



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS CONTAMINADAS POR PROCESOS DE LA REFINERÍA DE ESMERALDAS.

TRABAJO BIBLIOGRÁFICO

**MONITOREO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**AUTOR:
QUIROZ DELGADO HANS JAIRO**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS CONTAMINADAS POR PROCESOS DE LA REFINERÍA DE ESMERALDAS

TIPO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

EXAMEN COMPLEXIVO

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del
título de

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

QUIROZ DELGADO HANS JAIRO

TUTOR

ING. DIEGO ARMANDO ARCOS JÁCOME

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO M.sc**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS CONTAMINADAS POR PROCESOS DE LA REFINERÍA DE ESMERALDAS**, realizado por el estudiante **QUIROZ DELGADO HANS JAIRO**; con cédula de identidad 0919371591 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Arcos Jácome Diego Armando M.Sc

Guayaquil, 26 de octubre del 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS CONTAMINADAS POR PROCESOS DE LA REFENERIA DE ESMERALDA”**, realizado por el estudiante **QUIROZ DELGADO HANS JAIRO**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Oce. Leila Zambrano Zavala, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Viviana Montoya Pibaque, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Luis Morocho Rosero, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Arcos Jácome, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 26 de octubre del 2021

Dedicatoria

La presente monografía está dedicado a Dios por ser mi guía y permitirme llegar hasta donde eh llegado.

A mis padres María Delgado y a Jairo Quiroz por ser mis pilares fundamentales para seguir adelante y estaré eternamente agradecido además de inspiración para mi hermano Dandy Quiroz.

Quiero dedicar también a quienes han estado cuidándome desde el cielo; Federico Delgado.

A mi novia Mónica Imaicela por ser mi apoyo incondicional que siempre estuvo en las buenas y las malas.

Agradecimiento

Agradezco a mi tutor de monografía Ing. Diego Arcos, con quien con su conocimiento me guiado en mi trabajo monográfico y a todos los docentes de la Universidad Agraria del Ecuador.

A mi familia, a quienes quiero agradecer porque me brindaron su apoyo sin importar las circunstancias.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **HANS JAIRO QUIROZ DELGADO**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **“ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS CONTAMINADAS POR PROCESOS DE LA REFINERÍA DE ESMERALDA”** para optar el título de INGENIERIA AMBIENTAL, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 26 de octubre del 2021

QUIROZ DELGADO HANS JAIRO
C.I. 0919371591

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	3
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	4
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento	6
Autorización de Autoría Intelectual	7
Índice general	8
Indice de tablas	10
indice de figuras.....	11
Resumen	12
Abstract.....	13
1. Introducción	15
1.1 Importancia o caracterización del tema.	15
1.2 Actualidad del tema	17
1.3 Novedad científica del tema	18
1.4 Justificación del tema.....	19
1.5 Objetivo general	21
1.6 Objetivos específicos	21
2. Metodología.....	22
2.1 Materiales.....	22
2.1.1 Recursos Bibliográficos	22
2.1.2 Materiales y equipo	22
2.1.3 Recursos humanos	22
2.2 Métodos	23

2.2.1 Modalidad y tipo de investigación	23
2.2.2 Tipos de métodos.....	23
2.2.3 Técnicas.....	23
3. Marco teórico	25
3.1 Estado del arte.....	25
4. Desarrollo de contenido	33
4.1 Contrastar metodos físicos para la disminución de plomo (Pb) en aguas contaminadas por procesos de la refinería de Esmeraldas mediante búsqueda bibliográfica.	33
4.2 Comparar técnicas químicas que permitan reducir la concentración de plomo de aguas residuales procedentes del drenaje de industrias petroleras mediante análisis bibliográfico.....	37
4.3 Detallar mecanismos biológicos utilizados para separar metales pesados como el plomo de aguas contaminadas con derivados de petróleo mediante investigación documental y descriptiva.....	43
5. Conclusiones	50
6. Bibliografía	52
7. Glosario	65
8. Anexos	67

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de calidad de aguas residuales de refinería de petróleo de Esmeraldas	31
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las técnicas físicas para eliminación de plomo en el agua.....	35
Tabla 3. Número de investigaciones que mencionan cada técnica física de remoción de metales pesados en el agua	36
Tabla 4. Número de investigaciones que mencionan cada técnica química de remoción de metales pesados en el agua	42
Tabla 5. Ventajas y desventajas de las técnicas biológicas para eliminación de plomo en el agua	45
Tabla 6. Número de investigaciones que mencionan cada técnica biológica de remoción de metales pesados en el agua	46
Tabla 7. Comparación de las técnicas de remoción de metales pesados y otros parámetros	47
Tabla 8. Investigaciones realizadas sobre las estrategias de eliminación de metales pesados de aguas contaminadas por procesos de refinerías	70

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la monografía	23
Figura 3. Técnicas químicas de eliminación de metales pesados en aguas encontradas en esta investigación	37
Figura 4. Eficiencia de las técnicas químicas en la eliminación de metales pesados del agua.....	41
Figura 6. Enfoque basado en microbots GOx para la descontaminación y recuperación de plomo.....	67
Figura 7. Mecanismos de precipitación química	67
Figura 8. Tecnología de adsorción de metales pesados.....	68
Figura 9. Esquema de un reactor de lecho empacado de nanomateriales compuestos para la purificación de agua contaminada	68
Figura 10. Diagrama esquemático del proceso de ultrafiltración mejorada con micelas (MEUF)	69
Figura 11. Procesos de una planta de tratamiento de precipitación metales convencional	69

Resumen

La contaminación por metales pesados es una de las mayores problemáticas ambientales a las que se enfrenta la población hoy en día, ya que afecta gravemente los recursos naturales como el agua, el aire y el suelo y también a las especies de flora y fauna. Además, ocasiona complicaciones en la salud de las personas, llegando a provocar enfermedades catastróficas e incluso la muerte. Por tal razón este trabajo tuvo como objetivo analizar estrategias para la disminución de la concentración de plomo en el agua contaminada por procesos de la refinería de Esmeraldas. Mediante análisis bibliográfico y revisión de información se constató que en la actualidad se han desarrollado tecnologías que contribuyen a eliminar metales pesados como el plomo de aguas residuales, entre ellas la precipitación química, el intercambio iónico, oxidación química, precipitación electroquímica, entre otras, obteniendo efectividad de remoción entre 83,2% a 98,9%, así como también, se encontraron técnicas físicas como la flotación, ultrafiltración y adsorción, al igual que métodos biológicos como la biosorción a base de microorganismos y fitorremediación eliminando entre el 76% a 96% de metales del agua.

Palabras clave: Agua, contaminación, metales pesados, refinería

Abstract

Heavy metal pollution is one of the biggest environmental problems facing the population today, since it seriously affects natural resources such as water, air and soil, as well as species of flora and fauna. In addition, it causes complications in people's health, leading to catastrophic diseases, even death. For this reason, this work aimed to analyze strategies to reduce the concentration of lead in contaminated water by processes at the Esmeraldas refinery. Through bibliographic analysis and information review, it was found that currently technologies have been developed to contribute to eliminate heavy metals such as lead from wastewater, including chemical precipitation, ion exchange, chemical oxidation, electrochemical precipitation, among others, obtaining removal effectiveness between 83.2% to 98.9%, as well as, physical techniques such as flotation, ultrafiltration and adsorption were found, also, biological methods such as biosorption based on microorganisms and phytoremediation, eliminating between 76% to 96% of metals from the water.

Keywords: Water, pollution, heavy metals, refinery



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL ABSTRACT

Yo, CAMACHO RIVADENEIRA LUIS DANIEL, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de ENGLISH TEACHER, **CERTIFICO** que he procedido a la **REVISIÓN DEL ABSTRACT** del presente trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS CONTAMINADAS POR PROCESOS DE LA REFINERÍA DE ESMERALDA**, realizado por el estudiante **QUIROZ DELGADO HANS JAIRO**; con cédula de identidad N° 0919371591 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, el mismo que cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Lcdo. Luis Daniel Camacho Rivadeneira
lcamacho@uagraria.edu.ec

Guayaquil, 26 de Octubre del 2021

1. Introducción

1.1 Importancia o caracterización del tema.

El agua es un elemento esencial para la supervivencia de las especies en el planeta, contribuye en el desarrollo de las plantas y forma parte de todos los procesos desarrollados por el hombre (Tolar *et al.*, 2020). Sin embargo, cada vez es más frecuente encontrar estudios que evidencian concentraciones elevadas de contaminantes en este recurso, mismos que proceden de diferentes acciones como la agricultura, la minería, actividades domésticas e industriales (Masters y Edwards, 2015).

Dentro de las principales fuentes de contaminación se encuentra la actividad petrolífera, ocasionando afectaciones directas sobre los ecosistemas, principalmente por las concentraciones elevadas de metales pesados que se liberan al ambiente por medio de efluentes que van a parar a sistemas acuíferos (Max *et al.*, 2019). Además, aporta emisiones atmosféricas y la generación de desechos. Los efluentes de esta industria interfieren fuertemente sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres (Levallois *et al.*, 2018), contienen sólidos en suspensión, pesticidas, compuestos metálicos orgánicos, inorgánicos y diversos tóxicos, que son la principal fuente de contaminación del agua (Gardels y Sorg, 1989).

En la refinería de petróleo ubicada en la ciudad de Esmeraldas se lleva a cabo la refinación de aproximadamente 90000 barriles diarios, dicha industria fue creada en el año 1974 por el consorcio Sumitomo-Chiyoda, cuenta con diversas áreas para el desarrollo de actividades, en las cuales se originan cuantiosas cantidades de desechos sólidos y líquidos, principalmente en el área de los tanques de almacenamiento, área de aguas residuales y piscinas de residuos oleosos (Bone,

2011). Así también, el poliducto y las líneas de flujo representan una fuente importante de contaminación. La refinería no cuenta con un buen sistema de drenaje y recolección de aguas lluvias, por lo que los residuos oleosos que se generan en la empresa ocasionan contaminación de las aguas superficiales (Prado, 2015).

Dado que el sistema de gestión de residuos es deficiente, se ocasionan una serie de inconvenientes que perturban la salud de los ríos aledaños a la industria. Durante la temporada invernal las piscinas de almacenamiento de residuos colapsan a causa de la falta de mantenimiento, esto ocasiona que las aguas contaminadas lleguen hasta el cuerpo hídrico más cercano río Teaone, al ser este un afluente del río Esmeraldas, dicha contaminación es transportada hacia este caudal generando afectaciones sobre áreas más dispersas de la refinería, incluso pudiendo llegar hasta el océano (Paz y Cuero, 2020).

En el mar se acrecienta la contaminación por el agua residual de los buques tanque que trasladan el carburante, así como por los constantes derrames al instante de la carga. El impacto ambiental consiguiente por la cantidad de efluentes derramados al río Teaone causa reducción del contenido de oxígeno, contribución de sustancias orgánicas e inorgánicas, presencia de sepas, lodo y otras sustancias que se sitúan en la orilla generando una película oleosa a orillas del río (Prado, 2015).

La liberación no regularizada de productos químicos industriales en cuerpos de agua ha originado problemas ambientales a todas las variedades de organismos en este recurso, esto se debe a que los medios hídricos están siendo contaminados fundamentalmente por metales, mismos que, una vez ingresados en el agua, su eliminación es complicada y se vuelven perjudiciales para toda forma

de vida de ese medio (Seller *et al.*, 2020). Los metales pesados perjudican el equilibrio ecológico al perturbar a diferentes procesos fisiológicos, bioquímicos y celulares, los efectos tóxicos de varios metales pesados logran entorpecer las tasas de crecimiento, funciones fisiológicas, mortalidad y reproducción de considerables organismos acuáticos, alterando así la calidad del agua (Saili *et al.*, 2019).

En tal sentido, es de gran importancia el análisis de nuevas estrategias que contribuyan a minimizar el impacto ambiental ocasionado por los contaminantes emitidos por industrias petroleras, al contener concentraciones elevadas de compuestos tóxicos como metales pesados que desequilibran los procesos ecológicos, alteran los recursos naturales y perturban la salud pública.

1.2 Actualidad del tema

Actualmente es primordial la realización de estudios que se enmarquen en el análisis de tecnologías o estrategias para reducir la contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua, puesto que una de las actividades más contaminantes para este recurso es la industria petrolera y en los últimos años los niveles de contaminación han incrementado a causa de los desechos industriales y el aumento de la demanda de petróleo, lo que genera mayor introducción de metales pesados en el agua (Zeitoun y Mehana, 2014).

