



Universidad César Vallejo

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

**Revisión Sistemática: Biorremediación de Aguas Residuales
Industriales Contaminadas con Hidrocarburos.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Enríquez Condori, Flor de María (orcid.org/0000-0001-7990-6558)

Grimaldo Illanes, Aldo Álvaro (orcid.org/0000-0002-9981-3313)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Manejo de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

Dedicatoria

A nuestros padres que con su amor, paciencia y esfuerzo nos han permitido hoy cumplir un sueño más, gracias por inculcarnos el ejemplo del esfuerzo y la valentía, de no temer a la adversidad porque Dios siempre está con nosotros.

A nuestros hermanos por su amor y apoyo incondicional en todo este proceso, por estar con nosotros en todo momento. A nuestras familias porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento nos hicieron mejores personas y de una forma u otra nos acompañan en todos nuestros sueños y metas.

Agradecimiento

A los que hicieron posible este sueño, a los que nos acompañaron en todo momento y siempre fueron solidarios y fuertes. Esta mención es especial para nuestros padres, hermanos, muchas gracias a todos ustedes.

A la Universidad Cesar Vallejo, gracias a cada docente que con su apoyo y enseñanza constituyeron la base de nuestra vida profesional.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
índice de la tabla.....	v
índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	16
3.3. escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes.....	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6. Procedimientos.....	17
3.7. rigor científico.....	18
3.8. Método de análisis de datos.....	19
3.9. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS.....	49

índice de la tabla

Mesa1: <i>Antecedentes de la investigación</i>	4
Mesa2: <i>Matriz de categorización apriorística</i>	16
Mesa3: <i>Degradación de hidrocarburos por microorganismos y nutrientes</i>	20
Mesa4: <i>Parámetros físicos implicados en la degradación de hidrocarburos</i>	27
Mesa5: <i>Porcentajes de degradación de hidrocarburos en las aguas</i>	32

índice de figuras

Figura 1: Esquema del procedimiento de inclusión y exclusión de artículos.....	18
Figura 2: Nivel de temperatura en la degradación de hidrocarburos	30
Figura 3: Nivel de pH en la degradación de hidrocarburos.....	31

Resumen

El objetivo de esta investigación fue finalizar los procesos de biorremediación para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos, cuya metodología fue de tipo básica, con un diseño narrativo, mediante el uso del instrumento ficha de recolección de datos, que permitió acumular información de artículos y revistas indexadas hace no menos de 5 años. Los resultados encontrados fueron que los microorganismos utilizados fueron *Pseudomonas*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas otitidis*, *Serratia* sp. *Bacillus*, *Coprothermobacter*, *Rhodobacter*, *Achromobacter*, *Desulfitobacter*, *Desulfosporosinus*, *Streptomyces* sp, *Amycolatopsis tucumanensis* y los nutrientes utilizados por los microorganismos fueron nitrógeno, fósforo, potasio, carbono como micronutrientes. Además de los parámetros físicos determinados como temperatura en un rango de 28 °C a 330 °C; el pH en un rango de 4 a 10; el tiempo varió de 10 a 144 horas y de 7 a 100 días. Que la eficacia de *Bacillus* spp. y porcentaje de eliminación de *Pseudomonas* spp del 59% al 87%; así como *Alcanivorax*, *Achromobacter* y *Thalassospira* removi6 entre 9.84% a 78.39% en un periodo de 30 días de degradaci6n de hidrocarburos en las aguas.

Palabras clave: Biorremediaci6n, microorganismos, aguas industriales, hidrocarburos.

Abstract

The objective of this research was to analyze the bioremediation processes for the treatment of industrial wastewater contaminated with hydrocarbons, whose methodology was achieved basic type, with a narrative design, through the use of the instrument of data collection sheets, which allowed the accumulation of information. of articles and journals indexed no less than 5 years ago. The results found were that the microorganisms used were *Pseudomonas*, *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas otitidis*, *Serratia* sp, *Bacillus*, *Coprothermobacter*, *Rhodobacter*, *Achromobacter*, *Desulfitobacter*, *Desulfosporosinus*, *Streptomyces* sp, *Amycolatopsis tucumanensis* and the micronutrients were nitrogen, phosphorus, potassium, carbon as micronutrients. In addition to the physical parameters determined such as temperature in a range of 28 °C to 330 °C; the pH in a range from 4 to 10; the time varies from 10 to 144 hours and from 7 to 100 days. Which will improve the efficiency of *Bacillus* spp. and percentage elimination of *Pseudomonas* spp from 59% to 87%; Like *Alcanivorax*, *Achromobacter* and *Thalassospira* removed between 9.84% and 78.39% in a period of 30 days of degradation of hydrocarbons in the water. It was concluded that the microorganisms were very efficient in the degradation of hydrocarbons in the water.

Keywords: Bioremediation, microorganisms, industrial waters, hydrocarbons.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial es el uso de ríos, lagos, mares y otros cuerpos de agua que sirven como receptores de descargas de aguas residuales con restos de hidrocarburos (Tian et al., 2018). El crecimiento poblacional en los países provocó un aumento de la producción en diversas industrias, todo para suplir la necesidad del asentamiento de nuevas poblaciones (Zenati et al., 2018).

Estas aguas residuales pueden contener metales pesados peligrosos, radionúclidos, compuestos orgánicos, productos químicos, hidrocarburos y desechos agrícolas. Se ha descubierto que alrededor del 98 % de los pesticidas usados son tóxicos para los crustáceos y los peces, mientras que la gran cantidad de fósforo en los fertilizantes contribuye en gran medida a la eutrofización. (Mao et al. 2022) También por el crecimiento de la población se ha incrementado el estacionamiento de automóviles y por ende la aparición de servicios alrededor de la industria automotriz, aumentando así el número de mecánicos y lavaderos de autos, los cuales no cuentan con el tratamiento adecuado de sus aguas residuales cargándose con hidrocarburos totales del petróleo y sus derivados. (Mazumder et al. 2020)

Los hidrocarburos son un tipo de contaminante que afecta significativamente a la calidad del agua en diversos cuerpos acuáticos como ríos, mares, lagos, etc. los cuales son aprovechados por la población (Roy et al., 2018). La formación de una película impermeable en la superficie del agua en áreas de derrames de petróleo afecta directa y rápidamente a las especies acuáticas porque causa interfase e impide el intercambio de gases y el paso de luz solar indispensables para muchos seres vivos acuáticos (Ojewumi et al., 2018).

En el Perú la contaminación de aguas subterráneas y superficiales se hace tangible por actividades del sector hidrocarburos los cuales vienen operando en el noroeste con casi 150 años y en el norte de la selva peruana con casi 50 años de explotación y exploración, donde antes se desconocía los grandes yacimientos de petróleo. (Fernández, 2020).

Debido a lo anterior, muchos científicos y especialistas en el campo del tratamiento de la contaminación por hidrocarburos han desarrollado diversas tecnologías limpias que ayudan a reducir y depurar los hidrocarburos presentes en el agua. Una

de ellas son las técnicas de biorremediación que involucran el uso de bacterias para limpiar aguas superficiales y subterráneas contaminadas (Pande et al., 2020). Las bacterias son organismos diminutos que sobreviven en el medio ambiente (Mazumder et al., 2020). La biorremediación promueve el desarrollo de algunos microorganismos que utilizan los contaminantes como fuente de energía y alimento. Pocos contaminantes son tratados por tratamiento biológico, en cambio los hidrocarburos y algunos derivados, solventes y pesticidas son utilizados por los microorganismos para su propia alimentación (Lee et al., 2018).

El problema general ha sido formulado:

PG: ¿Que procesos de biorremediación se utilizan para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos?

Seguido de los problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los microorganismos y nutrientes en la degradación de hidrocarburos en aguas residuales industriales?

PE2: ¿Cuáles son los parámetros físicos óptimos para favorecer la actividad microbiológica durante la biorremediación de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos?

PE3: ¿Cuál es el porcentaje de degradación de hidrocarburos por inoculación de microorganismos en aguas residuales industriales?

La justificación de la investigación se centró en nuevas tecnologías de biorremediación con estrategias de bioestimulación y bioaumentación con microorganismos, que se pueden realizar dentro de las áreas afectadas (ríos, lagos, mares, lagunas), contribuyendo así a la reducción de impactos negativos sobre los recursos hídricos, dado por esta actividad, además de brindar un referente científico para un caso práctico de estas estrategias, que pueden ser consideradas parte de las actividades. Además, esta tecnología se basa en degradar la mayoría de los componentes hidrocarbonados acumulados en el agua, además de presentar varias ventajas potenciales frente a las tecnologías convencionales.

objetivo general se formula:

OG: Estudiar los procesos de biorremediación para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos.

objetivos específicos se formulan a continuación:

OE1: Identificar microorganismos y nutrientes en la degradación de hidrocarburos en aguas residuales industriales.

OE2: Determinar los parámetros físicos óptimos para favorecer la actividad microbiológica durante la biorremediación de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos.

OE3: Determinar el porcentaje de degradación de hidrocarburos por inoculación de microorganismos en aguas residuales industriales.

II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con el desarrollo de los antecedentes de investigación, artículos extraídos de la Bases de datos Science Direct, Springer Link y MDPI establecidas en **Mesa1** según su metodología, resultados y conclusiones.

Mesa1:Antecedentes de la investigación

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
1	Suganthi et al. 2018	Se agarró un enfoque de una variable al mismo tiempo para optimizar las condiciones de cultivo. El consorcio bacteriano produjo biocatalizadores como lipasa, catalasa, oxidorreductasa y lipoproteínas como biosurfactantes.	Logró una reducción del 96% en los hidrocarburos totales del petróleo.	La biorremediación por parte de un consorcio de microbios de hidrocarburos puede requerir un proceso respetuoso con el medio ambiente para eliminar los lodos de petróleo de los fondos de los tanques en la industria de refinación de petróleo.
dos	Mohanakrishna et al. 2018	Se probó un sistema bioelectroquímico (BES) basado en híbridos, que consiste en electrodos de ánodo y cátodo incrustados en el suelo, para estimar la cantidad de degradación bioelectroquímica en el efluente de refinería de petróleo (PRW).	Las características de BES relacionadas con la eficiencia del tratamiento para otros contaminantes PRW también se evaluaron para aceites (tipo discontinuo, 91 %; tipo continuo, 34 %) y sales disueltas totales (discontinuo, 53 % y continuo 24 %). Fue identificado sulfatos (discontinuo, 59 %; continuo, 42 %).	Llegaron a la conclusión de que el microambiente del suelo asociado con BES forma un proceso complejo que proporciona las condiciones adecuadas para el tratamiento eficiente de PRW.
3	Poy et al. 2018	Se aplicó a aguas superficiales inoculado con hidrocarburos de petróleo total (TPH) en una instalación petrolera.	El estudio por genomas evidenció que hubo una modificación en el grupo bacteriano de campo, reduciendo a 89 mg L ⁻¹ en el transcurso de 32 días. Esta disminución fue conducida por una ecotoxicidad optimizada, como lo evidenciando la colza en representación con la línea de base.	Conforme de los autores, estos son los primeros análisis que muestran una biodegradación valiosa a gran escala de aguas superficiales contaminadas con TPH en una instalación petroquímica marina.
4	ome, 2018	A partir del muestreo inicial se conoció la cantidad de micronutrientes (crecimiento de	Como resultado, el proceso de bioestimulación fue exitoso, con una	Se concluye que el desarrollo de procesos biocatalíticos y

