



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Eficacia de las tecnologías de biorremediación para
recuperar suelos contaminados por Hidrocarburos
de petróleo: Revisión sistemática 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Dioses Dioses, Diego Alonso (orcid.org/0000-0003-2753-9850)

ASESOR:

Mg. Quijano Pacheco, Wilber Samuel (orcid.org/0000-0001-7889-7928)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

Dedicatoria

A las personas que fueron mi empuje para salir adelante ante toda adversidad.

A mis padres quienes lucharon de la mano para brindarme un futuro profesional.

A mis Hermanos que fueron mi fijación para superarme como profesional

Agradecimientos.

A Dios, por ser mi guía y darme las fuerzas para seguir de pie luchando por mis metas, lograr mis objetivos ya trasados, A mi asesor por sus palabras de aliento al realizar esta investigación y por último A todas las personas cercanas a mí que siempre han confiado en mi potencial como profesional

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I.INTRODUCCIÓN	1
II.MARCO TEÓRICO	5
III.METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y Diseño de la investigación.....	14
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	15
3.3. Escenario de Estudio.....	16
3.4. Participantes.....	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.6. Procedimientos.....	17
3.7. Rigor Científico.....	19
3.9. Aspectos Éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	22
V. CONCLUSIONES.....	41
VI. RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS.....	45
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Tipos de Petróleo	12
Tabla 02. Matriz de Categorización Apriorística	15
Tabla 03. criterio de inclusión	18
Tabla 04. Artículos Seleccionados Según palabra clave/ criterio de inclusión	18
Tabla 05. Técnicas de biorremediación	24
Tabla 06. Grado de remoción de estrategias IN SITU	28
Tabla 07. Grado de remoción de estrategias EX SITU	30
Tabla 08. Parámetro Físico-químicos del suelo	32
Tabla 09. Características microbiológicas del suelo biorremediado	35
Tabla 10. Microorganismos en el proceso de biorremediación de suelos	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01.	Fases del proceso de investigación	17
Figura 02.	Ejecución del Programa Review Manager 5.4.1	19
Figura 03.	Introducción de los artículos seleccionados	19
Figura 04.	Elaboración de cuadro comparativo de análisis	20
Figura 05.	Evaluación de las Técnicas de biorremediación In Situ	38
Figura 03.	Evaluación de las Técnicas de biorremediación Ex Situ	39

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. Es de tipo aplicada, de enfoque cualitativo de diseño narrativo. Se sistematizó la información de 203 artículos y se seleccionaron 38, los resultados obtenidos fueron para la identificación de tecnologías de biorremediación, se tienen dos métodos, In- Situ (en el lugar) dentro de este método, la atenuación natural es la que obtiene el mayor grado de remoción contando con una eficacia mayor al 90% en 60 días. Y el Ex – Situ (fuera de lugar), posee un método de landfarming el cual obtiene una remoción mayor de 98% a los 85 días. Se concluyó que las características que debe cumplirse para la biorremediación son variantes de acuerdo con la textura del suelo y que los microorganismos que mayor eficacia en la remoción de contaminantes son *Pseudomonas putida B - 2187* y *Rhodococcus erythropolis*. Ya que han conseguido resultados significativos de remoción

Palabras clave: Tecnologías, biorremediación, Hidrocarburos, petróleo, suelo, contaminación, eficiencia.

ABSTRACT

The purpose of this research work was to evaluate bioremediation technologies to recover soils contaminated by petroleum hydrocarbons. It is of an applied type, with a qualitative approach and narrative design. The information of 203 articles was systematized and 38 were selected, the results obtained were for the identification of bioremediation technologies, there are two methods, In - Situ (on site) within this method, natural attenuation is the one that obtains the highest degree of removal with an efficiency greater than 90% in 60 days. And the Ex - Situ (off-site), has a landfarming method which obtains a removal greater than 98% at 85 days. It was concluded that the characteristics that must be fulfilled for bioremediation are variants according to the soil texture and that the microorganisms that are most effective in the removal of contaminants are *Pseudomonas putida* B - 2187 and *Rhodococcus erythropolis*. Since they have achieved significant removal results.

Keywords: Technologies, bioremediation, hydrocarbons, oil, soil, contamination, efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, empezamos a entender que la capacidad del suelo para limpiarse a sí mismo es limitada. El aprieto de abreviar los problemas de contaminación del suelo por hidrocarburos de petróleo. Esto ha llevado al desarrollo de nuevas tecnologías, de las cuales se destaca la biorremediación., también conocida como biotecnología ambiental (Garzón et al., 2017), Teniendo grandes ventajas como: contar con un costo más barato, reducir los tiempos de recuperación de suelos contaminados y tener mayor eficacia que otras técnicas de recuperación de suelos contaminados (Nápoles et al., 2015).

La industria dedicada a la extracción de hidrocarburos, a nivel mundial, ha estado en la búsqueda constante de tecnologías de biorremediación efectivas al impacto contaminante de los derrames y/o fugas de combustible en actividades relacionadas desde la exploración, extracción y transporte hasta la comercialización de petróleo y derivados. Y se busca la eficacia de tecnologías de biorremediación con el fin de lograr operaciones eficientes para la sustentabilidad de la empresa (Sue Yoshi & Wang, 2014).

La biorremediación de hidrocarburos en suelos contaminados en el transcurso del tiempo era una alternativa utilizada para tratar tanto la recuperación y disposición final de residuos contaminantes generados por las empresas productoras de petróleo. El petróleo es considerado como la principal energía que sustenta a un gobierno (Adipah, 2019). El hidrocarburo como materia prima se utiliza para la obtención de muchos derivados como plástico y caucho, combustibles de alto y bajo octanaje entre otros derivados (Nápoles et al., 2015).

En Perú, muchas empresas estatales y privadas han desarrollado procesos, en los cuales han causado derrames de petróleo, y esto es fruto de operaciones ineficientes, cuyo diseño y deterioro de las instalaciones en las que genera el impacto al suelo varían (Vera, 2016). Teniendo así efectos adversos sobre la tierra y otros recursos, además, causan grandes daños económicos y riesgos

potenciales para la salud del personal involucrado y las comunidades afectadas (Environmental Assessment and Control Agency, 2018).

A nivel local, desde hace décadas, las empresas que explotan los recursos de hidrocarburos líquidos conocidos como “oro negro”, así como la presencia de hidrocarburos subterráneos, han causado daños al medio ambiente, empeorando la calidad del suelo. y el entorno que lo rodea (MH Baii, et al., 2017).

La revisión sistemática se elaboró para que el investigador pueda tener un alcance de las tecnologías de biorremediación y su grado de remoción para que se aplique descontaminación de áreas afectadas por derrames de hidrocarburos para recuperar suelos contaminados y evitar impactos ambientales. Las técnicas de remediación biológica eficiente para suelos contaminados con hidrocarburos se encuentran descritas en el D.S. N° 011-2017-MINAM “Normas de Calidad Ambiental de Suelos (ECA)”

Ante la realidad problemática, se presenta **el problema general**: ¿Cómo son las tecnologías de biorremediación de suelos para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo? Así mismo, se plantea **los problemas específicos**: ¿Cuáles son los tipos de tecnología de biorremediación y su porcentaje de eficacia de remoción para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo? ¿Cómo son las características físico-químicas y microbiológicas de las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo? y ¿Cuáles son los microorganismos que degradan los hidrocarburos de petróleo para una eficiente remoción de contaminantes?

Para Justificar este estudio, contaremos con una justificación teórica; Se recopiló información relevante sobre técnicas de biorremediación para la descontaminación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo, para que próximos investigadores determinen que tecnología de biorremediación pueda ser más beneficiosa. Se cuenta con una justificación Técnica; la Aplicación de tecnología de biorremediación para tratar suelos contaminados con

hidrocarburos Los organismos deben poseer la actividad metabólica necesaria para degradar los contaminantes a un ritmo adecuado, y las condiciones del suelo deben favorecer el desarrollo de la actividad microbiana y tener bajos costos de desarrollo. Se justifica de manera socioeconómica; La biorremediación es el método más deseable para rehabilitar suelos contaminados, en contraste con alternativas más caras y menos aceptables para el público. Las tecnologías de degradación en suelos contaminados por hidrocarburos pueden ser eficiente y económico si se optimizan las condiciones de biodegradación.

