012, Bendicho C. et al., 2016, Yang Yang et al., 2013 presentando un porcentaje de eliminación de mayores al 90% en todos los casos.

Pero Aksu Abdullah, 2016, propuso una técnica de filtración, donde el promedio de eliminación fue del 107% para el PAH, así también.

Resultado similar a lo obtenido por Choi et al. (Son et al., 2016), quien propuso una membrana de FO nanocompuesta de capa fina con CNTs impregnada verticalmente de CNTs para su aplicación en desalación; donde, la membrana desarrollada mejoró el flujo de agua en un 20 %; a partir de entonces, la capa activa se expuso al grabado químico y esto condujo al aumento de flujo de agua a más del 300%.

Así también Zhao S. y Cyy T., 2013, Yin Jun et al., 2015 y Inukai Shigeki et al., 2016 presentaron un porcentaje de remoción del 99.9%, 99.95% y 86% para el hidrocarburo aromático policíclico. respectivamente.

Por otro lado, se evaluaron las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleada en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos, siendo presentado los resultados en la tabla 5.

**Tabla N°5. Ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación**

TÉCNOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN	VENTAJA	LIMITACIÓN	FUENTE
<b>Extracción líquido-líquido (LLE)</b>			
<b>LLE / microextracción en fase líquida de fibra hueca (HF-LPME)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Barato</li> <li>2. Fácil de usar</li> <li>3. Alta recuperación eficiencia</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gran cantidad de disolvente</li> <li>2. Interferencia de la matriz de la muestra</li> <li>3. Requiere mucho tiempo</li> </ol>	Ratola Nuno et al., 2010

<b>Método de microextracción de una sola gota con espacio de cabeza (HS-SDME) / método de microextracción líquido-líquido dispersivo (DLLME)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Económico</li> <li>2. Sencillo</li> <li>3. Necesita mínimo disolvente</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La gota es demasiado frágil para ser estable a alta velocidad de agitación</li> <li>2. Difícil de automatizar</li> <li>3. Elección limitada de disolventes</li> </ol>	An Jiwoo R. et al., 2017
<b>Método de microextracción de una sola gota con espacio de cabeza (HS-SDME) / método de microextracción líquido-líquido dispersivo (DLLME)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bueno para una matriz de matriz de muestras</li> <li>2. Posibilidad de utilizar varios disolventes</li> <li>3. Fácil de usar</li> <li>4. Rápido</li> <li>5. Barato</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inestabilidad de la gota a alta velocidad de agitación</li> <li>2. Baja sensibilidad y precisión</li> </ol>	Shi Z. y Lee H., 2011
<b>SFOD-ME / microextracción en fase líquida (LPME)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es muy sencillo</li> <li>2. Es barato</li> <li>3. Utiliza una pequeña cantidad de disolvente</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limita la elección del disolvente</li> <li>2. Difícil de automatizar</li> <li>3. Escasa recuperación en comparación con la HSSDME para los HAP</li> </ol>	Pedersen B. et al., 2010
<b>HF-LLLME / Microextracción en fase líquida mejorada</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es altamente repetible</li> <li>2. Se puede limpiar fácilmente</li> <li>3. Barato</li> <li>4. Fácil de automatizar</li> <li>5. No hay contaminación cruzada</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso de extracción tarda más tiempo</li> <li>2. Es probable que los poros de las fibras se colapsen</li> <li>3. Se necesitan dos disolventes diferentes necesarios para la extracción</li> </ol>	Bendicho Carlos et al., 2015
<b>HF-LLME / Microextracción en fase líquida</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alta repetibilidad</li> <li>2. Buena capacidad de limpieza</li> <li>3. Económico</li> <li>4. Puede ser automatizado fácilmente</li> <li>5. No hay contaminación cruzada</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso de extracción lleva más tiempo</li> <li>2. Posibilidad de que la fibra poros se obstruyan o se rompan</li> </ol>	Sarafraz Y. y Amiri A., 2012