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
		nitrógeno y fósforo) en el agua a tratar y se realizó un balance de masa para estimar la cantidad óptima de nitrógeno y fósforo para el crecimiento de bacterias heterótrofas. Por lo tanto, se prescribió un biocatalizador y se implementó un régimen de bioestimulación.	remoción promedio de 21,5% DBO5, 13,0% DQO, 30,0% grasa y 29,1% fenol.	bioestimuladores es ambiental y económicamente viable debido a sus bajas relaciones costo-beneficio en comparación con los tratamientos convencionales y altas tasas de remoción de contaminantes importantes (123 pesos menos por cada 10-100 ppm de DBO5 removidos) .
5	Rehman et al. 2018	Se cultivaron dos plantas, <i>Brachiara mutica</i> y <i>Phragmites australis</i> , sobre esteras flotantes para producir un FTW, inoculadas con bacterias <i>Contra</i> , posterior de un consorcio superior de bacterias degradadoras de carbohidratos (<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Klebsiella</i> sp, <i>Acinetobacter Junii</i>), <i>Acinetobacter</i> sp., cepa).	La bioaumentación de <i>P. australis</i> se perfecciono significativamente la capacidad de la planta en la disminución del volumen de aceite, DQO y DBO en las aguas contaminadas.	El aumento de bacterias en los humedales mejoró la remediación de aguas residuales. <i>Phragmites australis</i> y la sinergia bacteriana lograron la máxima reducción de la contaminación.
6	Mosmer et al. 2019	Se realizaron estudios de los reactores rellenos de arena y los cambios en la actividad microbiana.	La tasa de generación de OH disminuyó poco a poco cuando se incrementó el potencial de hidrogeniones y finalmente se eliminó el 75% del benceno inicial a lo largo de 100 días.	El estudio alfa y beta dio como resultado que la diversidad microbiana disminuye con la inyección de CaO2 mientras que las especies que degradan el benceno como <i>Silanimonas</i> , <i>Arthrobacter</i> y <i>Pseudomonas</i> spp. fueron disminuidos en la columna de remediación.
7	Pardo y Pérez, 2019	Se realizó bioestimulación sobre agua de curtido y lodos de tratamiento in situ para aislar microorganismos con diferentes características morfológicas. Los microorganismos se identificaron mediante la prueba bioquímica Microgen molecular y microbiológica	Los 03 microorganismos más competente fueron identificados como <i>Pseudomona fluorescens</i> , <i>Pseudomona stutzeri</i> y <i>Acinetobacter lwoffii</i> . Se evidencio el crecimiento de una población bacteriana y se observó que las bacterias que mostraron mejor adaptación y tolerancia a medios contaminados con concentraciones de cromo de 2500 ppm fueron las que también mostraron una reducción significativa en los niveles	Se ha evaluado el potencial de biotransformación de microorganismos resistentes encontrados en sitios contaminados, específicamente en agua y lodos contaminados de avance de curtido donde se han presentado elevadas agrupación de cromo, lo que sugiere que es una tecnología viable para un uso a tiempo futuro.

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
			de cromo. en una muestra de aguas residuales de tenería.	
8	Mehetre et al. 2019	4 cepas como Bacillus axarquiensis, Aeribacillus pallidus , Bacillus subtilis subsp. inaquosorum y Bacillus siamensis basado en el método de secuenciación del gen 16S rRNA.	La degradación de los compuestos PAH mixtos se realizó en condiciones de matraz de vacío utilizando MSM enriquecido con PAH a una concentración de 200 mg/l (50 mg/l para cada compuesto) durante 15 días a 37 °C y 50 °C evaluados. a través del cultivo mixto. C airibacillus reparará una degradación relativamente grande de ANT (92 % - 96 %), PHE (16 % - 54 %) y FLU (83 % - 86 %) a 50 °C. sp. (UCPS2) PYR (51% - 71%) y cultivo mixto.	Este estudio demuestra el potencial de los microorganismos de aguas termales para descomponer los PAH y generar biosurfactantes a temperaturas elevadas, lo que podría proporcionar nuevos conocimientos para la eliminación de residuos de PAH de sitios contaminados con petróleo.
9	Mojiri et al. 2019	El uso de estas metodologías y equipos son fáciles de monitorear normalmente son usados para detallar en soluciones acuosas.	Las concentraciones de PAH en el medio acuoso se igualó ampliamente. Además, se ha comunicado que la bioacumulación en peces se iguala en Sudáfrica y Egipto.	Se anunció varias metodologías biológicas, físicas, químicas para concentrar el agua contaminada con PAH, pero los métodos de adsorción y tratamiento combinado han manifestado un mejor rendimiento de eliminación, con métodos que expulsan los PAH.
10	Almache y Sinchiguano, 2019	Se instaló una isla flotante de 0.35m ² en un cuerpo de agua de 77 litros (Tratamiento 1), tres repeticiones y un control. Las evaluaciones de los parámetros removidos fueron cada 21 días y cada siete días de desarrollo de la planta durante cuatro meses.	El porcentaje de remoción fue: TPH de 80.04%.	El sistema con la variedad Panicum maximum es una alternativa para mejorar la calidad del agua.

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
11	Gutiérrez y García, 2019	Para el aislamiento de estos microorganismos se tomaron muestras de sedimentos de manglares de <i>Avicennia germinans</i> y <i>Conocarpus erectus</i> y se evaluaron tres estrategias de aislamiento: (i) medio salino básico (MBS), (ii) medio de agua de mar (MAM), y (iii) Luria Bertani. agar (LB) Las cepas aisladas se caracterizaron fenotípicamente y se realizó un tamizaje de bacterias con potencial aplicación biotecnológica, enfocado en: actividad enzimática, resistencia a metales pesados (níquel y plomo) y capacidad de reducción de percloratos.	La evaluación del potencial biotecnológico reveló que el 89% de las cepas aisladas tenían actividad amilolítica y el 74% actividad proteolítica. Asimismo, se detectó que el 63% de las cepas aisladas son resistentes a Pb y el 16% son resistentes a Ni. Además, se determinó que 11 cepas son resistentes al perclorato y 6 de estas presentaron un porcentaje de reducción del 25%.	Las bacterias presentes en los sedimentos de los manglares de Cartagena son una fuente potencial de enzimas y biomoléculas que pueden ser utilizadas en procesos de biorremediación y tratamiento de aguas residuales.
12	Catania et al. 2020	Se trabajó con cuatro cepas bacterianas capaces de degradar el aceite altamente eficientes para la elaboración de dispositivos de biorremediación.	La biopelícula bioabsorbible fue capaz de absorber el 100 % de los derrames de petróleo, se biodegradó más del 66 % en 10 días, la propagación es limitada por factores ambientales.	La biorremediación a través de ecosistemas portadores y biopelículas es una herramienta versátil, económica y de bajo impacto para la biorremediación de sistemas acuáticos.
13	Gosvami et al. 2018	Se obtuvo un diseño experimental factorial completo en el que se utilizaron tres HAP a dos concentraciones diferentes, cada una con concentraciones iniciales variables que equilibran	Se alcanzó índices altos de eliminación para naftaleno, fenantreno y fluoranteno correspondientemente.	Este estudio demuestra el potencial de <i>R. opacus</i> para la biorremediación y tratamiento de aguas residuales industriales.
14	Patel & Patel 2020	Todas muestras de aceite derramado se recolectaron en recipientes de plástico de 10 litros estériles en la salida de la refinería en Surat, Gujarat, India. Luego las muestras de aguas residuales se tuvieron a una temperatura de 4 °C y se utilizaron para análisis fisicoquímicos y estudios de degradación posteriores.	Se encontró que la cepa S1VKR-26 produce 5.15 g L-1 de biosurfactante y 30 mg L-1 de CMC, lo que reduce la tensión superficial de 60.3 a 30.5 mN m-1. Después del tratamiento, se recuperaron varios PAH, incluidos naftaleno (93 %), fenantreno (86 %), fluoranteno (92 %), pireno (98,3 %), hidrocarburos totales de petróleo (72,33 %) y compuestos fenólicos (93,06 %). en	El tratamiento de aguas residuales de la refinería de petróleo con la cepa S1VKR-26 puede ser más efectivo en términos de seguridad ambiental y riego para la producción de cultivos en la agricultura.

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
			gran parte de las aguas residuales. Ceba S1VKR-26.	
15	García et al. 2019	Se aplicó un tratamiento consistente en una mezcla de bacterias: Acinetobacter sp., Pseudomonas sp. y Mycobacterium sp en forma sólida (tableta de 80 g) con una concentración mínima de 4×10^8 UFC/ml soluble en agua, utilizando dos tabletas durante 30 días.	Los resultados muestran que la técnica de bioaumentación fue efectiva en la eliminación de TPH ($p=0,003$), logrando un porcentaje superior al 86%. El tiempo hasta la eliminación máxima de TPH alcanzó el 92 % en la tercera semana de tratamiento. También elimina el 40 % de la DQO, el 50 % de los aceites y el 43 % de los tensioactivos, y cumple con los estándares de TPH para la descarga de aguas residuales públicas.	Doble aplicación por cultivo mixto de Acinetobacter y Pseudomonas. Mycobacterium sp para biorremediación de aguas residuales del Lubricador Puyango fue eficiente ($p=0.003$), logrando >86% de remoción de todos los hidrocarburos del petróleo
16	Khalid et al. 2021	Para el análisis bibliométrico se recogieron datos de la base de datos en línea denominada Scopus para el período 2011 a 2020.	Las bacterias que degradan los hidrocarburos son omnipresentes en la naturaleza y, a menudo, se utilizan profesionalmente para biorremediar áreas de derrames de petróleo. La capacidad de estas bacterias para utilizar compuestos de hidrocarburos como fuente de carbono es una de las principales razones de la explotación de sus especies. Recientemente, la reparación microbiana por bacterias halófilas ha recibido muchos comentarios positivos como degradación eficiente de contaminantes. Estas bacterias halófilas también se consideran buenas candidatas para la biorremediación en ambientes de alta salinidad.	Este documento proporciona una descripción general actualizada de la degradación de hidrocarburos diesel y los impactos ambientales y biológicos de los derrames de petróleo.