Se tiene como **objetivo principal**: Evaluar las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos. Porque es ecológicamente importante descontaminar el suelo con impactos significativos en el medio ambiente y la salud pública, el deterioro paisajístico y la eliminación de especies expuestas. Así se tiene como **objetivos específicos**: Identificar los tipos de tecnologías de biorremediación y su porcentaje de eficacia de remoción para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo, Identificar las características físico-químicas y microbiológicas de biorremediación para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos petróleo e Identificar los microorganismos que degradan los Hidrocarburos de petróleo para una eficiente remoción de contaminantes.

Teniendo como **hipótesis general** que con la revisión sistemática se podrá determinar la eficiencia de las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo.

II. MARCO TEÓRICO

Benguenab y Chibani (2021) – Encontraron que los hongos de seis aceites para automóviles (UE) contaminan los hongos del suelo se degradan efectivamente por el hidruro de carbono. De esta manera, los investigadores evaluaron la descomposición original de hidrógeno de carbono a través de este hongo, y también apreciaron el combustible diésel de la UE y retiraron el aceite. Con ese fin, aislaron y caracterizaron dos hongos, *Aspergillus ustus* HM3.aaa y *Purpureocillium lilacinum* HM.aaa, según NCBI. Usando el método del diámetro de crecimiento radial, ambos microorganismos se utilizaron para probar su tolerancia a diferentes concentraciones de los contaminantes anteriores. Se estimó el porcentaje de remoción de hidrocarburos por gravedad y luego se estudió la cinética de degradación del crudo durante un período de 10 días. Aunque los hongos seleccionados son de interés para la degradación del aceite y su uso en la biorremediación de suelos, se necesita más investigación para dilucidar mejor su uso y metabolismo, especialmente considerando las propiedades de las enzimas que promueven la degradación.

Abbaspour Ali et al. (2020) – El objetivo de su estudio fue investigar la implementación de una tecnología eficaz para prevenir o reducir los efectos nocivos generales de los hidrocarburos de petróleo en el suelo. Y como método, se estudiaron los efectos del biocarbón, la micorriza y la combinación de micorriza y biocarbón en el crecimiento de dos especies nativas en experimentos de invernadero, se estudió la efectividad de la remoción de trébol, lila y TPH del suelo contaminado con aceite. Por lo tanto, el análisis de las plantas después de 50 días de crecimiento mostró un aumento significativo en el peso seco de los brotes de malva en el tratamiento. B y MB, pero el trébol no tuvo un efecto significativo en comparación con el control.

Bajagrain, R. Estudio (2020) - Investigación, evaluación, evaluación y análisis del proceso de mejora del tamaño de microorganismos, mejora del laboratorio de aceite nutricional y de voltaje, seguido de productos químicos. Como tratamiento de acabado. Los resultados mostraron que la adición de microorganismos redujo gradualmente la concentración de TPH en el suelo (TPH inicial=5932±267mg/kg), y la eficiencia de remoción fue de 70-72% (TPH>800mg). Se concluyó que solo

después de la biodegradación, el tratamiento posterior a la oxidación puede oxidar las fracciones menos biodegradables, lo que reduce la necesidad de oxidantes y mejora las propiedades del suelo, como el pH, la cantidad de sustratos naturales y las poblaciones microbianas.

Vasilyeva. et al. (2019) su estudio identificó el potencial de la biorremediación por adsorción, una técnica de adsorción microbiana aplicada a suelos de bosques grises altamente contaminados (sin tratar 5, 10 usando adsorbentes, adyuvantes (ACD) en combinación con probióticos. y 15'). Además de investigar los efectos de los adsorbentes sobre las tasas de biorremediación, la fitotoxicidad y las poblaciones microbianas, también se investigaron los efectos de los adsorbentes sobre la lixiviación del suelo de hidrocarburos y metabolitos polares. Luego se preparó el adsorbente y se preparó un adsorbente mixto consistente en carbón activado granular de 1-2 mm y tierra de diatomeas en polvo (3:1 p/v) y la mezcla se pulverizó en un mortero hasta obtener semillas.

Baoune, H. et al. (2019) Su estudio evaluó el uso de *Streptomyces*. Hlh1 trata suelos contaminados con diferentes concentraciones de crudo mediante el estudio de la remoción total de hidrocarburos de petróleo (TPH) y sus fracciones hidrocarbonadas. La investigación ha sido aplicada y probada. Los resultados mostraron que la biorremediación se llevó a cabo utilizando *Streptomyces*. Desde un punto de vista biotecnológico, Hlh1 sería una alternativa prometedora para la eliminación y desintoxicación de aceites de ambientes contaminados.

Üstun, S. et al. (2016) Su estudio tuvo como objetivo investigar el uso del hongo *Aspergillus niger* para eliminar hidrocarburos del suelo contaminado con petróleo para investigar su degradación. Se cultivó en tres medios de suelo diferentes, el primero que contenía suelo esterilizado con *Aspergillus niger* y el segundo que contenía sus propios microbios del suelo y *Aspergillus niger*. Níger, 3. con microbios en objetos de suelo individuales. Este procedimiento toma 96 días. Las muestras se analizaron al principio y al final del experimento. En sus resultados concluyó que el mejor desempeño fue en el primer ambiente con una reducción del 30% con valores iniciales de 8300 ppm a 0,630 ppm (30 días), 39. 30 ppm (65 días) y 33.600 ppm (96 días).

Wang, et al. (2016) Su estudio para evaluar el uso potencial de la recuperación de suelos en la biorremediación de suelos aceitosos. Un modelo científico en miniatura para evaluar las condiciones óptimas de tratamiento para la adición de varios aditivos y probar la efectividad de la aplicación para el mejoramiento agrícola para limpiar suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo, a menudo abreviado como t/h. Los resultados muestran que los aditivos para lodos activados y compost pueden resultar en un aumento en la cantidad de microbios del suelo y un aumento en la eficiencia de degradación de los glóbulos blancos (hasta un 83 % de eliminación de TPH después de 175 días de incubación) con un TPH inicial de 4100 mg/kg.

Ñustez Cuartas (2012) Su investigación desarrolló una investigación experimental orientada a evaluar los efectos de la biorremediación y bioestimulación en sedimentos contaminados con hidrocarburos. Utilizando bioaumentación, añadiendo microorganismos adaptados a los hidrocarburos, mientras métodos de Bioestimulación - adición de nutrientes (urea), adición de agua e inversión manual, control semanal de temperatura, pH y porcentaje de humedad. La duración total es de veintitrés (23) semanas. Después de veintitrés (23) semanas, la tasa de degradación de los hidrocarburos totales osciló entre 79,7% y 93,4%. Presente el experimento más alto entre las réplicas del experimento.

Samánez (2008) evaluó la capacidad de degradación de las bacterias (bioaumentación). También se utilizaron *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter*, acetato de calcio y bioestimulación de *Bacillus* (C/N: 100:1 y NPK: 20:20:1). Los resultados de las pruebas mostraron que la combinación de bacterias y fertilizantes inorgánicos redujo el aceite en un 71,4 %; también fueron bacterias nativas en los fertilizantes inorgánicos resultantes, degradaron el 66,7 % del aceite y luego se biodegradaron al 61,9 % de la merma del aceite, luego al 52,3 % de la dicotomía bacteriana nativa, y finalmente al control abiótico con una tasa de degradación del 28 %.

Las teorías relacionadas:

La técnica de biorremediación se considera sencilla y de fácil aplicación, incluye

poder aprovechar la actividad microbiana del ambiente (Beltrán, P. et al., 2013, p. 2) en el que más se utilizan los hongos, bacterias, levaduras, microalgas (Hernández, R. et al., 2017, p. 11) (Rivera, Andrade y Rivera, 2017, p. 250). La biorremediación está influenciada por varios factores, como la biodegradabilidad de los microorganismos, la distribución de los contaminantes en el ambiente en relación con la población microbiana (Álvarez, 2015, p. 20), además de la temperatura, el pH y la presencia de oxígeno (Ome y Zafra, 2018, pág. 575), tipo de suelo y nutrientes. Las ventajas de esta tecnología son los bajos costos operativos en comparación con otras tecnologías, la reducción del daño ecológico durante la limpieza, la descomposición de varios contaminantes; Sin embargo, también tiene algunas limitaciones, como el almacenamiento de productos químicos con alto contenido de cloro que no se degradan fácilmente (Garzón, Rodríguez, & Hernández, 2017, p. 31).