A nivel mundial existe gran contaminación ocasionada por efluentes de refinerías de petróleo, los cuales salen cargados de sustancias químicas como amoníaco, sulfuros, fenol, hidrocarburos y metales pesados. Varios estudios de toxicidad han demostrado que la mayoría de los efluentes de las refinerías son tóxicos en concentraciones diferentes (Wake, 2005). Los metales pesados afectan a la biota acuática como el fitoplancton, principalmente porque en ciudades como Bangladesh las industrias se encuentran ubicadas en las orillas de los ríos, por lo

que estas descargan las aguas residuales directamente a los cuerpos de agua dulce, impidiendo el desarrollo de la flora y fauna acuática (Islam y Huda, 2016). Además, es necesario mencionar que las industrias de refinerías de petróleo consumen aproximadamente entre el 10% y el 57% del consumo total de agua en diferentes países (Radelyuk *et al.*, 2021).

En el Ecuador la industria petrolera es una fuente de ingresos económicos para el país, dado que es uno de los mayores productores de petróleos de la región. Sin embargo, desde que se iniciaron los procesos de extracción de petróleo, se han formado conflictos ambientales que perjudican los ecosistemas del país (Fontaine *et al.*, 2003). En la etapa de prospección se generan emisiones de partículas al aire, seguido de la fase de extracción, en la cual se crean alrededor de 5 millones de desechos tóxicos que son liberados al ambiente sin ningún tratamiento (Oñate, 2021).

Todos los procesos de la industria petrolera originan contaminación de los recursos naturales, especialmente la etapa de refinación, en la cual se generan innumerables cantidades de desechos sólidos y líquidos que contienen sustancias oleosas con compuestos tóxicos, mismos que llegan a fuentes de agua como ríos, riachuelos y esteros.

1.3 Novedad científica del tema

Como consecuencia de grandes procesos industriales, se forman aguas residuales que contienen varios metales pesados, como zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) o cromo (Cr) (Fu y Wang, 2011). La contaminación del agua por metales pesados es una inquietud puesto que tienden a bioacumularse y estar en el medio ambiente durante un tiempo extendido

que origina muchas enfermedades y trastornos a los organismos vivos (Joseph *et al.*, 2019).

La amenaza de contaminación por plomo procede de su elevada toxicidad y una larga vida en el medio ambiente. Actualmente, el plomo se utiliza en diversas aplicaciones como, baterías, láminas de plomo, pigmentos y productos químicos, óxidos en pinturas, vidrio, productos metálicos, soldaduras y tuberías. El uso industrial de plomo para estas aplicaciones y actividades antropogénicas contribuye a la liberación de una alta concentración de plomo en cuerpos de agua (Harvey *et al.*, 2015).

La exposición a una mayor cantidad de plomo puede resultar en varios problemas de salud en humanos como enfermedades cardíacas, insuficiencia hepática, daño cerebral, anemia, enfermedad gastrointestinal, daño renal, cáncer y también su la exposición puede provocar la muerte (Fu y Wang, 2011). Estos iones de metales pesados tienen toxicidad y pueden causar cáncer. Estos metales pesados afectan la fertilidad del suelo, los recursos hídricos y los ecosistemas. El plomo tiene una toxicidad que causa anemia, enfermedades gastrointestinales y eleva la presión arterial corporal incluso en pequeñas concentraciones (Gherasim y Mikulášek, 2014).

Por lo antes mencionado, es necesario el análisis y el estudio de técnicas que faciliten la eliminación de metales pesados del agua y con ello se contribuya a reducir los impactos ambientales que ocasiona la industria petrolera en el recurso hídrico.

1.4 Justificación del tema

La contaminación por metales pesados en el agua es un riesgo grave para la salud pública y otras formas de vida en la tierra, pero fundamentalmente la

actividad industrial y petrolífera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy nocivos para la salud humana y para las especies de flora y fauna (Singh y Steinnes, 1994). Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre, incluyendo la combustión de nafta con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos. Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de refinerías y fábricas, llegan a los ríos, mientras los desechos contaminan las aguas subterráneas (Sonone *et al.*, 2020).

La descarga de aguas residuales que contienen iones de metales pesados y contaminantes orgánicos disueltos de diversos productos químicos y petroquímicos en el medio ambiente ha sido un problema grave, ya que no son biodegradables, altamente tóxicos y cancerígenos por naturaleza. Esto ha llevado a una creciente preocupación debido a su impacto nocivo en la salud humana y la vida acuática. Por tanto, el tratamiento de efluentes acuosos contaminados para la eliminación simultánea de ambos contaminantes peligrosos es un desafío ambiental muy importante para los investigadores (Yang *et al.*, 2015).

El plomo está clasificado como residuo peligroso y altamente tóxico para humanos, plantas y animales, cuando los animales y las plantas están expuestos a él, causa la muerte de estas especies, mientras que en los humanos provoca anemia, daño cerebral, deficiencia mental, anorexia, vómitos y malestar. Entre las exposiciones a metales pesados, la exposición al plomo es una de las más comunes que puede conducir a un rechazo neuropsicológico y funcional significativo en humanos (Dutta y Jana, 2017).

Es por ello que la principal finalidad de la presente investigación es recolectar información sobre las estrategias de disminución de plomo en aguas contaminadas

por actividades realizadas en refinería, dado que esta es una de las industrias que más contamina. A través de la búsqueda bibliográfica se pretenden encontrar nuevas técnicas y métodos para el desarrollo de este trabajo y poder generar información actualizada sobre las estrategias que se pueden utilizar para disminuir las concentraciones de plomo en aguas residuales de refinerías de petróleo.

1.5 Objetivo general

Analizar estrategias de disminución de la concentración de plomo en el agua contaminada por procesos de la refinería de Esmeraldas mediante técnicas físicas, químicas y biológicas para la identificación de la técnica más apropiada.

1.6 Objetivos específicos

- Contrastar métodos físicos para la disminución de plomo (Pb) en aguas contaminadas por procesos de la refinería de Esmeraldas mediante búsqueda bibliográfica.
- Comparar técnicas químicas que permitan reducir la concentración de plomo de aguas residuales procedentes del drenaje de industrias petroleras mediante análisis bibliográfico.
- Detallar mecanismos biológicos utilizados para separar metales pesados como el plomo de aguas contaminadas con derivados de petróleo mediante investigación documental y descriptiva.

2. Metodología

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos Bibliográficos

Para el desarrollo de la presente investigación será necesario contar con recursos bibliográficos como:

- Revistas científicas
- Artículos de revistas científicas
- Libros electrónicos
- Páginas webs
- Informes
- Tesis

2.1.2 Materiales y equipo

Del mismo modo, se requerirán materiales y equipos para la búsqueda de información y redacción de la investigación.

- Computadora
- Laptop
- Impresora
- Softwares como Office Word, Office Power Point
- Hojas de papel bond (para impresión de documentos)
- Memoria Pendrive para guardar la información

2.1.3 Recursos humanos

- Estudiante que redacta la tesina
- Tutor encargado de dirigir el desarrollo del trabajo

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad y tipo de investigación

Se utilizó investigación documental, ya que a través de este tipo de investigación se compilaron datos referentes a la contaminación del agua por plomo proveniente de refinerías y se realizó mediante documentos y archivos electrónicos. Asimismo, se empleó investigación descriptiva, por medio de la cual se analizó la información obtenida con la investigación documental y se describieron los efectos que genera el plomo sobre el ambiente y la salud de las personas, así como también, se pudo describir técnicas que se utilizan para reducir las concentraciones de este metal en el agua.

2.2.2 Tipos de métodos

Se llevó a cabo la investigación mediante el método analítico el cual se basa en realizar un análisis exhaustivo de la información obtenida para comprender de manera asertiva los procesos que se involucran en el tema en estudio.

2.2.3 Técnicas

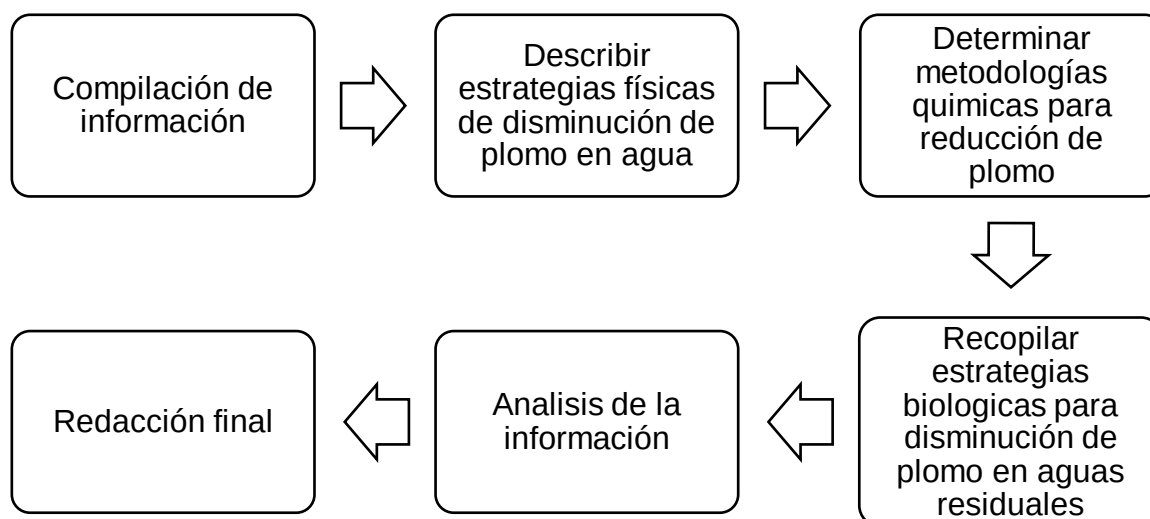


Figura 1. Diagrama de flujo de la monografía Quiroz, 2021

La técnica utilizada en este trabajo fue una revisión bibliográfica exhaustiva, la cual permitió conseguir información relevante y pertinente sobre la contaminación del agua por plomo.

3. Marco Teórico

3.1 Estado del arte

La industria petrolera establece gran importancia para algunos países, ya que forma parte de las principales fuentes de ingresos económicos. No obstante, desde hace mucho tiempo atrás, se han venido reportando afectaciones al ambiente a causa de los contaminantes utilizados y generados en dicha industria como los metales pesados. Es por ello que se han desarrollado diferentes métodos de eliminación de metales pesados de aguas residuales, con el fin de disminuir las concentraciones de estos compuestos que llegan hasta los cuerpos de agua (Dobson y Burgess, 2007).

Una de las técnicas manejadas es la utilización de microorganismos capaces de adsorber los metales pesados por medio de la biosorción, un estudio que se realizó en India se enfocó en eliminar plomo (Pb), cadmio (Cd) y Cobre (Cu) del agua residual de una industria petrolífera, adicionando *Trichoderma viride* como adsorbente. En los resultados se evidenció un 76,05% de efectividad en remoción de plomo (Singh *et al.*, 2010).

Por otro lado, Choudhury *et al.*, (2015) desarrollaron un nuevo nanocompuesto por medio de síntesis química manipulando nanopartículas de hidroxiapatita y arcilla de bentonita, con la finalidad de eliminar plomo del agua. Para comprobar la eficiencia se prepararon varios nanocompuestos basados en arcilla de bentonita y se obtuvo una eliminación de plomo del 99% mediante el método de sorción.

En Canadá se indagaron nanocompuestos de goethita y quitosano para ser utilizadas en la separación de plomo del agua. Como resultado se encontró que las condiciones óptimas para la remoción de plomo eran 6 (pH), 0.05g (masa absorbente) y 74.4 mg/L (concentración inicial de plomo). En estas circunstancias,

se consiguió una eficacia máxima de exclusión de plomo del 98,26% (Rahimi *et al.*, 2015).

Los microbots son otra técnica que se puede implementar en agua contaminada para nadar al azar y recolectarse fácilmente con imanes una vez que se haya completado el proceso de purificación del agua. Además, pueden ser útiles como nuevos dispositivos para la descontaminación futura de metales pesados de aguas residuales industriales debido a su eficiencia para la descontaminación, su fácil remoción de la solución y la posibilidad de recuperación de plomo y su reutilización (Vilela *et al.*, 2016).

Otro estudio se centró en la metodología de superficie de respuesta (RSM) para la optimización de la eliminación de plomo del agua en Irán, mediante un nuevo nanocompuesto superparamagnético. Se obtuvo una capacidad máxima de adsorción de plomo de 124,955 mg/g en las condiciones óptimas de 5,49, 60 °C, 89,08 mg/L y 0,48 g/L para el pH de la solución, la temperatura, la concentración inicial de iones de plomo y la dosis de adsorbente respectivamente (Javanbakht y Ghoreishi, 2017).