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
17	Anno et al. 2021	Se validaron los hallazgos sobre la biorremediación de PSA. Dicho esto, hasta el momento se han identificado bacterias, hongos y microalgas que excretan hidrocarburos..	Destaca que varios taxones microbianos, como bacterias, hongos y microalgas, pueden ayudar a reducir el aceite y eliminar contaminantes. Tienen diferentes taxones microbianos, diferentes requisitos metabólicos y pueden exhibir diferentes eficiencias en la biodegradación de hidrocarburos de petróleo. Esto depende en gran medida de la estructura química y la biodisponibilidad del hidrocarburo, así como de las condiciones climáticas.	El desempeño de la remediación biológica in situ de los sedimentos debe estudiarse a gran escala, ampliando los estudios de laboratorio pequeños para incluir los impactos ambientales potenciales.
18	Sayed et al. 2021	El desempeño de la remediación biológica de sedimentos in situ debe estudiarse a gran escala, ampliando los estudios de laboratorio pequeños para incluir posibles impactos ambientales.	La biorremediación se puede utilizar en algunas áreas contaminadas con hidrocarburos de petróleo como un método de remediación/tratamiento alternativo comprobado en combinación con barreras flotantes de petróleo que contienen áreas contaminadas con hidrocarburos de petróleo y actúan como reservorios de biorreactores. Algunos de los estudios a los que se hace referencia en este artículo son estudios de laboratorio que pueden aplicarse in situ y aún no han sido evaluados	La investigación de biorremediación a la que se hace referencia en este documento se puede utilizar con fines terapéuticos. B. Para el aceite de desecho emulsionado derramado en el agua de mar con barreras flotantes para derrames de aceite, como tanques cerrados como biorreactores, para hidrocarburos de petróleo como contaminantes, los investigadores ambientales pueden resolver estos problemas. , ayuda a eliminar por completo los derrames de petróleo en el agua de mar.
19	Fu et al. 2021	En este diagnóstico se proyectó la tecnología de bacterias inmovilizadas por el método de adsorción/incrustación. El vehículo de la composición del sistema bacteriano inmovilizado es el polvo de piel de canela obtenido por tamizado.	Las conclusiones indicaron que la tasa de degradación del diesel por el sistema bacteriano inmovilizado alcanzó ciertos porcentajes en Achromobacter, Arcanivorax y Thalassospira liberados por el sistema bacteriano inmovilizado..	A través de este estudio, se investigó que la biorremediación de espacios contaminados con dispersantes podría eliminarse mediante la estimulación de microorganismos nativos como Pseudomonas aeruginosa y Bacillus

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
				megaterium. Esta sería una táctica de descontaminación viable..
20	Perdigao et al. 2021	Estos experimentos se realizaron en modo discontinuo en matraces Erlenmeyer de 250 mL que contenían 50 mL de medio Bushnell-Haas (BH) (Difco) suplementado con NaCl al 2% (v/v) y 10 g L ⁻¹ de arroz con cáscara. Se preparó un inóculo bacteriano para cada cepa bacteriana criopreservada y se usó individualmente para incubar matraces con una densidad de biomasa inicial de aproximadamente 0,05 (densidad óptica (DO) medida espectrofotométricamente a 600 nm)..	Se disminuyó la aceleración del proceso de craqueo de aceite natural, con una mayor relación de craqueo de aceite después de 24 horas, una emulsión de película de aceite/agua después de 7 días y una mayor remoción de todos los hidrocarburos de petróleo después de 15 días. días (47%)..	Es probable que los estudios futuros prueben la eficiencia de los agentes de biorremediación desarrollados en mesocosmos y en experimentos in situ, prueben la longevidad de los agentes bacterianos y prueben su eficiencia en la degradación de otros contaminantes de hidrocarburos, como los combustibles marinos.
21	Perini et al. 2020	Se realizaron experimentos por lotes en modelos contaminados con PAH contrastantes y soluciones reales (agua subterránea) durante 2 y 5 días, respectivamente, a temperatura ambiente. Se analizaron antraceno, benzo(a)pireno, naftaleno y house.	Una solución modelo de pH 7 sin ABTS eliminó 50,59 % de antraceno y 42,15 % de benzo(a)pireno. Después de 5 días de incubación, la muestra de agua subterránea resultó en una oxidación del 94,37% de antraceno a antraquinona..	La concentración final de antraceno está por debajo del nivel de intervención de las Directrices internacionales para la protección y purificación de las aguas subterráneas, lo que indica la capacidad de la lacasa para mediar en la oxidación de los PAH a niveles seguros cuando se aplica directamente al agua subterránea. aguas subterráneas. agua subterránea y por lo tanto se propone esta estrategia. una interesante alternativa para la remediación de aguas contaminadas
22	Alegría et al. 2022	Se ha descrito la función de la microalga Spirulina sp a través de una búsqueda bibliográfica de otros estudios de referencia sobre esta variable, en los que se destaca que su cultivo debe realizarse a nivel de laboratorio.	Su tasa de conversión de nitrato superó el 82 % en aguas contaminadas y el 84 % en la eliminación de fosfatos, lo que demuestra su eficacia como biorremediador de fosfatos.	Concluyeron que las microalgas como Spirulina sp como aguas residuales secundarias para el tratamiento de aguas industriales son una opción sostenible, eficiente y económica
23	Dai et al. 2020	Se analizaron bacterias degradadoras de hidrocarburos obligados. Establecimiento de sistemas de simulación de marismas costeras y abiertas.	Se encontró que la eficiencia de debilitamiento del petróleo pesado del consorcio de bacterias domésticas inmovilizadas era del 66,5 % después de 100 días de	El análisis metagenómico mostró que un consorcio de bacterias lacasa inmovilizadas no solo aumentó la biodiversidad de las bacterias que degradan el petróleo pesado, sino que

No.	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO	CONCLUSIONES
			tratamiento sanitario con una tasa de reacción constante de 0,018 d-1..	también facilitó la destrucción del petróleo pesado.
24	Perdigao et al. 2020	Ensambló y probó un microcosmos de agua de mar natural y aceite. Atenuación natural (NA). Bioestimulación (BS) (adición de nutrientes); bioaumentación con inóculo de aceite precultivado (BA/P) y bioaumentación con inóculo de acetato precultivado (BA/A).	Después de 15 días, se mostró una mezcla clara de petróleo y agua de mar para BS, BA/P y BA/A, pero no para NA. El acetato fue el sustrato elegido para el cultivo del consorcio. BA/A tuvo la mayor descomposición de hidrocarburos (66%). Todas las cepas bacterianas añadidas como inóculo se recolectaron al final del experimento.	Otros estudios probaron la eficiencia del consorcio desarrollado en la degradación de varios hidrocarburos, es decir, aromáticos, y la detección de la producción de biosurfactantes, con el consorcio desarrollado en experimentos a gran escala que imitaban las condiciones ambientales reales..
25	Mathew & Abraham 2020	Se realizó un estudio experimental agregando biorremediación de cera de abejas al combustible diesel en agua de mar. Se midieron parámetros clave como el oxígeno disuelto, el pH, los niveles de compuestos orgánicos diésel, el recuento total de bacterias y los niveles de nitrato y fosfato en intervalos de 5 días.	Los resultados mostraron que se eliminó el 87% del aceite en la muestra tratada, mientras que solo se logró una reducción del 59% en la muestra de control correspondiente..	Un estudio muestra que la biorremediación de derrames de petróleo marinos es una tecnología de limpieza de derrames de petróleo respetuosa con el medio ambiente que puede reducir las emisiones de carbono.

En cuanto al desarrollo de la investigación, se plantearon las bases teóricas relacionadas con el tema de investigación.

Las Aguas Residuales Industriales son las que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyendo las actividades mineras, agrícolas, energéticas, agroindustriales, curtiembres, automotrices, entre otras. (OEFA, 2014) Prácticamente cualquier industria, independientemente de su sector, genera grandes cantidades de agua debido a sus procesos, ya sean de manufactura, producción, transformación, limpieza, mantenimiento o consumo. Existe una gran diversidad de aguas residuales industriales, ya que, dependiendo de la industria y sus procesos de producción, sus características pueden cambiar por completo y, en consecuencia, contener diferentes tipos de contaminantes. (Anno et al. 2021) Puede ser mayor o menor carga orgánica, diferentes conductividades y diferencias en las cantidades de otros elementos como fósforo, nitratos, detergentes, grasas, aceites, metales pesados como níquel, cromo, mercurio, cobre,

Existen tres tipos de tratamiento de aguas industriales que permiten la eliminación de sus contaminantes: **Tratamiento físico** como su nombre lo indica, esta etapa está compuesta por una serie de tratamientos físicos cuyo objetivo es eliminar los residuos de mayor tamaño como grasa, arena, aceite y otros elementos sólidos. Para ello se pueden utilizar tamices, separadores, filtros, desarenadores o técnicas de decantación, así como membranas de ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis inversa. (Fu et al. 2021), **Tratamiento químico** en el caso del tratamiento químico, se pueden realizar tratamientos de oxidación avanzada en los que se introducen agentes químicos oxidantes como el ozono, el peróxido de hidrógeno o el cloro que convierten la materia orgánica en dióxido de carbono y agua (Blanco et al. 2020). Por otro lado, se pueden añadir flocculantes y coagulantes químicos para favorecer la agregación de la materia orgánica en flóculos que permitan su sedimentación o decantación. (Catania et al. 2020) y el **Tratamiento biológico** por su parte, el tratamiento biológico se basa en el uso de bacterias y microorganismos que se alimentan de sustancias orgánicas biodegradables con el objetivo de eliminar los nutrientes del agua. Hay muchas configuraciones diferentes, como MBR de nitrificación-desnitrificación o sistemas convencionales. (Alegría, 2022)

En el tratamiento biológico destaca la técnica de biorremediación, que es cualquier proceso que utiliza organismos vivos para absorber, degradar o transformar contaminantes y eliminarlos, inactivarlos o atenuar su efecto sobre el agua (Gholami et al. 2018). Es una de las alternativas más eficientes y rentables para la eliminación de cuerpos que contaminan el ecosistema, en comparación con los sistemas físico-químicos convencionales (Kachienga et al. 2018). Hay dos tipos de biorremediación:

La bioestimulación aprovecha las particularidades de los organismos que ya se encuentran en el cuerpo de agua a tratar y busca adecuar las condiciones ambientales para promover su desarrollo y la consecuente degradación de los contaminantes. En resumen, la bioestimulación consiste en incorporar nutrientes o modificar variables ambientales como el pH del agua (Asemoloye et al., 2021).

La bioaumentación es la práctica de introducir microorganismos exógenos con capacidades biodegradantes para asegurar el proceso de biodegradación y reducir los tiempos de tratamiento (Partovinia y Rasekh. 2022). Si las cepas de bacterias ya presentes son capaces de degradar los contaminantes presentes en las aguas residuales, se estimulará su crecimiento. Puede ocurrir que los microorganismos existentes no tengan suficiente capacidad de purificación, por lo que será necesaria la introducción de cultivos seleccionados. Los productos típicos de bioaumentación consisten en mezclas de varias cepas de microorganismos, generalmente bacterias u hongos, que se aíslan de la naturaleza. El uso de bioaumentación puede aumentar la población de biomasa deseable y reducir la población indeseable. Debido a las fluctuaciones de los afluentes, es necesaria una dosis de mantenimiento para preservar una población de biomasa adecuada (Mathew y Abraham, 2020).

Según los organismos utilizado en la biorremediación, la hidrolisis enzimática es una tecnología que se refiere al uso exclusivo de enzimas para tratar ambientes contaminados (Mehrizi et al., 2019). La biorremediación microbiana se ocupa del uso de hongos y bacterias para biorremediar un sitio contaminado. Se necesitan especies que sean capaces de metabolizar compuestos contaminantes (Mehrizi et al., 2019).

Los microorganismos son organismos muy pequeños que se hallan en la naturaleza, dentro del cuerpo humano, en el agua, en las plantas, en la tierra y en el aire. Ahí microorganismos en todas partes (Fu et al. 2021).

Por lo tanto, los microorganismos se refiere a organismos celulares, que tienen un tamaño promedio de un micrómetro (una milésima de milímetro). Los microorganismos del agua son protozoos, bacterias, actinomicetos, algas y hongos. (Mazumder et al. 2020).

Para que los microorganismos "coman" y descompongan el compuesto de manera eficiente, deben cumplir ciertas condiciones: adecuada temperatura, agua adecuada, nutrientes necesarios y oxígeno apropiado (para microorganismos aeróbicos) (Ossai et al., 2020).

Estas condiciones permiten que los microorganismos crezcan y se reproduzcan y por lo tanto requieren más productos químicos para ingerir y degradar de manera mas eficaz. Si no se cumplen estas condiciones, los microorganismos no crecen adecuadamente y mueren (Mosmeri et al., 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación utilizada fue el tipo de investigación básica, la investigación básica se conoce fundamentalmente en un análisis de información que busca ampliar el conocimiento sobre un tema en particular, así como el conocimiento de la verdad de un fenómeno natural con el enfoque de objetivos para hacer un aporte valioso a la sociedad, para poder responder de manera efectiva a los desafíos que se presentan en la investigación (Hernández p. 10 2010).