Las técnicas de Recuperación de Suelos están determinadas por el sitio donde se realizará la descontaminación de suelo, la implementación de los procedimientos necesarios para llevar el suelo contaminado al laboratorio para utilizar métodos ex situ e in situ para tratar el suelo en el punto de origen. La tecnología in situ tiene un coste menor que la tecnología Ex Situ, pero requiere mucho tiempo para limpiar. (Instituto Español de Minas y Geología "IGME", 1996).

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consta de una estructura de átomos de carbono a la que se unen átomos de hidrógeno. Los hidrocarburos son los compuestos básicos de la química orgánica. Una cadena de átomos de carbono puede ser cadena lineal, cadena ramificada, cadena abierta y cadena cerrada. (Spinoza, 2011). Los hidrocarburos crudos y sus productos refinados se pueden dividir en cuatro categorías: compuestos orgánicos alifáticos, cíclicos, aromáticos y polares (Escalante, 2000).

Los microorganismos, también conocidos comúnmente como bacterias, virus o microbios, se encuentran en todo nuestro entorno y vienen en muchas formas y

tamaños, aunque su tamaño característico es debido a su pequeño tamaño, son difíciles de observar a simple vista. Son reconocidos por el mundo como los elementos básicos de las funciones que realizan (Sánchez, González y Ayora, 2017, p. 1).

Los estándares de calidad ambiental son medidas destinadas a determinar la concentración o los niveles de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en el aire, el agua o el suelo que no representen un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente en las condiciones ambientales en que se encuentran. Dependiendo del parámetro específico al que se refiera, la concentración o nivel puede expresarse como un valor máximo, un valor mínimo o un rango (MINAM, 2017).

En el procesamiento biológico, se utilizan microorganismos que permiten la descomposición de sustancias orgánicas. Se pueden procesar de dos formas: aeróbica (incluye la producción de compost o residuos biestables) y anaeróbica (principalmente para la producción de biogás). Sin embargo, cabe señalar que los residuos contienen compuestos nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente (Steinvorth, 2014, p. 3).

Los tratamientos EX SITU se definen como técnicas de tratamiento del suelo comúnmente denominadas "suelo de cultivo", compostaje, biopilas y biorreactores. Landfarming consiste en retirar la tierra contaminada y verterla sobre un lecho previamente preparado con una geomembrana en la parte inferior. comúnmente, la superficie del suelo excavado varía de 10 a 35 cm. Cuando el suelo se limpia en el lecho, se estimula el sistema microbiano para iniciar la descomposición de los agentes contaminantes (Villegas et al., 2014). Asimismo, el compostaje basado en el metabolismo microbiano anaeróbico es un proceso de descomposición de residuos orgánicos, que suele realizarse a temperaturas entre 55 y 65 °C. por lo general las altas temperaturas son el resultado de la actividad biológica (Das y Dash, 2014). Una estrategia de biorremediación in situ son las biopilas, esto conlleva mezclar suelo con agentes contaminantes con suelo preparado previamente, y luego colocarlos en un área definida; El tratamiento

biológico se realiza por aireación. Se controlan varios parámetros como la humedad, los nutrientes, el calor, el oxígeno y el pH. En particular, el proceso de aireación y el propio sistema de control de nutrientes pueden llevarse a cabo bajo vacío o presión positiva. De hecho, El uso de biopilas ha demostrado ser una tecnología eficaz para la remediación de sitios contaminados con agentes de petróleo (Dzionic et al., 2016). Por último, la tecnología de biorreactores se puede utilizar para tratar sólidos totales (suelo, sedimentos, lodos) o agua contaminada. Esencialmente, los sustratos contaminados se transfieren a contenedores que contienen inóculo, nutrientes y parámetros controlados para el tratamiento biológico (Labana et al., 2007).

La biorremediación IN-SITU está determinada por atenuación natural, bioventilación, bioestimulación y bioaumentación. El proceso de mitigación natural se refiere al proceso inherente de biorremediación, depende de diversos factores físicos, químicos y biológicos que trabajan en condiciones favorables sin intervención humana para reducir la masa, volumen, toxicidad o concentración de los agentes contaminantes (Srivastava, 2015). Por su parte, la ventilación biológica supone el suministro de aire e incluso de nutrientes a las zonas contaminadas mediante la adecuación de canales y redes de canales, caracterizados por el suministro de una velocidad de aire moderada", para estimular el metabolismo aeróbico de los microbios y promover la oxidación de compuestos contaminantes, al tiempo que reduce la evaporación de sustancias contaminantes a la atmósfera (Vivaldi, 2011) Para culminar, La bioestimulación en sí es una estrategia muy similar a la bioemisión, basada en aumentar los suelos contaminados aportándoles nutrientes, oxígeno, tensioactivos o agua, o modificando otras variables ambientales. Actividad de bacterias endógenas (Zawierucha y Malina, 2011). La bioaumentación se conoce como el proceso de agregar microorganismos a un ambiente contaminado para acelerar la biorremediación (Zawierucha y Malina, 2011).

Los suelos contaminados son suelos que han sido alterados negativamente en sus propiedades químicas, debido a la existencia de contaminantes por el

desarrollo de diversas actividades humanas (MINAM, 2015).

Una revisión sistemática identifica, selecciona y evalúa críticamente los estudios relevantes que se recopilaron y analizaron en función de los datos de los estudios incluidos (González, Cobo y Villaró, 2014).

El petróleo es considerado una combinación de hidrocarburos y se divide en cuatro categorías. Está compuesta principalmente por hidrocarburos (Aguirre, Macedo, 2014, p.4). según como observaremos en la **Tabla 01** se definen los tipos de petróleo.

Tabla 01: Tipos de Petróleo

Aceite crudo	Densidad (c gm-3)	Densidad en grado Apl
Extrapesado	>1	10
Pesado	1.0 - 9.2	10-22.3
Mediano	0.92-0.87	22.3-31.1
Ligero	0.87-0.83	31.1-39
Súper ligero	<0.83	>39

Fuente: American Petroleum Institute 2011.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de la investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que el propósito de este tipo de contribución investigativa es arrojar luz sobre la comprensión de fenómenos o aspectos de la realidad y/o la resolución de problemas, y se caracteriza por la aplicación de los conocimientos buscados (Hernández y Fernández, 2014).

Con un enfoque mixto y de diseño no experimental. Según (Hernández & Fernández, 2014), el estudio utilizó como diseño de estudio el diseño de tema narrativo. Es el proceso de sintetizar información narrativa sobre la experiencia del participante a partir del enunciado del problema; crea una coproducción que incluya historias individuales, es decir, el investigador reúne las historias y eventos de los participantes.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

La **Tabla 02** contiene ciertas categorías, subcategorías y una matriz apriorística donde se indican objetivos específicos, problemas específicos, categorías y subcategorías.

TITULO: Eficacia de tecnologías de Biorremediación para recuperar suelos contaminados por Hidrocarburos petróleo

OBJETIVO: Evaluar la eficacia al aplicar tecnologías de biorremediación de suelos para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo

Tabla 02: Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Subcategorías	Unidades de Análisis
Identificar los tipos de tecnologías de biorremediación y su porcentaje de eficacia de remoción para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo	¿Cuáles son los tipos de tecnología de biorremediación y su porcentaje de eficacia de remoción para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo?	Tipos de tecnologías de biorremediación	<ul style="list-style-type: none"> ● In-Situ ● Ex-Situ ● Porcentaje de eficacia de remoción 	<ul style="list-style-type: none"> ● (Zawierucha y Malina, 2011). ● (Vivaldi, 2011). ● (Srivastava, 2015). ● (Villegas <i>et al.</i>, 2014). ● (Das y Dash, 2014). ● (Dzionic <i>et al.</i>, 2016). ● (Gómez, S., et al. P. 2008.) ● (Ordóñez, 1995; EPA. 2000).
Identificar las características físico-químicas y microbiológicas de biorremediación para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos petróleo	¿Cómo son las características físico-químicas y microbiológicas de las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo?	Características para la biorremediación	<ul style="list-style-type: none"> ● Físico-Químico ● Microbiológicos 	<ul style="list-style-type: none"> ● (Cando R, et al. 2011) ● (García Frutos, Francisco et al 2010) ● (Viñas Canals, Marc, abril de 2005) ● (Medegan MT 1998) ● (ISO 6887.1993) ● (ISO 4833:1991)
Identificar los microorganismos que degradan los Hidrocarburos de petróleo para una eficiente remoción de contaminantes	¿Cuáles son los microorganismos que degradan los hidrocarburos de petróleo para una eficiente remoción de contaminantes?	Microorganismos que degradan los Hidrocarburos de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> ● Aeróbica ● Anaeróbica 	<ul style="list-style-type: none"> ● (Zue et al., 2020) ● (Khan et al.,2018) ● (Bao et al., 2017) ● (Sutton et al., 2011)

3.3. Escenario de Estudio

El escenario de investigación no se definió de acuerdo con la especificación del protocolo PRISMA 2020 Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Met-Analyses, ya que se basa en materiales científicos y es solo una revisión bibliográfica de la efectividad de los métodos de biorremediación para restaurar suelos contaminados con hidrocarburos.