<b>Microextracción líquido-líquido dispersiva (DLLME)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utiliza una pequeña cantidad de muestra</li> <li>2. Barato</li> <li>3. Rápido</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiene poca selectividad</li> <li>2. Utiliza tres disolventes</li> <li>3. Está restringido a pocas opciones de disolventes</li> <li>4. El proceso implica el uso de una centrifugadora</li> <li>5. El procedimiento no es adecuado para matrices de muestras complejas</li> <li>6. Es difícil de automatizar</li> </ol>	<p>Bendicho C. et al., 2016</p> <hr/> <p>Yang Yang et al., 2013</p>
<b>Técnicas de filtración</b>			
<b>Ultrafiltración (UF)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiene una alta eficiencia en cuanto a la presión</li> <li>2. Tiene una excelente separación</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las altas presiones externas exigen</li> <li>2. Las moléculas de PAHs son más pequeñas que el tamaño de los poros de la membrana</li> <li>3. Se ven afectados por el ensuciamiento</li> </ol>	<p>Zhao S. y Cyy T., 2013</p>
<b>Nanofiltración (NF)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Separa las partículas con un tamaño aproximado de 1nm</li> <li>2. Mantiene los minerales útiles en el agua</li> <li>3. Es más permeable al agua permeable que la membrana de ósmosis inversa</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se ve afectado por el ensuciamiento</li> <li>2. Alta demanda de presión externa</li> </ol>	<p>Yin Jun et al., 2015</p> <hr/> <p>Inukai Shigeki et al., 2016</p>
<b>Ósmosis inversa (RO)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La ósmosis inversa es el nivel más fino de filtración disponible</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elimina algunos de los minerales útiles</li> <li>2. Alta demanda de presión externa</li> </ol>	<p>Sanchez Sandra et al., 2011</p>

	2. Elimina la sal disuelta, contaminantes orgánicos e inorgánicos	3. Se ve afectado por el ensuciamiento	
<b>Ósmosis directa (FO)</b>	1. Baja o nula demanda de presión externa 2. Menos afectado por el ensuciamiento	1. Requiere productos químicos adicionales para preparar la solución de extracción 2. Menos opciones de membranas 3. Todavía no es comercialmente viable 4. Ensuciamiento de la membrana	Sabir Aneela et al., 2016
			Guo Jin et al., 2016
			Aksu Abdullah, 2016
<b>Técnica de adsorción</b>			
<b>Alkyl bonded de sílice</b>	1. Es sencillo y rápido 2. Puede utilizarse con una amplia gama de disolventes 3. Se puede adaptar fácilmente a la SPME para la extracción sin disolventes extracción de analitos.	1. Baja recuperación para muchos HAPs anulares 2. Inestabilidad a pH > 8 3. Interferencia de los grupos silanol libres del soporte. 4. Recuperaciones fluctuantes 5. La sílice se hidroliza a temperaturas superiores a de 40 grados C	He Zeying et al., 2015
<b>Sistema de bacterias degradadoras de petróleo inmovilizadas</b>	1. Proceso espontáneo 2. Entropía creciente y endotérmico. 3. Control eficaz	1. Proceso complejo	Fu Xing G. et al., 2021
<b>Copolímero sorbentes</b>	1. Ofrece un alto flujo de masa de la matriz de	1. Requieren un disolvente acondicionador antes de su uso	Limam I. y Driss M., 2014

	muestra acuosa. 2. Estable para todo el rango de pH 3. Aplicable a la extracción de compuestos orgánicos con diferentes polaridades	2. La adición y eliminación del disolvente de activación hace que el proceso consuma tiempo	Gao Lei y Chen L., 2014
<b>Magnético sorbentes</b>	1. Es sencillo y rápido 2. Ha mejorado la extracción eficiencia	1. Degradación del componente térmicamente inestable 2. Muy sensible al pH cambio	Limam I. y Driss M., 2014
			Sobiesiak M. et al., 2006

*Elaboración propia*

De acuerdo a los resultados presentado por la comparación de 21 literaturas para determinar las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleada en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos, demuestran que las técnicas de filtración en varios procesos de filtración, ya sea como compuesto o como membrana real, no cabe duda de que, pueden ser utilizados como membrana en varios procesos de filtración para eliminar los HAP del agua contaminada.

Mientras que la tecnología de remediación por adsorción como la aplicación de nanotubos de carbón se contaminan en el proceso lo que puede hacer que dichas tecnologías no sean higiénicas para la purificación del agua mediante la técnica de adsorción.

Pero, Sobiesiak M. et al., 2006, señala que los adsorbentes tienen mayor estabilidad térmica, resistencia química, capacidad de adsorción y estabilidad en un amplio rango de pH, lo que lo convierte en una tecnología de remediación con mayores ventajas que la técnica líquido – líquido y técnica de filtración.

