



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamientos biocatalíticos para la reducción de contaminación del
suelo por aceite proveniente del sector automotor: Revisión
sistemática, 2021**

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

AUTORES:

Cuno Rodriguez, Guido (ORCID: 0000-0002-1963-3460)

Tapia Jimenez, Olga (ORCID: 0000-0002-6622-159X)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi prometida Medalid que me ayudo a emprender esta investigación para obtener el título de Ingeniero Ambiental.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermano Jhonni QEPDDG y a mi prometida Medalid por el apoyo valioso e incondicional.

ÍNDICE DEL CONTENIDOS

CARATULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	19
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	19
3.3. Escenario de estudio	21
3.4. Participantes.....	21
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.6. Procedimiento	22
3.7. Rigor científico	22
3.8. Método de análisis de información	23
3.9. Aspectos éticos.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
V. CONCLUSIONES	35

VI. RECOMENDACIONES.....	37
REFERENCIAS	39
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Propiedades de los aceites parafínicos y nafténicos

Tabla N°2: Fuentes de catalasa para diversos procesos de biorremediación.

Tabla N°3: Tabla de antecedentes

Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística

Tabla N° 5: Metodología empleada

Tabla N° 6: Comparación de biocatalizadores

Tabla N° 7: Residuos con mayor porcentaje de remediación

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Cromatogramas GC / FID para cuatro aceites base utilizados en la fabricación de aceites lubricantes.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Diagrama de la remediación biocatalítica

Gráfico N°2: Grupos de biocatalizadores basados en sus actividades relacionadas con la degradación de contaminantes

Gráfico N°3: Procedimiento

Gráfico N°4: Tipos de biocatalizadores

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

MDD= Densidad seca máxima

OMC= Contenido de humedad óptimo

SM= Arena limosa

SP= Arena mal graduada

TPH= Hidrocarburos totales de petróleo

BPCL= Bijwasan de Bharat Petroleum Corporation Limited

GC-FIT= Cromatografía de gases por detector de ionización de llama

GC/MS= Espectrometría de Masas

FT-IR= Espectrofotómetro de infrarrojo

SEM= Microscopio electrónico de barrido

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la reducción el aceite proveniente del sector automotor en suelos contaminados aplicando tratamientos biocatalíticos. para lo cual se realizó la búsqueda y recolección de 90 artículos de investigación y empleando los criterios de selección fueron excluidos e incluidos quedando 20 artículo, enfocados únicamente en la búsqueda de caracterización del suelo contaminado con aceite proveniente del sector automotor, los biocatalizadores más empleados para la reducción de la contaminación en el suelo y los residuos para la generación de estas enzimas.

Obteniendo que, el método de caracterización más empleado es de acuerdo a las características químicas, siendo el análisis por cromatografía de gases por detector de ionización de llama (GC-FIT) y acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS) los más empleado por los investigadores; siendo aplicado en un 87%. Los biocatalizadores más empleados son las cepas bacterianas, siendo empleados en un 92% y entre las cepas bacterianas el más utilizado para la producción de catalizadores se encuentra los *Pseudomonas* y *Rhodococcus pyridinivorans*. Por último, los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación son los catalizadores con cepas bacterianas; presentando porcentajes de remoción en un 70 a 80% y siendo los más usados en comparación con los residuos de materia prima. Profundizar en este tipo de investigación, ya que, las fuentes de investigación fueron escasas y rebuscadas, también buscar nuevos avances específicos en técnicas de ADN recombinante susceptibles de desarrollo futuro de biocatalizadores y por último realizar investigaciones en un ámbito geográfico más amplio utilizando estudios previos a nivel nacional e internacional.

Palabras clave: Biocatalítica, suelos, petróleo, automoción, vehículos, tratamientos, catálisis, residuos.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the reduction of oil from the automotive sector in contaminated soils by applying biocatalytic treatments. To this end, 90 research articles were searched and collected, and using the selection criteria, 20 articles were excluded and included, focusing solely on the search for the characterisation of soil contaminated with oil from the automotive sector, the biocatalysts most used for the reduction of contamination in the soil and the residues for the generation of these enzymes.

The most used characterisation method is according to chemical characteristics, with gas chromatography analysis by flame ionisation detector (GC-FIT) and coupled to mass spectrometry (GC/MS) being the most used by the researchers, with 87% being applied. The most used biocatalysts are bacterial strains, being used in 92% and among the bacterial strains the most used for the production of catalysts are *Pseudomonas* and *Rhodococcus pyridinivorans*. Finally, the wastes that generate enzymes with a higher percentage of remediation are the catalysts with bacterial strains; presenting removal percentages of 70 to 80% and being the most used in comparison with the raw material wastes. To go deeper into this type of research, since the sources of research were scarce and scanty, also to look for new specific advances in recombinant DNA techniques susceptible to future development of biocatalysts and finally to carry out research in a wider geographical area using previous studies at a national and international level.

Keywords: Biocatalytics, soil, oil, automotive, vehicle, treatments, catalysis, waste.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo y equilibrado que está estrechamente relacionado con la supervivencia humana (Floris Barbaran et al., 2017, p.1). Hoy en día, la contaminación del suelo ha provocado graves problemas medioambientales, que suponen una amenaza para los seres humanos y los ecosistemas (Bulai Indo S. et al., 2021, p.1).

La contaminación del suelo por aceite lubricante usado de automóviles es una de las preocupaciones crecientes en muchos países, especialmente en los continentes asiático y africano (Al zubaidi I. y Al Tamimi A., 2018, p.2).

La contaminación del suelo con aceite lubricante usado (ULO) o aceite de motor gastado es un problema ambiental emergente, especialmente en las principales ciudades del mundo. ULO, generado durante el servicio de automóviles y motores de generadores en estaciones de servicio (Gamage Sumudu Sriyanthi W. et al., 2021, p.2). Este aceite proveniente del sector automotor contiene un cóctel de químicos orgánicos e inorgánicos altamente tóxicos que incluyen bencenos, fenoles, hidrocarburos poliaromáticos (PAH) y metales como V, Pb, Al, Ni y Fe (Tang K. y Angela J., 2019, p.1).

Por lo tanto, ULO es considerado como uno de los contaminantes ambientales más peligrosos, presenta un gran riesgo ecológico para el medio ambiente y tiene efectos negativos para la salud de la biota y los seres humanos que deben abordarse (Ramadass Kvitha et al., 2016, p.2).

Debido a ello, se han empleado diferentes enfoques para remediar suelos contaminados, incluidos métodos físicos, químicos y biológicos (Megharaj Mallavarapu y Naidu Ravi, 2017, p.1). Se han empleado métodos físicos y químicos, incluida la excavación del suelo, el vapor del suelo, la incineración, la desorción térmica, el lavado / lavado del suelo, la encapsulación, la oxidación superficial del fluido, la solidificación / estabilización, la volatilización, etc. (Kuppusamy Saranya et al., 2016, p.1).

Pero, estos métodos tienen varios inconvenientes, ya que son costosos debido al alto consumo de energía, son perjudiciales para el medio ambiente y la poca aceptación por parte del público (Gamage Sumudu Sriyanthi W. et al., 2020, p.3).

En tal sentido, la biorremediación está ganando terreno a nivel mundial debido a su naturaleza rentable y respetuosa con el medio ambiente; por ello comprender los mecanismos de biodegradación tiene una gran importancia ecológica (Mishra Bishwambhar et al., 2020, p.1). Se ha informado que la aplicación de enzimas microbianas es un enfoque sostenible para mitigar la contaminación (Pandey Ashutosh K. et al., 2021, p.1).

La atención ahora también se centra en el desarrollo de nuevas estrategias de ingeniería de proteínas y sistemas de diseño de biorreactores para mejorar aún más la biocatálisis general y el tratamiento de desechos (Sang Yimin et al., 2021, p1). Especialmente la biocatálisis recibe una atención considerable como enfoque sostenible para la recuperación de recursos a partir de desechos junto con la eliminación de contaminantes (Villa Aroca R., 2021, p.1).

Debido a ello, las tecnologías basadas en la biocatálisis se están convirtiendo en un campo floreciente de investigación y aplicaciones industriales, ya que la necesidad de un uso intensivo de los recursos naturales con una contaminación reducida es ahora una tendencia mundial (Sheldon Roger A. y Woodley John M., 2018, p.1). Las membranas biocatalíticas (BCM), en las que las enzimas se inmovilizan en las membranas, combinan las ventajas de la separación por membrana y la degradación enzimática (Barbuiya Najmul et al., 2021, p.1).

Debido a la realidad problemática planteada surgió el siguiente problema general: ¿Cómo se reduce el aceite proveniente del sector automotor en suelos contaminados aplicando tratamientos biocatalíticos?

Dando ello lugar a los siguientes problemas específicos: ¿Cómo se caracteriza el suelo contaminado con aceite proveniente del sector automotor empleando reducción por tratamiento biocatalítico?, ¿Cuáles son los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor? Y ¿Cuáles son los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación de suelos contaminados con aceite proveniente del sector automotor?

El objetivo general busca: Evaluar la reducción el aceite proveniente del sector automotor en suelos contaminados aplicando tratamientos biocatalíticos.

De igual manera se desglosa los siguientes objetivos específicos: Determinar la caracterización del suelo contaminado con aceite proveniente del sector automotor empleando reducción por tratamiento biocatalítico, Comparar los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor y Determinar los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación de suelos contaminados con aceite proveniente del sector automotor.

El presente estudio de investigación se justifica en bases teóricas; mediante la recolección y comparación de diversos estudios para incentivar el uso de desechos orgánicos los cuales son las principales fuentes de enzimas; el cual, se emplea para el tratamiento biocatalítico en la reducción de suelos contaminados con aceite proveniente de los sectores automotores; reduciendo o minimizando los daños del suelo.

II. MARCO TEÓRICO

El aceite lubricante es un nombre genérico para una amplia gama de productos que se caracterizan por cientos de químicos básicos y aditivos (Lurchenko Valentina et al., 2017, p.2). Los aceites lubricantes más comunes son las fracciones de destilados de petróleo crudo, aunque se utilizan también aceites lubricantes tanto sintéticos como vegetales (Takacs Gabor, 2017, p.9).

Los aceites lubricantes del sector automotor están compuestos de 80 a 90% de destilado de hidrocarburos de petróleo con 10 a 20% de aditivos para impartir propiedades específicas al aceite (Nwinyi Obinna C. y Olawore Y., 2017, p.1). El destilado de hidrocarburos de petróleo generalmente consiste en compuestos parafínicos o nafténicos, cuyas propiedades se enumeran en la Tabla 1.

Aceite parafínico	Propiedad	Aceite nafténico
Cadenas de carbono largas	Estructura química	Múltiples anillos de carbono
Elevado	Resistencia a la oxidación ^a	Medio
Elevado	Punto de fluidez ^b	Bajo
Elevado	Viscosidad ^c	Bajo
Bajo	Volatilidad ^d	Elevado
Bajo	Gravedad específica ^e	Elevado

Tabla N°1: Propiedades de los aceites parafínicos y nafténicos

Fuente: Hutchings I. y Shipway P., 2017, p.84

De acuerdo a la tabla 1, las iniciales

^a = Medida de estabilidad / degradación química.

^b = Temperatura más baja a la que se vierte el aceite.

^c = Resistencia al flujo / cizallamiento.

^d = Propiedad de transición al estado de vapor.

^{mi} = Densidad relacionada con el agua.

Así también, el aceite lubricante no utilizado cambia bajo las condiciones de uso de calor y fricción y, si corresponde, exposición a los gases de escape de los motores de combustión interna (Kulhanek C. et al., 2019, p.463). El aceite lubricante usado o el aceite de cárter usado generalmente tienen concentraciones más altas de hidrocarburos aromáticos polinucleares que los aceites no usados (Agmed F. y Fakhruddin A., 2018, p.1).