3.4. Participantes

No existe participante en este trabajo, pero se tendrá en cuenta los trabajos de investigación que se ubicaron; Este estudio identificó 203 artículos de las Revistas del Índice de Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos, de los cuales 40 eran duplicados y 22 abiertos. Se seleccionaron 38 artículos que cumplieron con las características de estudios para determinar la efectividad de las técnicas de biorremediación para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Disponible en las siguientes revistas indexadas:

- RESEARCHGATE
- WORLDCAT
- SCIENCEDIRECT
- REDALYC
- WORD WILD SCIENCIE
- SCOPUS
- ALICIA – CONCYTEC
- SCIELO

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se estimó utilizar en el siguiente trabajo es de observación indirecta. Los instrumentos para la recolección de datos se realizaron mediante una ficha de análisis de contenido, en la cual se detalla el contenido de cada artículo indexadas tal como: Código ISBN O DOI, palabra clave, Objetivo, Técnica, metodología, resultados y conclusiones del tema en búsqueda.

se vincula la información recolectada al análisis de cada artículo, permitiendo la organización precisa de los diversos contenidos de forma sistemática, permitiendo una planificación completa. El trabajo analítico presentado posteriormente en este documento final condujo al acuerdo sobre una estructura apropiada para el informe final y la hoja de ruta (Cegarra, 2011, p. 102).

Como se mencionó anteriormente, este estudio uso una base de datos en Excel, y estuvo guiada por el programa Review Manager 5.4.1 cual orienta al autor de la revisión sistemática. La base de datos contiene información comparativa para medir la efectividad de los métodos de biorremediación: nombre, autor de la simulación, tipo de técnica, índice, objetivo, proceso, resultado.

3.6. Procedimientos

se dividió en 04 Fases del proceso de investigación, así como lo observaremos en la Figura 01:

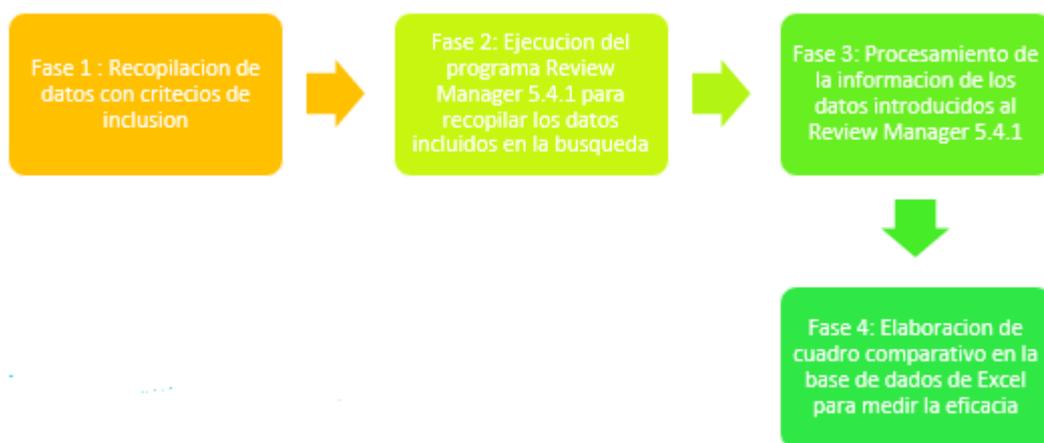


Figura 01 – Fases del proceso de investigación

La división de estos procesos ayuda a de forma más certera como va ser realizada la investigación, como veremos a continuación:

Fase 1: Recopilación de datos Con criterios de Inclusión

Para la recopilación de datos, primero se crearon las siguientes palabras clave para identificar artículos relevantes: "tecnología de biorremediación" "suelo contaminado con hidrocarburos "(suelo contaminado con hidrocarburos) "biorremediación de tecnología de eficiencia" (eficiencia de la tecnología de biorremediación). Estas claves son claves relacionadas con el tema de investigación.

Estas palabras clave fueron utilizadas en las bases de datos anteriores, teniendo en cuenta los criterios de inclusión que se muestran en la **Tabla 03**:

Tabla 03: "Criterios de inclusión"

Criterios	Inclusión
Idioma	Inglés - español
Rango de tiempo	2015 – 2022
Ingreso	Acceso Libre
Tecnología de biorremediación	In Situ – Ex Situ

Una vez que se definieron las palabras clave y los criterios de inclusión, se identificaron y seleccionaron 38 artículos incluidos que cumplieran con los criterios de búsqueda de las siguientes bases de datos para completar la búsqueda tal como se muestra en la **Tabla 04**.

Tabla 04: "Artículos seleccionados por Palabra clave/inclusión"

BASE DE DATOS	N° DE ARTICULOS
ResearchGate	8
Scielo	10
Sciencedirect	9
Scopus	7
Otras fuentes	4
TOTAL =	38

Fase 2: Ejecución del programa Review manager 5.4.1

Se eligió el programa Review Manager 5.4.1 por que logra guiar al autor a realizar una revisión sistemática completa, una vez que se introducen al programa los artículos seleccionados por criterio de inclusión, el programa logra realizar la composición del texto de la misma revisión, sus cuadros de análisis estadísticos, tablas y referencias bibliográficas. Tal como se muestra en la **Figura 02**.

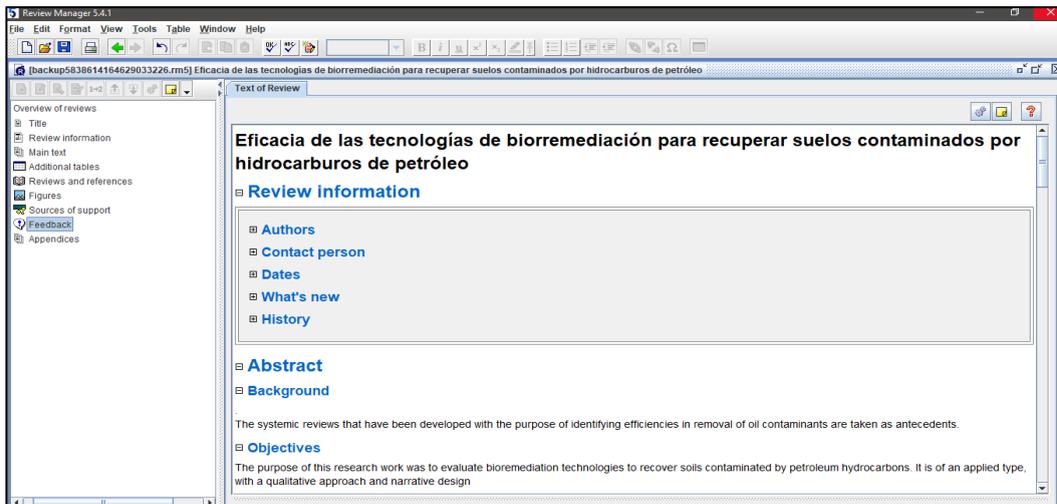


Figura 02 - Ejecución del Programa Review Manager 5.4.1

Fase 3: Procesamiento de la información introducida a Review manager 5.4.1

Se introducen al Software Review Manager 5.4.1 los 38 artículos seleccionados anteriormente para que el programa realice el estudio y el enjuiciamiento de la información y así poder obtener la revisión sistemática requerida para la investigación. Tal como se muestra en la **Figura 03**.