Pero ello es refutado por lo mencionado en los estudios de Fu Xing G. et al., 2021, Gao Lei y Chen L., 2014, He Zeying et al., 2015 y Limam I. y Driss M., 2014, donde por medio de las literaturas se desprende que las tecnologías de adsorción han mostrado un buen potencial para la eliminación de HAPs por encima de muchos productos químicos o materiales utilizados como filtros o membranas.

Por otro punto, la tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos líquido – líquido presenta algunos inconvenientes como la fragilidad, la baja eficiencia de extracción, los altos efectos de matriz y las dificultades con la separación de fases utilizando algunos disolventes orgánicos.

Ello también es apoyado por Bendicho Carlos et al., 2015, quien menciona que, a pesar de sus eficientes resultados, el ensuciamiento y la fragilidad son preocupaciones concomitantes asociadas a varias técnicas de filtración.

Pero, presentando contraposición a lo mencionado se encuentra An Jiwoo R. et al., (2017) y Shi Z. y Lee H., (2011), quienes mencionan que esta técnica es económica, sencilla de usar, requiere de una mínima cantidad de disolvente y presenta posibilidades de utilizar varios disolventes, así como su rapidez.

## V. CONCLUSIONES

En base a los resultados presentados para determinar los aspectos más resaltantes de la aplicación de las tecnologías de recuperación y remediación en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos, se puede concluir lo siguiente:

- a) Las tecnologías de recuperación y remediación más usadas en aguas contaminadas con hidrocarburos son la extracción líquido - líquido con un 38%, la técnica de filtración con un 33% y la técnica de adsorción con un 29%, ello debido a las amplias ventajas que presenta la técnica de extracción líquido – líquido como la alta capacidad del extractante y la alta selectividad de separación.
- b) El promedio de remoción por tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos es alto, siendo el promedio de 60 a 90 %. Además, de acuerdo a la tecnología usada el método líquido - líquido presenta una buena recuperación que oscilaba entre el 94,0% y el 110,5% con una buena regresión de hasta el 99,7%.
- c) Las ventajas y limitaciones por cada tipo de tecnología de remediación empleada en las aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos, demuestran que las técnicas de filtración en varios procesos de filtración, ya sea como compuesto o como membrana real, pueden ser utilizados como membrana en varios procesos de filtración para eliminar los HAP del agua contaminada. Mientras que la tecnología de remediación por adsorción como la aplicación de nanotubos de carbón se contaminan en el proceso lo que puede hacer que dichas tecnologías no sean higiénicas para la purificación del agua mediante la técnica de adsorción. y por último, la tecnología de recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos líquido – líquido presenta algunos inconvenientes como la fragilidad, la baja eficiencia de extracción, los altos efectos de matriz y las dificultades con la separación de fases utilizando algunos disolventes orgánicos.

## VI. RECOMENDACIONES

En base a la búsqueda realizada se pudo notar la falta de estudios enfocados actuales a nivel mundial, siendo escasos los artículos científicos que abarquen la recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos aromáticos policíclicos; por lo cual se puede recomendar lo siguiente a los futuros investigadores:

1. Se recomienda ampliar en estudios como la técnica de extracción líquido líquido, ya que, está comprobado en los artículos existentes su efectividad para recuperación y remediación de aguas contaminadas con hidrocarburos.
2. Así mismo, la tecnología de adsorción como los nanotubos de carbono podrían mejorar la eficiencia de la extracción de PAHs cuando se utilizan junto con algún disolvente en la técnica de líquido líquido, como, por ejemplo: la HF-LPME.; debido a ello se recomienda mayores estudios aplicando la combinación de técnicas de adsorción y líquido - líquido.
3. Po último, se recomienda, estudiar la aplicación de nanotubo de carbono y resolver sus limitaciones, para que su aplicación sea mayor, ya que, presenta potencial fascinante para muchas aplicaciones.