Los aceites lubricantes se producen a partir del acabado (desasfaltado, hidrotratamiento, extracción con disolventes y desparafinado) de gasóleos de vacío pesados (Yang Chun et al., 2016, p.21). Las composiciones químicas de los aceites base son complejas, debido en parte al afromador predominio de hidrocarburos y compuestos polares (Uhler Allen D. et al., 2016, p.33). Además. algunos aceites base contienen n -alcanos y biomarcadores, el último de los cuales a veces puede aparecer como los únicos picos resueltos en algunos aceites lubricantes (Wang Zhendi et al., 2016, p.1).

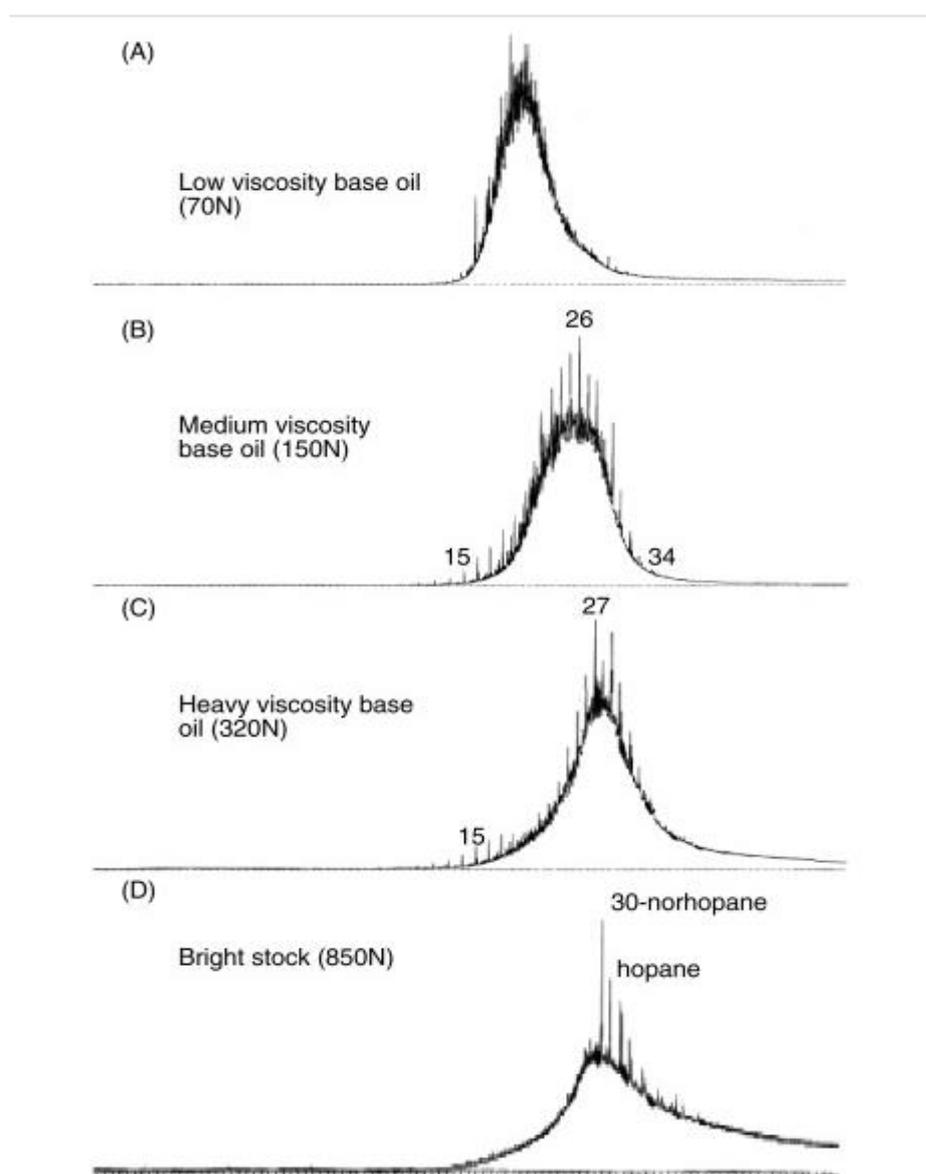


Figura N°1: Cromatogramas GC / FID para cuatro aceites base utilizados en la fabricación de aceites lubricantes.

Fuente: Stout Scott A. y Wang Zhendi, 2016, p.96

Como se puede observar en la figura 1, se muestran 4 gráficas de aceites; donde la imagen (A) viene a ser el Aceite base de baja viscosidad (70N), (B) aceite base de viscosidad media (150N), (C) aceite base de viscosidad pesada (320N) y (D) pasta brillante (850N).

De acuerdo a ello, es necesario indicar que las distribuciones de biomarcadores en aceites lubricantes reflejarán en gran medida los heredados de la materia prima del petróleo crudo y, por lo tanto, proporcionará un alto grado de especificidad en la caracterización de los aceites lubricantes derramados (Salimnezhad A. et al., 2021, p.2).

Además, es correcto señalar que los hidrocarburos de petróleo se utilizan ampliamente en todo el mundo como combustible (Laustsen, 2016, p.3). Pero debido a su gran demanda como fuente de energía, la contaminación ocurre con bastante frecuencia como resultado de la exploración, producción, mantenimiento, transporte, almacenamiento y liberación accidental, lo que genera importantes impactos ecológicos (Olatunde Kofoworola A., 2021, p.2).

Por otro lado, la contaminación ambiental por hidrocarburos de petróleo es una de las preocupaciones más importantes del mundo reciente. Tiene consecuencias desastrosas y catastróficas, no solo en el ser humano sino también sobre otros componentes bióticos del ecosistema (Lassalle Guillaume et al., 019, p.2).

La contaminación del suelo, como uno de los casos más críticos de contaminación, no solo cambia las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, sino que también afecta las propiedades geotécnicas del suelo (Shi Rongguang et al., 2021, p.3). Además, la propagación de la contaminación en el suelo de cimentación de las estructuras puede provocar efectos irreparables (Yu Haiyan et al., 2019, p.2). Durante muchos años, los cambios en las propiedades del suelo resultantes de la contaminación han sido un tema de interés para muchos investigadores (Tedoldi Damien et al., 2021, p.3).

Teniendo en cuenta la importancia del petróleo y sus derivados, así como las actividades generalizadas de las industrias relacionadas con el petróleo, estos están siendo considerados como uno de los contaminantes más comunes (Broekema Wout, 2016, p.1).

Los derrames de petróleo en la mayoría de los casos son accidentales; durante el transporte tanto por tierra como por mar; como fugas de tanques de almacenamiento; o durante los procesos de perforación petrolera (Spagnoli Giovanni et al., 2018, p.2). Cuando ocurre un derrame o una fuga de petróleo, el suelo puede contaminarse con la fuga; encontrándose que la saturación del suelo por fluidos caracterizados por propiedades físico-químicas que difieren del agua tiene un efecto de deterioro en sus parámetros mecánicos y de filtración, plasticidad, hinchamiento y otras propiedades (Mneina A. et al., 2018, p.1).

La filtración del taller es también otra fuente de contaminación por hidrocarburos de petróleo; la presencia de diversos tipos de vehículos automotores y de maquinaria ha provocado un aumento en el uso de aceite de moto (Mulder M. et al., 2017, p.3). Los derrames de aceites de motor usados, como el diésel o los combustibles para aviones, contaminan el medio ambiente natural (Spierings E. y Mulder M., 2017, p.2).

Se han realizado estudios de la resistencia al corte de la arena de cuarzo contaminada con aceite de motor mediante pruebas triaxiales y encontraron una disminución significativa en el ángulo de fricción interna (ϕ) y un aumento sustancial en la deformación volumétrica de las arenas densas y sueltas (Safehian Hossein et al., 2018, p.4). Lo que también afirman que se presenta una ligera disminución en la resistencia y permeabilidad y un aumento en la compresibilidad de la arena debido a la contaminación por petróleo y sus derivados (Hgasemzadeh H. y Tabaiyan M., 2017, p.1).

Además de los peligros ambientales, los contaminantes del petróleo cambian las características geotécnicas de los suelos (Abousnina Rajab et al., 2018, p.2). Como es el caso de la contaminación por aceite del sector automotor; que disminuyó la resistencia, la permeabilidad, la densidad seca máxima (MDD), el contenido de humedad óptimo (OMC) y los límites de Atterberg de los suelos CL (arcilla de baja plasticidad, arcilla magra), SM (arena limosa), SP (arena mal graduada) (Nasehi Sayed Alireza et al., 2016, p.5).

Debido a ello, las tecnologías basadas en la biocatálisis ambiental se están convirtiendo en un campo floreciente de investigación y aplicaciones industriales, ya que la necesidad de un uso intensivo de los recursos naturales con una

contaminación reducida es ahora una tendencia mundial (Sheldon Roger A. y Woodley John M., 2018, p.1).

La biocatálisis moderna está desarrollando herramientas nuevas y precisas para mejorar una amplia gama de procesos de producción, que reducen el consumo de energía y materias primas y generan menos desechos y subproductos tóxicos (Hussain Akhtar et al., 2017, p.2). La biocatálisis también está logrando nuevos avances en campos ambientales, desde la biorremediación enzimática hasta la síntesis de energías renovables y limpias y la limpieza bioquímica de combustibles fósiles 'sucios' (Mohammadi M. y Harjunkoski L., 2020, p.1).

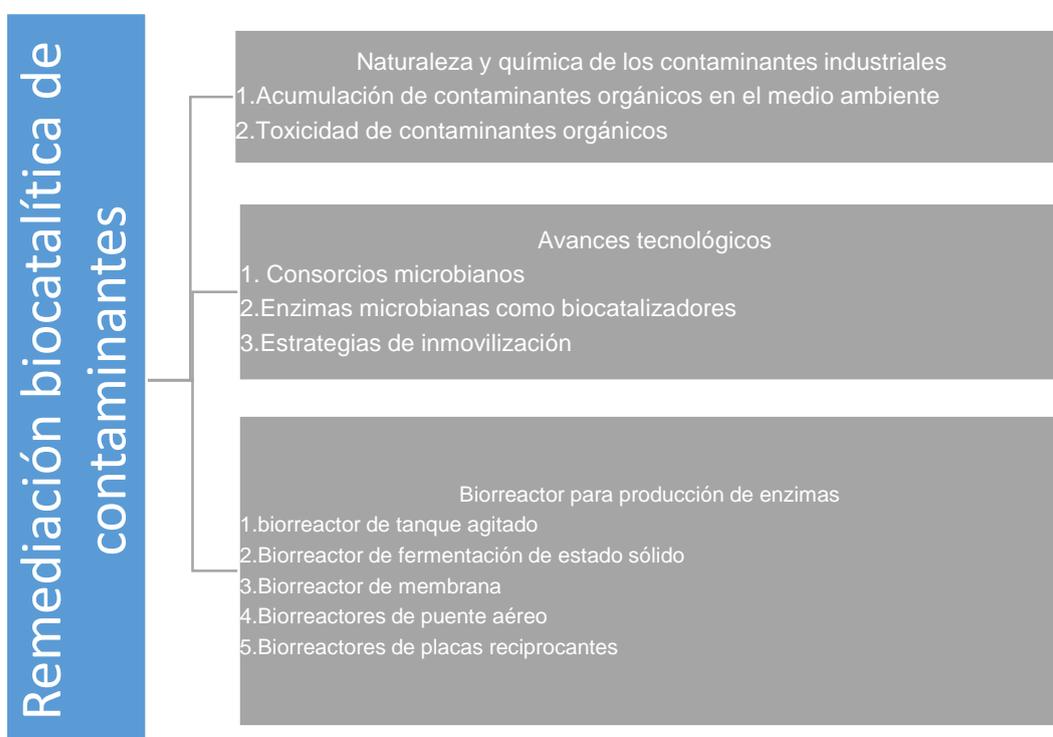


Gráfico N°1: Diagrama de la remediación biocatalítica

Fuente: Elaboración propia

La biocatálisis se define como el uso de biomoléculas, especialmente enzimas o células completas, como catalizadores para la síntesis de nuevos materiales (Zdarta Jakub et al., 2018, p.1). Durante las últimas décadas, los avances significativos en la tecnología de las enzimas y nuestra comprensión de las relaciones estructura-función han impulsado las aplicaciones biocatalíticas (Zofair Syeda Fauzia F. et al., 2020, p.1).