En China se planteó un estudio para la utilización de carbón activado gastado para eliminar metales pesados del agua, consiguiendo una eficiencia en la remoción del 86% al 95% (Dong *et al.*, 2018).

En un estudio se utilizó clinoptilolita iraní modificada por HCl para eliminar metales pesados de aguas residuales de refinería. Se utilizó HCl con una concentración de 5 M para modificar la zeolita. Los resultados indicaron que, cuando la concentración de metales pesados y la dosis de adsorbente eran máximas y la velocidad de flujo estaba en el nivel más bajo, se logró el nivel más alto de eliminación de Cd y Pb utilizando cualquiera de los adsorbentes. Sin

embargo, el adsorbente modificado tenía una mayor capacidad para eliminar metales pesados. En condiciones óptimas de operación y en presencia del adsorbente modificado, la remoción de cadmio y plomo de las aguas residuales fue de 85,9% y 98,9%, respectivamente (Aghel *et al.*, 2020).

En un estudio se prepararon químicamente estructuras de hierro-bencentricarboxilato organometálico. Para ello, utilizando cloruro de hierro y ácido trimésico, se sintetizó el marco nano metal-orgánico y luego se identificó y caracterizó mediante microscopía electrónica de túnel de barrido. El marco se empleó para eliminar el plomo de las aguas residuales y el efecto de diferentes parámetros, incluida la concentración de adsorbente (0.2 y 0.5 mg/L), pH (3.5 y 12.5), temperatura (10 y 75 °C) y concentración de plomo (10 y 150 mg/L). La máxima eficiencia, como 100% de remoción de plomo, se obtuvo con 0.25 mg/L de adsorbente a 50 °C y un pH de 3.4 (Nabi *et al.*, 2021).

En América Latina las refinerías de petróleo y las plantas químicas producen miles de millones de galones de aguas residuales contaminadas cada año. Por lo que se han realizado estudios para disminuir la concentración de los contaminantes como una investigación que se realizó en Colombia, en donde se utilizó la técnica de fitorremediación mediante la especie *Catharanthus roseus* para eliminar plomo y níquel de aguas residuales. Las dos soluciones de metal se agregaron varios recipientes durante un tiempo de 60 días, dando como resultado que el plomo y el níquel fueron mayormente acumulados en las raíces, seguido del tallo y las hojas, concluyendo que la especie vegetal es un buen acumulador de plomo y níquel (Subhashini y Swamy, 2013).

Tang *et al.*, (2016) realizaron un estudio en Chile para implementar el proceso de coagulación química en eliminación de metales pesados en el agua, los

principales mecanismos de eliminación de metales pesados son la adsorción, la complejación y la coprecipitación. Implementando coagulantes a base de aluminio y a base de hierro, comparando los dos, se determinó que los coagulantes a base de hierro tienen un mejor rendimiento debido al uso de un amplio rango de pH y una gran superficie de los flóculos resultantes. En conclusión, la coagulación química es una forma eficaz de controlar la contaminación por metales pesados con o sin otras tecnologías de tratamiento de agua.

Otro estudio se realizó en Perú para eliminar metales pesados como plomo de aguas contaminadas, para ello se utilizó cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como factor para remover el metal. Se controlaron factores como el pH, tiempo, porosidad y acidez, obteniendo como resultado una eliminación del 67,97% del metal lo que representa a 0,4996 mg Pb/L (Bonilla, 2016).

Asimismo, en Colombia se desarrolló una investigación sobre los humedales artificiales con plantas nativas, es un método común in situ utilizado para la descontaminación de metales pesados, generalmente implica el uso de especies exóticas. Sin embargo, estas especies pueden exhibir un comportamiento invasivo, por lo tanto, afectar la dinámica ambiental y ecológica del ecosistema en el que se introducen (Oyuela *et al.*, 2017).

Del mismo modo en Lima se realizó un trabajo que tuvo como principal objetivo determinar la eficiencia de la capacidad de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis pyrifera*) en la remoción de plomo y zinc de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera. Con esta especie se consiguió remover un porcentaje similar de plomo y zinc en los dos puntos de muestreo, siendo este mayor para el punto 2 con 67,59% y para el punto 1 una remoción de 28,43% (Magno, 2020).

En lo referente a escala local, en Ecuador la actividad petrolífera se desarrolla diariamente, puesto que es una fuente principal de incremento económico en el país, dada esta situación se origina contaminación recurrente en ríos, lagos, riachuelos y demás sistemas acuíferos que se encuentren cerca de las industrias. Por lo que se realizan estudios para comprender el comportamiento de los contaminantes e implementar técnicas para reducir dicha contaminación, como el realizado por Ballesteros, (2011) en Quito, en donde aplicó fitorremediación a base de la especie *Azolla caroliniana* para acumular metales pesados como el plomo y cadmio, se aplicaron a distintas concentraciones y al final se obtuvo un porcentaje de remediación de 85% para plomo y 75% para cadmio.

De igual manera en Cuenca se efectuó un trabajo en el que se aplicó el bagazo de caña de azúcar como absorbente para eliminar metales pesados del agua. Se obtuvo un porcentaje de remoción de 77.81% para cadmio y 99.76% para plomo (Vera *et al.*, 2016).

Otro estudio realizado por Verdugo, (2017) el cual se basa en evaluar la capacidad de biosorción del plomo y cromo por medio de la utilización de cáscaras de mandarina *Cirus reticuata*, consiguiendo una eficiencia de remoción de plomo de 71,9% y remoción de cromo de 54,4%.

Además, en Guayaquil se estudió la adsorción de plomo de un agente biosorbente a base de cáscara de banano combinada con quitosano, arrojando el porcentaje de biosorción de plomo es de 88.81% (Brito y Vera, 2018).

En un caso más específico, en la refinería de Esmeraldas se han realizado varios estudios, entre ellos el desarrollado por Bone, (2011) en el que se analizó la situación a la que se enfrentan los cuerpos de agua dulce a causa de la contaminación ocasionada en la refinería, en esta industria se originan aguas

residuales provenientes de distintos procesos como por ejemplo del sistema de enfriamiento, del condensador de vapores, descargas de laboratorios, etc., estas aguas presentan alto contenido de compuestos oleosos, residuos de crudo, entre otros elementos propios de la industria. En los análisis efectuados se encontraron concentraciones que superaban la normativa ambiental, como es el caso de cromatos (4,5 ppm) mismo que en la norma se estipula debe estar en 0,05 ppm, fenoles (75 ppm) cuando la norma menciona 0,2 ppm, en algunos casos se sobrepasaba el valor hasta 90 veces los permitido.

El principal afectado por la descargas de la refinería es el río Teaone, ya que esta fuente de agua dulce recibe diariamente evacuaciones de agua contaminada, dentro de los resultados arrojados se encuentran los siguientes valores presentados la tabla 1.

Tabla 1. Análisis de calidad de aguas residuales de refinería de petróleo de Esmeraldas

Parámetros	Resultados	Límites	Unidad
Aluminio	0,30	5,0	mg/L
Cloruro	--	1000	mg/L
Cadmio	--	0,02	mg/L
Arsénico	0,0	0,1	mg/L
Cobre	--	1,0	mg/L
Color real	--		Unidades de color
Cromo hexavalente	0,059	0,5	mg/L
Hierro	--	10,0	mg/L
Manganeso	--	2,0	mg/L
Materia flotante	SI	AUSENCIA	--
Nitrato-Nitritos	--	10	mg/L
Plomo	0,142	0,2	mg/L
Sulfatos	232	1000	mg/L
Sólidos disueltos totales	1150	1600	mg/L
Bario	--	2,0	mg/L
Zinc	--	5,0	mg/L
pH	7,1	5-9	pH
Coliformes totales	>160000	</=3000	NMP/100 ml
Coliformes fecales	9000	</=3000	NMP/100 ml

Bone, 2011

La tabla 1 presenta los valores obtenidos en un estudio realizado en el río Teaone luego de las descargas de aguas residuales de la refinería, entre los que presentaron alguna concentración están el aluminio (0,30 mg/L), el cromo (0,059 mg/L), el plomo (0,142 mg/L), sulfatos (232 mg/L), sólidos disueltos (1150 mg/L) los cuales se encontraban dentro del rango establecido en los límites máximos permitidos en la norma ambiental. Sin embargo los coliformes totales (>160000 NMP/100 ml) y coliformes fecales (9000 NMP/100 ml) estaban superando considerablemente los valores máximos de las normativas vigentes, así como

materia flotante, misma que estuvo presente en el agua analizada. Estos resultados se deben a las características del agua residual de industrias petroleras, las cuales poseen concentraciones de materia orgánica, compuestos de hidrocarburos, entre otros compuestos que caracterizan este tipo de fluidos residuales.

4. Desarrollo de contenido

4.1 Contrastar métodos físicos para la disminución de plomo (Pb) en aguas contaminadas por procesos de la refinería de Esmeraldas mediante búsqueda bibliográfica.

El tratamiento de aguas residuales que contienen iones de metales pesados es un desafío creciente debido a su coexistencia en muchos efluentes industriales por lo que existen varias alternativas que facilitan la remoción de metales del agua. En este trabajo se mencionan tres técnicas físicas para eliminar metales pesados como plomo, de aguas contaminadas por procesos de refinerías de petróleo, entre las cuales están la ultrafiltración, la flotación y la adsorción. En lo que se refiere a la ultrafiltración es una técnica que utiliza polímeros solubles en el agua para separar los iones metálicos de esta (Huang *et al.*, 2016). En esta técnica se analiza el efecto de parámetros como la concentración de tensioactivo, el pH de la solución y relación de concentración de tensioactivo a metal en el rendimiento de la ultrafiltración (Jana *et al.*, 2018).

Por otro lado la flotación es una técnica que se utiliza frecuentemente para eliminar metales pesados del agua por medio de la aplicación de columnas de flotación de aire, es un método eficaz ya que disminuye la formación de flóculos y se realiza a través de la separación sólidos-líquidos (Aldrich y Feng, 2000), con la manipulación de este método se puede lograr una eficiencia de remoción de metales pesados de hasta un 89,2% (FengLian *et al.*, 2009).

Por su parte la adsorción se lleva a cabo mediante absorbentes que contengan gran porosidad, heterogeneidad espacial de la distribución del tamaño de poro y área superficial controlable y un área superficial elevada, entre los que se pueden mencionar están los tamices moleculares y la sílice mesoporosa. Estas

características hacen que estos materiales sean una buena opción para considerarse como adsorbentes, se pueden realizar cambios en las paredes del canal o unir diferentes grupos a sus superficies para aumentar y mejorar estas características (Nabi *et al.*, 2021).

Entre los minerales que poseen propiedades adsorbentes, la zeolita natural aparece como uno de los minerales más prometedores para la purificación de metales. Las propiedades estructurales, físicas y químicas especiales de las zeolitas las hacen valiosas para muchas aplicaciones industriales, agrícolas y ambientales, son materiales de bajo costo y disponibles que funcionan como excelentes intercambiadores de cationes (Javanbakht y Ghoreishi, 2017).

En la tabla 2 se muestran las ventajas y desventajas de las técnicas físicas investigadas en este trabajo, utilizadas para eliminar plomo de aguas residuales de industrias petroleras.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las técnicas físicas para eliminación de plomo en el agua

Técnicas	Ventajas	Desventajas
Ultrafiltración	Alta separación	Membranas de ultrafiltración más cerradas
	Polímeros solubles en agua	Cuando el agua contiene gran cantidad de contaminantes la eficiencia baja
	Alta eficiencia de desinfección Ahorro de energía	Polarización de la concentración
Flotación	Recuperación selectiva de iones metálicos	Sensible a variaciones de temperatura
	Baja generación de lodos	Variaciones físico-químicas de los sólidos suspendidos
	Alta eficiencia de separación Menos requisitos de energía Operación rápida	Costos operacionales elevados
Adsorción	Menor generación de residuos	Limpieza de membranas
	Adsorbentes reutilizables	Generación de ruidos
	Reducción de costos	Degradación de los adsorbentes
	Rentabilidad del proceso	Baja selectividad

Barakat y Schmidt, 2010.

La tabla 2 presenta la comparación de las tres técnicas estudiadas en esta sección, estableciendo que estas poseen alto grado de confiabilidad al momento de tratar aguas contaminadas con metales pesados, al poseer las tres características que les permiten remover este tipo de contaminantes del agua, tienen alta eficiencia de remoción, los costos de operación son bajos y en cada una de ellas la cantidad de generación de residuos es baja, favoreciendo el proceso de desinfección. La ultrafiltración genera una eficiencia desde 57% en concentraciones de contaminante de 100 mg/L (Barakat y Schmidt, 2010). Asimismo, el proceso de flotación es muy utilizado para eliminación de metales pesados de medios acuosos gracias a su gran aceptación, por sus ventajas de

requerir menos energía, operación rápida, baja concentración de metales y espacio reducido (FengLian *et al.*, 2009).