El diseño de investigación que se aplicó es un diseño narrativo porque se reveló una realidad viva, ya que a partir de la recopilación de información de investigaciones realizadas con realidades vivas se convierten en un texto, por lo que los datos fueron analizados por los investigadores en el proceso del estudio de los procesos de biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos por irresponsabilidad de las industrias encargadas de la explotación (Hernández p. 10 2010).

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Mesa2: Matriz de categorización apriorística

Título: Estudio de los procesos de biorremediación de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos, revisión sistemática, 2022					
Objetivo específico	problema específico	Categoría	subcategoría	Criterios	Referencias
Identificar microorganismos y nutrientes en la degradación de hidrocarburos en aguas residuales industriales.	¿Cuáles son los microorganismos y nutrientes en la degradación de hidrocarburos en aguas residuales industriales?	Componentes para la degradación de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> microorganismos nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> bacterias Champiñones microalgas Nitrógeno Potasio Carbón 	<ul style="list-style-type: none"> Suganthi et al. 2018 Malla et al. 2018 Mosmer et al. 2019 Catania et al., 2020 Fu et al., 2021
Determinar los parámetros físicos óptimos para favorecer la actividad microbiológica durante la biorremediación de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos.	¿Cuáles son los parámetros físicos óptimos para favorecer la actividad microbiológica durante la biorremediación de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos?	Parámetros fisicoquímicos óptimos para degradar hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> Parámetros físico-químicos 	<ul style="list-style-type: none"> La temperatura pH Clima Concentración (ppm) 	<ul style="list-style-type: none"> Mojiri et al. 2019 Villela et al. 2019 Blanco et al. 2020 Khalid et al. 2021 Mazumder et al., 2021 Mehetre et al., 2019
Determinar el porcentaje de degradación de hidrocarburos por inoculación de microorganismos en aguas residuales industriales	¿Cuál es el porcentaje de degradación de hidrocarburos por inoculación de microorganismos en aguas residuales industriales?	Niveles de degradación	<ul style="list-style-type: none"> % de Hidrocarburos Biodegradados 	<ul style="list-style-type: none"> % Petróleo % Aceite % acíclico % alicíclicos % monocíclico % policíclico 	<ul style="list-style-type: none"> Xu et al. 2018 Zenati et al., 2018 Anno et al. 2021 Perdigao et al., 2020 Atakpa et al. 2022

3.3. Escenario de estudio

Para las consideraciones del escenario de estudio, por tratarse de una investigación narrativa, se realizó una recopilación de información en base a los artículos científicos que se han analizado, el escenario de estudio serán documentos y áreas de estudio en los que los autores realizaron su trabajo. evaluaciones en sus investigaciones.

3.4. Participantes

Según los participantes de la investigación, la base de datos fueron las revistas científicas que nos permitieron adquirir información de diversas literaturas utilizadas para sumar a los instrumentos de recolección de información y quedar reflejada en el documento de investigación; siendo estas páginas participantes de la biblioteca virtual de la Universidad Cesar Vallejo como: ScienceDirect, Springer Link y MDPI

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Análisis documental: Se realizó un análisis intensivo de los artículos de investigación para la síntesis del cuerpo del estudio. Donde una actividad científica que generará un subdocumento y un subproducto que actúa como intermediario o método de búsqueda forzada entre el usuario y el documento original que solicitó la información (Sampieri p. 02, 2014)

Ficha de recogida de información de datos: Estas fueron las herramientas que habitualmente se utilizan y que pondremos por escrito para la información más destacada del artículo que se utilizará en la búsqueda de información y que nos gustaría tener a la mano durante el desarrollo de la investigación. (Amy Castro, 2015)

3.6. Procedimientos

El procedimiento de investigación se dio en 3 etapas, estas son importantes para la recopilación de información, donde fueron escogidas en una

secuencia ordenada y objetiva. Se utilizaron fuentes como: ScienceDirect, Springer Link y MDPI.

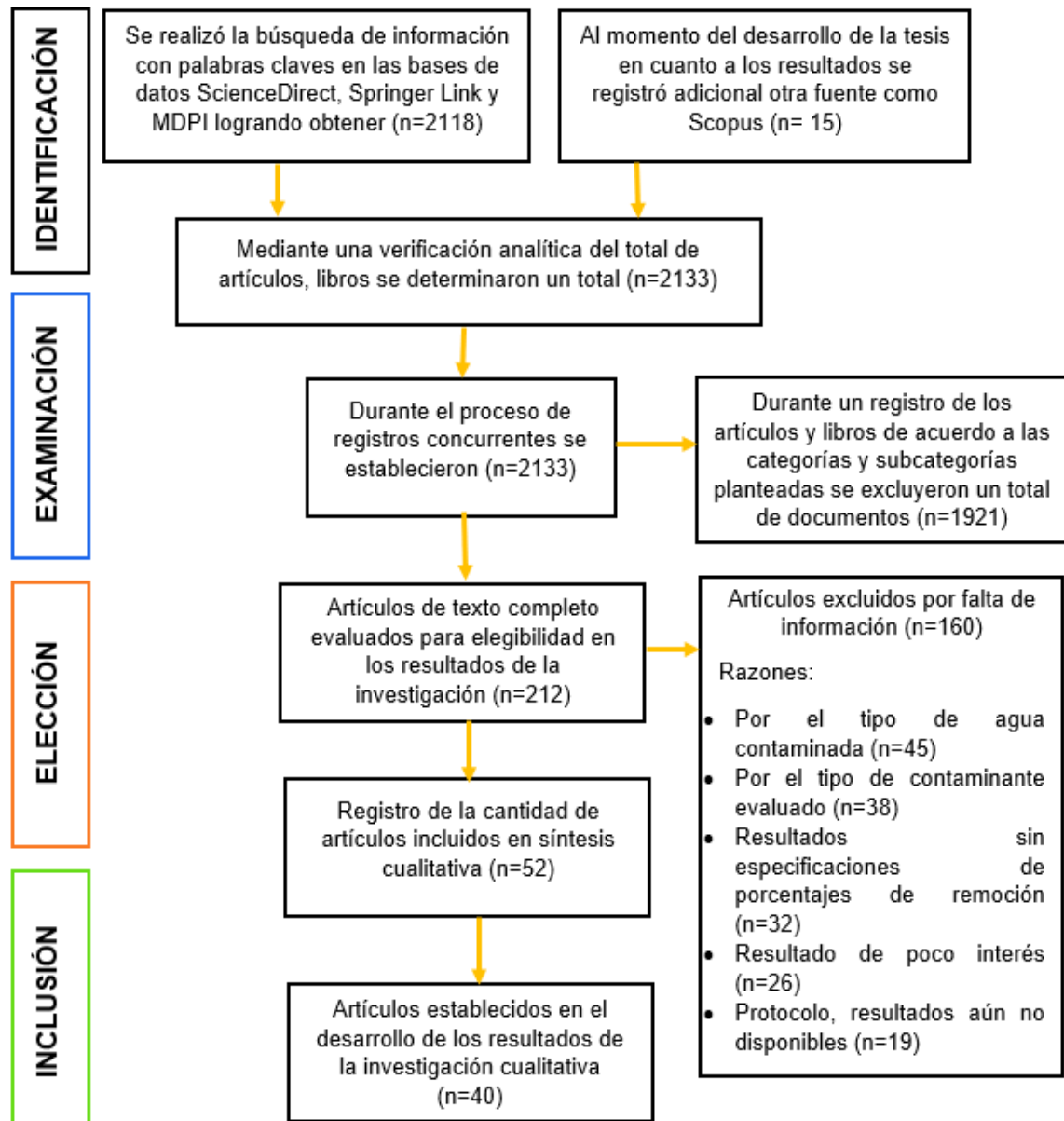


Figura1:Esquema del procedimiento de inclusión y exclusión de artículos

3.7. Rigor científico

Los artículos manejados se basaron en explicaciones hipotéticas proporcionadas por los autores de las revisiones indexadas, y la investigación descrita es confiable, altamente precisa, informativa y positiva.

Valor de verdad: Esto significa analizar la situación en la que la investigación se considera racional. Por lo tanto, es necesario transitar por el proceso de

seguimiento de la investigación y buscar discusiones razonables que puedan fundamentarse en los resultados de la investigación realizada (Jiménez María, 2011). Aplicabilidad: Los resultados de este estudio no pueden ser transpuestos o utilizados en otros contextos y/o áreas de comportamiento siempre que sean de naturaleza compleja y social del fenómeno estudiado. Este es un estándar bastante real (Jiménez María, 2011). Dependencia: consiste en el nivel de estabilidad o consistencia de los hallazgos y resultados de la investigación (Jiménez María, 2011). Confirmabilidad: El nivel de participación del investigador en el estudio es ineludible. En todo caso, si los datos son imparciales y no responden a los datos,

3.8. Método de análisis de datos

Comprende la ejecución de las actividades para las cuales el investigador proporcionó datos para lograr los objetivos del estudio. No todos estos procesos pueden definirse estrictamente de antemano (Hernández, 2012)

Se administra por vía oral (a veces gráficamente). Se basa en la interpretación. Los medios más comunes para recopilar esta información son las entrevistas abiertas, los grupos de control y los grupos focales, en los que los investigadores suelen analizar las tendencias en las observaciones a lo largo del período de recopilación de datos (Hernández, 2012).

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos con los que cumplió la investigación son: Cumplimiento de la normatividad vigente establecida por la Universidad Cesar Vallejo, Resolución Rectoral 0089-2019. Uso estricto del manual de referencia de calidad ISO-690 de este documento a través del programa Turnitin para demostrar la autenticidad del trabajo presentado por los autores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los objetivos planteados en la investigación, se dio respuesta a los microorganismos y nutrientes en la degradación de hidrocarburos en aguas residuales industriales, en la que Mesa3 especifica en detalle cómo actúan estos microorganismos frente al contaminante y el requerimiento de nutrientes para ser más efectivos en la degradación de los hidrocarburos.

Mesa3: Degradación de hidrocarburos por microorganismos y nutrientes

Tipos de microorganismos	Nutrientes	Tipo de hidrocarburo	Eliminación de hidrocarburos	Fuentes
<i>Pseudomonas</i> pas, <i>P. putida</i> TPHK-1 y <i>P. aeruginosa</i> TPHK-4.	La adición de fertilizantes inorgánicos (NPK), en los niveles recomendados para la biorremediación, resultó en una inhibición significativa de la bioestimulación	Hidrocarburos de petróleo meteorizados totales (TPH)	Se encontró que la extracción de TPH del agua contaminada con aceite de motor con hidroxipropil-β-ciclodextrina (HPCD), pero no con 1-butanol, era confiable para predecir la biodisponibilidad de los hidrocarburos degradados.	Ramadas et al., 2018
La cepa DU13 de <i>Pseudomonas</i> otitidis	La inoculación de micronutrientes como nitrógeno	Biorremediación de hidrocarburos de petróleo,	La aplicación de <i>Pseudomonas</i> otitidis redujo	Gogoi et al., 2022

Tipos de microorganismos	Nutrientes	Tipo de hidrocarburo	Eliminación de hidrocarburos	Fuentes
	y fósforo en biorremediación como bioestimulación de macroorganismos.	aceite de motor usado, diésel y queroseno.	la tensión superficial del medio suplementado con aceite en un 46% después de 7 días de tratamiento. Asimismo, 37, 35 y 20%, respectivamente, en comparación con aceite de motor usado, diésel y queroseno.	
Una cepa recién aislada de <i>Serratia</i> sp.	En la inoculación de <i>Serratia</i> sp se agregaron nutrientes (Carbono, nitrógeno) en los que se aceleró la degradación de los contaminantes.	Aceite de petróleo, diésel y queroseno en cultivo líquido	El aislado redujo la tensión superficial del medio suplementado con aceite de petróleo en un 48,35 % con respecto al control después de 7 días de	Borah et al., 2019