Las reacciones microbianas juegan un papel clave en la biocatálisis y la biodegradación. La secuenciación reciente del genoma de bacterias ambientalmente relevantes ha revelado un potencial metabólico previamente insospechado que podría explotarse con fines útiles (Lange L. y Meyer A., 2017, p.1). Por ejemplo, las oxigenasas, catalasas y otras enzimas biodegradantes son catalizadores benignos que pueden usarse para la producción de compuestos útiles industrialmente (Dev Atul S. et al., 2018, p.1).

Junto con sus capacidades biodegradables, la quimiotaxis bacteriana hacia contaminantes podría contribuir a la capacidad de las bacterias para competir con otros organismos en el medio ambiente y ser agentes eficientes para la biorremediación (Marulanda V. et al., 2019, p.14).

Pero, aunque la biocatálisis es un enfoque sostenible en la eliminación de contaminantes, el proceso para producir biocatalizador requiere un alto costo y algunos de ellos no son económicos ni sostenibles (Zdarta Jakub et al., 2018, p.2). Además de eso, son inestables y la mayoría de ellos no pueden soportar varias condiciones ambientales / experimentales severas (ácido fuerte, alta salinidad, alta temperatura, pH extremo) (Zhang Lei et al., 2020, p.2).

Por ello, la mejor forma de encontrar biocatalizadores estables es buscar microorganismos de ecosistemas extremos capaces de sintetizar catalizadores estables (Zhang Hao et al., 2016, p.1).

Además, la biorremediación basada en enzimas completas y parcialmente puras puede no depender de la proliferación de un solo microorganismo en un ecosistema contaminado, sino de la acción catalítica de la enzima microbiana producida naturalmente (Wang Tuyang et al., 2020, p.3); y la biorremediación se puede dar hasta en suelos con nutrientes escasos; simplemente empleando enzimas refinadas (Shin Dong-chul et al., 2019, p.1).

Los diversos grupos de biocatalizadores basados en sus actividades relacionadas con la degradación de contaminantes se han ilustrado en el gráfico 2.

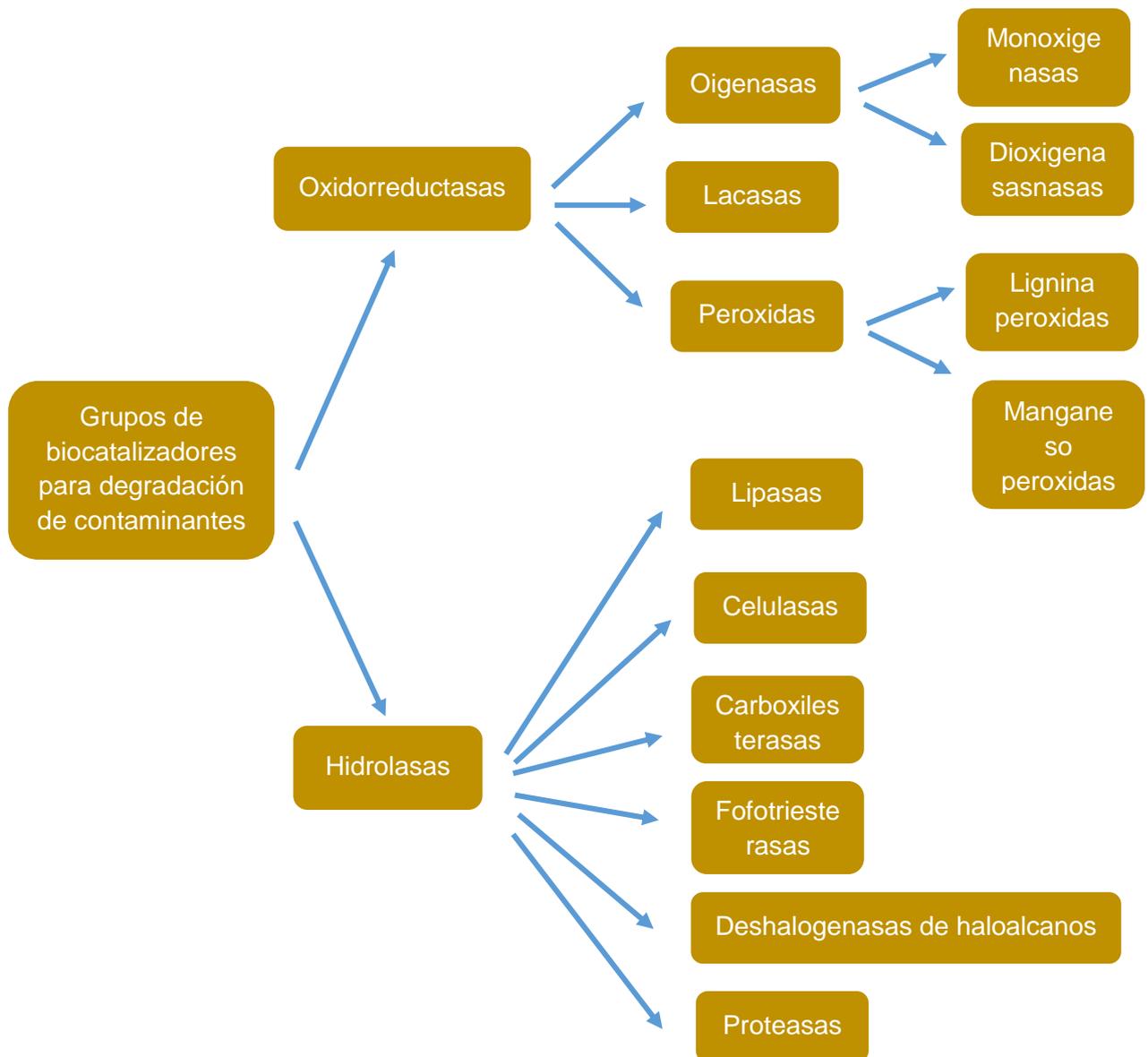


Gráfico N°2: Grupos de biocatalizadores basados en sus actividades relacionadas con la degradación de contaminantes

Fuente: Modificado de Mishra B. et al., 2020, p.54

De manera análoga se detalla las fuentes de catalasa para diversos procesos de biorremediación como tratamientos biocatalíticos (Ver tabla N°2).

Cepa bacteriana	Actividad catalasa	Biorremediación
Especies de <i>Arthrobacter</i>	Catalasa positiva	Indicador de hidrocarburo degradación en el suelo biorremediación
Cepa de <i>Rhodococcus</i>	Catalasa positiva	Remediación del petróleo crudo contaminado
<i>Bacillus SF</i>	Estable termoalcalino catalasa	Tratamiento y reciclaje de textiles de efluentes de blanqueo
<i>Bacillus SF</i>	Catalasa inmovilizada	Tratamiento y reciclaje de textiles

	peroxidasa	efluentes de blanqueo
<i>Escherichia coli</i>	Catalasa aeróbica	Biorremediación aeróbica
y	productor	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>,	microorganismos	

Tabla N°2: Fuentes de catalasa para diversos procesos de biorremediación

Fuente: Kaushal J. et al., 2018, p.12

Los biocatalizadores ayudan a la rápida degradación de varios contaminantes tóxicos; es por ello, que la biocatálisis recibe una atención considerable como enfoque sostenible para la recuperación de recursos a partir de desechos junto con la eliminación de contaminantes (Mishra Bishwambhar et al., 2020, p.1).

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se presenta 15 de los 50 antecedentes para detallar la aplicación de la remediación biocatalítica en suelos contaminados con aceite del sector automotor (Ver Tabla N°3).

Tabla N°3: Tabla de antecedentes

N°	Investigación	Objetivo	Resultado	Autor
1	Remediación biocatalítica de suelos contaminados con aceite de motor usado mediante enzimas de basura de frutas	utilizar biocatalizadores, enzimas derivadas de desechos orgánicos compuestos principalmente de basura de frutas para la remediación de suelos contaminados con aceite de motor usado.	Las soluciones de extracto de enzimas de basura de frutas tanto de naranja como de sandía tienen el potencial de eliminar el aceite del suelo y, por lo tanto, podrían aplicarse para la remediación biocatalítica de suelos contaminados con aceite.	Bulai Indo Sabo et al., 2021
2	Estudios sobre recuperación de suelos contaminados con petróleo crudo por biosurfactantes productores de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (DKB1)	Evaluar la respuesta de la comunidad microbiana autóctona y los parámetros biológicos (respiración, actividades deshidrogenasa y catalasa, recuento total de microorganismos) a la contaminación con combustibles de automóviles y aceites de motor. La capa superficial (0-20 cm) de <i>Mollic Gleysolse</i> utilizó para el experimento.	Las especies pertenecientes a los géneros <i>Micrococcus</i> y <i>Rhodococcus</i> se señalaron como las principales bacterias autóctonas presentes en el suelo contaminado con aceite de automóvil nuevo, mientras que las especies de los géneros <i>Bacillus sp.</i> y <i>Paenibacillus sp.</i> se identificaron en la combinación tratada con aceite usado.	Deivakumari M. et al., 2020

3	Remediación biocatalítica de contaminantes industriales para la sostenibilidad ambiental: necesidades y oportunidades de investigación	Remediación biocatalítica empleando inmovilización de enzimas	Los biocatalizadores juegan un papel vital en la eliminación de contaminantes de los flujos de desechos.	Pandey Ashutosh Kumar et al., 2021
4	Producción de biodiésel mediante transesterificación enzimática de aceite de sardina residual y evaluación del rendimiento de su motor.	La enzima lipasa inmovilizada sobre carbón activado se utilizó como catalizador para la reacción de transesterificación. Variables de proceso a saber. Se optimizaron la temperatura de reacción, el contenido de agua y la relación molar de aceite a metanol.	Reutilización de lipasa inmovilizada se estudió y se encontró que después de 5 ciclos de reutilización había una caída de aproximadamente 13% en el rendimiento de FAME.	Arumugam A. y Ponnusami V., 2017
5	Producción y caracterización de nuevas enzimas degradantes de hidrocarburos a partir de <i>Alcanivorax borkumensis</i>	Se investiga la producción de alcano hidroxilasa, lipasa y esterasa por la bacteria <i>Alcanivorax borkumensis</i> , que degrada los hidrocarburos. <i>A. borkumensis</i> mostró un crecimiento incremental en estos sustratos con un alto recuento de células.	El porcentaje de degradación de hexano, hexadecano y aceite de motor durante A. <i>borkumensis</i> el crecimiento después de 72 h, fue de alrededor del 80%, 81,5% y 75%, respectivamente.	Kadri Tayssir et al., 2018
6	Variaciones de las actividades de las enzimas del suelo en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo	evaluar los efectos de diferentes tipos de contaminación por hidrocarburos (petróleo crudo y aceite de motor de desecho) sobre las actividades enzimáticas del suelo y determinar el destino de los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) durante un período de incubación de 3 meses.	Los resultados también indicaron que la degradación significativa de TPH en suelos contaminados con aceite de motor crudo y de desecho (87% y 65%, respectivamente) se produjo después de un período de incubación de 3 meses.	Dindar Efsun et al., 2016
7	Caracterización del transcriptoma de <i>Achromobacter</i> sp. HZ01 con la excelente capacidad de	Caracterizamos el transcriptoma de <i>Achromobacter</i> que degrada los hidrocarburos.	Los datos recién obtenidos contribuyen a comprender mejor los perfiles de expresión génica de los microorganismos que degradan los	Hong Yue-Hui et al., 2016

	degradación de hidrocarburos		hidrocarburos después del tratamiento con petróleo, a investigar más a fondo las características genéticas de la cepa HZ01 y otras especies relacionadas y a desarrollar estrategias rentables y ecológicas para la remediación del petróleo crudo. - ambientes contaminados.	
8	Degradación de hidrocarburos de petróleo en el suelo aumentada con aceite de motor usado por novedoso <i>Pantoea wallisii</i> SS2: Optimización por metodología de superficie de respuesta	Se aisló una colonia mucoide plana circular pigmentada de color amarillo de bacilos gramnegativos, capaz de utilizar aceite de motor usado como única fuente de carbono del suelo del garaje. Esta bacteria podría degradar el aceite de motor usado en placas de agar Bushnell Hass en 48 horas y podría decolorar 6-diclorofenol indofenol (indicador redox) en 4 días.	En condiciones optimizadas (13,53% v / p de inóculo y 8,82 g / kg de glucosa), se obtuvo una reducción del% de TPH del 79,8% en suelo aumentado con 4% v / p de aceite de motor usado, 20 mg / kg de Tween 20 en 21 días.	Goveas Louella C. et al., 2020
9	Estudio de la biodegradación de residuos de aceite lubricante retenidos en bentonita usando el consorcio bacteriano Oil Eating Microbes (<i>Rodhococcus</i> , <i>Pseudomonas</i> y <i>Bacillus</i>)	Evaluar la capacidad de biodegradación de una muestra de aceite lubricante automotriz atrapado en arcilla bentonita, utilizando el consorcio bacteriano <i>Oil Eating Microbes</i> (<i>Rodhococcus pyridinivorans</i> , <i>Pseudomonas montielli</i> y <i>Bacillus sp.</i>).	Se obtuvo rendimientos de menos del 2 % y 50 % para la primera y segunda prueba, respectivamente, lo que muestra la reducción de la contaminación de la arcilla bentonita contaminada.	Chirre Flores J. et al., 2019
10	Actividad de la enzima catabólica y cinética de la degradación del pireno por nuevas cepas bacterianas aisladas de suelo contaminado	Degradación del pireno por dos potentes cepas de bacterias Gram positivas aisladas de suelo contaminado con petróleo de la ubicación de suministro de Bijwasan de Bharat Petroleum Corporation Limited (BPCL), India.	El consorcio reveló una degradación del pireno del 56,4%, lo que indica que no hay un efecto sinérgico / inhibidor significativo.	Singh S- et al., 2021