## REFERENCIAS

1. ABDEL-SHAFY, Hussein I.; MANSOUR, Mona SM. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. Egyptian journal of petroleum, 2016, vol. 25, no 1, p. 107-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
2. AKSU, Abdullah. Sources of metal pollution in the urban atmosphere (A case study: Tuzla, Istanbul). Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2016, vol. 13, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0224-9>
3. AL-HAWASH, Adnan B., et al. Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 2018, vol. 44, no 2, p. 71-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.06.001>
4. AN, Jiwoo; RAHN, Kira L.; ANDERSON, Jared L. Headspace single drop microextraction versus dispersive liquid-liquid microextraction using magnetic ionic liquid extraction solvents. Talanta, 2017, vol. 167, p. 268-278. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.01.079>
5. AROCKIARAJ, S.; KANKARA, R. S. Assessment of Potential Oil Spill Risk Along Vishakhapatnam Coast, India: Integrated Approach for Coastal Management. En Coastal Management. Academic Press, 2019. p. 449-463. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810473-6.00021-2>
6. BASKAR, G., et al. Advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal biomass. En Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment. Woodhead Publishing, 2019. p. 187-210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00007-3>
7. BASKAR, G., et al. 7 Advances in bio-oil extraction from nonedible oil seeds and algal. Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment, 2018, p. 187. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=uuR8DwAAQBAJ&lpg=PA187&ots=oEUZbSiMdR&dq=Advances%20in%20bio->

[oil%20extraction%20from%20nonedible%20oil%20seeds%20and%20algal%20biomass&hl=es&pg=PA187#v=onepage&q=Advances%20in%20bio-oil%20extraction%20from%20nonedible%20oil%20seeds%20and%20algal%20biomass&f=false](https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2014.02.001)

8. BENDICHO, Carlos, et al. Nanoparticle-enhanced liquid-phase microextraction. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2016, vol. 68, p. 78-87. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.02.007>
9. BHADRA, Biswa Nath, et al. Adsorptive removal of aromatic hydrocarbons from water over metal azolate framework-6-derived carbons. *Journal of hazardous materials*, 2018, vol. 344, p. 1069-1077. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.057>
10. BOLADE, Oladotun P., et al. Remediation and optimization of petroleum hydrocarbons degradation in contaminated water using alkaline activated persulphate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105801. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105801>
11. CAO, Shengkai, et al. Fate and deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Bransfield Strait, Antarctica. *Marine pollution bulletin*, 2018, vol. 137, p. 533-541. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.045>
12. Crompton, T. R. (2015). Analysis of Metals in Sediments. Determination of Metals in Natural Waters, Sediments and Soils, 191–201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802654-0.00006-4>
13. FERRERO, Luca, et al. Chemical composition of aerosol over the Arctic Ocean from summer ARctic EXpedition (AREX) 2011–2012 cruises: ions, amines, elemental carbon, organic matter, polycyclic aromatic hydrocarbons, n-alkanes, metals, and rare earth elements. *Atmosphere*, 2019, vol. 10, no 2, p. 54. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/atmos10020054>
14. FREIJE, Afnan Mahmood. Heavy metal, trace element and petroleum hydrocarbon pollution in the Arabian Gulf. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 2015, vol. 17, p. 90-100. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2014.02.001>

15. FU, Xin-Ge, et al. Systematic adsorption process of petroleum hydrocarbon by immobilised petroleum-degradation bacteria system in degradation pathways. *Petroleum Science*, 2021, vol. 18, no 5, p. 1543-1550. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.09.009>
16. GAO, Lei; CHEN, Ligang. Preparation of magnetic carbon nanotubes for separation of pyrethroids from tea samples. *Microchimica Acta*, 2013, vol. 180, no 5-6, p. 423-430. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00604-013-0947-1>
17. GASSER, M. S.; RAHMAN, RO Abdel. Sustainability of solvent extraction techniques in pollution prevention and control. *Handbook of Advanced Approaches Towards Pollution Prevention and Control*, 2021, p. 33-66. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822134-1.00002-6>
18. GUO, Jing, et al. Associations of urinary polycyclic aromatic hydrocarbons with bone mass density and osteoporosis in US adults, NHANES 2005–2010. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 240, p. 209-218. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.108>
19. GUO, Jin, et al. Modification of ultrafiltration membranes with carbon nanotube buckypaper for fouling alleviation. *Membr. Water Treat*, 2016, vol. 6. Disponible en: <https://doi.org/10.12989/mwt.2015.6.1.001>
20. HAN, Jun, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) geographical distribution in China and their source, risk assessment analysis. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 251, p. 312-327. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.022>
21. HAO, Zheng, et al. Novel magnetic loofah sponge biochar enhancing microbial responses for the remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons-contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 401, p. 123859. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123859>
22. HATZIANESTIS, Ioannis, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of the Aegean Sea (eastern Mediterranean Sea). *Marine pollution bulletin*, 2020, vol. 153, p. 111030. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111030>