En cuanto al proceso de adsorción posee una alta eficiencia, con una gran superficie específica y un gran potencial de adsorción por las propiedades de los adsorbentes que se utilizan, producen menos residuos y son recuperables y reutilizables, lo que reduce los costes y hace que el proceso sea rentable (Nabi *et al.*, 2021).

La tabla 3 presenta el número de trabajos investigados a cerca de las técnicas físicas de remoción de plomo en aguas residuales.

Tabla 3. Número de investigaciones que mencionan cada técnica física de remoción de metales pesados en el agua

Nº de trabajos	Técnica	Año	Autor
3	Ultrafiltración	2010	Barakat y Schmidt, 2010.
		2016	Huang <i>et al.</i> , 2016.
		2018	Jana <i>et al.</i> , 2018.
2	Flotación	2000	Aldrich y Feng, 2000.
		2009	FengLian <i>et al.</i> , 2009.
8	Adsorción	2010	Singh <i>et al.</i> , 2010.
		2015	Rahimi <i>et al.</i> , 2015.
		2016	Bonilla, 2016.
		2016	Vilela <i>et al.</i> , 2016.
		2017	Javanbakht y Ghoreishi, 2017.
		2018	Brito y Vera, 2018.
		2020	Aghel <i>et al.</i> , 2020.
		2021	Nabi <i>et al.</i> , 2021.

Quiroz, 2021

En la tabla 3 se mencionan los diferentes estudios consultados sobre el tema de estudio, de acuerdo a estas 2 investigaciones indican la técnica de ultrafiltración

para eliminar metales pesados del agua, los estudios se realizaron en los años 2010, 2016 y 2018. Con respecto a la técnica de flotación se encontraron 2 trabajos de los años 2000 y 20009, mientras que de la técnica que más artículos de encontraron fue de la adsorción con 8 documentos que contenían información desde el año 2010 hasta el presente año 2021.

4.2 Comparar técnicas químicas que permitan reducir la concentración de plomo de aguas residuales procedentes del drenaje de industrias petroleras mediante análisis bibliográfico.

Entre las técnicas químicas más usuales para eliminar o reducir concentraciones de metales pesados en aguas residuales se encuentra la precipitación química, el intercambio iónico, la oxidación química, nanotecnologías, precipitación electroquímica y fotocátalisis, las cuales se exponen en la figura 3.

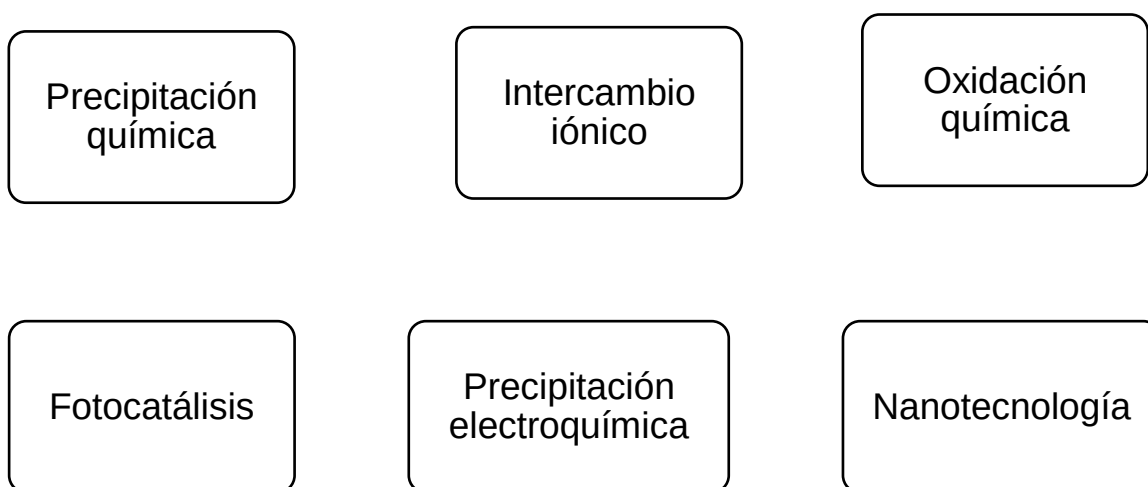


Figura 2. Técnicas químicas de eliminación de metales pesados en aguas encontradas en esta investigación
Gunatilake, 2015.

La figura 3 muestra las técnicas químicas que se encontraron en esta investigación para remover metales pesados de aguas contaminadas por procesos de refinerías de petróleos. La precipitación química es una de las más utilizadas

para la eliminación de metales pesados de efluentes inorgánicos en industria, debido a su sencillo funcionamiento, el mecanismo de este proceso se basa en producir metal insoluble mediante la reacción de metales disueltos en la solución precipitante, una vez que los metales precipitan y forman sólidos, se pueden eliminar fácilmente (Gunatilake, 2015).

Para que ocurra la precipitación es necesario que exista un agente de precipitación, el cual logra que los iones de metales se separen de las moléculas del agua (Sheoran y Sheoran, 2006). En este sentido, para lograr un correcto funcionamiento del proceso se debe incluir dosis precisas de los compuestos, teniendo en cuenta factores como pH y la alcalinidad de las aguas residuales. Según Barakat (2011), las dosis óptimas conviene establecerse a través de pruebas en recipientes y confirmarse mediante valoraciones de campo, los compuestos más utilizados son:

- Cal - óxido de calcio, CaO
- Sulfato ferroso, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$
- Alumbre o alumbre de filtro, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- Cloruro férrico, FeCl_3
- Polímero.

La precipitación química con hidróxidos o sulfuros es uno de los métodos más utilizados para eliminar metales del agua, el proceso es sencillo y económico. Sin embargo, durante la precipitación de hidróxido metálico, se forman grandes cantidades de sólidos y como resultado, el hidróxido de metal se vuelve anfótero y puede volver a la solución. En varios trabajos se ha conseguido una eficiencia de eliminación de 98,56% a 99,9% por medio de esta técnica (Mirbagheri y Hosseini, 2005). Por otro lado, también se utilizan compuestos como cal para agente

precipitante con el fin de remover metales pesados de aguas residuales, con este elemento se obtiene una eficiencia de eliminación entre el 99,37% al 99,69%. La precipitación de hidróxido tiene ciertas desventajas, como el requisito de eliminación costosa porque producen desechos secundarios como hidróxido de metal lodos y yeso (Chen *et al.*, 2009).

En cuanto al uso de sulfuros se caracteriza por una menor solubilidad en comparación con la de los hidróxidos metálicos, por lo que se puede lograr un mayor grado de reducción del metal en un tiempo más corto. Las desventajas de ese proceso son la muy baja solubilidad de los sulfuros metálicos, el proceso altamente sensible a la dosificación del agente de precipitación, y los riesgos de emisión de sulfuro de hidrógeno tóxico (Pohl, 2020).

En la precipitación de sulfuro, los compuestos de sulfuro se forman insolubles precipita cuando reacciona con metales pesados. La precipitación de sulfuro tiene varias ventajas tales como, elimina metales pesados selectivamente, velocidad de reacción rápida, mejor propiedades de sedimentación, los precipitados de sulfuro se pueden utilizar nuevamente mediante fundición (Azabou *et al.*, 2007).

En lo que respecta al intercambio iónico es una técnica comúnmente utilizada para la eliminación de metales pesados, ya que es rentable y asequible debido a su especificidad, flexibilidad de diseño y operación, y reutilización (Goyal *et al.*, 2021). Los intercambiadores de iones generalmente son de dos tipos, es decir, intercambiadores de iones inorgánicos e intercambiadores de iones orgánicos. Esta técnica tiene sus limitaciones, por lo que se puede presentar algún imprevisto en el proceso como mala regeneración y utilización, cinética de adsorción lenta, mala estabilidad química y mecánica y alta porosidad (Dong *et al.*, 2018).

Otra técnica es la oxidación química, la cual implica la introducción de un agente oxidante en las aguas residuales, lo que hace que los electrones se muevan del oxidante a los contaminantes, que sufren modificaciones estructurales, se puede emplear para eliminar compuestos orgánicos y algunos compuestos inorgánicos metales pesados del agua (Yoo *et al.*, 2017).

Los oxidantes comúnmente usados en aplicaciones de tratamiento de agua incluyen cloro, dióxido de cloro, permanganato, oxígeno y ozono. La ventaja principal de este método en comparación con otras tecnologías típicas es su naturaleza destructiva sin causar contaminación secundaria (Bolisetty *et al.*, 2019).

En otro sentido la nanotecnología es una técnica que evidencia mejores resultados con respecto a otras técnicas en procesos de tratamiento del agua, existen cuatro clases de materiales a nanoescala que se utilizan como materiales funcionales para la purificación de agua, los dendrímeros, nanopartículas que contienen metales, zeolitas y carbonáceas nanomateriales (Liu *et al.*, 2019).

Estos tienen una amplia gama de propiedades fisicoquímicas que los hacen más atractivo como medio de separación y reactivo para la purificación del agua, lo que resulta en la muerte de las bacterias en mayoría de los casos (Chaturvedi y Dave, 2019).

La precipitación electroquímica consiste en el recubrimiento de iones metálicos en la superficie de un cátodo y pueden recuperar metales pesados del agua, el proceso es sencillo y amigable con el ambiente, demanda menos mano de obra y logra economizar una cantidad significativa de energía en comparación con otros procesos (Rincón y La Motta, 2014). Sin embargo, la eficiencia de eliminación de iones de metales pesados no es alta en comparación con las tecnologías de tratamiento de agua con metales pesados (Hunsom *et al.*, 2005). Y finalmente el

fotocatálisis es una tecnología en donde los fotones de una fuente de luz son absorbidos por una superficie de catalizador, que genera radicales libres capaces de sufrir reacciones secundarias, como la electrólisis del agua (Tahir *et al.*, 2019). Los metales pesados son oxidados a sustancias menos complejas y luego son eliminados por un mecanismo de adsorción (Litter, 2015).

En la figura 4 se establece el porcentaje de eficiencia de remoción de metales pesados en cada una de las técnicas químicas.

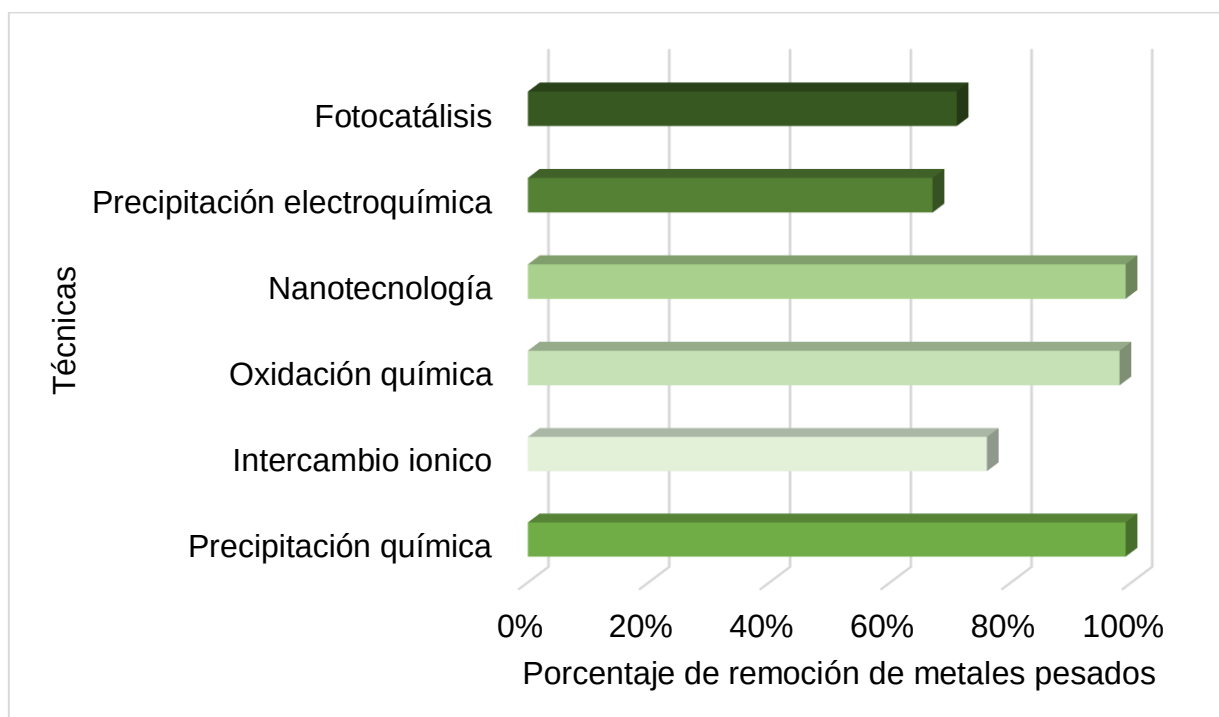


Figura 3. Eficiencia de las técnicas químicas en la eliminación de metales pesados del agua
Hunsom *et al.*, 2005.