11	Bioestimulación de suelos contaminados con aceite de motor gastado utilizando cáscaras de Ananas comosus y Solanum tuberosum	Evaluación del potencial de bioestimulación de las cáscaras de A. comosus y Solanum tuberosum en suelos contaminados con aceite de motor gastado.	Se identificaron a las bacterias como miembros de las especies <i>Arthrobacter</i> , <i>Bacillus</i> y <i>Pseudomonas</i> . Los resultados de las huellas dactilares de GC mostraron que las cáscaras de bioestimulantes (<i>A. comosus</i> y <i>S. tuberosum</i>) dieron como resultado la desaparición de los principales hidrocarburos alifáticos y aromáticos dentro del suelo contaminado.	Nwinyi Obinna C. y Olowora., 2017
12	Degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y producción de biosurfactantes por un recién aislado <i>Pseudomonas</i> sp. tensión de suelo contaminado con aceite de motor usado	<i>Pseudomonas</i> , con la similitud de secuencia de 16 genes de ARNr del 99,1%. Según los análisis de GC-MS, degradó alrededor del 80% del fenantreno, utilizado como única fuente de carbono y energía, a una concentración inicial de 200 mg l después de 4 días de incubación.	Su biosurfactante, BSW10, mostró una interesante actividad emulsionante y una alta estabilidad en un amplio rango de salinidad (0-150 g l ⁻¹), temperatura (0-100 ° C), pH (2-12) y, por lo tanto, una capacidad prometedora en la eliminación de aceite de motor usado y petróleo crudo de suelos contaminados.	Chebbi Alif et al., 2017
13	Agotamiento mejorado del petróleo crudo por un consorcio bacteriano construido que comprende un productor de bioemulsionantes y degradadores de hidrocarburos de petróleo	Estudiar la producción de bioemulsionante por <i>Rhodococcus erythropolis</i> OSDS1, y la mejora de la eficiencia del agotamiento del petróleo crudo utilizando un consorcio de degradadores de hidrocarburos de petróleo y OSDS1.	<i>R. erythropolis</i> produjo un bioemulsionante altamente estable en diversas condiciones de salinidad (0-35 g / L NaCl) y pH (5,0-9,0); más del 90% de la actividad de emulsificación inicial se retuvo después de 168 h.	Xia Mingqian et al., 2019
14	Biodegradación de residuos de estaciones de servicio y lavaderos industriales por la cepa ohp-al-gp	Conocer las habilidades para la degradación de compuestos puros y mezclas de hidrocarburos, como también degradación en presencia y	La cepa <i>Rhodococcus erythropolis</i> ohp-al-gp presenta un excelente potencial de biorremediación de hidrocarburos conflictivos como son los aceites	Pucci Oscar et al., 2016

		ausencia de nitrógeno de gasoil medido por cromatografía gaseosa	lubricantes, su posible empleo en la eliminación de barros provenientes de lavados de motores o de estaciones de servicio sería su aplicación más importante.	
15	Desarrollo de un sistema de biorremediación de microbiomas vegetales para la contaminación por petróleo crudo	Establecer un sistema de biorremediación de microbiomas vegetales para el tratamiento de la contaminación por petróleo crudo.	Mostraron un mejor índice de emulsificación (54,2, 42,5%), actividad de desplazamiento de aceite (3,4, 2,6 mm) e hidrofobicidad. <i>Pseudoarthrobacter phenanthrenivorans</i> (MS2) y <i>Azospirillum oryzaecontenido</i> (78, 75%,).	Saeed Maimona et al., 2021

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Investigación cualitativa Implica conocer a las personas y a los aspectos de su vida, desde una perspectiva crítica, diferente a como las personas piensan de sí mismas. Además, las consideraciones sobre el papel del investigador son fundamentales a lo largo de un estudio (Low Lee-Fay et al., 2020, p.1). Dado que el investigador es el instrumento central en todas las fases del proceso de investigación, desde la formulación de la pregunta, el muestreo, la recopilación de datos, el análisis e interpretación de datos y la preparación de los informes de investigación, es fundamental que se considere el conocimiento del investigador (Klimona Blanka et al., 2017, p.4).

Así también el tipo de investigación es aplicada es aquella que debe brindar aportes de búsqueda de solución para un problema, utilizando los conocimientos e informaciones adquiridos en base a otros investigadores, mediante la búsqueda y recolección (Gabriel Ortega J., 2017, p.1).

Es debido a ello que se puede señalar la razón por la que se aplica un tipo de investigación aplicada al presente estudio. Siendo la resolución del estudio enfocado en la aplicación de los conocimientos que se adquiera al recaudar información por otros investigadores que se enfoquen en la reducción del aceite proveniente del sector automotor en suelos contaminados aplicando tratamientos biocatalíticos.

Así también, el diseño es de tipo narrativo de tópicos; debido a que se buscará resolver la problemática planteada mediante la recolección de información que se obtendrá de las diversas literaturas que se encuentren enfocadas en los suelos contaminados con aceite del sector automotor; empleando las experiencias obtenidas por otros autores que hayan utilizado tratamientos biocatalíticos.

De acuerdo con Cilleros M. y Gómez M., (2016, p.1) la investigación narrativa se enfoca en los pasajes realizados por investigadores, recaudando información esencial como los datos que obtienen un grupo de personas o una persona a lo largo de sus vidas, en un periodo en específico o en diferentes periodos de tiempo, buscando analizar y estudiar sus historias vividas.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Las categorías y sub categorías planteadas en la matriz apriorística se detallan en la tabla N°4

Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Determinar la caracterización del suelo contaminado con aceite proveniente del sector automotor empleando reducción por tratamiento biocatalítico	¿Cómo se caracteriza el suelo contaminado con aceite proveniente del sector automotor empleando reducción por tratamiento biocatalítico?	Métodos de caracterización (Yu Haiyan et al., 2019, p.2)	<ul style="list-style-type: none"> • FT-IR • GC-MS • GC-FID • SEM (Tedoldi Damien et al., 2021, p.3)	De acuerdo al tiempo de contaminación	De acuerdo al contaminante presente en el suelo
Comparar los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor	¿Cuáles son los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor?	Comparación de biocatalizadores (Kaushal J. et al., 2018, p.12)	<ul style="list-style-type: none"> • Especies de cepas bacterianas • Con residuos (Mishra B. et al., 2020, p.54)	De acuerdo a la cepa empleada	De acuerdo al residuo empleado
Determinar los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación de suelos contaminados con aceite proveniente del sector automotor	¿Cuáles son los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación de suelos contaminados con aceite proveniente del sector automotor?	Residuos con mayor porcentaje de remediación (Chebbi Alif et al., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de cascaras de frutas • Residuos de alimentos • Residuos por plantas • Cepa bacteriana (Bulai Indo Sabo et al., 2021)	De acuerdo a la adición externa de microorganismos o nutrientes	De acuerdo al porcentaje de remoción

Elaboración propia

4.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio es el lugar en el que realizan los hechos, pero al ser el presente estudio una revisión sistemática se tomará en cuenta los lugares donde se tomaron las muestras de sedimentos contaminados con hidrocarburos como el pesquero de Chinnamuttom, en la costa suroeste de la India o laboratorios donde se realizaron los tratamientos como el laboratorio de microbiología de la Universidad Covenant.

3.4. Participantes

Los participantes en este trabajo son todos los artículos de investigación científica a nivel mundial que hayan sido extraídos de portales web, páginas institucionales y revistas virtuales; como: Scielo, Sciencedirect, Redalyc y Scopus.

Estos artículos de investigación deben de haber sido extraídos de páginas indizadas, pueden encontrarse en diversos idiomas como: inglés, francés, portugués y español; y necesariamente estar enfocados en la problemática a tratar.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

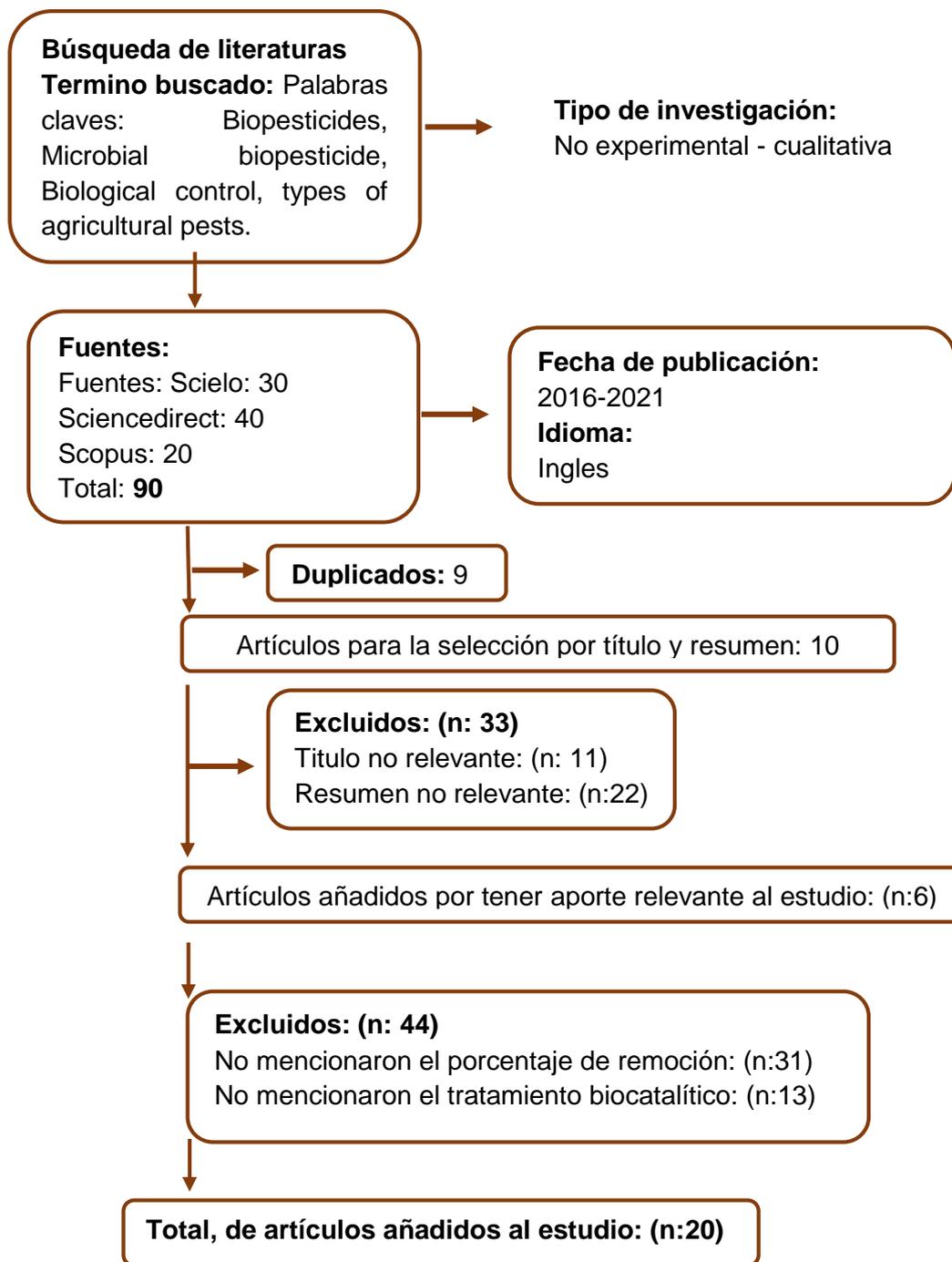
La técnica empleada para recoger la información que se añadirá al estudio es el método de análisis documental; ello con la ayuda de una ficha para hacer más fácil y rápida la búsqueda de la información que será sintetizada, siendo denominada dicha ficha como Ficha de análisis de contenido (Ver Anexo N°1).