23. HE, Zeying, et al. Hydrophilic–lipophilic balanced magnetic nanoparticles: preparation and application in magnetic solid-phase extraction of organochlorine pesticides and triazine herbicides in environmental water samples. *Talanta*, 2015, vol. 127, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.03.074>
24. HOLBAN, Alina Maria; GRUMEZESCU, Alexandru Mihai; ANDRONESCU, Ecaterina. Inorganic nanoarchitectonics designed for drug delivery and anti-infective surfaces. En *Surface Chemistry of Nanobiomaterials*. William Andrew Publishing, 2016. p. 301-327. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-42861-3.00010-8>
25. HONDA, Masato; SUZUKI, Nobuo. Toxicities of polycyclic aromatic hydrocarbons for aquatic animals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no 4, p. 1363. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041363>
26. INUKAI, Shigeki, et al. High-performance multi-functional reverse osmosis membranes obtained by carbon nanotube- polyamide nanocomposite. *Scientific reports*, 2016, vol. 5, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep13562>
27. ITE, Aniefiok E., et al. Petroleum hydrocarbons contamination of surface water and groundwater in the Niger Delta region of Nigeria. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 2018, vol. 6, no 2, p. 51-61. Disponible en: <https://doi.org/10.12691/jephh-6-2-2>
28. KHATMULLINA, R. M.; SAFAROVA, V. I.; LATYPOVA, V. Z. Reliability of the assessment of water pollution by petroleum hydrocarbons and phenols using some of total indices. *Journal of Analytical Chemistry*, 2018, vol. 73, no 7, p. 728-733. Disponible en: <https://doi.org/10.1134/S1061934818070080>
29. KUPPUSAMY, Saranya, et al. Remediation approaches for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contaminated soils: Technological constraints, emerging trends and future directions. *Chemosphere*, 2017, vol. 168, p. 944-968. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.115>

30. LAMICHHANE, Shanti; KRISHNA, KC Bal; SARUKKALIGE, Ranjan. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal by sorption: a review. *Chemosphere*, 2016, vol. 148, p. 336-353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.036>
31. LIMAM, I.; DRISS, M. R. Off-line solid-phase extraction procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons from aqueous matrices. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2014, vol. 10, no 5, p. 973-982. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0229-9>
32. MA, Xiancheng, et al. Urea-assisted synthesis of biomass-based hierarchical porous carbons for the light hydrocarbons adsorption and separation. *Chemical Engineering Journal*, 2022, vol. 428, p. 130985. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130985>
33. MANOUSHI, Natalia, et al. Capsule phase microextraction of selected polycyclic aromatic hydrocarbons from water samples prior to their determination by gas chromatography-mass spectrometry. *Microchemical Journal*, 2021, vol. 166, p. 106210. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106210>
34. MENG, Yuan, et al. A review on occurrence and risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in lakes of China. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 651, p. 2497-2506. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.162>
35. MOJIRI, Amin, et al. Comprehensive review of polycyclic aromatic hydrocarbons in water sources, their effects and treatments. *Science of the total environment*, 2019, vol. 696, p. 133971. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133971>
36. MURALIKRISHNA, Iyyanki V.; MANICKAM, Valli. Industrial wastewater treatment technologies, recycling, and reuse. *Environmental Management*, 2017, p. 295-336. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811989-1.00013-0>
37. NAKAGAWA, Toshifumi, et al. Advantages of filtration method for sperm-DNA genotyping in sexual assault cases. *Legal Medicine*, 2022, vol. 54, p. 101988. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101988>