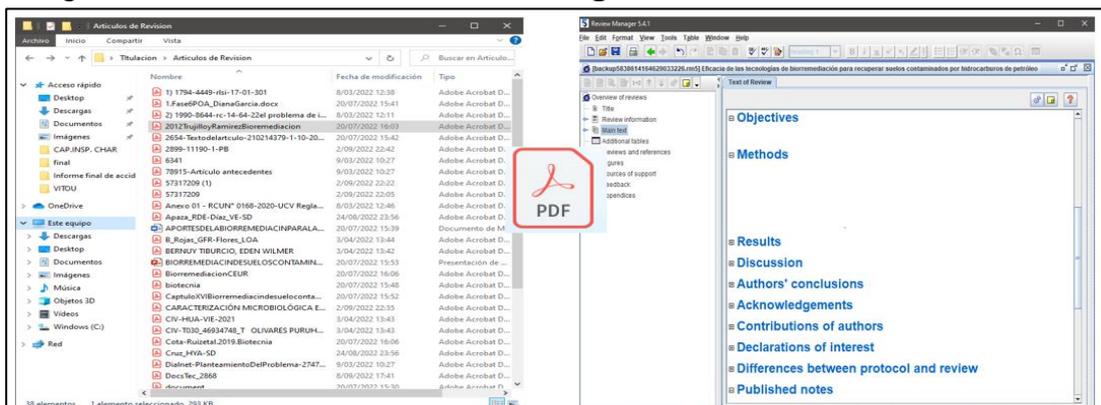


Figura 03 - Introducción de los artículos seleccionados

Fase 4: Elaboración del cuadro comparativo

Una vez ya procesados los datos en el Software se elabora un cuadro comparativo y así realizar el análisis de la eficacia de las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados según la información obtenida. Este análisis se realiza a través de la elaboración de un cuadro donde se detalla: Autor, Año de la investigación, Tipo/clase de Hidrocarburo, Tecnología de Biorremediación, procedimiento del proyecto, grado de efectividad, resultados, conclusiones y observaciones. Se elabora de tal forma como se muestra en la Figura 04.

ITEM	Autor	Año de la investigación	Tipo/clase de Hidrocarburos	Procedimiento del proyecto	Grado de efectividad	Conclusiones y Observaciones
1	Fernández Vázquez, R. L.	2020	Hidrocarburos totales de petróleo	Es un proceso intrínseco de biorremediación para tratar suelos contaminados, este proceso depende de diversos factores físicos, químicos y biológicos que, bajo condiciones favorables, son sin la intervención del humano para reducir la masa, volumen, toxicidad o concentración de los contaminantes recuperando así áreas de suelo contaminadas	99.99%	La eficiencia total de remoción en cada muestra es de 99.03%, es decir, que las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo han disminuido satisfactoriamente con respecto a la concentración que se tenía inicialmente, notándose que en las 14 muestras realizadas se presentó la disminución y alta eficiencia de remoción de Hidrocarburos Totales de petróleo (100%)
2	Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P.	2013	Hidrocarburos totales de petróleo	Este proceso consiste en suministrar aire e incluso nutrientes al área contaminada mediante la adecuación de una red de ductos y tuberías, se caracteriza por proveer tasas "moderadas" de aire para estimular el metabolismo aerobio de los microorganismos y promover la oxidación de los compuestos contaminantes, al mismo tiempo que se minimiza la volatilización de los contaminantes a la atmósfera	Media (65% a 75%) Baja (65% a 25%)	Una vez que se obtuvo el Análisis de los porcentajes de eficacia la técnica de Bioventing se observan porcentajes de remoción de hidrocarburos totales de petróleo en tres zonas analizadas correspondiendo a la zona alta entre el 65% y el 75% y en las zonas media y baja entre el 60% y el 25%.

Figura 04 – Elaboración de cuadro Comparativo de análisis

3.7. Rigor Científico

Se aplicó rigor científico en diferentes etapas de desarrollo del estudio incluyendo 4 Criterios de Rigor: Credibilidad, Confirmabilidad, Transferibilidad y Consistencia.

Criterio de Credibilidad, Este criterio asegura que el lector o investigador que lee la investigación se sienta creíble en la información presentada, En muchos casos, esto es difícil de lograr. Este criterio se puede encontrar poniéndose en contacto

con los lectores de este informe, y los lectores interesados en las técnicas de biorremediación pueden encontrar la información original (Noreña et al., 2012).

Los criterios confirmatorios permiten a los autores proporcionar pistas sobre las que los futuros investigadores pueden seguir trabajando cuando se aplican a otros contextos. Este criterio aborda los métodos de investigación para la eficacia de las tecnologías de biorremediación para que los futuros investigadores puedan utilizar el diseño del método en otras áreas de investigación (Arias et al., 2011).

Criterios de transferibilidad, propiedad del autor principal del estudio. Es responsable de trasladar los resultados del estudio a otros estudios futuros. Apoyado en una bibliografía detallando los datos más resaltantes para que todos los futuros investigadores puedan sustentar la información utilizada en el desarrollo del estudio (Hernández et al., 2014).

Los criterios de consistencia son difíciles de lograr, ya que es la información derivada de otros documentos, también es un criterio importante para la estabilidad y seguridad de los datos distribuidos, y este criterio se logra proporcionando la mayor cantidad de información posible del autor para garantizar la máxima comprensión de la información proporcionada (Noreña et al., 2012).

3.8 Método de análisis de datos

Para analizar los resultados obtenidos se utilizará estadística descriptiva, en la que se determinará la media y la varianza de cada parámetro estudiado, y se elaborarán gráficos y tablas con el programa Microsoft Excel.

3.9. Aspectos Éticos

Este estudio fue construido con una base de datos científica con datos reales de revistas indexadas. También se utilizaron referencias bibliográficas según los lineamientos ISO 690 de la UCV.

La originalidad de este proyecto es de datos verdaderos tomados de fuentes y artículos científicos que se encuentran al alcance de los investigadores y se

supervisó por Turnitin.

De acuerdo con el Código de Conducta de la Universidad César Vallejo, la información de investigación es el desarrollo de un trabajo de investigación realizado de conformidad con las siguientes disposiciones de un proceso justo en la Resolución del Consejo Universitario 0126-2017/UCV sobre el Código de Ética para ser adoptado. en cuenta (Capítulo III) sobre las etapas de investigación y los pasos de graduación. También se ha tenido en cuenta el n° RR. 0089-2019-UCV, en el que se explican los aspectos generales a tener en cuenta al redactar un trabajo de investigación. Además, las líneas de búsqueda basadas en RCU están determinadas por el N°200-2018/UCV.

Respeto la propiedad intelectual de los autores de esta revisión sistemática, referenciando su información de manera adecuada y según la norma APA

La veracidad de este trabajo de investigación tiene como finalidad brindar resultados correctos y precisos que han sido tomados de fuentes con respaldos bibliográficos.

IV. RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1 Tecnologías de biorremediación y su grado de eficacia de remoción para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos

Para Presentar los tipos de tecnologías de biorremediación se elaboró un cuadro en Excel, con los que se determina: **La Técnica, los tipos, la consistencia del tratamiento, grado de eficacia y Autores** que han realizado este procedimiento. COTA-RUIZ, Keni, et al. Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. *Biotechnia*, 2019, vol. 21, no 1, p. 37-44. refiere los términos de consistencia de los tratamientos de biorremediación actualizados según sus autores. Tal como se muestra en **Tabla 05**.