Tipos de microorganismos	Nutrientes	Tipo de hidrocarburo	Eliminación de hidrocarburos	Fuentes
			tratamiento. Además, el aislado degradó 87.54 y 85.48% de diesel y queroseno en el cultivo líquido contaminado.	
Microorganismos metanogénicos (Bacillus , Coprothermobacter , Rhodobacter , Pseudomonas, Achromobacter , Desulfitobacter , Desulfosporosinus , T78 , Methanobacterium , Methanosaeta)	Se aplicaron nutrientes como fosfato, nitrato o nitrato+fosfato en los lodos con mayor abundancia de hidrocarburos.	Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	<i>autóctonobacilli</i> , las cepas resultaron en una reducción de TPH de 57% a 75% de las aguas contaminadas por hidrocarburos totales de petróleo.	Roy et al., 2018
Se utilizaron microorganismos similares a bacterias en la degradación de hidrocarburos.	A través del tratamiento, se aplicaron nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo adecuados	Hidrocarburos derivados del crudo	La eliminación de contaminantes hidrocarburos mediante bioaumentación, bioestimulación	Lawniczka et al., 2020

Tipos de microorganismos	Nutrientes	Tipo de hidrocarburo	Eliminación de hidrocarburos	Fuentes
	durante las etapas iniciales de biodegradación .		n e introducción de tensioactivos, así como biotensioactivos 39% para hidrocarburos gasóleos y 32% para PAHs	
La actinobacteria <i>Streptomyces</i> sp. M7, MC1, A5 y <i>Amycolatopsis tucumanensis</i> DSM 45259	Se aplicaron NaCl, glucosa y fósforo.	Cromo VI y Lindano.	La mejor eliminación de cromo y lindano biodisponibles del suelo contaminado artificialmente se logró con <i>Streptomyces</i> sp. M7 (50% y 60%, respectivamente) y el consorcio cuádruple (60% y 55%, respectivamente)	Aparicio et al. 2018

Tipos de microorganismos	Nutrientes	Tipo de hidrocarburo	Eliminación de hidrocarburos	Fuentes
<p><i>Aspergillus oryzae</i> se utilizaron microorganismos <i>Mucor irregularis</i>.</p>	<p>La presencia de enzimas supuestas, lacasa (Lac), peroxidasa de manganeso (MnP) y peroxidasa de lignina (LiP) se confirmó en filtrados de cultivo usando sustratos apropiados.</p>	<p>Hidrocarburos complejos, aceite de motor.</p>	<p>Tenía un valor de biodegradación de 56,67% y 66,70%, respectivamente.</p>	<p>Asemoloye et al. 2020</p>
<p>La comunidad microbiana formada por <i>Pseudomonas stutzeri</i> N2 y <i>Rhodococcus qingshengii</i> FF</p>	<p>Se realizó la aplicación de nitratos.</p>	<p>Fenoles e hidrocarburos de petróleo.</p>	<p>La concentración de fenoles se redujo de 2450 ± 1,2 mg/L a 200 ± 0,9 mg/L, y la tasa de remoción de hidrocarburos de petróleo fue de hasta 97,08 ± 0,09% por microorganismos.</p>	<p>Bai et al. 2022</p>

Tipos de microorganismos	Nutrientes	Tipo de hidrocarburo	Eliminación de hidrocarburos	Fuentes
Treinta y una cepas bacterianas autóctonas pertenecientes a Firmicutes y Proteobacteria.	Aplicación de nitrógeno y fósforo.	tolueno	90% de degradación de tolueno.	Biswas et al. 2022
Una cepa degradante de hidrocarburos, <i>Serratia</i> sp.	La composición del medio estaba en g/l: MgSO ₄ -0.2, CaCl ₂ -0.02, KH ₂ PO ₄ -1.0, K ₂ HPO ₄ -1.0, NH ₄ NO ₃ -1.0, FeCl ₃ -0.05, agar-agar-20.0.	Se estudió la degradación de diesel y queroseno.	El análisis FTIR reveló la presencia de u CH ₃ (estiramiento asimétrico), u C=C (estiramiento) y u C-C (estiramiento) en el biosurfactante crudo producido por el aislado y el índice de emulsificación (E 24) 60 y 56,6%, respectivamente , en comparación con el diésel y el queroseno.	Bora et al. 2019

En la investigación de Ramadass et al. (2018), utilizó cepas de *Pseudomonas*, *P. putida* TPHPK-1 y *P. aeruginosa* TPHPK-4 en las que aplicaron fertilizantes inorgánicos para lograr una alta eficiencia en la remoción de hidrocarburos totales de petróleo. Asimismo, en el estudio de Gogoi et al. (2022), quienes aplicaron *Pseudomonas otitidis* para reducir la tensión superficial del medio suplementado con aceite en un 46 % después de 7 días de tratamiento. Asimismo, 37, 35 y 20%, respectivamente, en comparación con aceite de motor usado, diésel y queroseno. También Borah et al. (2019) utilizaron una cepa aislada de *Serratia* sp con la adición de nutrientes como carbono y nitrógeno para reducir la tensión superficial del medio suplementado con aceite de petróleo en un 48,35 % en comparación con el control después de 7 días.

En el estudio de Roy et al. (2018) utilizaron varios microorganismos metanogénicos *Bacillus*, *Coprothermobacter*, *Rhodobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Desulfitobacter*, *Desulfosporosinus*, T78, *Methanobacterium*, *Methanosaeta* para lograr una reducción del 57% al 75% en HTP. También Lawniczak et al., (2020), utilizó las mismas bacterias degradantes para eliminar biosurfactantes 39% para hidrocarburos de gasóleo y 32% para PAHs. Así también Aparicio et al. (2018), utilizaron actinobacterias como *Streptomyces* sp. M7, MC1, A5 y *Amycolatopsis tucumanensis* DSM 45259 para eliminar cromo VI y lindano. Sin embargo, en el estudio de Asemoloye et al. (2020), utilizaron dos tipos de microorganismos como son *Aspergillus oryzae* y *Mucor irregularis*, que tuvo un valor de biodegradación de 56,67 % y 66,70 %, respectivamente, de hidrocarburos complejos, aceite de motor.

Según el estudio realizado por Bai et al. (2022), que involucró el uso de la comunidad microbiana de *Pseudomonas stutzeri* N2 y *Rhodococcus qingshengii* FF, mediante la aplicación de nitratos para lograr una concentración de fenoles de $2450 \pm 1,2$ mg/L a $200 \pm 0,9$ mg/L, y la tasa de remoción de hidrocarburos de petróleo fue de hasta $97,08 \pm 0,09\%$ por los microorganismos. En el estudio de Biswas et al. (2022), quienes utilizaron Firmicutes y Proteobacteria para lograr una degradación del tolueno del 90%. Asimismo, Borah et al. (2019) aislaron una cepa degradadora de hidrocarburos, *Serratia* sp, para lograr una degradación de diésel y queroseno de 60 y 56,6 %, respectivamente.

De acuerdo con el objetivo específico 2, se determinaron los parámetros físicos óptimos para favorecer la actividad microbiológica durante la biorremediación de aguas residuales industriales contaminadas con hidrocarburos, indicando en Mesa4, los principales parámetros fisicoquímicos evaluados durante los tratamientos realizados.

Mesa4:Parámetros físicos implicados en la degradación de hidrocarburos

Temperatura (°C)	pH	Tiempo	Concentración	Fuente
Para la remoción de hidrocarburos se necesitó 200°C.	El pH utilizado para este estudio es 5,4.	Para la biorremediación anaeróbica se utilizaron 42 días.	El valor seleccionado de la concentración inicial de PHE fue de aproximadamente 200 mg/kg de sedimento seco.	Blanco et al. 2020
Se utilizó una temperatura de 330°C.	El pH utilizado fue de 4,7.	Se utilizó una aplicación cada 10, 20 y 72 min.	Se presenta un estudio microbiológico de sedimentos marinos subterráneos crónicamente contaminados (sss, 5–10 cm).	Catania et al. 2018
Se utilizó una temperatura de 70°C.	El pH usado fue 4,0.	La biodegradación se llevó a cabo en 10 días.	Las bacterias se cultivaron en 3 mL de medio mineral.	Catania et al. 2020

Temperatura (°C)	pH	Tiempo	Concentración	Fuente
Se utilizó una temperatura de 250°C.	El pH utilizado fue de 6,6	Se utilizaron 100 días de tratamiento.	Caldo de fermentación de cepas cultivadas durante la noche (OD600 = 0,8) durante 2 h a 30 °C y 160 r/min	Dai et al. 2020
Se utilizó una temperatura de 121°C.	El valor de pH fue de 2, 4,6 y 10.	Se utilizaron 144 horas de tratamiento.	La concentración máxima de biosurfactante (10,0 g/l) se alcanzó a las 144 h de cultivo.	Chaprao et al. 2018
Cultivo de enriquecimiento en presencia de hidrocarburo a 57 °C	7.8	Los PAH probados se degradaron en 20 días	Dos cepas de <i>G. stearothermophilus</i> (KTCC-B2M y KTCC-B7S)	Nzila, 2018
El aceite crudo acuoso se incubó a 28 C.	El pH óptimo para todos los aislados seleccionados osciló entre pH 7,0 y aproximadamente pH 8,0.	El tratamiento se llevó a cabo durante 14 días.	Masa pseudomolecular (m/z)	Lee et al., 2018
La temperatura evaluada fue	El pH osciló entre 7,5 y	El período de evaluación de la degradación	Inmovilización óptima para tres bacterias	Mao et al., 2022

Temperatura (°C)	pH	Tiempo	Concentración	Fuente
un promedio de 42°C	aproximadamente pH 8,4.	del petróleo crudo en 7 días.	degradadoras de aceite aisladas (<i>Pseudomonas</i> sp. ZJI-1, <i>Acinetobacter</i> sp. YMJ-1 y <i>Gordonia</i> sp. G1)	
La temperatura evaluada fue un promedio de 36°C	El pH osciló entre 5 y aproximadamente pH 7	El período de evaluación de la degradación del petróleo crudo en 28 días.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> NY3 fue inmovilizado sobre el PUF y su aplicación en la remoción de hidrocarburos	Partovini a y Rasekh, 2018.
La temperatura evaluada fue un promedio de 37°C	El pH osciló entre 6,5 y aproximadamente pH 8	El período de evaluación de la degradación del petróleo crudo en 14 días.	valginolítico.	Imron et al., 2018