38. NERODA, Andrey S.; GONCHAROVA, Anna A.; MISHUKOV, Vasily F. PAHs in the atmospheric aerosols and seawater in the North–West Pacific Ocean and Sea of Japan. *Atmospheric Environment*, 2020, vol. 222, p. 117117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117117>
39. OH, Junho, et al. The Apparent Surface Free Energy of Rare Earth Oxides is Governed by Hydrocarbon Adsorption. *iScience*, 2021, p. 103691. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103691>
40. Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A., & Hamid, F. S. (2019). Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
41. PEDERSEN-BJERGAARD, Stig; RASMUSSEN, Knut Einar. Liquid-phase microextraction with porous hollow fibers, a miniaturized and highly flexible format for liquid–liquid extraction. *Journal of Chromatography A*, 2010, vol. 1184, no 1-2, p. 132-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.08.088>
42. PICAYO, Gabriela A.; JENSEN, Mark P. Rare Earth Separations: Kinetics and Mechanistic Theories. En *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Elsevier, 2018. p. 145-225. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.hpcre.2018.10.002>
43. POO, Kyung-Min, et al. Biochars derived from wasted marine macro-algae (*Saccharina japonica* and *Sargassum fusiforme*) and their potential for heavy metal removal in aqueous solution. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 206, p. 364-372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.056>
44. RATOLA, Nuno, et al. Hollow-fibre liquid-phase microextraction: A simple and fast cleanup step used for PAHs determination in pine needles. *analytica chimica acta*, 2010, vol. 618, no 1, p. 70-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.04.054>
45. RODRÍGUEZ, Carolina, et al. Hydrocarbons in soil and meltwater stream sediments near Artigas Antarctic Research Station: origin, sources and levels.

- Antarctic Science, 2018, vol. 30, no 3, p. 170-182. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0954102018000019>
46. ROMERO, Isabel C., et al. Decadal assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in mesopelagic fishes from the Gulf of Mexico reveals exposure to oil-derived sources. Environmental science & technology, 2018, vol. 52, no 19, p. 10985-10996. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02243>
47. SABIR, Aneela, et al. Fabrication of tethered carbon nanotubes in cellulose acetate/polyethylene glycol-400 composite membranes for reverse osmosis. Carbohydrate polymers, 2016, vol. 132, p. 589-597. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.035>
48. SAJID, Muhammad; NAZAL, Mazen K.; ADIO, Salawu O. Applications of Nanomaterials in Miniaturized Extraction Techniques. En Nanomaterials in Chromatography. Elsevier, 2018. p. 157-200. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812792-6.00006-6>
49. SALEH, Tawfik A. Simultaneous adsorptive desulfurization of diesel fuel over bimetallic nanoparticles loaded on activated carbon. Journal of Cleaner Production, 2018, vol. 172, p. 2123-2132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.208>
50. SANCHES, Sandra, et al. Removal of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons from different drinking water sources by nanofiltration. Desalination and Water Treatment, 2011, vol. 27, no 1-3, p. 141-149. Disponible en: <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2087>
51. Sarafraz-Yazdi, A., & Amiri, A. (2012). Liquid-phase microextraction. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 29(1), 1–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.10.003>
52. SHI, Zhi-Guo; LEE, Hian Kee. Dispersive liquid– liquid microextraction coupled with dispersive  $\mu$ -solid-phase extraction for the fast determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental water samples. Analytical chemistry, 2011, vol. 82, no 4, p. 1540-1545. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/ac9023632>



53. SMOL, Marzena; WŁODARCZYK-MAKUŁA, M.; SKOWRON-GRABOWSKA, Beata. PAHs removal from municipal landfill leachate using an integrated membrane system in aspect of legal regulations. *Desalination and Water Treatment*, 2017, vol. 69, p. 335-343. Disponible en: <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20241>
54. SMOL, Marzena; WŁODARCZYK-MAKUŁA, Maria. The effectiveness in the removal of PAHs from aqueous solutions in physical and chemical processes: a review. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2017, vol. 37, no 4, p. 292-313. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10406638.2015.1105828>
55. SOBIESIAK, M., et al. Polymer-based carbon adsorbents obtained from copolymer of 4, 4'-bis (maleimidodiphenyl) methane and divinylbenzene for use in SPE. *Chromatographia*, 2006, vol. 64, no 3, p. 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1365/s10337-006-0798-6>
56. SON, Moon; NOVOTNY, Vaclav; CHOI, Heechul. Thin-film nanocomposite membrane with vertically embedded carbon nanotube for forward osmosis. *Desalination and Water Treatment*, 2016, vol. 57, no 55, p. 26670-26679. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1190110>
57. SUTILLI, Marina, et al. Depositional input of hydrocarbons recorded in sedimentary cores from Deception and Penguin Islands (South Shetland Archipelago, Antarctica). *Environmental Pollution*, 2019, vol. 253, p. 981-991. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.057>
58. SUZUKI, N. y col. El gadolinio a baja concentración suprime las actividades osteoclasticas y osteoblasticas en las escamas de los peces de colores. *Soy. J. Environ. Sci* , 2019, vol. 15, pág. 137-144.
59. SZOPIŃSKA, Małgorzata, et al. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and other organic pollutants in freshwaters on the western shore of Admiralty Bay (King George Island, Maritime Antarctica). *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 18, p. 18143-18161. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05045-w>
60. TAN, Xiangling, et al. Microplastics and associated PAHs in surface water from the Feilaixia Reservoir in the Beijiang River, China. *Chemosphere*, 2019, vol.