Tabla 05: Tecnologías de Biorremediación

TECNICA DE BIORREMIEDIACION	TECNOLOGIA DE BIORREMIEDIACION	CONSISTENCIA	GRADO DE EFECTIVIDAD	AUTOR/ TITULO DE INVESTIGACION
IN SITU	ATENUACION NATURAL	Es un proceso intrínseco de biorremediación para tratar suelos contaminados, este proceso depende de diversos factores físicos, químicos y biológicos que, bajo condiciones favorables, actúan sin la intervención del humano para reducir la masa, volumen, toxicidad o concentración de los contaminantes recuperando así áreas de suelo contaminadas (Srivastava, 2015).	La eficiencia total de remoción en cada muestra es de 99.09%, es decir, que las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo han disminuido satisfactoriamente con respecto a la concentración que se tenía inicialmente, notándose que en las 14 muestras realizadas se presentó la disminución y alta eficiencia de remoción de Hidrocarburos Totales de petróleo (100%)	Fernández Valqui, R. L. (2020). Atenuación natural y biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú
	BIOVENTEO	Este proceso consiste en suministrar aire e incluso nutrientes al área contaminada mediante la adecuación de una red de ductos y tuberías, se caracteriza por proveer tasas "moderadas" de aire para estimular el metabolismo aerobio de los microorganismos y promover la oxidación de los compuestos contaminantes, al mismo tiempo que se minimiza la volatilización de los contaminantes a la atmósfera (Vivaldi, 2011).	Una vez que se obtuvo el Análisis de los porcentajes de eficacia la técnica de Bioventing se observan porcentajes de remoción de hidrocarburos totales de petróleo en tres zonas analizadas correspondiendo a la zona alta entre el 65% y el 75% y en las zonas media y baja entre el 60% y el 25%.	Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P. (2013). Evaluación de las técnicas de atenuación natural, bioventing, bioaumentación y bioaumentación-bioventing, para la biodegradación de diésel en un suelo arenoso, en experimentos en columna. <i>Gestión y Ambiente</i> , 16(2)

IN SITU	BIOESTIMULACION	<p>Este proceso consiste en aumentar la actividad de las bacterias endógenas de los suelos contaminados al proveerles nutrientes, oxígeno, surfactantes o agua, o al modificar otras variables ambientales. (Zawierucha y Malina, 2011).</p>	<p>Los niveles de remoción de hidrocarburos obtenidos durante los 60 días de evaluación en los tratamientos con FIC y U (28 y 24% de remoción), demostraron que independiente, la adición de nutrientes inorgánicos a la concentración bajo condiciones óptimas (pH, temperatura, humedad y aireación), son adecuadas para estimular la densidad de microorganismos degradadores y llevar a cabo exitosamente la degradación de contaminantes de Hidrocarburos Totales de petróleo (HTP)</p>	<p>Vallejo Quintero, V. E., Sandoval Cobo, J. J., Garagoa Barahona, S. C., & Bastos Arenas, J. (2016). Evaluación del efecto de la bioestimulación sobre la biorremediación de hidrocarburos en suelos contaminados con alquitrán en Soacha, Cundinamarca-Colombia. <i>Acta agronómica</i>, 65(4)</p>
	BIOAUMENTACION	<p>Es un proceso mediante el cual se añaden microorganismos al ambiente contaminado con el objetivo de acelerar la biorremediación (Zawierucha y Malina, 2011).</p>	<p>Se obtuvo los valores más bajos de remoción de todas las técnicas analizadas de entre el 20% y el 48%. Con los resultados anteriores se puede establecer que la adición del consorcio bacteriano no produjo una degradación significativa, debido a que no hubo un crecimiento de microorganismos durante todo el tiempo del experimento; sin embargo, sí ocurrió una leve degradación por oxidación química, la cual se evidencia en los valores de la concentración de oxígeno aportado por el agua de entrada.</p>	<p>Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P. (2013). Evaluación de las técnicas de atenuación natural, bioventing, bioaumentación y bioaumentación-bioventing, para la biodegradación de diésel en un suelo arenoso, en experimentos en columna. <i>Gestión y ambiente</i>, 16(2), 83-94.</p>

EX SITU	LANDFARMING	<p>Este proceso consiste en remover el suelo contaminado y verterlo sobre una cama previamente preparada en cuyo fondo se encuentre una geomembrana (que se utiliza como aislante para evitar filtraciones al subsuelo). En general, las superficies de suelo excavadas oscilan los 10-35 cm. Una vez que el suelo se ha vaciado en la cama, se estimulan los consorcios microbianos para que inicien con la degradación de los contaminantes (Villegas <i>et al.</i>, 2014).</p>	<p>Esta técnica se integraron varias disciplinas que, mediante una metodología planificada, permitieron, por un lado, alcanzar niveles de recuperación del suelo hasta porcentajes por debajo del 2% de Hidrocarburos Totales de petróleo, lo cual permite su acondicionamiento para fines industriales y/o comerciales.</p>	<p>Castillo, P. (2009). Aplicación de la técnica de landfarming para la remediación de suelos contaminados por Hidrocarburos (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil) Universidad de Piura, facultad de Ingeniería, Programa académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú</p>
	BIOPILAS	<p>Este proceso consiste en mezclar suelos contaminados con suelos previamente preparados, para después colocarlos en un área determinada; la biorremediación se lleva a cabo utilizando aireación. Diversos parámetros como la humedad, nutrientes, calor, oxígeno y pH son controlados. Cabe señalar que la aireación y el propio sistema de control de nutrientes se pueden realizar ya sea por vacío o por presión positiva. En la práctica, el uso de biopilas ha resultado ser una técnica exitosa para remediar sitios contaminados con petróleo. (Dzionic <i>et al.</i>, 2016)</p>	<p>Durante el proceso de biorremediación en biopilas no se alcanzó a estar dentro de los límites máximos permisibles, sin embargo, se logró la remoción del contenido de Hidrocarburos Totales del Petróleo hasta un 58.87 % mediante la técnica de bioaumentación y texturizante de plátano en biopilas</p>	<p>Romero, N. (2021). Biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos mediante biopilas utilizando bioaumentación bacteriana y texturizante de plátano (Maestría en ciencias del ambiente) Facultad de ciencias Biológicas y agropecuarias, Universidad de Veracruzana. Regio Poza-Rica, Tuxpan</p>

EX SITU	COMPOSTEO	<p>Es un proceso de degradación de residuos orgánicos basado en el metabolismo microbiano anaerobio, típicamente se lleva a cabo a temperaturas entre 55 – 65 °C. Las temperaturas elevadas son producto de la actividad biológica (Das y Dash, 2014)</p>	<p>Según los resultados de la experimentación se determinó que la aplicación de compost y Zea mays (maíz) como tratamiento en conjunto para la remoción de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) fracción F2 y F3 es viable presentando remociones superiores al 71% y 53 % respectivamente.</p>	<p>Taípe Pérez, R. A., Amaro Barreto, L. A., Armas Tarazona, L. M. (2020). Evaluación de la Remoción de Hidrocarburos de Petróleo fracción f2 y f3 en Suelos contaminados mediante la aplicación de Compost y Zea Mays (maíz). (Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales) Universidad Nacional del Callao. Callao, Lima.</p>
	BIORREACTORES	<p>la tecnología de biorreactores para tratar materiales sólidos (suelos, sedimentos, lodos) o aguas contaminadas. En esencia, las matrices contaminadas son transferidas a recipientes con inóculos, nutrientes y parámetros controlados para su biorremediación. (Labana et al., 2007)</p>	<p>Se alcanzó un porcentaje de 47.92% de biodegradación del diésel B5 en el T2 (10% de Diésel) en un tiempo de 21 días de tratamiento, un porcentaje de 50.83% de biodegradación del diésel en el T3 (20% de Diésel), en un tiempo de 28 días de tratamiento y un porcentaje de 43.04% de biodegradación del diésel en el T4 (30% de Diésel) en un tiempo de 36 días de tratamiento.</p>	<p>Quispe Huanca, J. M. M. (2020). Determinación de los tiempos de la biodegradación del hidrocarburo (Diésel B5) a diferentes concentraciones en biorreactores de polietileno con un inóculo de bacterias nativas de suelo contaminado con hidrocarburos.</p>

Con la revisión sistemática se pudo definir las técnicas de biorremediación las cuales son **In-situ** la cual se define por la técnica que se realiza en el lugar de origen de la contaminación, aplicando alternativamente los tratamientos, en este caso podemos definir la consistencia de los tratamientos de Atenuación Natural, Bioestimulación, Bioaumentación y Bioventeo obteniendo así de forma detallada su consistencia para la fácil comprensión del lector.

Por otro lado, otra de las técnicas de **biorremediación Ex -Situ**, son tecnologías utilizadas fuera del lugar de la contaminación, pero han mostrado ser tecnologías con mucha eficacia y a un costo menor. Los tratamientos ExSitu son, landfarming, Biopilas, Composteo y Biorreactores

GRADO DE EFICACIA DE REMOCIÓN

Se realizó un análisis comparativo de los grados de remoción obtenidos por la salida de resultados del Software Review Manager 5.4.1 de las técnicas de aplicación In- Situ de los artículos que fueron seleccionados para la revisión, estos resultados son los que se muestran en la **Tabla 06**.