La técnica de análisis de documentos recopila información del análisis de documentos relacionados con el dominio y se puede utilizar para formar un conjunto básico de requisitos que se refinan aún más mediante otras técnicas (por ejemplo, a través de entrevistas) (La Edgar, T. W., & Manz, D. O., 2017, p.10). Detallando que en este estudio la técnica es la recolección de datos cualitativos, llevándonos a la verificación del problema planteado.

Cuando la técnica de análisis de documentos se utiliza en un proyecto de expansión o reemplazo del sistema, la o los documentos de entrada pueden ser los documentos de diseño, las plantillas y los manuales del sistema anterior, que pueden proporcionar información valiosa sobre las necesidades actuales del usuario (ERLINGSSON, Christen; BRYSEWICZ, Petra, 2012, p.7).

3.6. Procedimiento

Gráfico N°3: Procedimiento



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El rigor científico se cumple cuando la información extraída y utilizada como la metodología, resultados, conclusiones, entre otros, son objetivos y esto se da cuando

la información es expuesta con total claridad para que se pueda utilizar en futuros estudios (Miguélez Begoña A., 2016, p.3).

Dicho ello se detallan a continuación los 4 criterios con los que cumplió la presente revisión sistemática para cumplir con el rigor científico (De acuerdo con Quiroz, 2020, p.9):

Dependencia; este criterio también denominada consistencia lógica y es definida como la coherencia de la información, se refiere al grado en que diferentes investigadores que recolecten datos similares en el campo, presenten resultados iguales o similares. Y esto se aplica en la comparación de resultado y discusión con otros investigadores que se enfoquen en la misma problemática.

La credibilidad, este criterio se obtiene en base a la toma exacta de los testimonios brindados por los investigadores mediante la observación. Esto permitirá obtener resultados confiables, efectivos y exactos. Es obtenido mediante los datos expuestos en los resultados, las cuales no fueron alteradas y se expusieron de manera objetiva sin plantear el punto de vista del investigador.

La auditabilidad o confirmabilidad, es la forma o método de como un investigador va a seguir los pasos que realizó otro; para lo cual debe hacer uso de técnicas, procedimientos, etc. Para reclutar toda la información que haya podido tomar el investigado. Ese criterio se plantea mediante los diseños utilizados para extraer la información de los autores que serán añadidos al estudio, siguiendo los objetivos y problemas específicos planteados.

Transferibilidad o aplicabilidad, es el poder de transportar la información propia a otro estudio mediante otro contexto para comparar los resultados de un estudio y otro. Esto es aplicado en artículos científicos que se tomarán para comparar con los resultados que obtendrán para determinar las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con aceite proveniente del sector automotor.

3.8. Método de análisis de información

La información recolectada para añadir al estudio fue dada mediante la matriz apriorística; la cual nos detalla los objetivos específicos y problemas específicos planteados en base a la problemática a resolver. Así también el análisis de información se realiza mediante las categorías y sub categorías detalladas a

continuación: Categoría 1-Método de caracterización, Categoría 2-Comparación de biocatalizadores y Categoría 3-Residuos con mayor porcentaje de remediación; estos permitieron elaborar las siguientes sub categorías: (FT-IR, GC-MS, GC-FID, SEM - Categoría 1), (Especies de cepas bacterianas, con residuos - Categoría 2), (Residuos de cascaras de frutas, Residuos de alimentos, Residuos por plantas, cepas bacterianas - Categoría 3).

Detallándolos mediante los criterios 1 y 2; para poder obtener una información más exacta y ordenada.

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que cumple el presente estudio son el respeto de autoría; detallando cada cita empleada mediante la Norma ISO 690, así como seguir con los lineamientos planteados por la Universidad Cesar Vallejo mediante la guía de productos observables; de lo contrario el autor se compromete a cumplir con las sanciones dadas por la Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV, Artículo 22.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de la presente revisión buscando evaluar la reducción el aceite proveniente del sector automotor en suelos contaminados aplicando tratamientos biocatalíticos, obteniendo los siguientes resultados: Después de la recolección de 90 artículos de investigación se excluyeron 33 por no presentar relevancia en el resumen y título; seguido de la adición de 6 estudios por tener aporte relevante, finalmente se excluyeron 44 por no contar con porcentaje de remoción y no mencionar el tratamiento biocatalítico, quedando así 20 artículos, descritos según métodos de caracterización físicas y químicas, comparación de biocatalizadores y residuos con mayor porcentaje de remediación como se muestra en la tabla N°5, 6 y 7.

Tabla N° 5: Metodología empleada

Método de caracterización	Características físicas o químicas	Autor
FT-IR	Característica química	Bulai Indo Sabo et al., 2021
FT-IR	Característica química	Deivakumari M. et al., 2020
Análisis por cromatografía de gases-detector de ionización de llama (GC-FID)	Característica química	Arumugam A. y Ponnusami V., 2017
GC-FID	Característica química	Kadri Tayssir et al., 2018
SEM / GC-FID	Característica física y química	Dindar Efsun et al., 2016
GC-FID	Característica química	Hong Yue-Hui et al., 2016
FT-IR / GC-FID	Característica química	Goveas Louella C. et al., 2020
GC-FID	Característica química	Chirre Flores J. et al., 2019
GC-FID	Característica química	Singh S- et al., 2021
Cromatografía de gases acoplada Detector de ionización de llama/espectrometría de masas	Característica química	Nwinyi Obinna C. y Olawora., 2017
GC-MS	Característica química	Chebbi Alif et al., 2017
GC-MS	Característica química	Xia Mingqian et al., 2019
GC-MS	Característica química	Pucci Oscar et al., 2016
GC-MS	Característica química	Saeed Maimona et al., 2021
GC-MS	Característica química	Li Qian et al., 2020
GC-MS	Característica química	Hossain Md f. et al., 2021
FT-IR / GC-FID	Característica química	Balderas-León et al., 2016
SEM / GC-FID	Característica física y química	El bassi Leila et al., 2021
GC-MS	Característica química	Miri Saba, et al., 2021
SEM / Análisis LC-MS	Característica física y química	Ambust Shweta et al., 2021

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5, el método de caracterización más empleado fue de acuerdo a las características químicas, siendo el análisis por cromatografía de gases por detector de ionización de llama (GC-FIT) y acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS) los más empleado por los investigadores; siendo aplicado en un 87%; seguido del análisis FT-IR y SEM en 8 y 5% respectivamente.

De acuerdo con emplea Kadri Tayssir et al., (2018, p.4) el análisis GC-FID es eficaz para comprobar la eficacia de la degradación de los diferentes sustratos: hexano, hexadecano y aceite de motor con el alcano hidroxilasa cruda producido por *A. borkumensis* durante su crecimiento.

Así también el análisis GC-MS revela la presencia de hidrocarburos de bajo peso molecular en el suelo tratado en comparación con el suelo no tratado (Ranadass Kavitha et al., 2018, p.5). Ello es corroborado por Arumugam A. y Ponnusami V., 2017, Kadri Tayssir et al., 2018, Dindar Efsun et al., 2016, Hong Yue-Hui et al., 2016, Goveas Louella C. et al., 2020, Chirre Flores J. et al., 2019, Singh S- et al., 2021, Nwinyi Obinna C. y Olawora., 2017, Chebbi Alif et al., 2017, Xia Mingqian et al., 2019 Pucci Oscar et al., 2016, Saeed Maimona et al., 2021, Li Qian et al., 2020, Hossain Md f. et al., 2021, Balderas-León et al., 2016, El bassi Leila et al., 2021, Miri Saba, et al., 2021, Ambust Shweta et al., 2021.

Ello es refutado por Shang Dayue et al., (2018, p.3) quien presenta cierto confrontamiento con respecto a los análisis GC-MS y GCFIT; donde asegura que el análisis GC / FID, aunque no es esencial, puede ser una parte integral de esta caracterización de tratamientos biocatalíticos en suelos con aceite de motor. Así también, en la mayoría de los casos, los resultados de GC / MS revelan información forense mucho más rica que la de GC / FID. No obstante, el análisis GC / FID sigue siendo útil debido a su bajo costo y amplia disponibilidad en muchos laboratorios (Stout Scott A. et al., 2018, p.1).

Así también, de acuerdo con Saranya G. y Ramachandra R., (2020, p.1) mediante la técnica de cromatografía de gases se pudo revelar la eficiencia de los biocatalizadores; cuando se comparó con otro tipo de catalizadores respetuosos con el medio ambiente para mejorar el rendimiento de conversión del proceso de transesterificación.

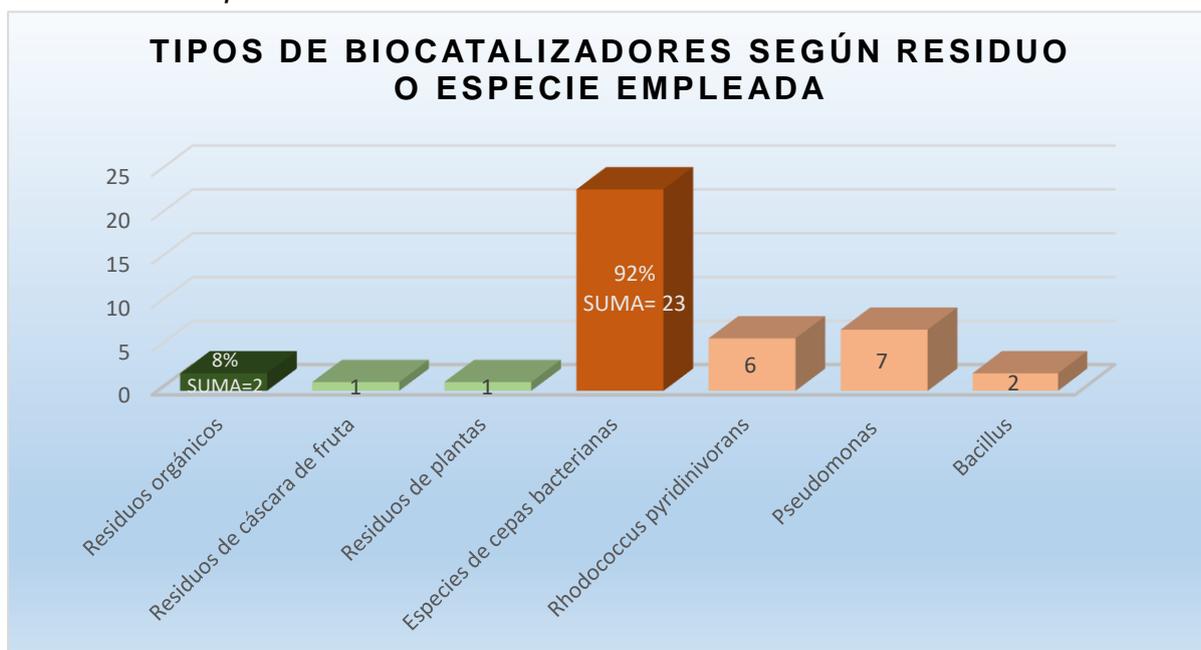
Por otro lado, los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor fueron divididos por fuentes de catalizadores con especies de cepas bacterianas y de residuos de materia prima; en donde los resultados se muestran en el gráfico 4 respecto a la tabla 6.