En la figura 4 se observa que las técnicas químicas para remover metales pesados estudiados en este trabajo, poseen un alto grado de eficiencia, logrando eliminar hasta un 99% del metal presente en el agua. Sin embargo, la técnica de precipitación electroquímica presentó menor porcentaje de eficiencia en comparación con las demás técnicas.

En la tabla 4 se presentan las investigaciones indagadas sobre las técnicas químicas de remoción de metales pesados en el agua.

Tabla 4. Número de investigaciones que mencionan cada técnica química de remoción de metales pesados en el agua

Nº de trabajos	Técnica	Año	Autor
7	Precipitación química	2005	Mirbagheri y Hosseini, 2005.
		2006	Sheoran y Sheoran, 2006.
		2007	Azabou <i>et al.</i> , 2007.
		2009	Chen <i>et al.</i> , 2009.
		2011	Barakat 2011.
		2015	Gunatilake, 2015.
		2020	Pohl, 2020.
2	Intercambio iónico	2018	Dong <i>et al.</i> , 2018.
		2021	Goyal <i>et al.</i> , 2021.
2	Oxidación química	2017	Yoo <i>et al.</i> , 2017.
		2019	Bolisetty <i>et al.</i> , 2019.
3	Nanotecnología	2015	Choudhury <i>et al.</i> , 2015.
		2019	Liu <i>et al.</i> , 2019.
		2019	Chaturvedi y Dave, 2019.
2	Precipitación electroquímica	2005	Hunsom <i>et al.</i> , 2005.
		2014	Rincón y La Motta, 2014.
2	Fotocatálisis	2015	Litter, 2015.
		2019	Tahir <i>et al.</i> , 2019.

Quiroz, 2021

La tabla 4 establece que, en la búsqueda de información de las técnicas químicas de remoción de metales pesados en el agua, se encontraron 7 artículos que contenían la técnica de precipitación química, 2 artículos mencionaban intercambio iónico, 2 investigaciones presentaban la oxidación química, 3 estudios contenían información sobre nanotecnología, 2 documentos sobre precipitación electroquímica y 2 archivos sobre fotocatalisis.

4.3 Detallar mecanismos biológicos utilizados para separar metales pesados como el plomo de aguas contaminadas con derivados de petróleo mediante investigación documental y descriptiva.

Las técnicas biológicas encontradas en este trabajo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con plomo en procesos de refinerías de petróleo fueron biosorción y fitorremediación, las cuales se pueden utilizar para reducir o eliminar concentraciones de metales pesados en aguas contaminadas por procesos llevados a cabo en refinerías de petróleo como la refinería ubicada en la ciudad de Esmeraldas. La técnica de biosorción consiste en la utilización de microorganismos que sean capaces de capturar metales pesados para el tratamiento de aguas residuales, es un tratamiento biológico y no genera impactos negativos en el ambiente, este tipo de técnica resulta ser menos costosa que las técnicas convencionales (Chaturvedi *et al.*, 2015).

Para que el proceso de biosorción se desarrolle con efectividad es imprescindible controlar factores como la biodegradación de los contaminantes, la accesibilidad de los organismos que degradan los contaminantes y la optimización de la actividad biológica. La biodegradación por microorganismos autóctonos es un mecanismo importante y un método fiable. Las bacterias, las levaduras y los hongos pueden utilizarse en este método, entre los microorganismos capaces de degradar metales se encuentran hongos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Amorphotheca*, *Neosartorya*, *Paecilomyces*, *Talaromyces*, *Graphium* *Cunninghamella* (Al-Hawash *et al.*, 2018).

Entre los microorganismos, la biomasa fúngica parece ser un buen material de sorción, porque se puede producir de manera fácil y económica utilizando técnicas de fermentación simples con un alto rendimiento de biomasa y medios de

crecimiento económicos. Las ventajas de la biosorción sobre los métodos convencionales son de bajo costo operativo, selectividad para metales específicos, tiempo de funcionamiento corto y sin lodos químicos. (Singh *et al.*, 2010). Una variedad de materiales naturales de orígenes biológicos que incluye bacterias, hongos, algas, musgos, macrófitos y plantas superiores, pueden disminuir la concentración de iones de metales pesados de una solución acuosa (Amini *et al.*, 2008).

Con respecto a la fitorremediación es el uso de plantas con la finalidad de eliminar contaminantes nocivos presentes en el agua, esta técnica es muy útil, eficiente y además ecológica, ya que no se adiciona ningún compuesto químico que perturbe las especies del medio acuáticos y tampoco altera las propiedades del agua (Yunusa, 2015). Entre los métodos están los humedales artificiales, los cuales pueden eliminar eficazmente la fracción orgánica recalcitrante de las aguas residuales debido a los diversos mecanismos involucrados, como la fitodegradación, la rizofiltración, etc., (Jain *et al.*, 2020).

La tabla 5 presenta las ventajas y desventajas de la biosorción y la fitorremediación en el tratamiento de aguas contaminadas.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de las técnicas biológicas para eliminación de plomo en el agua

Técnicas	Ventajas	Desventajas
Biosorción	Menor volumen de productos y lodos	Saturación veloz
	Reutilización del material biosorbente	Mayor control del pH
	Bajo costo	Mejoramiento limitado
	Bajo costo de funcionamiento	Poca profundidad
Fitorremediación	Algunos procesos ocurren más rápido	Tiempos de tratamiento prolongados
	Apropiado para descontaminar superficies grandes	Biodisponibilidad de los compuestos

Singh *et al.*, 2010.

La tabla 5 exterioriza las ventajas y desventajas de los procesos biológicos analizados en esta sección, presentando un bajo costo de funcionamiento, utilización de materiales amigables con el ambiente y menor generación de residuos como lodos, mientras que como desventajas establecen mayor monitoreo de parámetros como el pH, la profundidad de tratamiento en poca y el tiempo de tratamiento se puede prolongar de acuerdo a las características del material a utilizar.

La tabla 6 muestra los estudios analizados sobre las técnicas biológicas para la eliminación de metales pesados del agua.

Tabla 6. Número de investigaciones que mencionan cada técnica biológica de remoción de metales pesados en el agua

Nº de trabajos	Técnica	Año	Autor
5	Biosorción	2008	Amini <i>et al.</i> , 2008.
		2010	Singh <i>et al.</i> , 2010.
		2015	Chaturvedi <i>et al.</i> , 2015.
		2017	Verdugo, 2017.
		2018	Al-Hawash <i>et al.</i> , 2018.
4	Fitorremediación	2013	Subhashini y Swamy, 2013.
		2015	Yunusa, 2015.
		2020	Magno, 2020.
		2020	Jain <i>et al.</i> , 2020.

Quiroz, 2021

En la tabla 6 se denota que fueron encontrados 5 estudios que contenían información con respecto a la técnica de biosorción del periodo 2008 hasta 2018 y para fitorremediación se encontraron 3 trabajos comprendidos entre los años 2013 a 2020.

En la tabla 7 se presenta el porcentaje de remoción de metales pesados y otros parámetros con respecto a las técnicas analizadas.

Tabla 7. Comparación de las técnicas de remoción de metales pesados y otros parámetros

Tipo de técnica	Técnica	Metales pesados	pH	ST	DQO
Físicas	Ultrafiltración	57%	7	45%	24%
	Flotación	89,2%	8	36%	1%
	Adsorción		7	58%	45%
	Precipitación química	98,56% a 99,9%	7-7,5	67%	53%
	Precipitación electroquímica	67%	6,5	32%	36%
Químicas	Intercambio iónico	76%	7,5	45%	48%
	Oxidación química	98%	6	69%	51%
	Fotocatálisis	71%	6	51%	42%
	Nanotecnología	99%	6	81%	36%
Biológicas	Biosorción	76%	7,5	69%	52%
	Fitorremediación	96%	8	54%	53%

Quiroz, 2021

La tabla 7 muestra la eficiencia de remoción de metales pesados de las técnicas analizadas, demostrando que las técnicas químicas son las más eficientes dado que poseen un mayor porcentaje de remoción, tanto de metales pesados como de los parámetros de sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO).

•Determinación de la técnica más eficiente para depuración de aguas residuales de la refinería de Esmeraldas.

En la refinería de Esmeraldas se generan aguas residuales de distintos procesos, las cuales contienen grandes cantidades de contaminantes como materia orgánica, DBO, DQO, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, hidrocarburos, aceites y grasas, compuestos tóxicos como sulfuros, fenoles, alcoholes, cloruros, fluoruros y metales pesados. Otro parámetro que juega un papel importante en las aguas residuales de refinerías de petróleo es el pH,

encontrándose dentro del rango de 6,5 a 8,5. Considerando estos factores es imprescindible la aplicación de tratamientos que contribuyan a eliminar la contaminación presente en estas aguas residuales, para ello existen distintas técnicas de depuración y entre las consultadas en este trabajo están las técnicas físicas, químicas y biológicas, de las cuales, las técnicas químicas poseen el mayor porcentaje de remoción de contaminantes y las más eficientes son la precipitación química (99,9%), la oxidación química (98%) y la nanotecnología (99%).

En el trabajo realizado por Mirbagheri y Hosseini, (2005) se aplicó la precipitación química como tratamiento para eliminar metales pesados de aguas residuales de industrias petroquímicas, para ello se efectuó un análisis piloto en laboratorio aplicando 4,7 mg/L de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y también se probó con la utilización de 5,6 mg/L de hidróxido de sodio NaOH, los experimentos se realizaron en muestras de agua de 1 L. Para la obtención de mejores resultados se produjo mezcla durante 2 horas para luego dejar sedimentar durante 4 horas hasta que se hayan separado los metales completamente del agua, en los análisis se comprobó que los productos empleados produjeron una reducción de 99,9% de los metales presentes en el agua como cobre y cromo.

Las técnicas químicas se basan en la transformación de los contaminantes en compuestos menos perjudiciales, su principal objetivo es la desinfección o eliminación de agentes tóxicos del agua por medio de la adición de sustancias químicas capaces de neutralizar la contaminación existente en el agua residual. En este sentido, la técnica de precipitación química es la más utilizada por su alto porcentaje de eficacia en la remoción de parámetros que afectan las propiedades del agua, esta técnica consiste en la adición de agregados químicos, los cuales al estar en contacto con el agua, desestabilizan la contaminación disuelta existente y

por ende, contribuyen a lograr la precipitación de esta, formándose un sólido que por su gravedad tiende a sedimentarse en el fondo, de esta manera se facilita su remoción y separación del agua.

5. Conclusiones

Luego del análisis bibliográfico y documental realizado en este trabajo se puede concluir que la industria petrolera es una de las principales que afecta el sistema acuífero, ocasionando alteraciones en el ecosistema por las concentraciones elevadas de metales pesados que se descargan en sus aguas residuales, generando contaminación del agua.

En la provincia de Esmeraldas, la refinería de petróleo no cuenta con un buen sistema de gestión de aguas residuales y residuos oleosos, por lo que estos residuos van a parar directamente a las fuentes de agua dulce aledañas a la industria como es el río Teaone, generando contaminación en las aguas superficiales y ocasionando desequilibrio en la biota presente en este recurso, ya que estudios realizados en aguas residuales de la refinería demuestran que algunos contaminantes se encuentran fuera del rango permitido, como es el caso de cromatos (4,5 ppm) mismo que en la norma se estipula debe estar en 0,05 ppm y fenoles (75 ppm) cuando la norma menciona 0,2 ppm, en algunos casos se sobrepasaba el valor hasta 90 veces los permitido.

Por otro lado, con respecto a las estrategias para la disminución de plomo en aguas residuales de refinería, se verificó que las técnicas químicas se basan en la neutralización de contaminantes presentes en el agua por medio de compuestos químicos y específicamente el método de precipitación química funciona adicionando agregados químicos como hidróxido de sodio e hidróxido de calcio, los cuales desestabilizan los contaminantes formando precipitados que sedimentan por gravedad y son eliminados del agua mediante filtración. Teniendo en cuenta esa información y los resultados reflejados en investigaciones previas realizadas, se puede deducir que la precipitación química es una de las técnicas más eficientes

y una de las más utilizadas para el tratamiento de este tipo de efluentes residuales ya que se remueve hasta un 99,9% de contaminantes.