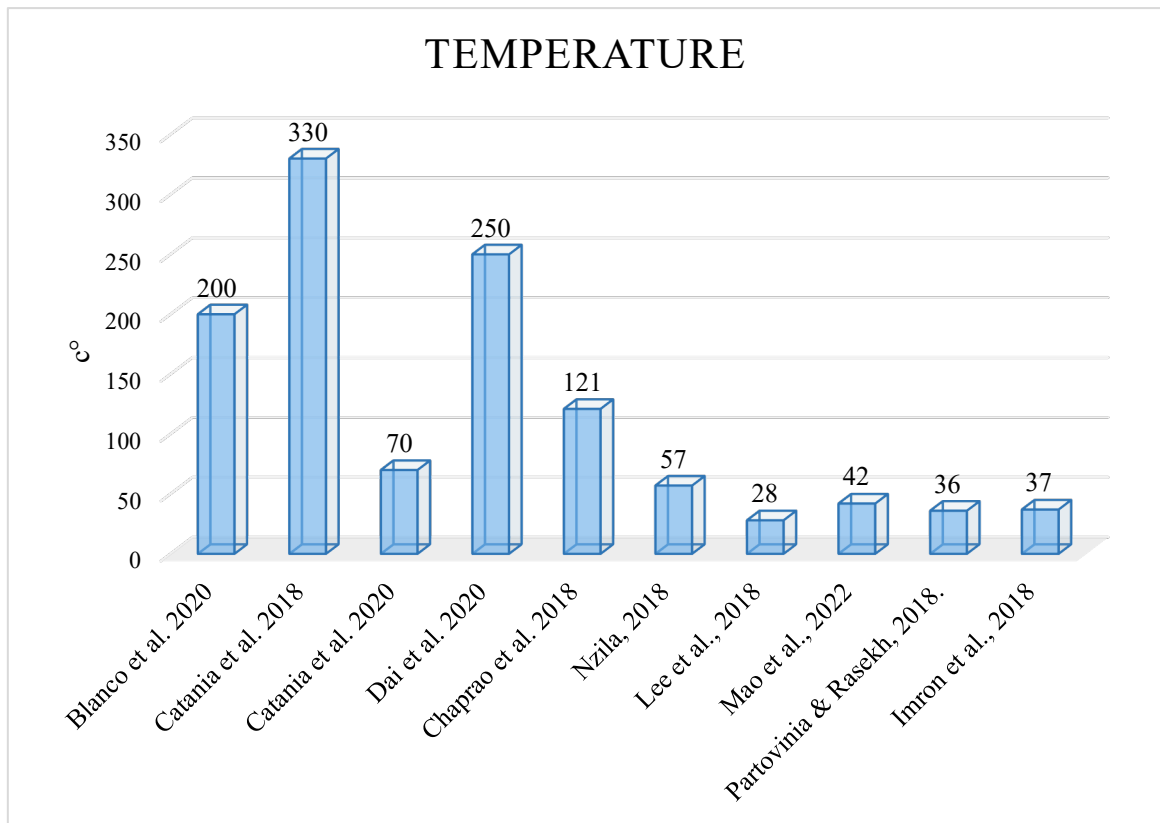


Figura2: Nivel de temperatura en la degradación de hidrocarburos

En la Figura2 mostró la temperatura utilizada en cada investigación para la degradación de los hidrocarburos, por ejemplo, a mayor temperatura, mayor degradación y menor tiempo de tratamiento. En el estudio de Blanco et al., (2020), el tratamiento de biorremediación se realizó a una temperatura de 200 °C, empleando 42 días para extraer una concentración de 200 mg kg⁻¹ de sedimento hidrocarbonado seco. Un estudio similar es el de Catania et al. (2018), Dai et al. (2020) y Chaprao et al. (2018) quienes utilizaron temperaturas de 330°C, 250°C y 121°C respectivamente para lograr una alta eficiencia de remoción en menos de 100 días de tratamiento en una superficie contaminada crónicamente.

A diferencia de los estudios de Catania et al. (2020) y Nzila (2018) quienes utilizaron bajas temperaturas como 70°C y 57°C para lograr la biodegradación de hidrocarburos a los 20 días, las cuales no han mostrado una mayor remoción, en comparación con estudios previos.

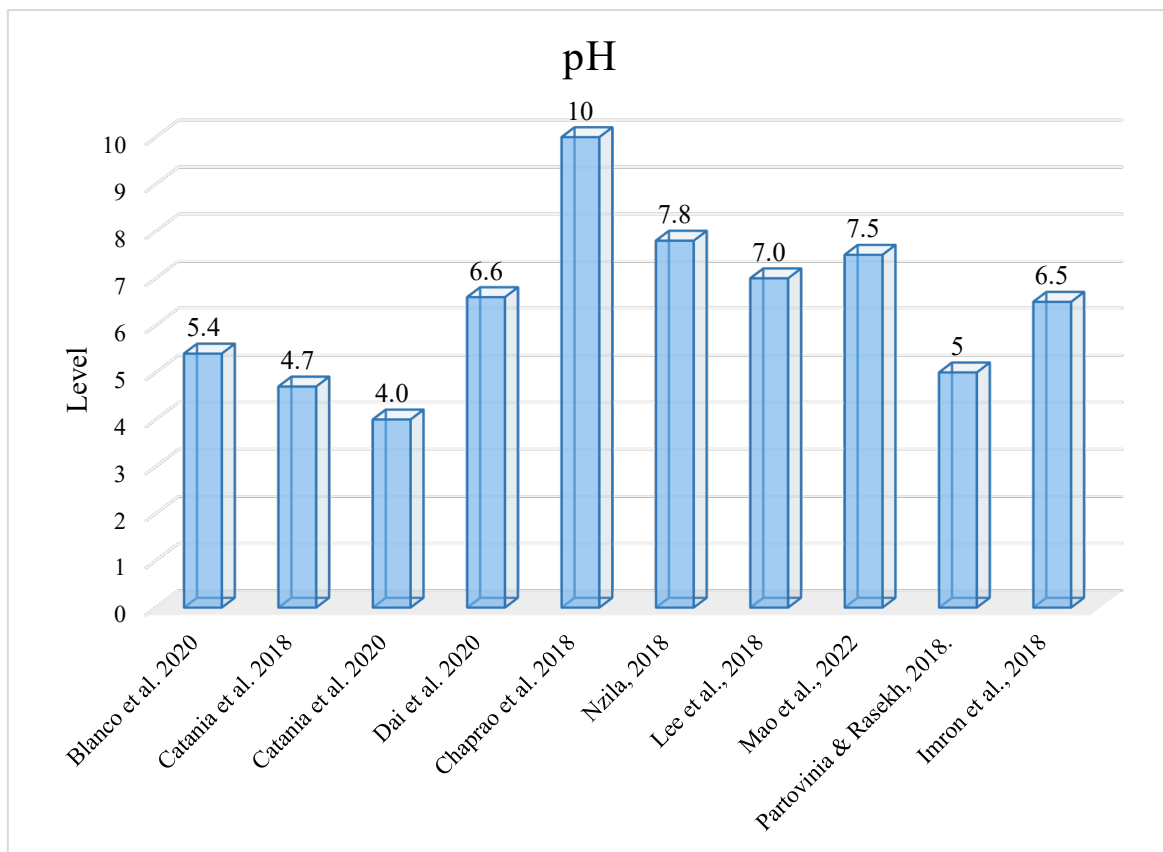


Figura3: Nivel de pH en la degradación de hidrocarburos

El pH mostrado en Figura3 por cada autor a través de procesos de degradación de hidrocarburos, según el trabajo de investigación de Lee et al. (2018) indica que el pH utilizado osciló entre 7,0 y 8,0 en un tratamiento de 14 días utilizando una concentración pseudomolecular (m/z) para lograr una alta remoción. Asimismo, Mao et al. (2022), señala que el pH utilizado varió entre 7.5 y 8.4 para un balance adecuado de todos los insumos utilizados en el cultivo de *pseudomonas sp*, *Acinetobacter* y *Gordonia* y también para degradar el crudo en 7 días.

Finalmente, en la investigación realizada por Partovinia & Rasekh. (2018), dan a conocer que utilizaron un pH entre 5 y 7.0 para lograr la degradación del aceite en 28 días de tratamiento con ayuda de la inmovilización de *Pseudomonas aeruginosa*, la cual es conocida por su alto poder de remoción de hidrocarburos. Imron et al. (2018), indica que en base a una temperatura de 37°C y un pH de 6.5 logró degradar el crudo en 14 días con la ayuda de *V. alginolyticus*, que fue aislado de una instalación de desguace de barcos en la costa de Indonesia.

En respuesta al objetivo 3, se detalló en Mesa5, para determinar el porcentaje de degradación de hidrocarburos por inoculación de microorganismos en aguas residuales industriales.

Mesa5: Porcentajes de degradación de hidrocarburos en las aguas

Porcentaje de degradación de hidrocarburos			
Tipo de microorganismo	Tipo de hidrocarburo	Nivel de biodegradación	Fuente
Las especies dominantes de bacterias presentes en las muestras marinas son <i>Bacillus</i> spp. y <i>Pseudomonas</i> spp.	Derrame de petróleo.	Los resultados mostraron una eliminación del 87 % del contenido de aceite en la muestra de tratamiento, mientras que solo se logró una reducción del 59 % en la muestra de control correspondiente.	Mateo y Abraham 2020
<i>Gordonia</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Achromobacter</i> se convirtieron en los géneros predominantes en el sistema de degradación.	aceite crudo	La tasa de degradación del petróleo crudo de las bacterias inmovilizadas alcanzó el 82,6 % en 7 días.	Mao et al. 2022
<i>Rhodococcus piridinivorans</i> F5	aceite crudo	El porcentaje de degradación se aumentó aún	Mazumder et al. 2020

		más hasta el 95 (± 0,02) %	
Se obtuvieron cuatro cepas potentes y se identificaron como <i>Baciloaxarquiensis</i> <i>Bacillus subtilissubesp. Inacuosorum</i> (U277)	Hidrocarburos aromáticos policíclicos.	Logró una degradación relativamente mayor de ANT (92 % - 96 %), FLU (83 % - 86 %), PHE (16 % - 54 %) y PYR (51 % - 71 %) a 50 °C. sp. (UCPS2)	Mehetre et al. 2019
<i>Alcanivorax</i> , <i>Achromobacter</i> y <i>Thalassospira</i>	Agua contaminada con diésel.	Los resultados ilustraron que la tasa de degradación del diésel por el sistema de bacterias inmovilizadas alcanzó el 78,39 % después de 30 días, y <i>Alcanivorax</i> (59,09 %), <i>Achromobacter</i> (24,34 %) y <i>Thalassospira</i> (9,84 %).	Fu et al. 2021
Se aplicaron bacterias degradadoras de aceite, <i>Arthrobacter citreus</i> (cepa E) y	Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	El % de biodegradación de pH y TPH de las muestras a lo	Hamidi et al., 2020

<p>Rhodococcus jostii (cepa D).</p>		<p>largo del tratamiento. Las mayores degradaciones de remoción de hidrocarburos (75,1%) utilizando la mezcla de inóculo de las cepas D y E (pH = 7,02) a la 5ª semana de tratamiento.</p>	
<p><i>Penicillium</i>, <i>Stachybotrys</i>, <i>Allescheriella</i> y <i>Phlebiase</i> aplicaron para degradar hidrocarburos aromáticos asociados a derivados del petróleo</p>	<p>Hidrocarburos Totales de Petróleo Concentración (TPH)</p>	<p>Mediante la aplicación de los microorganismos lograron la eliminación de TPH en un 99%.</p>	<p>Molaei et al., 2022</p>
<p>La comunidad microbiana formada por <i>Pseudomonas stutzeri</i> N2 y <i>Rhodococcus qingshengii</i> FF en la remoción efectiva y simultánea de fenoles e hidrocarburos de petróleo.</p>	<p>Fenoles e Hidrocarburos de Petróleo</p>	<p>La concentración de fenoles se redujo de 2450 ± 1,2 mg/L a 200 ± 0,9 mg/L, y la tasa de remoción de hidrocarburos de petróleo fue de hasta 97,08 ± 0,09% por</p>	<p>Bai et al., 2022</p>

		microorganismos en el agua contaminado.	
Las cepas bacterianas autóctonas pertenecientes a Firmicutes y Proteobacteria (Vibrio, Staphylococcus, Aerococcus, Acinetobacter y Exiguobacterium.) se aplicaron a aguas residuales con hidrocarburos.	hidrocarburos de petróleo	La optimización se basó en la reducción del 93,33% de hidrocarburos de petróleo en 12 h a partir de aguas residuales simuladas a 37 °C que tenían una concentración inicial de 400 mg L ⁻¹ de tolueno.	Biswas et al., 2022
Cinco cepas de bacterias, a saber, Exiguobacterium sp. ASW-1, Pseudomonas aeruginosa cepa ASW-2, Alcaligenes sp. ASW-3, Alcaligenes sp. ASS-1 y Bacillus sp. ASS-2, fueron aislados frente a la costa de Zhejiang en China	Biodegradación del petróleo crudo.	La flora mixta de las cinco cepas se desempeñó bien con la degradación del 75,1 % del petróleo crudo (1 %, p/v) en 7 días. Además, el consorcio bacteriano mostró una biodegradación de alcanos de PAH. La mejora de la	Chen et al., 2017

		<p>inmovilización de los alcanos normales en (31,9 %) fue mayor que la de los PAH (1,9 %) de las aguas contaminadas.</p>	
--	--	--	--

En una investigación realizada por Mathew & Abraham. (2020), indica que utilizó especies dominantes de bacterias presentes en muestras marinas como *Bacillus* spp y *Pseudomonas* spp para lograr una remoción del 87% del contenido de aceite. Así también Mao et al. (2022), quienes utilizaron 3 tipos de microorganismos como *Gordonia*, *Pseudomonas* y *Achromobacter* los cuales se convirtieron en los géneros predominantes en el sistema de degradación, estos tuvieron una tasa de degradación del crudo del 82,6% en tan solo 7 días. Como Mazumder et al. (2020) quienes utilizaron *Rhodococcus pyridinivorans* F5 para degradar el petróleo crudo.