Tabla N° 6: Comparación de biocatalizadores

N°	Biocatalizador empleado	Cantidad
Residuos orgánicos		2 - Artículos
1	Residuos de cáscara de fruta	1 - Artículo
2	Residuos de plantas	1 - Artículo
Especies de cepas bacterianas		23 - Artículos
1	<i>Micrococcus</i> y <i>Rhodococcus</i>	1 - Artículo
2	<i>Burkholderia cepacia</i>	1 - Artículo
3	<i>Alcanivorax borkumensis</i>	1 - Artículo
4	<i>Rhodococcus pyridinivorans</i>	6 - Artículos
5	<i>Achromobacter sp</i>	1 - Artículo
6	<i>Pantoea wallisii</i>	1 - Artículo
7	<i>Pseudomonas</i>	7 - Artículo
8	<i>Kocuria flava</i>	1 - Artículo
9	<i>Bacillus licheniformis</i>	2 - Artículo
10	<i>Pseudoarthrobacter phenanthrenivorans</i>	1 - Artículo
11	<i>Azospirillum oryzae</i>	1 - Artículo

Elaboración propia

Gráfico N°4: Tipos de biocatalizadores



Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la comparación de 20 artículos científicos se clasificó a las especies de cepas bacterianas como biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor; siendo empleados en un 92%; ello es corroborado por 23 investigadores.

Así también entre las cepas bacterianas el más utilizado para la producción de catalizadores se encuentra los *Pseudomonas* y *Rhodococcus pyridinivorans* siendo aplicados y 6 veces respectivamente; como se muestra en la tabla 6.

Los investigadores que aplicaron *Pseudomonas* son: Chirre Flores J. et al., 2019, Nwinyi Obinna C. y Olawora., 2017, Chebbi Alif et al., 2017, Li Qian et al., 2020, Hossain Md f. et al., 2021, Miri Saba, et al., 2021, Ambust Shweta et al., 2021 y los investigadores que emplean la cepa *Rhodococcus* son; Deivakumari M. et al., 2020, Dindar Efsun et al., 2016, Chirre Flores J. et al., 2019, Singh S- et al., 2021, Xia Mingqian et al., 2019, Pucci Oscar et al., 2016.

De acuerdo con Xia Mingqian et al., 2019 la cepa *Rhodococcus erythropolis ohp-al-gp* presenta un excelente potencial de biorremediación de hidrocarburos conflictivos como son los aceites lubricantes, su posible empleo en la eliminación de barros provenientes de lavados de motores o de estaciones de servicio sería su aplicación más importante; la velocidad de degradación, en condiciones óptimas de cultivo, le confiere una ventaja adicional.

Así también, de acuerdo con Saravanan A. et al., (2021, p.1) tanto las enzimas bacterianas como las fúngicas pueden degradar los contaminantes tóxicos presentes en el medio ambiente y convertirlos en formas no tóxicas a través de su mecanismo de reacción catalítica. Las hidrolasas, oxidorreductasas, deshalogenasas, oxigenasas y transferasas son las principales clases de enzimas microbianas generadas por las cepas bacterianas responsables de la degradación de la mayoría de los contaminantes tóxicos del medio ambiente (Dwevedi Alka, 2021, p.1).

Además, recientemente, existen diferentes inmovilizaciones y se han desarrollado técnicas de ingeniería genética para mejorar la eficiencia de las enzimas y disminuir el costo del proceso para la eliminación de contaminantes (De Salas F. y Camarero S., 2020, p.2).

Por otro lado, los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación de suelos contaminados con aceite proveniente del sector automotor fueron sub categorizados mediante Residuos de cáscaras de frutas, Residuos de alimentos, Residuos por plantas y Cepa bacteriana; donde los resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla N° 7: Residuos con mayor porcentaje de remediación

Catalizador - Tipo de residuo	Enzima / Residuo	Tiempo de reacción	Adición de microorganismos o nutrientes	Porcentaje de remoción de aceite	Autor
Residuos de cáscara de fruta	Proteasa, catalasa, lipasa y amilasa / Basura de frutas (cáscaras de naranja y sandía)	90 días	No emplea	Mínimo: 62% Máximo: 74%	Bulai Indo Sabo et al., 2021
Residuos de alimentos	No utilizan	No utilizan	No utilizan	No utilizan	No utilizan
Residuos de plantas	Deshidrogenasa, proteasa, fosfatasa y ureasa	10 semanas	biocarbón	Máxima= 63%	El bassi Leila et al., 2021
Catalizador - Cepa bacteriana	Cepa empleada		Adición de microorganismos o nutrientes	Porcentaje de remoción de aceite	Autor
<i>Micrococcus</i> y <i>Rhodococcus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	60 días de incubación	No emplea	Máximo= 63,38% hexadecano (91,44%), aceite de girasol (83,21%), aceite de oliva (81,86%), hexano (74,78%), tolueno (73,99%), diésel (72,60%) y se encontró una menor	Deivakumari M. et al., 2020

				afinidad frente al crudo (46,98%)	
<i>Burkholderia cepacia</i>	Lipasa	72 horas	No emplea	Máximo= 57%	Arumugam A. y Ponnusami V., 2017
<i>Alcanivorax borkumensis</i>	Hidroxilasa, lipasa y esterasa	72 h	No emplea	Máximo Hidroxilasa= 80% Lipasa= 81,5% Esterasa= 75%	Kadri Tayssir et al., 2018
<i>Cepa de Rhodococcus</i>	Alcalina (APA), la b-glucosidasa (BGA) y la ureasa (UA)	30 días	Lodos de aguas residuales	Máximo = 87%	Dindar Efsun et al., 2016
<i>Achromobacter sp</i>	No indica	16 horas	No emplea	Máximo= 47%	Hong Yue-Hui et al., 2016
<i>Pantoea wallisii</i>	Bacilos Gram negativos	48 horas	No emplea	Máximo= 79,8%	Goveas Louella C. et al., 2020
<i>Oil Eating Microbes (Rodhococus, Pseudomonas y Bacillus)</i>	Catalasa positiva y Estable termoalcalino catalasa	13 días y 59 días	No emplea	13 días= 2% 59 días= 50%	Chirre Flores J. et al., 2019
<i>Kocuria flava y Rhodococcus pyridinivorans</i>	Catecol 2,3-dioxigenasa (C23O), la deshidrogenasa y la peroxidasa	15 días	No emplea	Máxima= 56,4%	Singh S- et al., 2021
<i>Bacillus y Pseudomonas</i>	Catalasa positiva y catalasa estable termoalcalino	49 días	Cáscaras de <i>Ananas comosus</i> y <i>Solanum tuberosum</i>	Máxima= 78%	Nwinyi Obinna C. y Olawora., 2017
<i>Pseudomonas aeruginosa sp.</i>	Catalasa positiva	30 días	No emplea	Máxima= 80%	Chebbi Alif et al., 2017
<i>Rhodococcus erythropolis</i>	Deshidrogenasa y la peroxidasa	15 días	No emplea	Máxima= 85,26%	Xia Mingqian et al., 2019

<i>Rhodococcus erythropolis</i>	Deshidrogenasa	60 días	No emplea	Máxima= 74 %	Pucci Oscar et al., 2016
<i>Pseudoarthrobacter phenanthrenivorans</i> y <i>Azospirillum oryzae</i>	No indica	10 días	Biomasa fresca y seca	Máxima= 38,5%	Saeed Maimona et al., 2021
<i>Sphingomonas changbaiensis</i> y <i>Pseudomonas stutzeri</i>	Catalasa positiva	30 días	Biosurfactantes	<i>S. changbaiensis</i> = 52.1 ± 2.0% <i>P. stutzeri</i> = 59.0 ± 1.8%	Li Qian et al., 2020
<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Acinetobacter sp.</i> Y <i>Enterobacter sp.</i>	Catalasa positiva	48 horas	No emplea	Máxima= 78%	Hossain Md f. et al., 2021
<i>Sorghum vulgare</i> y <i>Bacillus cereus</i> y/ o <i>Burkholderia cepacia</i>	Catalasa estable termoalcalino	30 horas	No emplea	>60%	Balderas-León et al., 2016
<i>Pseudomonas psicrófilas</i>	Catecol 1,2-dioxigenasa (C1,2D)	30 días	No emplea	Máxima= 80%	Miri Saba, et al., 2021
<i>Pseudomonas sp.</i>	Catalasa positiva	No indica	Biosurfactantes	Máxima= 69,41%	Ambust Shweta et al., 2021

Elaboración propia

De acuerdo con la comparación de los 20 investigadores se tiene que los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación son los catalizadores con cepas bacterianas; presentando porcentajes de remoción en un 70 a 80% y siendo los más usados en comparación con los residuos de materia prima.

Además, de acuerdo con Li Qian et al., 2020 los estudios de mecanismos demostraron que la adición de biosurfactantes (APG) puede aumentar la solubilidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos (TPH), promover la sorción de TPH en las células microbianas y el transporte transmembrana posterior mediante cambios estructurales inducidos por APG, estimular las actividades microbianas y participar en el co-metabolismo. Por lo tanto, la combinación de bioaumentación y APG es un método eficaz para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo provenientes del sector automotor (Kaur R. y Bhaskar E., 2020, p.3).

Kadri Tayssir et al., 2018, en sus resultados presentados demuestra la eficiencia de del biocatalizador *Alcanivorax borkumensis* que generó las enzimas Hidroxilasa, lipasa y esterasa; donde el porcentaje de degradación de hexano, hexadecano y aceite de motor durante *A. borkumensis* crecimiento después de 72 h, fue de alrededor del 80%, 81,5% y 75%, respectivamente. Además, el alcanohidroxilasa alcanzó una actividad óptima a pH 8.0 y 70 ± 1 ° C para hexano y hexadecano y 75 ± 1 ° C para aceite de motor. La lipasa y esterasa mostraron una actividad óptima a 35 ± 1 ° C y 40 ± 1 ° C, respectivamente y pH 7.0. Demostrando que las enzimas crudas mostraron una mayor estabilidad en un amplio rango de pH, pero no eran termoestables a temperaturas más altas.

Así también, Hossain Md f. et al., 2021 demostró para la cepa *Pseudomonas sp.*, *Acinetobacter sp.* Y *Enterobacter sp.* Que la condición de crecimiento se optimizó a pH 7,0 y temperatura 37 ° C. y permitió una reducción del aceite en un 78%.

En relación a los anteriores resultados se tiene que en un tiempo de 30 días el porcentaje de reducción fue de un 80% (Chebbi Alif et al., 2017). Esto es respaldado por Chirre Flores J. et al., 2019 quien utilizó la comparación de 13 días y 59 días; donde en el primer caso genero una reducción del aceite en un 2% y en el segundo empleando mayor tiempo de tiempo de reacción obtuvo un 50%.

Ello es también avalado por Miri Saba, et al., 2021, (30 días y 80%), Pucci Oscar et al., 2016 (60 días 74%), Nwinyi Obinna C. y Olawora., 2017 (49 días y 80%), Dindar Efsun et al., 2016 (30 días y 87%), Bulai Indo Sabo et al., 2021 (90 días y 62% como mínimo y 74% como máximo), El bassi Leila et al., 2021 (10 semanas y 63%).

Además, la inmovilización de la enzima permite la reutilización y la estabilidad de la enzima; por lo tanto, la descontaminación de los sitios contaminados se puede llevar

a cabo tanto in situ (directamente en el sitio contaminado) como ex situ (lejos del sitio contaminado) (Kyriakou Maria et al., 2019, p.15). Existe una gama de matrices inmovilizadoras para la inmovilización de enzimas; a menudo se recomienda utilizar matrices ecológicas, especialmente cuando se va a utilizar enzima inmovilizada para la remediación ambiental (Bhatia Shashi K. et al., 2021, p.6).