6. Bibliografía

- Aghel, B., Mohadesi, M., Gouran, A., & Razmegir, M. H. (2020). Use of modified Iranian clinoptilolite zeolite for cadmium and lead removal from oil refinery wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3), 1239-1250. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02466-5>
- Aldrich, C., & Feng, D. (2000). Removal of heavy metals from wastewater effluents by biosorptive flotation. *Minerals Engineering*, 13(10), 1129-1138. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00096-0)
- Al-Hawash, A. B., Dragh, M. A., Li, S., Alhujaily, A., Abbood, H. A., Zhang, X., & Ma, F. (2018). Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(2), 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.06.001>
- Amini, M., Younesi, H., Bahramifar, N., Lorestani, A. A. Z., Ghorbani, F., Daneshi, A., & Sharifzadeh, M. (2008). Application of response surface methodology for optimization of lead biosorption in an aqueous solution by *Aspergillus niger*. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1), 694-702. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.114>
- Argelaguer, G. (2014). La utilidad del óxido de calcio (cal viva) en la metalurgia [Página informativa]. *Calcinor. Química natural*. <https://www.calesdellierca.com/es/la-utilidad-del-oxido-de-calcio-cal-viva-en-la-metalurgia/>
- Azabou, S., Mechichi, T., & Sayadi, S. (2007). Zinc precipitation by heavy-metal tolerant sulfate-reducing bacteria enriched on phosphogypsum as a sulfate source. *Minerals Engineering*, 20, 173-178. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.08.008>

- Ballesteros, J. (2011). Determinación de la eficacia de *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5046/1/UPS-QT02529.pdf>
- Barakat, M. A., & Schmidt, E. (2010). Polymer-enhanced ultrafiltration process for heavy metals removal from industrial wastewater. *Desalination*, 256(1), 90-93. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.008>
- Bolisetty, S., Peydayesh, M., & Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: Review and análisis. *Chemical Society Reviews*, 48(2), 409-724. <https://doi.org/10.1039/C8CS00493E>
- Bone, H. (2011). Estudio de los impactos en la salud de los moradores del Barrio Propicia I por la descarga de las aguas residuales de la Refinería Esmeraldas e inundaciones provocadas por el río Teaone [Tesis de diplomado, Instituto de Altos Estudios Nacionales]. <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/3972>
- Bonilla, H. (2016). Modelamiento de las isotermas de bioadsorción del plomo (II) del efluente minero Río Anticoná – Cerro de Pasco utilizando *Citrus sinensis* (cáscara de naranja) [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4131>
- Brito, M. C., & Vera, B. A. (2018). Uso de la cascara de banano (*Musa Paradisiaca*) modificada con Quitosano, como agente biosorbente de plomo en aguas residuales sintéticas [Thesis, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38374>
- Chaturvedi, A. D., Pal, D., Penta, S., & Kumar, A. (2015). Ecotoxic heavy metals transformation by bacteria and fungi in aquatic ecosystem. *World Journal of*

Microbiology and Biotechnology, 31(10), 1595-1603.

<https://doi.org/10.1007/s11274-015-1911-5>

Chaturvedi, S., & Dave, P. N. (2019). Water Purification Using Nanotechnology an Emerging Opportunities. *Chemical Methodologies*, 3(1), 115-144.
<https://doi.org/10.22034/chemm.2018.143461.1069>

Chen, Q., Luo, Z., Hills, C., Xue, G., & Tyrer, M. (2009). Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. *Water Research*, 43(10), 2605-2614.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.007>

Choudhury, P. R., Mondal, P., & Majumdar, S. (2015). Synthesis of bentonite clay based hydroxyapatite nanocomposites cross-linked by glutaraldehyde and optimization by response surface methodology for lead removal from aqueous solution. *RSC Advances*, 5(122), 100838-100848.
<https://doi.org/10.1039/C5RA18490H>

Cruz, E., Chela, E., Monar B., C., Valverde, F., & Cartagena Ayala, Y. E. (2010). Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, Provincia Bolívar, Ecuador [Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias].
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2517>

Dobson, R. S., & Burgess, J. E. (2007). Biological treatment of precious metal refinery wastewater: A review. *Minerals Engineering*, 20(6), 519-532.
<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.10.011>

Dong, L., Hou, L., Wang, Z., Gu, P., Chen, G., & Jiang, R. (2018). A new function of spent activated carbon in BAC process: Removing heavy metals by ion

- exchange mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 359(6), 76-84.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.030>
- FengLian, F., Qi, W., & Bing, T. (2009). Fenton and Fenton-like reaction followed by hydroxide precipitation in the removal of Ni(II) from NiEDTA wastewater: A comparative study. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 769-774.
- Fontaine, G., FLACSO (Organization), & PETROECUADOR (Organization) (Eds.). (2003). *Petróleo y desarrollo sostenible en Ecuador* (1a. ed). FLACSO, Sede Académica de Ecuador : PETROECUADOR.
- Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
- Gardels, M. C., & Sorg, T. J. (1989). A Laboratory Study of the Leaching of Lead From Water Faucets. *Journal AWWA*, 81(7), 101-113.
<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1989.tb03245.x>
- Gherasim, C. V., & Mikulášek, P. (2014). Influence of operating variables on the removal of heavy metal ions from aqueous solutions by nanofiltration. *Desalination*, 343, 67-74.
- Goyal, P., Tiwary, C. S., & Misra, S. K. (2021). Ion exchange based approach for rapid and selective Pb(II) removal using iron oxide decorated metal organic framework hybrid. *Journal of Environmental Management*, 277, 111469.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111469>
- Gunatilake, S. K. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*, 1(1). https://www.researchgate.net/profile/Maurice-Ekpenyong/post/removal_of_copper_metal_from_liquids/attachment/5c489

1f83843b0544e61f4d3/AS%3A718267689758722%401548259770428/download/Metal+biosorption.pdf

- Harvey, P. J., Handley, H. K., & Taylor, M. P. (2015). Identification of the sources of metal (lead) contamination in drinking waters in north-eastern Tasmania using lead isotopic compositions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(16), 12276-12288. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4349-2>
- Huang, Y., Wu, D., Wang, X., Huang, W., Lawless, D., & Feng, X. (2016). Removal of heavy metals from water using polyvinylamine by polymer-enhanced ultrafiltration and flocculation. *Separation and Purification Technology*, 158(3), 124-136. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.12.008>
- Hunsom, M., Pruksathorn, K., Damronglerd, S., Vergnes, H., & Duverneuil, P. (2005). Electrochemical treatment of heavy metals (Cu^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+}) from industrial effluent and modeling of copper reduction. *Water Research*, 39(4), 610-616. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.10.011>
- Islam, S. M. D., & Huda, M. E. (2016). Water Pollution by Industrial Effluent and Phytoplankton Diversity of Shitalakhya River, Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 8(2), 191-198. <https://doi.org/10.3329/jsr.v8i2.26402>
- Jain, M., Majumder, A., Ghosal, P. S., & Gupta, A. K. (2020). A review on treatment of petroleum refinery and petrochemical plant wastewater: A special emphasis on constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 272(3), 111057. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111057>
- Jana, D. K., Roy, K., & Dey, S. (2018). Comparative assessment on lead removal using micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF) based on a type-2 fuzzy logic and response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 207, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.028>

- Javanbakht, V., & Ghoreishi, S. M. (2017). Application of response surface methodology for optimization of lead removal from an aqueous solution by a novel superparamagnetic nanocomposite. *Adsorption Science & Technology*, 35(1-2), 241-260. <https://doi.org/10.1177/0263617416674474>
- Joseph, L., Jun, B.-M., Flora, J. R. V., Park, C. M., & Yoon, Y. (2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, 229(3), 142-159. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.198>
- Levallois, P., Barn, P., Valcke, M., Gauvin, D., & Kosatsky, T. (2018). Public Health Consequences of Lead in Drinking Water. *Current Environmental Health Reports*, 5(2), 255-262. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0193-0>
- Litter, M. I. (2015). Mechanisms of removal of heavy metals and arsenic from water by TiO₂-heterogeneous photocatalysis. *Pure and Applied Chemistry*, 87(6), 557-567. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-0710>
- Liu, L., Luo, X.-B., Ding, L., & Luo, S.-L. (2019). Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal From Water. En X. Luo & F. Deng (Eds.), *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization* (pp. 83-147). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4>
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Magno, J. S. (2020). Eficiencia en la remoción de Plomo (Pb) Y Zinc (Zn) de aguas residuales industriales del proceso de explotación minera mediante la aplicación de Alginato de Algas Pardas (*Macrocystis Pyrifera*) químicamente

modificado [Universidad Peruana Unión].

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3410>

Martínez, D. R., & Carbajal, G. G. (2012). Hidróxidos dobles laminares: Arcillas sintéticas con aplicaciones en nanotecnología. *Avances en Química*, 14.

Masters, S., & Edwards, M. (2015). Increased Lead in Water Associated with Iron Corrosion. *Environmental Engineering Science*, 32(5), 361-369.
<https://doi.org/10.1089/ees.2014.0400>

Max, K. R., Lant, N. J., Kurr, M., & Burgess, J. G. (2019). Importance of Water-Volume on the Release of Microplastic Fibers from Laundry. *Environmental Science & Technology*, 53(20), 11735-11744.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03022>

Mejía, F., Valenzuela, J. L., Aguayo, S., & Meza, D. (2009). Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(4), 217-227.

Merino, V. N., Lozano, D. F., & Torrico, F. (2010). Factores que influyen la adherencia a la suplementación con sulfato ferroso durante el embarazo. *Gaceta Médica Boliviana*, 33(2), 21-25.

Mirbagheri, S. A., & Hosseini, S. N. (2005). Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse. *Desalination*, 171(1), 85-93.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.03.022>

Nabi, G., Mehrdadi, N., & Firouzbakhsh, M. (2021). Removal of Lead from Wastewater by Iron–Benzenetricarboxylate Metal-Organic Frameworks. *Chemical Methodologies*, 5(3), 271-284.
<https://doi.org/10.22034/chemm.2021.130208>

- Nemeses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 8, 57-67.
- Oñate, S. (2021). El Municipio de Esmeraldas planteará una acción legal contra la Refinería por la contaminación ambiental. *El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/municipio-esmeraldas-accion-legal-refineria.html>
- Ortíz, R. (2020). La refinería más grande de Ecuador tendrá una gestión público-privada [Página informativa]. *Ecuador Petróleo*.
<https://www.efe.com/efe/america/economia/la-refineria-mas-grande-de-ecuador-tendra-una-gestion-publico-privada/20000011-4294431>
- Oyuela, M. A., Fernández, W. D., & Sarmiento, M. C. G. (2017). Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands—A review. *Chemosphere*, 168(4), 1230-1247.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.075>
- Paz, V., & Cuero, P. (2020). Evaluación De La Contaminación Por Plomo De La Refinería De Esmeraldas, En La Sangre De La Población De Vuelta Larga. *Horizontes de enfermería*, 15(10), 66-75.
- Pohl, A. (2020). Removal of Heavy Metal Ions from Water and Wastewaters by Sulfur-Containing Precipitation Agents. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(10), 503. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04863-w>
- Prado, E. (2015). Estado de la calidad del agua del río Teaone (cuenca baja) entre la termoeléctrica y la desembocadura del río Esmeraldas, sector de La Propicia 1 [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas].