En el estudio de Molea et al. (2022), indica que aplicó *Penicillium*, *Stachybotrys*, *Allescheriella* y *Phlebia* para degradar hidrocarburos aromáticos asociados a derivados del petróleo, revela que logró eliminar el 99% de HTP presente en el agua. Bai et al. (2022), utilizaron *Pseudomonas stutzeri* N2 y *Rhodococcus qingshengii* FF en la remoción efectiva y simultánea de fenoles e hidrocarburos de petróleo, logrando una reducción de fenoles de 2450 ± 1.2 mg/L a 200 ± 0.9 mg/L, y la tasa de remoción de petróleo hidrocarburos fue de hasta $97,08 \pm 0,09\%$ por microorganismos en el agua contaminada.

Por último, Biswas et al. (2022), señala que utilizo bacterias autóctonas pertenecientes a Firmicutes y Proteobacteria (*Vibrio*, *Staphylococcus*, *Aerococcus*, *Acinetobacter* y *Exiguobacterium*.) para la optimización basada en la reducción del 93,33% de hidrocarburos de petróleo en 12 ha de aguas residuales simuladas. a 37 °C que tuvo una concentración inicial de 400 mg L⁻¹ de tolueno. A diferencia de Chen et al., (2017), quienes utilizaron otro tipo de cepas bacterianas como *Exiguobacterium* sp. ASW-1, *Pseudomonas aeruginosa* cepa ASW-2, *Alcaligenes*

sp. ASW-3, Alcaligenes sp. ASS-1 y Bacillus sp. ASS-2 para lograr una degradación del 75,1% del crudo en aguas contaminadas.

V. CONCLUSIONES

Se concluyó que la bioaumentación fue provocada por microorganismos como *Pseudomonas*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas otitidis*, *Serratia sp*, *Bacillus*, *Coprothermobacter*, *Rhodobacter*, *Achromobacter*, *Desulfitobacter*, *Desulfosporosinus*, *Streptomyces sp*, *Amycolatopsis tucumanensis* y la bioestimulación en cuanto a fertilizantes nitrogenados inorgánicos. (N), fósforo (P), potasio (K), carbono (C) como micronutrientes en efecto para la nutrición de microorganismos que precipitan la degradación de hidrocarburos en aguas contaminadas.

Se concluyó que los parámetros físicos óptimos para la degradación de hidrocarburos por microorganismos en agua contaminada en experimentos in situ fue 28 °C y ex situ a 330 °C; el pH se determinó catalogado en 7; Además del tiempo requerido, fue de 3 días, logrando una eficiente degradación de los hidrocarburos acumulados en las aguas.

Se concluyó que mediante las revisiones se establecieron los porcentajes de degradación de los hidrocarburos por el uso de microorganismos en las aguas contaminadas, el *Bacillus spp.*, y *Pseudomonas spp* obtuvieron una eficiencia de remoción de 59% a 87%; también para *Alcanivorax*, *Achromobacter* y *Thalassospira* se removi6 del 9,84% al 78,39% en un periodo de 30 días, recuperando la calidad del agua para su posterior uso por actividades humanas.

Luego de realizar el análisis de cada investigación en procesos de biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos, se concluyó que los microorganismos más utilizados para la biorremediación son bacterias degradantes como *Pseudomonas Spp* y *Rhodococcus sp*.

VI. RECOMENDACIONES

A futuros investigadores seguir usando la tecnología de biorremediación para tratar sitios impactados por hidrocarburos donde se incremente la microbiota con la adición de microorganismos exógenos o por el incremento de microorganismos nativos con capacidad de degradar compuestos contaminantes en el agua.

Al desarrollar un estudio de biorremediación, tener en cuenta los parámetros físicos óptimos en cuanto a temperatura, pH y tiempo para una mejor remoción de hidrocarburos por parte de microorganismos en aguas contaminadas.

Para tener un alto porcentaje de remoción en el tratamiento de biorremediación en aguas contaminadas con hidrocarburos, se recomienda el uso de bacterias degradantes como *Pseudomonas* sp y *Rhodococcus*, ya que son reconocidas por su alto valor de degradación de aceites, queroseno, gasóleo y otros.

Ante un evento de contaminación por derrame de hidrocarburos en las aguas, optar por la inoculación de microorganismos como *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp en la degradación de contaminantes por ser muy eficientes, fáciles de aplicar y económicos, además de eco-amigables con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Anno et al. (2021) Bacterias, Fungi and Microalgae for the Bioremediation of Marine Sediments Contaminated by Petroleum Hydrocarbons in the Omics Era [En línea] *Microorganismos* - volumen 9, agosto [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/microorganisms9081695>
- Alegría, LAR., Santillán, RSE., Hinojo, JSS. , Pilco , CRJ ., & Muñoz , IMG .(2022). Biorremediación de aguas residuales agroindustriales mediante el cultivo de *Spirulina* SP y biomasa utilizada como suplemento alimenticio para animales: ESTUDIOS EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ANIMALES, 3 (3), 1424–1443. <https://doi.org/10.54020/seasv3n3-0>
- Luis Paul, Sinchiguano Almache Luis Fernando (2019); Islas Flotantes Artificiales con HIERBA DE GUINEA (*Panicum máximum*) como alternativa para la remoción de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) en las aguas provenientes del Río Cutuchi. UTC. Productos enlatados. 89 pág. Disponible en: <http://repository.utc.edu.ec/handle/27000/6262>
- Aparicio et al. (2018) Estudio comparativo de cultivos simples y mixtos de actinobacterias para la biorremediación de matrices co-contaminadas [En línea]*Revista de ingeniería química ambiental*– volumen 6, abril de 2018 [Fecha de acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.030>
- Asemoloye et al. (2020) Degradación de hidrocarburos y actividades enzimáticas de *Aspergillus oryzae* y *Mucor irregularis* aislados de sitios contaminados con petróleo crudo de Nigeria [En línea] *Microorganismos* - volumen 8, 20 de noviembre [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/microorganismos8121912>
- Bai, Xuerui et al. Biodegradación simultánea de fenoles e hidrocarburos de petróleo a partir de aguas residuales de semicoquización: Construcción de consorcios bacterianos y su división metabólica del trabajo [En línea]*Tecnología Bioambiental* Volumen 347, marzo 2022, 126377 [Fecha de consulta: 26 de julio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126377>
- Biswas, Tethi et al. Tratamiento petroquímico de aguas residuales basado en consorcio bacteriano: desde el aislamiento de cepas hasta el tratamiento de efluentes industriales [En línea]*Avances Ambientales* Volumen 7, abril 2022,

- 100132 [Fecha de consulta: 29 de julio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100132>
- Borah D, Agarwal K, Khataniar A et al. Una cepa recién aislada de *Serratia* sp. de un sitio de derrame de petróleo de Assam muestra un excelente potencial de biorremediación. [En línea] *Biotecnología* 9, 283 (2019). [Fecha de consulta: 29 de julio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1820-7>
- Blanco et al. (2020) Comparación de rendimientos, costos y balance energético de procesos de remediación ex situ para sedimentos marinos contaminados con HAP [en línea] *Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación* volumen– volumen 27, 03 de marzo [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08379-y>
- Catania et al (2018) Comunidades microbianas de sedimentos marinos subterráneos contaminados [en línea] *Boletín de Contaminación Marina*– volumen 131, junio de 2018 [Fecha de acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.015>
- Catania et al. (2020) Biopelículas biodegradables bioabsorbentes innovadoras y respetuosas con el medio ambiente para la biorremediación de aguas contaminadas con petróleo [en línea] *Nueva Biotecnología*– volumen 58, 12 de septiembre [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.04.001>
- Chaprao et al (2018) Producción de un biosurfactante a partir de *Bacillus methylotrophicus* UCP1616 para su uso en la biorremediación de ambientes contaminados por petróleo [En línea] *Ecotoxicología* volumen 27, noviembre 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1007/s10646-018-1982-9>
- Chen Q, Li J, Liu M, Sun H, Bao M (2017) Estudio sobre la biodegradación del petróleo crudo por consorcio bacteriano libre e inmovilizado en el medio ambiente marino. [En línea] *PLoS ONE* 12(3): e0174445. [Fecha de consulta: 26 de julio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174445>
- Dai et al. (2020) Biorremediación de zonas intermareales contaminadas por derrames de petróleo pesado utilizando consorcio lacasa-bacteria

inmovilizada [En línea]Tecnología Bioambiental– volumen 309, agosto 2020 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123305>

Fu et al. (2021) Análisis de la estructura de la comunidad y el papel del sistema de bacterias inmovilizadas en el proceso de biorremediación de la contaminación del agua de mar por diesel [En línea]Ciencia del Medio Ambiente Total– tomo 799, 23 de diciembre [Fecha de consulta: 20 de Junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149439>

García et al. 2019. Biorremediación de hidrocarburos en aguas residuales con cultivo mixto de microorganismos: Caso Lubricadora Puyango. Foco UTE, vol. 10, núm. 1, pág. 185-196, 2019. Universidad Tecnológica Equinoccial. Disponible en:<https://doi.org/10.29019/focusute.v10n1.312>

Gogoi, B., Das, I., Gogoi, M. et al. Biorremediación de suelo y agua contaminados con aceite de motor por una nueva cepa autóctona de *Pseudomonas otitidis* DU13 y caracterización de su biosurfactante. 3 Biotecnología 12, 68 (2022). [Fecha de consulta: 26 de julio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03133-2>

Gholami et al. (2018) Remediación de naftaleno de aguas subterráneas mediante nanopartículas de peróxido de calcio (CaO₂) en barrera reactiva permeable (PRB) [En línea]quimiosfera– volumen 212, diciembre 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.056>

Goswami L, Manikandan NA, Dolman B, Pakshirajan K, Pugazhenth G, Tratamiento biológico de aguas residuales que contienen una mezcla de hidrocarburos aromáticos policíclicos utilizando la bacteria oleaginosa *Rhodococcus opacus*, Journal of Cleaner Production (2018), doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06 .070.