221, p. 834-840. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.022>

61. Takahiro Maruyama. Chapter 6 - Carbon nanotubes. Handbook of Carbon-Based Nanomaterials. Micro and Nano Technologies. 2021, Pages 299-319. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821996-6.00009-9>
62. UNO, Seiichi, et al. Oil spill off the coast of Guimaras Island, Philippines: Distributions and changes of polycyclic aromatic hydrocarbons in shellfish. Marine pollution bulletin, 2017, vol. 124, no 2, p. 962-973. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.062>
63. VARJANI, Sunita J.; UPASANI, Vivek N. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. International Biodeterioration & Biodegradation, 2017, vol. 120, p. 71-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.006>
64. Wu, Y. (2017). Indicators for Monitoring Aquatic Ecosystem. Periphyton, 71–106. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801077-8.00003-x>
65. Wu, C., & Tu, X. (2016). Biological and fermentative conversion of syngas. Handbook of Biofuels Production, 335–357. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100455-5.00012-6>
66. XIAO, Xin, et al. Sugar cane-converted graphene-like material for the superhigh adsorption of organic pollutants from water via coassembly mechanisms. Environmental science & technology, 2017, vol. 51, no 21, p. 12644-12652. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03639>
67. YANG, Yang; CHEN, Juan; SHI, Yan-Ping. Determination of diethylstilbestrol in milk using carbon nanotube-reinforced hollow fiber solid-phase microextraction combined with high-performance liquid chromatography. Talanta, 2012, vol. 97, p. 222-228. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2012.04.021>
68. YAP, Chiew Lin; GAN, Suyin; NG, Hoon Kiat. Evaluation of solubility of polycyclic aromatic hydrocarbons in ethyl lactate/water versus ethanol/water mixtures for contaminated soil remediation applications. Journal of

Environmental Sciences, 2012, vol. 24, no 6, p. 1064-1075. Disponible en:  
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60873-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60873-5)

69. YIN, Jun; ZHU, Guocheng; DENG, Baolin. Graphene oxide (GO) enhanced polyamide (PA) thin-film nanocomposite (TFN) membrane for water purification. Desalination, 2016, vol. 379, p. 93-101. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.11.001>

70. ZHANG, Zhifeng; JIA, Qiong; LIAO, Wuping. Progress in the separation processes for rare earth resources. Handbook on the physics and chemistry of rare earths, 2015, vol. 48, p. 287-376. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63483-2.00004-1>

71. ZHAO, S. F. L. Zou, CYY Tang, and D. Mulcahy. Recent Developments in Forward Osmosis: Opportunities and Challenges, 2013, p. 1-21. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.12.023>

# ANEXOS

## ANEXOS N° 1

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>FICHA DE ANÁLISIS</b>
<b>DATOS DEL AUTOR:</b>	
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b>	
<b>CÓDIGO:</b>	
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Terminos clave: Remediation, Recovery, Waters, Contaminated, Polycyclic, Aromatic, Hydrocarbons
<b>RECUPERACIÓN Y REMEDIACIÓN</b>	
<b>PROMEDIO DE REMOCIÓN DE RECUPERACIÓN Y REMEDIACIÓN</b>	
<b>VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA REMEDIACIÓN</b>	
<b>RESULTADOS :</b>	
<b>CONCLUSIONES:</b>	

*Elaboración propia*



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Tecnologías de remediación y recuperación de aguas contaminadas con Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos: Revisión Sistemática.", cuyos autores son CONDOR JESUS JULIAN RAUL, VARGAS ALMINAGORDA ANA MARIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 09 de Junio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
LOZANO SULCA YIMI TOM <b>DNI:</b> 41134872 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 20- 06-2022 21:22:09

Código documento Trilce: TRI - 0306005