<https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/352/1/PRADO%20VILLACRESES%20ERIKA%20VANESSA.pdf>

- Radelyuk, I., Tussupova, K., Klemeš, J. J., & Persson, K. M. (2021). Oil refinery and water pollution in the context of sustainable development: Developing and developed countries. *Journal of Cleaner Production*, 302(3), 126987. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126987>
- Rahimi, S., Moattari, R. M., Rajabi, L., & Derakhshan, A. A. (2015). Optimization of lead removal from aqueous solution using goethite/chitosan nanocomposite by response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 484, 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.07.063>
- Ramírez, L. C. C., Galvez, Z. Y. A., & Burbano, V. E. M. (2014). Solubilización de fosfatos: Una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVA*, 12(21), Article 21. <https://doi.org/10.22490/24629448.997>
- Rincón, G. J., & La Motta, E. J. (2014). Simultaneous removal of oil and grease, and heavy metals from artificial bilge water using electro-coagulation/flotation. *Journal of Environmental Management*, 144(4), 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.004>
- Saili, P., Mandal, A., Bhattacharjee, P., Chakraborty, S., Paul, R., & Kumar Mukhopadhyay, B. (2019). Evaluation of water quality and toxicity after exposure of lead nitrate in fresh water fish, major source of water pollution. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(4), 345-351. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.09.001>
- Seller, C., Honti, M., Singer, H., & Fenner, K. (2020). Biotransformation of Chemicals in Water–Sediment Suspensions: Influencing Factors and

- Implications for Persistence Assessment. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(11), 854-860.
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00725>
- Sheoran, A. S., & Sheoran, V. (2006). Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A critical review. *Minerals Engineering*, 19(2), 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.08.006>
- Sigler, P. W. A., & Bauder, J. (2012). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. *Well educated*, 4(3), 1.
- Singh, B., & Steinnes, E. (1994). Soil and Water Contamination by Heavy Metals. En *Soil Processes and Water Quality* (1st Edition, p. 39). CRC Press.
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003070184-6/soil-water-contamination-heavy-metals-bal-ram-singh-eiliv-steinnes>
- Singh, R., Chadetrik, R., Kumar, R., Bishnoi, K., Bhatia, D., Kumar, A., Bishnoi, N. R., & Singh, N. (2010). Biosorption optimization of lead(II), cadmium(II) and copper(II) using response surface methodology and applicability in isotherms and thermodynamics modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1), 623-634. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.097>
- Sonone, S., Jadhav, S., Singh Sankhla, M., & Kumar, R. (2020). Water Contamination by Heavy Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain. *Letters in Applied NanoBioScience*, 10, 2148-2166. <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>
- Subhashini, V., & Swamy, A. V. (2013). Phytoremediation of Pb and Ni Contaminated Soils Using *Catharanthus roseus* (L.). *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 3(4), 465-472.

- Tahir, M. B., Kiran, H., & Iqbal, T. (2019). The detoxification of heavy metals from aqueous environment using nano-photocatalysis approach: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(11), 10515-10528. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04547-x>
- Tang, X., Zheng, H., Teng, H., Sun, Y., Guo, J., Xie, W., Yang, Q., & Chen, W. (2016). Chemical coagulation process for the removal of heavy metals from water: A review. *Desalination and Water Treatment*, 57(4), 1733-1748. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.977959>
- Tolar, B. B., Reji, L., Smith, J. M., Blum, M., Pennington, J. T., Chavez, F. P., & Francis, C. A. (2020). Time series assessment of Thaumarchaeota ecotypes in Monterey Bay reveals the importance of water column position in predicting distribution–environment relationships. *Limnology and Oceanography*, 65(9), 2041-2055. <https://doi.org/10.1002/lno.11436>
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., & Vázquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente [Tesis de grado, Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca]. <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/download/308436/398451>
- Verdugo, J. F. (2017). Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (Citrus Reticuata Var. Clementina) [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14249>
- Vilela, D., Parmar, J., Zeng, Y., Zhao, Y., & Sánchez, S. (2016). Graphene-Based Microbots for Toxic Heavy Metal Removal and Recovery from Water. *Nano Letters*, 16(4), 2860-2866. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b00768>

- Wake, H. (2005). Oil refineries: A review of their ecological impacts on the aquatic environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(1), 131-140.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.08.013>
- Wang, L. K., Vaccari, D. A., Li, Y., & Shammash, N. K. (2005). Chemical Precipitation. En L. K. Wang, Y.-T. Hung, & N. K. Shammash (Eds.), *Physicochemical Treatment Processes* (pp. 141-197). Humana Press.
<https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:141>
- Xu, Z., Gu, S., Rana, D., Matsuura, T., & Lan, C. Q. (2021). Chemical precipitation enabled UF and MF filtration for lead removal. *Journal of Water Process Engineering*, 41, 101987. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101987>
- Yang, G., Tang, L., Zeng, G., Cai, Y., Tang, J., Pang, Y., Zhou, Y., Liu, Y., Wang, J., Zhang, S., & Xiong, W. (2015). Simultaneous removal of lead and phenol contamination from water by nitrogen-functionalized magnetic ordered mesoporous carbon. *Chemical Engineering Journal*, 259(4), 854-864.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.08.081>
- Yoo, J.-C., Lee, C., Lee, J.-S., & Baek, K. (2017). Simultaneous application of chemical oxidation and extraction processes is effective at remediating soil Co-contaminated with petroleum and heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 186(3), 314-319.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.016>
- Yunusa, A. (2015). The Efficiency of Lemna minor L. in the Phytoremediation of Romi Stream: A Case Study of Kaduna Refinery and Petrochemical Company Polluted Stream. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 3(1), 011-014. <https://doi.org/10.7324/JABB.2015.3102>

- Zeitoun, M. M., & Mehana, E.-S. (2014). Impact of water pollution with heavy metals on fish health: Overview and updates. *Global Veterinaria*, 12(2), 219-231.
- Zerbatto, M., Carrera, E., Eliggi, M. S., Modini, L., Vaira, S., Nosedá, J. C., & Abramovich, B. (2009). Cloruro Férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. *AUGMDOMUS*, 1. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15890>

7. Glosario

Refinería: Se denomina refinería a un área donde se desarrollan procesos de destilación de petróleo a través de su refinamiento para obtener productos derivados de este (Ortiz, 2020).

Metales pesados: Metales pesados son compuestos químicos altamente tóxicos para el ambiente y la salud pública, estos poseen una densidad superior a la del agua y están presente en la tabla química de los elementos (Londoño et al., 2016).

Óxido de calcio: Este es un compuestos sólidos que no posee olor y usualmente está presente en materiales de construcción o procesos de tratamientos de aguas, además es más conocido como cal (Argelaguer, 2014).

Sulfato ferroso: El sulfato ferroso es un compuesto químico, su color es casi azul-verdoso y está disponible en presentación de sal heptahidratada (Merino et al., 2010).

Alumbre o alumbre de filtro: El alumbre es conocido por ser un compuesto químico generalmente se encuentra en forma de cristales (Cruz et al., 2010).

Cloruro férrico: El cloruro de hierro es un compuesto químico manipulado a grado industrial, es conocido además como percloruro de hierro e inclusive percloruro férrico (Zerbatto et al., 2009).

Polímero: Es una sustancia combinada por moléculas desarrolladas por la asociación mediante uniones covalentes de monómeros (Nemeses et al., 2007).

Alcalinidad: La alcalinidad es la medida de la capacidad para neutralizar ácidos, esta expresa cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH (Sigler y Bauder, 2012).

Fosfatos: Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica (Ramírez et al., 2014).

Hidróxidos: Consiste en un átomo de oxígeno e hidrógeno unidos por un solo enlace covalente y tiene una carga eléctrica negativa (Martínez y Carbajal, 2012).

Zeolita: Las Zeolitas son minerales microporosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse de un modo reversible (Mejía et al., 2009).

8. Anexos

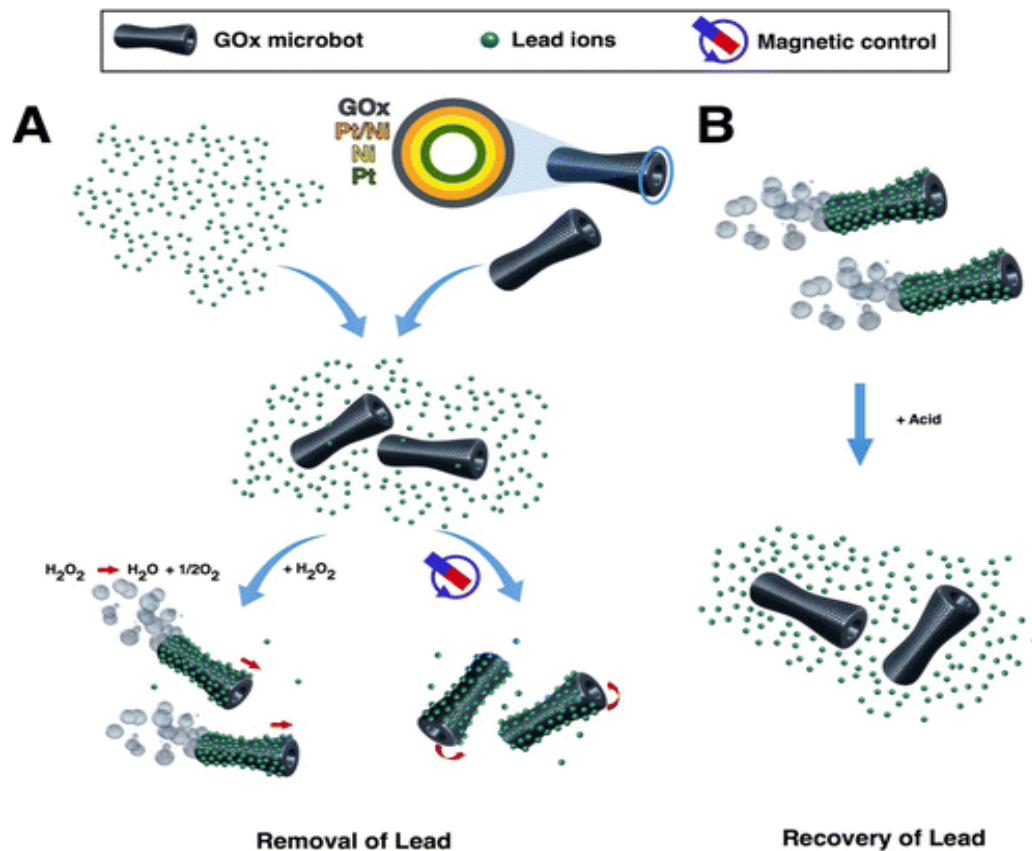


Figura 4. Enfoque basado en microbots GOx para la descontaminación y recuperación de plomo
Vilela et al., 2016.

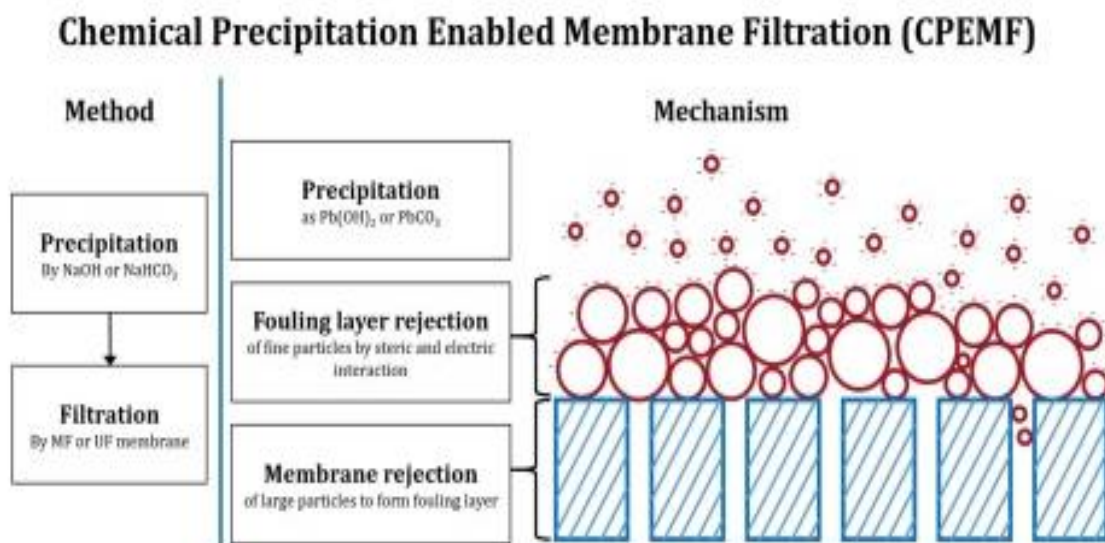


Figura 5. Mecanismos de precipitación química
Xu et al., 2021.