Tabla 06: Grado de remoción de Tecnologías In-Situ

ESTRATEGIA	TÉCNICA	GRADO DE REMOCIÓN	AUTOR
IN SITU	ATENUACIÓN NATURAL	Remoción del 99.9% de hidrocarburos de petróleo a los 60 días.	Fernández Valqui, R. L. (2020).
		Remoción del 90% de hidrocarburos de petróleo a los 60 días	Corona-Ramírez, L., & Iturbe-Argüelles, R. (2005)
	BIOVENTING	Remoción de 97% de hidrocarburos de petróleo a los 40 días	Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P. (2013).
		Remoción de 75% de hidrocarburos de petróleo a los 100 días	García Velandia, L. (2005).

	BIOESTIMULACIÓN	Remoción de 28% de Hidrocarburos de petróleo a los 60 días	Vallejo Quintero, V. E., Sandoval Cobo, J. J., Garagoa Barahona, S. C., & Bastos Arenas, J. (2016).
		Remoción de 38% de hidrocarburos de petróleo a los 60 días	Recalde, C., & Córdor, J. (2017, December).
	BIOAUMENTACIÓN	Remoción de 48% de hidrocarburos de petróleo a los 60 días	Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P. (2013).
		Remoción de 62.92% de hidrocarburos de petróleo a los 60 días	Gómez, W., Gaviria, J., & Cardona, S. (2009).

Se Discute que:

Según lo analizado en la revisión sistémica, se puede discutir los grados de eficacia remoción que las técnicas de biorremediación In-Situ, en los cuales, según **Fernández Valqui, R. L. (2020)**. Demuestra que en su investigación logro obtener grados de remoción significativos de casi el 99.9% de eficacia al momento de aplicar el tratamiento de **ATENUACION NATURAL** en el periodo de 60 días. Sin embargo, **Corona-Ramírez, L., & Iturbe-Argüelles, R. (2005)**. En su investigación demuestra que en el mismo periodo de 60 días logro obtener un porcentaje de remoción menor al que obtuvo **Fernández Valqui, R. L. (2020)**. Ya que es importante considerar las características de suelo contaminado por Hidrocarburos de petróleo.

Por otro lado, el tratamiento de **BIOVENTING** también logra obtener grados de remoción significativos como lo demuestra en su investigación **Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P. (2013)**. Que obtuvo un grado de remoción de 97% en un periodo de 40 días iniciado el tratamiento.

Se realizó un análisis comparativo de los grados de remoción obtenidos por la salida de resultados del Software Review Manager 5.4.1 de las técnicas de aplicación Ex - Situ de los artículos que fueron seleccionados para la revisión, estos resultados son los que se muestran en la **Tabla 07**.

Tabla 07: Grado de remoción de tecnologías Ex Situ

ESTRATEGIA	TÉCNICA	GRADO DE REMOCIÓN	AUTOR
EX SITU	LANDFARMING	Remoción de 98% de Hidrocarburos de petróleo a los 85 días	Castillo, P. (2009).
		Remoción de 91% de hidrocarburos de petróleo a los 45 días.	Simanca laguna, y. p. (2017).
	BIOPILAS	Remoción de 58.87% de hidrocarburos de petróleo a los 90 días.	Romero, N. (2021).
		Remoción de 53% de hidrocarburos de petróleo a los 56 días.	Kadali K.K., Simons K.L., Skuza P.P., Moore R.B., Ball A.S. 2012
		Remoción de 71% de hidrocarburos de petróleo a los 90 días.	Taípe Pérez, R. A., Amaro Barreto, L. A., Armas Tarazona, L. M. (2020).
	COMPOSTEO	Remoción de 54.26% de hidrocarburos de petróleo a los 50 días.	Tamayo Rodríguez, L. N. (2016).
		Remoción de 50.87% de Hidrocarburos de petróleo a los 21 días	Quispe Huanca, J. M. M. (2020)
	BIORREACTORES	Remoción de 85% de Hidrocarburos de petróleo a los 16 días	Mendoza Otero, A. J., & Pazo Fiestas, S. M. (2021)

Se Discute que:

Según lo analizado en la revisión sistémica, se puede discutir los grados de eficacia remoción que las técnicas de biorremediación Ex-Situ, en los cuales, según **Castillo, P. (2009)**. Demuestra que en su investigación logro obtener una eficacia de remoción de hidrocarburos de petróleo de 98% de contaminantes de petróleo en un periodo de 85 días de iniciado el tratamiento de **LANDFARMING**. Sin embargo, **Simanca laguna, y. p. (2017)**. En su investigación logro tener resultados de porcentajes de eficacia de remoción significativos en un periodo corto de 45 días de iniciado este tratamiento, obteniendo un 91 % de remoción de hidrocarburos de petróleo.

Por otro lado, el tratamiento de **BIORREACTORES** también logra obtener grados de remoción significativos como lo demuestra en su investigación **Morales, A. M. M., Muñoz, C. S., & Quintero, L. S. P. (2013)**. Que obtuvo un grado de remoción de 85% en un periodo de 16 días iniciado el tratamiento gracias a las características fisicoquímicas y Microbiológicas del suelo contaminado por hidrocarburos de petróleo.

4.2 Características Físico-químicas y Microbiológicas de biorremediación

4.2.1. La caracterización físico-químicas del suelo

Consiste en la determinación de varias características importante en las tecnologías de Biorremediación como pH, conductividad, textura, carbono orgánico, nutrientes Sustancias inorgánicas (por ejemplo, N, P, K, Ca, Mg), tipos y Concentración y toxicidad de hidrocarburos material. Este último se puede utilizar Prueba de microtox (Kanga, 1998)

Sin embargo, **Py Obispo, Silva (2019)** usó *Auricularia* sp. Estudios de corrección biológica. Como resultado, determine la presencia de *Auricularia* sp. Fue eficaz para la degradación del aceite, la concentración se reduce y el valor máximo de eliminación es del 64,02%. Describió la tierra de la Tabla 08:

**Tabla 08: Algunos parámetros Físico-químicos de caracterización de suelo.
Py Obispo, Silva (2019)**

Características	Unidad	Clasificación	Resultados
Textura	KgF	Arcilla < 0.002 mm Limo 0.002-0.05 mm Arena 0.05-2 mm	Franco
Salinidad	dS/m	Ligera 2-4 Media 4-8 Fuerte 8-16 Muy fuerte >16	0.72 dS/m
PH	-	Fuertemente ácido 5,6 - 6,0 Moderadamente ácido 6,1 - 6,5 Ligeramente ácido 6,6 - 7,3 Neutro 7,4 - 7,8 Ligeramente alcalino 7,9 - 8,4 Moderadamente alcalino > 8,5 Fuertemente alcalino	7.6 Neutro
Materia Orgánica	% peso	0,0 - 0,5 Extremadamente bajo 0,5 - 1,0 Bajo 1,0 - 2,5 Moderadamente bajo 2,5 - 6,0 Moderado > 6,0 Alto	1.6 %
Capacidad de intercambio Catiónico	Cmol ^c kg ¹	< 5 Muy bajo 5 - 15 Bajo 15 - 25 Medio 25 - 40 Alto > 40	10,88 cmolc kg ⁻¹

		Muy alto	
		o	
		No calcáreo	
		≈ 0 - 2	
		Ligeramente calcáreo	
		≈ 2 - 10	
Carbonatos	%peso	Moderadamente calcáreo	ND.
		≈ 10 - 25 Fuertemente calcáreo	
		> 25 Extremadamente calcáreo	

ND: No definido

Estos fueron algunos parámetros que se tuvieron en cuenta al momento de caracterizar física y químicamente el suelo. El cual le pudo brindar resultados de remoción a través del uso de un Hongo *Auricularia* sp.

Por otra parte, en la Universidad Nacional Agraria se realizaron experimentos para mejorar el nivel de los bioensayos, tal como lo describe **Buendía (2012)** en el artículo "Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a partir de aserrín y compost de estiércol". Evaluó la capacidad de biorremediación del aserrín y el compost de estiércol para degradar hidrocarburos (TPH) en un 68 % a 68 % en suelos contaminados con hidrocarburos en dos meses. Los resultados obtenidos mostraron que el compost con aserrín de Vacaza y Bolaina logró la mayor reducción (21,81 g TPH/kg suelo a 16,28 g TPH/kg suelo), que es 25 veces menor que el promedio de TPH. El suelo tratado con aserrín y abonos orgánicos disminuyó un 22,5%. Así, encontramos que el estudio actual tiene una mayor tasa de reducción en comparación con el estudio, comparando sus características fisicoquímicas a (PY Obispo, Silva, 2019) el cual tuvo características muy similares a este estudio.