V. CONCLUSIONES

Estudios han demostrado los tratamientos biocatalíticos para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor; por ello se profundizó y se llegó a las siguientes conclusiones:

- El método de caracterización más empleado es de acuerdo a las características químicas, siendo el análisis por cromatografía de gases por detector de ionización de llama (GC-FIT) y acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS) los más empleado por los investigadores; siendo aplicado en un 87%; seguido del análisis FT-IR y SEM en 8 y 5% respectivamente.
- Los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor son las cepas bacterianas, siendo empleados en un 92%, ello es corroborado por 23 investigadores. Así también entre las cepas bacterianas el más utilizado para la producción de catalizadores se encuentra los *Pseudomonas* y *Rhodococcus pyridinivorans*.
- Los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación son los catalizadores con cepas bacterianas; presentando porcentajes de remoción en un 70 a 80% y siendo los más usados en comparación con los residuos de materia prima.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuros investigadores se dan de manera teórica y práctica, siendo las siguientes:

- A pesar de los evidentes beneficios de la biocatálisis, los principales obstáculos que dificultan la explotación del repertorio de procesos enzimáticos son, en muchos casos, los altos costes de producción y los bajos rendimientos obtenidos; debido a ello se recomienda buscar nuevos avances específicos en técnicas de ADN recombinante susceptibles de desarrollo futuro de biocatalizadores.
- Profundizar en este tipo de investigación, ya que, las fuentes de investigación fueron escasas y rebuscadas, siendo recomendable enfocarse en mayores investigaciones a nivel de Latinoamérica, ya que, los biocatalizadores presentan ventajas en varios campos como a nivel industrial, ofreciendo varios beneficios, como un uso reducido o nulo de grupos protectores, reacciones secundarias minimizadas, separación más fácil y menos problemas ambientales.
- Se recomienda realizar investigaciones en un ámbito geográfico más amplio utilizando estudios previos a nivel nacional e internacional; por ejemplo; teniendo en cuenta la inmovilización de enzimas ya que esto permite la reutilización y la estabilización de la enzima, así como emplear matrices ecológicas, especialmente cuando se va a utilizar enzima inmovilizada para la remediación ambiental.

REFERENCIAS

1. ABOUSNINA, Rajab, et al. Effects of light crude oil contamination on the physical and mechanical properties of geopolymer cement mortar. *Cement and Concrete Composites*, 2018, vol. 90, p. 136-149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.001>
2. AHMED, Fowzia; FAKHRUDDIN, A. N. M. A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 2018, vol. 11, no 3, p. 1-7. ISSN: 2572-1119
3. AL ZUBAIDI, Isam; AL TAMIMI, Adil. Soil remediation from waste lubricating oil. *Environmental Technology & Innovation*, 2018, vol. 9, p. 151-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.11.004>
4. AMBUST, Shweta; DAS, Amar Jyoti; KUMAR, Rajesh. Bioremediation of petroleum contaminated soil through biosurfactant and *Pseudomonas* sp. SA3 amended design treatments. *Current Research in Microbial Sciences*, 2021, vol. 2, p. 100031. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100031>
5. ARUMUGAM, A.; PONNUSAMI, V. Production of biodiesel by enzymatic transesterification of waste sardine oil and evaluation of its engine performance. *Heliyon*, 2017, vol. 3, no 12, p. e00486. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00486>
6. BALDERAS-LEÓN, Iván; SÁNCHEZ-YÁÑEZ, Juan Manuel. Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación y fitorremediación con *Sorghum vulgare* y *Bacillus cereus* y/o *Burkholderia cepacia*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2016, vol. 6, no 1, p. 23-32. Disponible en: ISSN 2072-9294
7. BARBHUIYA, Najmul Haque; MISRA, Utkarsh; SINGH, Swatantra P. Biocatalytic membranes for combating the challenges of membrane fouling and micropollutants in water purification: A review. *Chemosphere*, 2021, p. 131757. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131757>
8. BHATIA, Shashi Kant, et al. An overview on advancements in biobased transesterification methods for biodiesel production: Oil resources, extraction,

- biocatalysts, and process intensification technologies. *Fuel*, 2021, vol. 285, p. 119117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119117>
9. CILLEROS, María Victoria Martín; GÓMEZ, Maria Cruz Sánchez. Análisis cualitativo de tópicos vinculados a la calidad de vida en personas con discapacidad. *Ciência & Saúde Coletiva*, 2016, vol. 21, p. 2365-2374. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015218.04182016>
 10. KLIMOVA, Blanka; VALIS, Martin; KUČA, Kamil. Dancing as an intervention tool for people with dementia: a mini-review dancing and dementia. *Current Alzheimer Research*, 2017, vol. 14, no 12, p. 1264-1269. Disponible en: <https://doi.org/10.2174/1567205014666170713161422>
 11. BROEKEMA, Wout. Crisis-induced learning and issue politicization in the EU: The braer, sea empress, erika, and prestige oil spill disasters. *Public Administration*, 2016, vol. 94, no 2, p. 381-398. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/padm.12170>
 12. BULAI, Indo Sabo, et al. Biocatalytic remediation of used motor oil-contaminated soil by fruit garbage enzymes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105465. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105465>
 13. CHEBBI, Alif, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon degradation and biosurfactant production by a newly isolated *Pseudomonas* sp. strain from used motor oil-contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, vol. 122, p. 128-140. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.05.006>
 14. CHIRRE FLORES, Jaqueline; PATIÑO GABRIEL, Alejandro; ERAZO ERAZO, Raymundo. Estudio de la biodegradación de residuos de aceite lubricante retenidos en bentonita usando el consorcio bacteriano Oil Eating Microbes (*Rodhococcus*, *Pseudomonas* y *Bacillus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2019, vol. 85, no 2, p. 163-174. Disponible en: ISSN: 1810-634X
 15. DE SALAS, Felipe; CAMARERO, Susana. Fungal Laccases as Biocatalysts for Wide Range Applications. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.21087-X>

16. DEIVAKUMARI, M., et al. Studies on reclamation of crude oil polluted soil by biosurfactant producing *Pseudomonas aeruginosa* (DKB1). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2020, vol. 29, p. 101773. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101773>
17. DEV, Atul; SRIVASTAVA, Anup Kumar; KARMAKAR, Surajit. New generation hybrid nanobiocatalysts: The catalysis redefined. En *Handbook of nanomaterials for industrial applications*. Elsevier, 2018. p. 217-231. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00013-4>
18. DWEVEDI, Alka. Polymer-based immobilized enzymes in environmental remediation. *Polymeric Supports for Enzyme Immobilization: Opportunities and Applications*, 2021, p. 105. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819206-1.00002-8>
19. DINDAR, Efsun; ŞAĞBAN, F. Olcay Topaç; BAŞKAYA, Hüseyin S. Variations of soil enzyme activities in petroleum-hydrocarbon contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, vol. 105, p. 268-275. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.09.011>
20. EL-BASSI, Leila, et al. Application of olive mill waste-based biochars in agriculture: Impact on soil properties, enzymatic activities and tomato growth. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 755, p. 142531. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142531>
21. ERLINGSSON, Christen; BRYSEWICZ, Petra. Orientation among multiple truths: An introduction to qualitative research Orientation attraverso le verità multiple: Une introduction ala recherche qualitative. 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.afjem.2012.04.005>
22. FLORIS, Barbara, et al. Metal systems as tools for soil remediation. *Inorganica Chimica Acta*, 2017, vol. 455, p. 429-445. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2016.04.003>
23. GAMAGE, Sumudu Sriyanthi Walakulu, et al. Comparative phytoremediation potentials of *Impatiens balsamina* L. and *Crotalaria retusa* L. for soil contaminated with used lubricating oil. *Environmental Advances*, 2021, p. 100095. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100095>

24. GABRIEL-ORTEGA, Julio. Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2017, vol. 8, no 2, p. 155-156. Disponible en: ISSN 2072-9294
25. GAMAGE, Sumudu Sriyanthi Walakulu, et al. Tolerance of *Impatiens balsamina* L., and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2020, vol. 188, p. 109911. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109911>
26. GHASEMZADEH, H.; TABAIYAN, M. The effect of diesel fuel pollution on the efficiency of soil stabilization method. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2017, vol. 35, no 1, p. 475-484. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10706-016-0121-8>
27. GOVEAS, Louella Concepta, et al. Petroleum hydrocarbon degradation in soil augmented with used engine oil by novel *Pantoea wallisii* SS2: Optimisation by response surface methodology. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2020, vol. 25, p. 101614. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101614>
28. HONG, Yue-Hui, et al. Characterization of the transcriptome of *Achromobacter* sp. HZ01 with the outstanding hydrocarbon-degrading ability. *Gene*, 2016, vol. 584, no 2, p. 185-194. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2016.02.032>
29. HOSSAIN, Md Forhad, et al. Bioremediation Potential of Hydrocarbon Degrading Bacteria: Isolation, Characterization, and Assessment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.069>
30. HUSSAIN, Akhtar; ARIF, Syed Muhammad; ASLAM, Muhammad. Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 71, p. 12-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.033>
31. Hutchings, I., & Shipway, P. (2017). Lubricants and lubrication. *Tribology*, 79–105. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100910-9.00004-0>

32. KADRI, Tayssir, et al. Production and characterization of novel hydrocarbon degrading enzymes from *Alcanivorax borkumensis*. *International journal of biological macromolecules*, 2018, vol. 112, p. 230-240. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.177>
33. Kulhanek, C., Taher, M., Moore, J., Phillippi, G., & White, B. (2019). Standards and Codes. *Compression Machinery for Oil and Gas*, 463–481. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814683-5.00013-4>
34. KAUR, Ravneet; BHASKAR, Thallada. Potential of castor plant (*Ricinus communis*) for production of biofuels, chemicals, and value-added products. *En Waste biorefinery*. Elsevier, 2020. p. 269-310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818228-4.00011-3>
35. KUPPUSAMY, Saranya, et al. Ex-situ remediation technologies for environmental pollutants: a critical perspective. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 236*, 2016, p. 117-192. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20013-2_2
36. KYRIAKOU, Maria, et al. Biowaste-based biochar: A new strategy for fermentative bioethanol overproduction via whole-cell immobilization. *Applied Energy*, 2019, vol. 242, p. 480-491. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.024>
37. La Edgar, T. W., & Manz, D. O. (2017). *Applied Experimentation. Research Methods for Cyber Security*, 271–297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805349-2.00011-x>
38. Lange, L., Parmar, V., & Meyer, A. (2017). Biocatalysis. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 663–673. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10254-4>
39. LASSALLE, Guillaume, et al. Estimating persistent oil contamination in tropical region using vegetation indices and random forest regression. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, vol. 184, p. 109654. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109654>

40. Lee-Fay Low, Helen Parker Kathryn Dovey, Alycia Fong Yan. The Neuroscience of Dementia, Volume 1. 2020, Pages 727-743. Chapter 46 - Dancing in dementia. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815854-8.00046-X>
41. Li, Qian, et al. Application of alkyl polyglycosides for enhanced bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil using *Sphingomonas changbaiensis* and *Pseudomonas stutzeri*. Science of The Total Environment, 2020, vol. 719, p. 137456. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137456>
42. LURCHENKO, Valentina, et al. Contamination and “Self-Cleaning” of soils, boarded on the objects of automobile and road complex, from petroleum products. Procedia Engineering, 2017, vol. 187, p. 783-789. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.438>
43. MARULANDA, Valentina Aristizábal; GUTIERREZ, Christian D. Botero; ALZATE, Carlos A. Cardona. Thermochemical, biological, biochemical, and hybrid conversion methods of bio-derived molecules into renewable fuels. En Advanced bioprocessing for alternative fuels, biobased chemicals, and bioproducts. Woodhead Publishing, 2019. p. 59-81. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817941-3.00004-8>
44. MEGHARAJ, Mallavarapu; NAIDU, Ravi. Soil and brownfield bioremediation. Microbial biotechnology, 2017, vol. 10, no 5, p. 1244-1249. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12840>
45. MIGUÉLEZ, Begoña Abad. Investigación social cualitativa y dilemas éticos: de la ética vacía a la ética situada. EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales, 2016, no 34, p. 101-119. Disponible en: ISSN: 1139-5737
46. MIRI, Saba, et al. Sustainable production and co-immobilization of cold-active enzymes from *Pseudomonas* sp. for BTEX biodegradation. Environmental Pollution, 2021, vol. 285, p. 117678. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117678>
47. MISHRA, Bishwambhar, et al. Engineering biocatalytic material for the remediation of pollutants: A comprehensive review. Environmental Technology