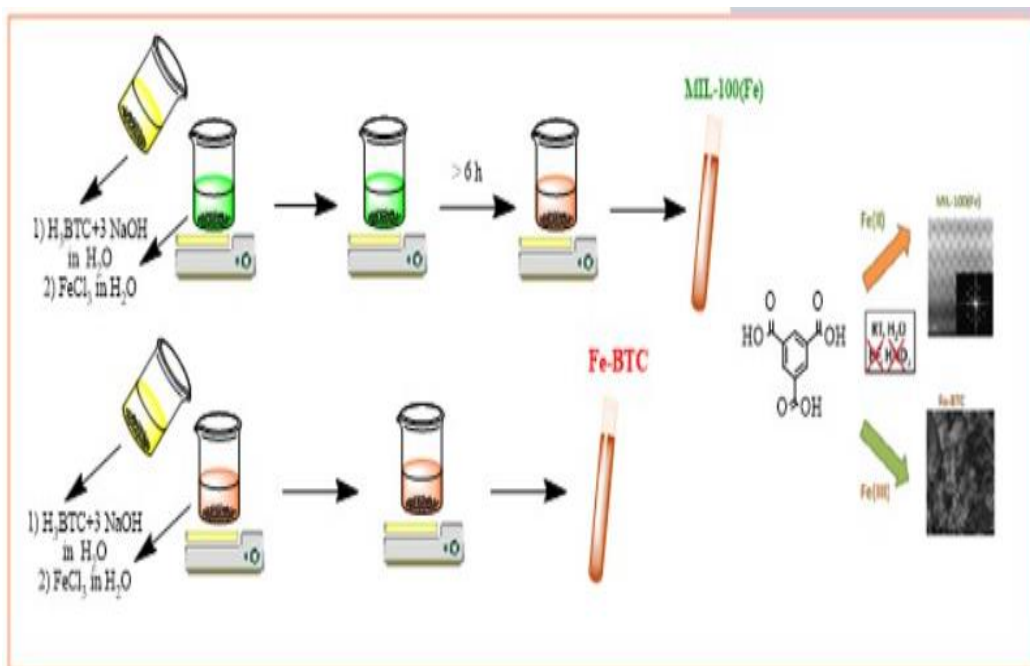


Figura 6. Tecnología de adsorción de metales pesados
Chaturvedi y Dave, 2019.

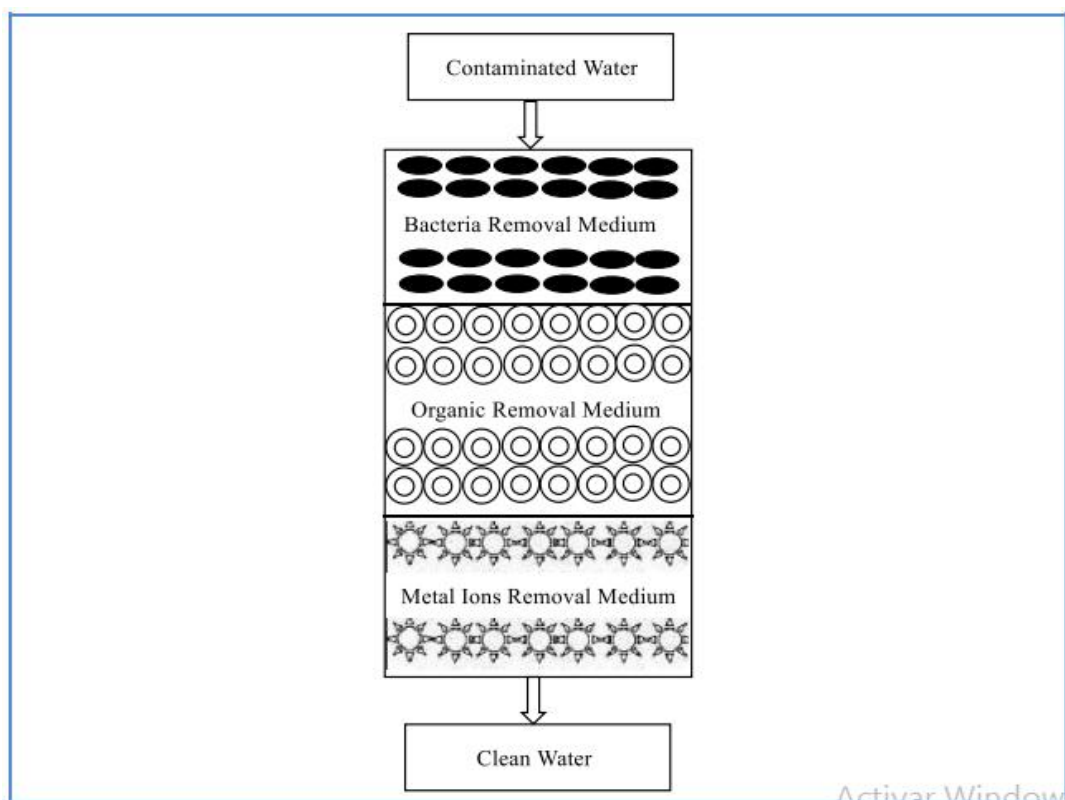


Figura 7. Esquema de un reactor de lecho empacado de nanomateriales compuestos para la purificación de agua contaminada
Chaturvedi y Dave, 2019.

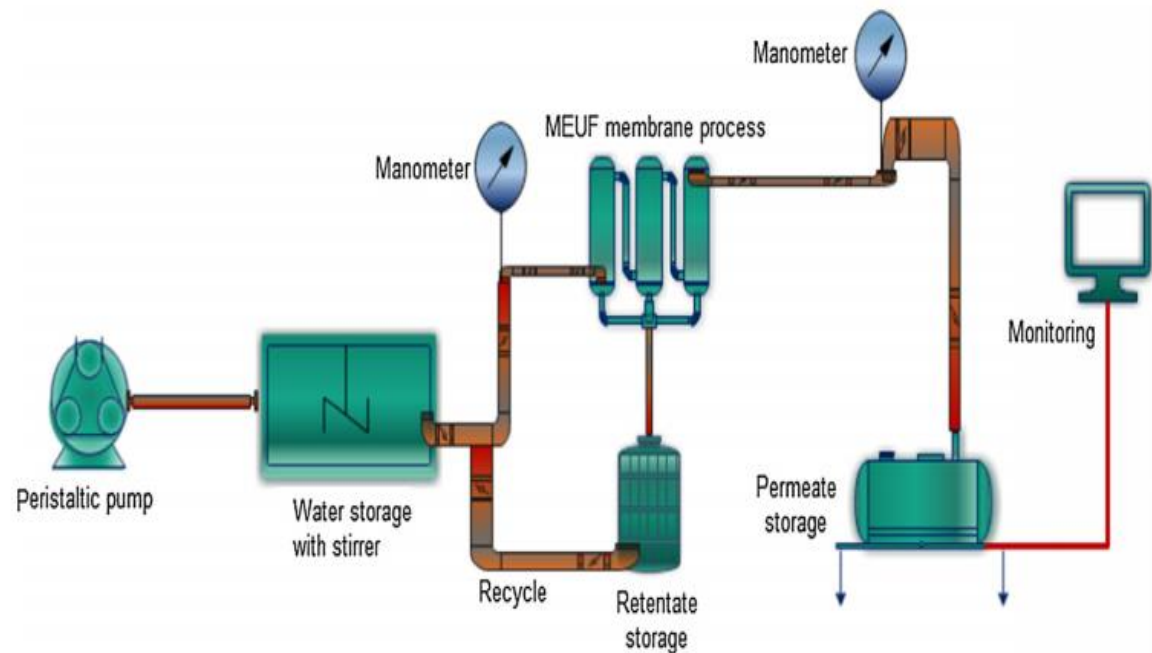


Figura 8. Diagrama esquemático del proceso de ultrafiltración mejorada con micelas (MEUF)
Jana et al., 2018.

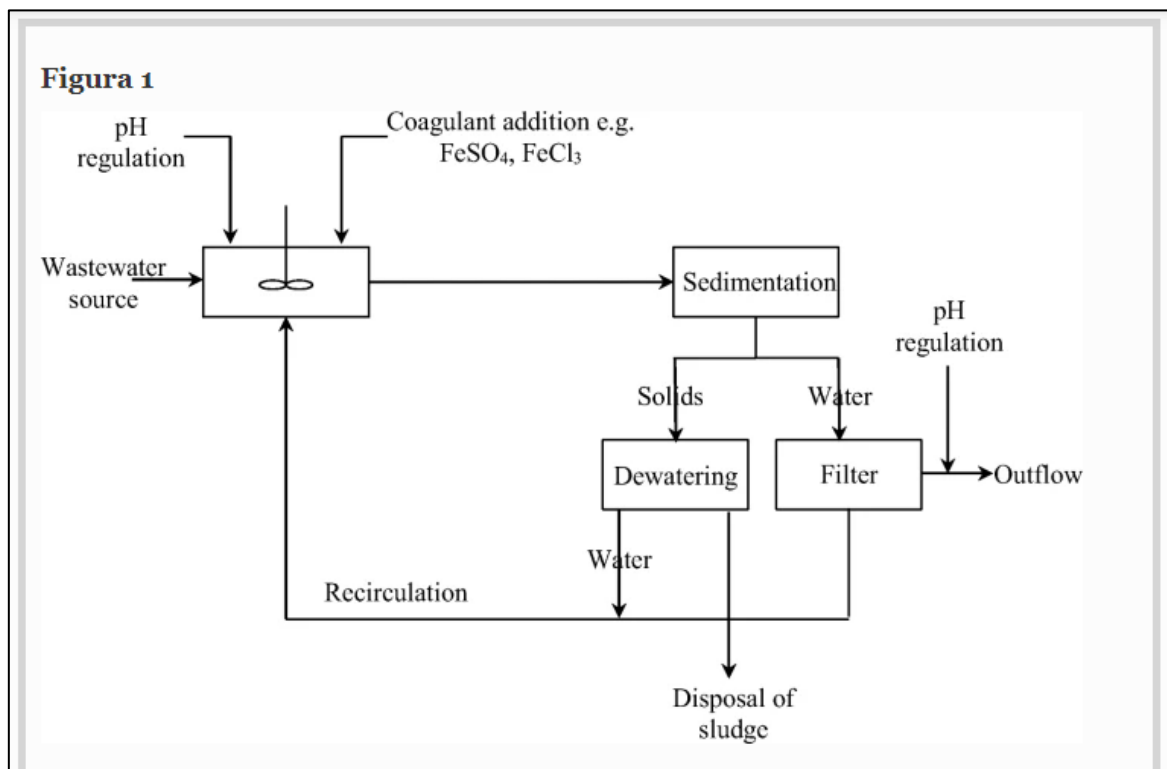


Figura 9. Procesos de una planta de tratamiento de precipitación metales convencional
Wang et al., 2005.

Tabla 8. Investigaciones realizadas sobre las estrategias de eliminación de metales pesados de aguas contaminadas por procesos de refinерías

N° de trabajos	Tipo de técnica	Técnica	Año	Autor
3	Físicas	Ultrafiltración	2010	Barakat y Schmidt, 2010.
			2016	Huang <i>et al.</i> , 2016.
			2018	Jana <i>et al.</i> , 2018.
2	Físicas	Flotación	2000	Aldrich y Feng, 2000.
			2009	FengLian <i>et al.</i> , 2009.
			2010	Singh <i>et al.</i> , 2010.
8	Físicas	Adsorción	2015	Rahimi <i>et al.</i> , 2015.
			2016	Bonilla, 2016.
			2016	Vilela <i>et al.</i> , 2016.
			2017	Javanbakht y Ghoreishi, 2017.
			2018	Brito y Vera, 2018.
			2020	Aghel <i>et al.</i> , 2020.

		2021	Nabi <i>et al.</i> , 2021.
		2005	Mirbagheri y Hosseini, 2005.
		2006	Sheoran y Sheoran, 2006.
		2007	Azabou <i>et al.</i> , 2007.
7	Precipitación química	2009	Chen <i>et al.</i> , 2009.
		2011	Barakat, 2011.
		2015	Gunatilake, 2015.
		2020	Pohl, 2020.
	Químicas	2018	Dong <i>et al.</i> , 2018.
2	Intercambio iónico	2021	Goyal <i>et al.</i> , 2021.
		2017	Yoo <i>et al.</i> , 2017.
2	Oxidación química	2019	Bolisetty <i>et al.</i> , 2019.
		2015	Choudhury <i>et al.</i> , 2015.
3	Nanotecnología	2019	Liu <i>et al.</i> , 2019.
		2019	Chaturvedi y Dave, 2019.

2	Precipitación	2005	Hunsom <i>et al.</i> , 2005.
	electroquímica	2014	Rincón y La Motta, 2014.
2	Fotocatálisis	2015	Litter, 2015.
		2019	Tahir <i>et al.</i> , 2019.
		2008	Amini <i>et al.</i> , 2008.
		2010	Singh <i>et al.</i> , 2010.
5	Biosorción	2015	Chaturvedi <i>et al.</i> , 2015.
		2017	Verdugo, 2017.
		2018	Al-Hawash <i>et al.</i> , 2018.
		2013	Subhashini y Swamy, 2013.
4	Fitorremediación	2015	Yunusa, 2015.
		2020	Magno, 2020.
		2020	Jain <i>et al.</i> , 2020.

Quiroz, 2021