Gutiérrez y García (2019). Caracterización dependiente del cultivo de bacterias de sedimentos de manglar de la Ciénaga de la Virgen (Cartagena de Indias) con potencial para biorremediación y tratamiento de aguas residuales. Universidad Tecnológica de Bolívar. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0074791.pdf>

- Hamidi, Y., Ataei, SA y Sarrafi, A. (2021), Biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo en lodos aceitosos: un estudio comparativo de bioestimulación, bioaumentación y combinación de métodos. [En línea] J Chem Technol Biotechnol, 96: 1302-1307. [Fecha de consulta: 26 de julio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1002/jctb.6646>
- Imron, MF y Titah, HS (2018). Optimización de la biodegradación de diesel por *Vibrio alginolyticus* utilizando el diseño de Box-Behnken. Investigación en Ingeniería Ambiental. Sociedad Coreana de Ingeniería Ambiental. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.015>
- Kachienga et al. (2018) Perfil metagenómico para evaluar la diversidad microbiana y la adaptación microbiana a la degradación de hidrocarburos en dos acuíferos de agua contaminados con petróleo de Sudáfrica [En línea] Informes científicos– volumen 8, 18 de mayo [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1038/s41598-018-25961-0>
- Khalid et al. (2021) Biorremediación de agua marina contaminada con diesel por bacterias: revisión y análisis bibliométrico [en línea] Journal of Marine Science and Engineering, volumen 9, 21 de enero [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/jmse9020155>
- Lawniczak, Lukasz et al. Degradación microbiana de hidrocarburos: principios básicos para la biorremediación: una revisión. [En línea] Moléculas 2020, 25(4), 856; [Fecha de consulta: 26 de julio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/molecules25040856>
- Lee, et al. (2018) Biorremediación de petróleo crudo asistida por biosurfactantes por bacterias autóctonas aisladas del sedimento de la playa de Taeon [En línea] Contaminación ambiental– volumen 241, octubre de 2018 [Fecha de acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.070>
- Malla et al. (2018) Comprensión y diseño de estrategias para la remediación de contaminantes ambientales mediada por microbios utilizando enfoques ómicos [En línea] Microbiotecnología, 29 de junio [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01132>
- Mateo y Abraham y otros (2020). Biorremediación de gasóleo en ambientes marinos [En línea] Oil & Gas Science and Technology – volumen 75, julio de

- 2020 [Fecha de acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.2516/ogst/2020053>
- Mao, Ning et al. Degradación de crudo en agua de producción de yacimientos por microbios inmovilizados y mejora de la recuperación de petróleo tras su reinyección [En línea]Biodeterioro y Biodegradación Internacional Volumen 173, septiembre 2022, 105452 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2022.105452>
- Mazumder et al (2020) Análisis cinético y optimización paramétrica para bioaumentación de aceite de aguas residuales aceitosas con cepa hidrocarbonoclástica *Rhodococcus pyridinivorans* F5 [En línea]Tecnología e innovación ambiental– volumen 17, febrero 2020 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100630>
- Mehetre et al. (2019) Biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos mixtos por cultivos puros y mixtos de bacterias termófilas y termotolerantes productoras de biosurfactantes [En línea]Ciencia del Medio Ambiente Total– tomo 679, 10 de agosto [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.376>
- Mehrizi et al. (2019) Estudio de mejora del rendimiento de biorremediación para la degradación de hidrocarburos de petróleo en lodos aceitosos mediante una estrategia de pretratamiento químico [En línea] Journal of Material Cycles and Waste Management, 12 de febrero [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en :<https://doi.org/10.1007/s10163-019-00848-y>
- Mohanakrishna, G., Al-Raoush, RI y Abu-Reesh, IM (2018). Metabolismo bioelectroquímico inducido para la biorremediación de aguas residuales de refinerías de petróleo: Optimización del potencial aplicado y flujo de aguas residuales. Tecnología de biorecursos, 260, 227–232. doi:10.1016/j.biortech.2018.03.12
- Mojiri et al. (2019) Revisión integral de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en fuentes de agua, sus efectos y tratamientos [En línea]Ciencia del Medio Ambiente Total–volumen 696, 23 de diciembre [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133971>
- Molaei, Saeed et al. Biodegradación de hidrocarburos de petróleo utilizando un reactor anóxico de biofilm de lecho empacado con bacterias productoras de

- biosurfactantes in situ [En línea]Diario de materiales peligrosos Volumen 421, 5 de enero de 2022, 126699 [Fecha de consulta: 20 de julio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126699>
- Mosmer et al. (2019) Biorremediación de aguas subterráneas contaminadas con benceno mediante nanopartículas de peróxido de calcio (CaO₂): estudios de flujo continuo y biodiversidad [En línea]Diario de materiales peligrosos– volumen 371, 23 de junio [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.071>
- Muangchinda et al. (2018) El análisis metagenómico 16S revela la adaptabilidad de un consorcio degradante mixto de PAH aislado de agua de mar contaminada con petróleo crudo a condiciones ambientales cambiantes [En línea]Diario de materiales peligrosos– volumen 375, septiembre 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.062>
- Nzila, Alexis. Estado Actual de la Degradación de Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos de Petróleo por Microbios Termófilos y Perspectivas Futuras [En línea] Int. J. Medio Ambiente. Res. Salud Pública 2018, 15(12), 2782; [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/ijerph15122782>
- hidrocarburos de petróleo [en línea]Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación volumen– volumen 27, 12 de agosto [Fecha de acceso: 20 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06124-8>
- Hola, Óscar. Bioestimulación de microorganismos como estrategia sostenible de pretratamiento de aguas residuales industriales del procesamiento de aceite de palma: un estudio de caso en Bogotá DC Universidad Francisco José De Caldas - 2018
- OSSAI, Inocente et al. (2020) Remediación de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos de petróleo: Una revisión [En línea]Tecnología e innovación ambiental– volumen 17, febrero de 2020 [Fecha de consulta: 26 de diciembre de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- Ojewumi et al. (2018) Biorremediación: datos sobre los efectos de Pseudomonas aeruginosa en la biorremediación de suelos contaminados con petróleo crudo [en línea]Datos en Breve- volumen 19, agosto de 2018 [Fecha de

- acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.04.102>
- Pande et al. (2020) Biorremediación: un enfoque emergente y eficaz para la restauración del medio ambiente [en línea]Sostenibilidad del medio ambiente– volumen 3, febrero de 2020 [Fecha de acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s42398-020-00099-w>
- Pardo & Pérez (2019). Insolubilización biológica de cromo en aguas residuales de la industria del curtido. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito. Disponible en:<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17551>
- Partovinia & Rasekh (2018) Revisión de los sistemas de células microbianas inmovilizadas para la biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos de petróleo [En línea] Critical Reviews in Environmental Science and Technology - volumen 48, marzo de 2018 [Fecha de acceso: 26 de junio de 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1439652>
- Patel & Patel (2020) Mejora del proceso de biorremediación de aguas residuales de petróleo utilizando biosurfactantes que producen *Stenotrophomonas* sp. S1VKR-26 y evaluación de fitotoxicidad [En línea]Tecnología Bioambiental– volumen 315, 20 de noviembre [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123861>
- Perdigão et al. (2020) Optimización de un consorcio bacteriano autóctono obtenido a partir de sedimentos de playa para la biorremediación de hidrocarburos de petróleo [En línea] agua – volumen 13, diciembre 2020 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/w13010066>
- Perdigão et al. (2021) Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Seawater: Prospects of Using Lyophilized Native Hydrocarbon-Degrading Bacteria [En línea] Microorganisms – volumen 9, 21 de octubre [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/microorganismos9112285>
- Perini et al (2020) Oxidación enzimática in situ mejorada con surfactantes: una estrategia de biorremediación para la oxidación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en suelos y acuíferos contaminados [En línea]Revista de

ingeniería química ambiental– volumen 8, agosto 2020 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104013>

Poy et al. (2018) Tratamiento a gran escala del total de aguas subterráneas contaminadas con hidrocarburos de petróleo mediante bioaumentación [En línea]Diario de Gestión Ambiental– volumen 214, 18 de mayo [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.079>

Ramadass, K., Megharaj, M., Venkateswarlu, K. y Naidu, R. (2018). Biodisponibilidad de hidrocarburos meteorizados en suelos contaminados con aceite de motor: impacto de la bioaumentación mediada por *Pseudomonas* spp. sobre biorremediación. [En línea] Science of The Total Environment, 636, 968–974. [Fecha de consulta: 26 de julio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.08.044>

Rehman, K., Imran, A., Amin, I. y Afzal, M. (2018). La inoculación con bacterias en humedales flotantes de tratamiento modula positivamente la fitorremediación de aguas residuales de campos petroleros. Revista de materiales peligrosos, 349, 242–251. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.02.013

Roy et al. (2018) Bioestimulación y bioaumento de la biorremediación acelerada de la comunidad microbiana nativa de lodos de refinería de petróleo [En línea]Tecnología Bioambiental– volumen 253, abril 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.004>


Sayed et al. (2021) Bioremediation of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) by Bioaugmentation and Biostimulation in Water with Floating Oil Spill Containment Booms as Bioreactor Basin [En línea] International Journal of Environmental Research and Public Health – volumen 18, 5 de febrero [Fecha de consulta: 20 de Junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3390/ijerph18052226>

Suganthi et al. (2018) Biodegradación mejorada de hidrocarburos en lodos de fondo de tanques de petróleo y caracterización de biocatalizadores y biosurfactantes [En línea]Diario de Gestión Ambiental– volumen 220, 15 de

- agosto [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.120>
- Tian et al. (2018) Aislamiento, detección y características de degradación del petróleo crudo de bacterias degradadoras de hidrocarburos para el tratamiento de aguas residuales aceitosas [En línea] *Water And Science Technology* – volumen 78, diciembre de 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.2166/wst.2019.025>
- Tiralerdpanichet al (2018) Potencial consorcio microbiano involucrado en la biodegradación de diesel, hexadecano y fenantreno en sedimentos de manglar explorado por análisis metagenómico [En línea] *Boletín de Contaminación Marina*– volumen 133, agosto 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.015>
- Villela et al. (2019) Biorremediación microbiana de agua de mar contaminada con petróleo: un estudio de los depósitos de patentes y la caracterización de los principales géneros aplicados [En línea] *Ciencia del Medio Ambiente Total*– tomo 666, 01 de mayo [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.153>
- Xu et al. (2018) Petroleum Hydrocarbon-Degrading Bacteria for the Remediation of Oil Pollution Under Aerobic Conditions: A Perspective Analysis [En línea] *Microbiotechnology*, 02 de diciembre [Fecha de consulta: 20 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885>
- Zenati et al. (2018) Un surfactante microbiano no tóxico de *Marinobacter hydrochoclasticus* SdK644 para mejorar la solubilización del petróleo crudo [En línea] *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental*– volumen 154, junio 2018 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.032>
- Zheng et al. (2020). Efecto de la lignina y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Staphylococcus pasteurii*) en la co-remediación de microbios y plantas: un estudio de invernadero agrícola co-contaminado con PAHs-DDTs [En línea] *quimiosfera*– volumen 256, octubre 2020 [Fecha de consulta: 26 de junio del 2022] Disponible en:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127079>

ANEXOS

Anexo 1: Instrumento de recolección de datos

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	--------------------------------

TÍTULO:	
AUTOR (ES):	AÑO DE PUBLICACION:
COMPETIDOR:	PAGINAS EMPLEADOS:
PALABRAS LLAVES:	
BIORREMEDIACIÓN:	
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES :	
HIDROCARBUROS:	
CONCLUSIÓN:	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Biorremediación de Aguas Residuales Industriales contaminadas con hidrocarburos", cuyos autores son GRIMALDO ILLANES ALDO ALVARO, ENRIQUEZ CONDORI FLOR DE MARIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, 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, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 28-11- 2022 10:48:50

Código documento Trilce: TRI - 0454926