- & Innovation, 2020, p. 101063. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101063>
48. MNEINA, A., et al. Engineering properties of controlled low-strength materials containing treated oil sand waste. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 159, p. 277-285. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.093>
49. MOHAMMADI, Maryam; HARJUNKOSKI, Iiro. Performance analysis of waste-to-energy technologies for sustainable energy generation in integrated supply chains. *Computers & Chemical Engineering*, 2020, vol. 140, p. 106905. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106905>
50. MULDER, M. J. H. L.; SPIERINGS, E. L. H. Treatments of orofacial muscle pain: a review of current literature. *Journal of dentistry & oral disorders*, 2017, vol. 3, no 5. ISSN: 2572-7710
51. NASEHI, Sayed Alireza, et al. Influence of gas oil contamination on geotechnical properties of fine and coarse-grained soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2016, vol. 34, no 1, p. 333-345. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9948-7>
52. NWINYI, Obinna C.; OLAWORE, Yemisi A. Biostimulation of spent engine oil contaminated soil using *Ananas comosus* and *Solanum tuberosum* peels. *Environmental Technology & Innovation*, 2017, vol. 8, p. 373-388. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.09.003>
53. OLATUNDE, Kofoworola A. Determination of petroleum hydrocarbon contamination in soil using VNIR DRS and PLSR modeling. *Heliyon*, 2021, vol. 7, no 4, p. e06794. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06794>
54. PANDEY, Ashutosh Kumar, et al. Biocatalytic remediation of industrial pollutants for environmental sustainability: Research needs and opportunities. *Chemosphere*, 2021, vol. 272, p. 129936. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129936>

55. PUCCI, OSCAR HÉCTOR; ACUÑA, ADRIÁN; PUCCI, GRACIELA NATALIA. BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE ESTACIONES DE SERVICIO Y LAVADEROS INDUSTRIALES POR LA CEPA *Rhodococcus erythropolis* ohp-al-gp. Biodegradation Waste of the Stations Service by *Rhodococcus erythropolis* ohp-al-gp. Disponible en: ISSN: 0120-548X
56. RAMADASS, Kavitha, et al. Ecological implications of motor oil pollution: earthworm survival and soil health. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, vol. 85, p. 72-81. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.026>
57. RAMADASS, Kavitha, et al. Bioavailability of weathered hydrocarbons in engine oil-contaminated soil: Impact of bioaugmentation mediated by *Pseudomonas* spp. on bioremediation. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 636, p. 968-974. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.379>
58. SAEED, Maimona, et al. Development of a plant microbiome bioremediation system for crude oil contamination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105401. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105401>
59. SAFEHIAN, Hossein; RAJABI, Ali M.; GHASEMZADEH, Hasan. Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil. *engineering geology*, 2018, vol. 241, p. 55-63. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.020>
60. SALIMNEZHAD, Araz; SOLTANI-JIGHEH, Hossein; SOORKI, Ali Abolhasani. Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2021, vol. 13, no 3, p. 653-670. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.11.011>
61. SANG, Yimin, et al. Sustainable remediation of lube oil-contaminated soil by low temperature indirect thermal desorption: Removal behaviors of contaminants, physicochemical properties change and microbial community recolonization in soils. *Environmental Pollution*, 2021, p. 117599. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117599>

62. SARANYA, G.; RAMACHANDRA, T. V. Novel biocatalyst for optimal biodiesel production from diatoms. *Renewable Energy*, 2020, vol. 153, p. 919-934. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.053>
63. SARAVANAN, A., et al. A review on catalytic-enzyme degradation of toxic environmental pollutants: Microbial enzymes. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 126451. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126451>
64. SHANG, Dayue, et al. Combined Gas and Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry Applications for Forensic Lubricant and Vegetable Oil Spill Identification. In *Oil Spill Environmental Forensics Case Studies*. Butterworth-Heinemann, 2018. p. 117-130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804434-6.00006-9>
65. SHELDON, Roger A.; WOODLEY, John M. Role of biocatalysis in sustainable chemistry. *Chemical reviews*, 2018, vol. 118, no 2, p. 801-838. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00203>
66. SHI, Rongguang, et al. Contamination and human health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soils from Tianjin coastal new region, China. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 268, p. 115938. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115938>
67. SHIN, Dong-chul; KIM, Ji-suk; PARK, Chul-hwi. Study on physical and chemical characteristics of microorganism immobilized media for advanced wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 2019, vol. 29, p. 100784. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100784>
68. SINGH, S. K., et al. Catabolic enzyme activity and kinetics of pyrene degradation by novel bacterial strains isolated from contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 23, p. 101744. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101744>
69. SPAGNOLI, Giovanni; STANJEK, Helge; SRIDHARAN, Asuri. Some observations considering undrained shear strength, liquidity index, and fluid/solid ratio of mono-mineralic clays with water–ethanol mixtures. *Canadian Geotechnical Journal*, 2018, vol. 55, no 7, p. 1048-1053. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/cgj-2017-0490>

70. SPIERINGS, Egilius LH; MULDER, Maxim JHL. Persistent orofacial muscle pain: Its synonymous terminology and presentation. CRANIO®, 2017, vol. 35, no 5, p. 304-307. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08869634.2016.1248591>
71. STOUT, Scott A.; WANG, Zhendi. Chemical fingerprinting methods and factors affecting petroleum fingerprints in the environment. En Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics. Academic Press, 2016. p. 61-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00003-9>
72. STOUT, Scott A.; PAPINEAU, Joseph; ADKINS, Matthew. Chemical Fingerprinting Assessment of the Impact to River Sediments Following the Bakken Crude Oil Train Derailment and Fire, Mount Carbon, West Virginia. En Oil Spill Environmental Forensics Case Studies. Butterworth-Heinemann, 2018. p. 419-442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804434-6.00020-3>
73. TAKACS, Gabor. Manual de bombas eléctricas sumergibles: diseño, operación y mantenimiento . Publicaciones profesionales del Golfo, 2017. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=isUpDwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=jvucpGipB7&dq=Electrical%20Submersible%20Pump%20Components%20and%20Their%20Operational%20Features&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Electrical%20Submersible%20Pump%20Components%20and%20Their%20Operational%20Features&f=false>
74. TANG, K. H. D.; ANGELA, J. Phytoremediation of crude oil-contaminated soil with local plant species. En IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. p. 012054.
75. TEDOLDI, Damien, et al. Intra-and inter-site variability of soil contamination in road shoulders—Implications for maintenance operations. Science of the Total Environment, 2021, vol. 769, p. 144862. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144862>
76. UHLER, Allen D., et al. Chemical character of marine heavy fuel oils and lubricants. En Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics.

Academic Press, 2016. p. 641-683. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00013-1>

77. VILLA AROCA, Rocío. Sistemas (bio) catalíticos verdes para el desarrollo de procesos químicos sostenibles de interés industrial. Proyecto de investigación:, 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10201/111364>
78. WANG, Yuyang, et al. Resuscitation, isolation and immobilization of bacterial species for efficient textile wastewater treatment: a critical review and update. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 730, p. 139034. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139034>
79. WANG, Zhendi, et al. Petroleum biomarker fingerprinting for oil spill characterization and source identification. En *Standard handbook oil spill environmental forensics*. Academic press, 2016. p. 131-254. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00004-0>
80. XIA, Mingqian, et al. Enhanced crude oil depletion by constructed bacterial consortium comprising bioemulsifier producer and petroleum hydrocarbon degraders. *Bioresource technology*, 2019, vol. 282, p. 456-463. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.131>
81. YANG, Chun, et al. Oil fingerprinting analysis using gas chromatography-quadrupole time-of-flight (GC-QTOF). En *Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics*. Academic Press, 2016. p. 449-480. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00009-X>
82. YU, Haiyan, et al. Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in urban soil of China. *Chemosphere*, 2019, vol. 230, p. 498-509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.006>
83. ZDARTA, Jakub, et al. Developments in support materials for immobilization of oxidoreductases: A comprehensive review. *Advances in colloid and interface science*, 2018, vol. 258, p. 1-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.07.004>
84. ZDARTA, Jakub, et al. The effect of operational parameters on the biodegradation of bisphenols by *Trametes versicolor* laccase immobilized on

Hippospongia communis spongin scaffolds. Science of the Total Environment, 2018, vol. 615, p. 784-795. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.213>

85. ZHANG, Lei, et al. Facile fabrication of a high-efficient and biocompatibility biocatalyst for bisphenol A removal. International journal of biological macromolecules, 2020, vol. 150, p. 948-954. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.007>

86. ZHANG, Hao, et al. Characterization of a manganese peroxidase from white-rot fungus Trametes sp. 48424 with strong ability of degrading different types of dyes and polycyclic aromatic hydrocarbons. Journal of hazardous materials, 2016, vol. 320, p. 265-277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.065>

87. ZOFAIR, Syeda Fauzia Farheen, et al. Immobilization of laccase on Sepharose-linked antibody support for decolourization of phenol red. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, vol. 161, p. 78-87. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.009>

ANEXO

ANEXOS N° 1:

	<h2>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</h2>
---	---

TITULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S) GUIDO CUNO RODRIGUEZ – OLGA TAPIA GIMENEZ		
PAGINAS UTILIZADAS 53	AÑO DE PUBLICACION 2021-2	LUGAR DE PUBLICACION LIMA PERU

TIPO DE INVESTIGACION: INFORME DE TESIS – TITULO PROFESIONAL
--

CÓDIGO:	7002737585 -
PALABRAS CLAVES :	Biocatalítica, suelos, petróleo, automoción, vehículos, tratamientos, catálisis, residuos.
MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN	El método de caracterización más empleado es de acuerdo a las características químicas, siendo el análisis por cromatografía de gases por detector de ionización de llama (GC-FIT) y acoplada a Espectrometría de Masas (GC/MS) los más empleado por los investigadores
BIOCATALIZADORES	CEPAS BACTERIANAS: siendo empleados en un 92% y entre las cepas bacterianas el más utilizado para la producción de catalizadores se encuentra los <i>Pseudomonas</i> y <i>Rhodococcus pyridinivorans</i> . RESIDUOS: Los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación son los catalizadores con cepas bacterianas
PORCENTAJE DE REMEDIACIÓN	70 a 80%
RESULTADOS :	De acuerdo con la comparación de los 20 investigadores se tiene que los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación son los catalizadores con cepas bacterianas; presentando porcentajes de remoción en un 70 a 80% y siendo los más usados en comparación con los residuos de materia prima.
CONCLUSIONES:	Los biocatalizadores más empleados para la reducción de contaminación del suelo por aceite proveniente del sector automotor son las cepas bacterianas. Los residuos que generan enzimas con un mayor porcentaje de remediación son los catalizadores con cepas bacterianas.

Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CUNO RODRIGUEZ GUIDO Y TAPIA GIMENEZ OLGA, estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada: "TRATAMIENTOS BIOCATALÍTICOS PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR ACEITE PROVENIENTE DEL SECTOR AUTOMOTOR: REVISIÓN SISTEMÁTICA, 2021", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda citatextual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos 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, 02 de diciembre del 2021

Apellidos y Nombres: CUNO RODRIGUEZ GUIDO	
DNI: 02417075	Firma 
ORCID: 0000 0002 1963 3460	
Apellidos y Nombres: TAPIA GIMENEZ OLGA	
DNI: 43148262	Firma 
ORCID: 0000 0002 6622 159X	