4.2.2 Caracterización microbiológica del suelo

En su estudio **Acuña, A. (2010)** se aislaron un total de 41 cepas bacterianas del sistema líquido. Las cepas recuperadas fueron 1 cepas de hidrocarburos alifáticos, 11 cepas de diesel, 7 cepas de queroseno, 3 cepas de aceite lubricante

y 6 cepas de petróleo como fuentes de carbono. Observamos que aproximadamente el 76% de los microorganismos fueron identificados por el sistema utilizado, siendo *Rhodococcus erythropolis*, *Achromobacter xylosoxidans* y *Brevundimonas diminuta* los más comunes. En un análisis de componentes principales realizado sobre los microorganismos aislados y los hidrocarburos utilizados como fuentes de carbono, se observó que los hidrocarburos alifáticos contenían especies microbianas más diversas. Por otro lado, *Rhodococcus erythropolis* fue característico de los sistemas de aceite diesel y *Pantoea agglomerans* fue característico de los sistemas de aceite lubricante. Tanto los sistemas de queroseno como los de petróleo estaban probablemente asociados con bacterias de los géneros *Nocardia*, *Brevundimonas* y *Sphingobacterium*.

Las comunidades bacterianas del suelo mostraron una gran diversidad, encontrándose microorganismos en mayor proporción, como *Rhodococcus erythropolis*, *Achromobacter xylosoxidans* y *Brevundimonas diminuta*. Estos géneros bacterianos se encuentran a menudo en el suelo. Se probaron tres géneros de bacterias por su capacidad para biodegradar hidrocarburos. El género *Rhodococcus* es una especie de *Erythropolis* recuperada de sistemas de gasóleo y por lo tanto tiene un gran potencial para biodegradar contaminantes en el medio ambiente. **Sette et al. (2006)**, observó que *Achromobacter xylosoxidans* puede usar hidrocarburos como única fuente de carbono y energía, y encontró investigaciones involucradas en la degradación de hidrocarburos poliaromáticos como el fenantreno. En este estudio, se aisló *Achromobacter xylosoxidans* de sistemas que contenían hidrocarburos alifáticos, queroseno, lubricantes y petróleo, demostrando un gran potencial para la biodegradación de hidrocarburos. El tercer organismo más comúnmente aislado fue *Brevundimonas diminuta* Como agente de descomposición de hidrocarburos (Tsunamikina et al., 2008).

Por otro lado, (Bustamante C., 2019) estudió la materia orgánica en biorremediación con *Saccharum officinarum* L (caña de azúcar) y compost. Acelera la biorremediación de suelos contaminados con petróleo con baja toxicidad para la torta de filtración durante 60 días y baja toxicidad para el compost durante 90 días. Utilizando la torta de filtración, la eficiencia de biorremediación a los 90 días fue del 70,48 %. Posee las propiedades del suelo

necesarias para la biorremediación. Tal y como se muestra en la **Tabla 09**:

Tabla 09: Características del suelo biorremediado con *Saccharum officinarum* L. Bustamante C., 2019

Características	Días			
	0	30	60	90
Microorganismos hidrocarburo clásticos (NMP/100g)	3,5 x 103	3,8 x 103	4,0 x 103	3,7 x 103
Nivel de toxicidad	severo	moderado	bajo	bajo
Aceites y grasas (mgkg-1)	30 743			9.076
Eficiencia de la biorremediación (%)	-	-	-	70.48

Así también, (Fernández, Llobregat y Sien, 2015) estudió los efectos de *Eisenia foetida* y sustratos orgánicos como bioestimulantes sobre la biodegradación de suelos afectados por petróleo extrapesado. Suelo contaminado (control), suelo con estiércol de caballo (T1), suelo con humus suelto (T2) y suelo con estiércol de caballo más 15 muestras de *E. foetida* (T3) se depositaron en contenedores de polietileno. El pH disminuyó 0, 8% (control), 16% (T2), 37% (T1) y 5 % (T3). La superioridad del tratamiento con *E. foetida* en descontaminación de suelos contaminados, por lo que se determina que las características en los tratamientos variables a la condición de suelo y sus factores.

4.3. Microorganismos que degradan los Hidrocarburos de petróleo

Según (Asemoloye et al., 2019), el uso de microorganismos para tratar suelos y sustratos ambientales contaminados con compuestos de petróleo. Además de la seguridad y la rentabilidad, también desarrollaron una fórmula simple que describe una ruta metabólica, guiada por el concepto de gestión ambiental, para crear un entorno adecuado para el tratamiento de suelos contaminados. En procesos aeróbicos y anaeróbicos, la separación de hidrocarburos del petróleo en el suelo sigue las siguientes ecuaciones:

Biodegradación aeróbica:

$$\text{Biota} + \text{Compuesto de hidrocarburos} + \text{Oxígeno O}_2 + \text{- Enzima} = \text{Biota} + \text{Agua (H}_2\text{O)} + \text{Residuo}$$

Ecuación (1)

Biodegradación anaeróbica:

$$\text{Biota} + \text{Compuesto de hidrocarburo} + \text{Dióxido de carbono (CO}_2\text{)} + \text{- Enzima} = \text{Biota} + \text{metano (CH}_4\text{)} + \text{Agua (H}_2\text{O)} + \text{Residuo}$$

Ecuación (2)

Vasilieva et al. (2019) informaron que después de 2 años de biorremediación, el valor inicial del material microbiano original aumentó de un nivel inicial de 10 CFU/g de suelo a 108–109 CFU/g. Sin embargo, contenían cepas de *Pseudomonas putida* B-2187 y *Rhodococcus erythropolis*, que fueron significativamente inhibidas debido a su alta toxicidad en suelos altamente contaminados.

AlKaabi et al. (2020) Diversidad de comunidades bacterianas en suelo superficial contaminado a 20 cm de profundidad. Demostrar bajos niveles de compuestos orgánicos biodegradables necesarios para el crecimiento y mantenimiento celular. Especialmente cuando los contaminantes son altamente tóxicos, como en el caso del combustible diésel (10 31 corresponde a 75 g/l. Entre las cepas adaptadas se encontraba una cepa de *Providencia rettgeri* (aceite). Se detectaron *Pseudomonas*, *Bacillus* (*Bacillus licheniformis* y *Bacillus subtilis*) en las muestras de suelo superior e inferior, pero *Pantoea* se detectó solo en las muestras de suelo inferior.

A continuación, se muestra lo que el programa **Review manager 5.4.1** arrojó como resultado del análisis comparativo de los microorganismos más resaltantes de los investigadores incluidos en la revisión que desarrollaron técnicas de biorremediación para recuperar suelos contaminados, como se observa en la **Tabla 10**.

Tabla 10: Microorganismos en el proceso de biorremediación de suelos

Microorganismo	Aplicación de microorganismos	Preparación del suelo	Remoción	Referencia
<i>Proteobacteria y Actinobacteria, Acidobacteria y Chloroflexi</i>	Atenuación natural	Suelos arrosales	31%	Wang et al (2021)
<i>Bacillus y Pseudomonas</i>	Bioaumentación	Suelo de duKan	85%	AlKaabi et al. (2020)
<i>Cytophagales Rhizobiales</i>	Bioaumentación	EB-suelo bioaumentado con el consorcio de bacterias inmovilizadas con paja seca de <i>Eichhornia crassipes</i> (10% p / p	51.60%	Tao et al. (2019)
<i>Pseudomonas putida B - 2187 y Rhodococcus erythropolis</i>	Bioaumentación	Suelo de Pushchino contaminados artificialmente (Rusia) con 26.6% de alcanos, 32.9% de cicloalcanos, 26.5% de aromáticos, 10.0% de resinas y 4.0% de asfaltenos	93%, 94.1%, 93.8%	Vasilyeva et al. (2019)
<i>Pseudomonas stutzeri GQ-4 cepa KF453954, Pseudomonas SZ-2 cepa KF453956 y Bacillus SQe2 cepa KF453961</i>	Bioaumentación	Bioaumentación con consorcio de bacterias, y 20% de humedad (BA)	60%	Wu et al. (2017)
<i>Bacillus cereus, Bacillus thuringiensis, Geomyces pannorum y Geomyces sp</i>	Bioaumentación	Suelo en suspensión	87.90%	Maddela, et al (2016)

Se discute que:

Según lo analizado en la revisión sistemática, podemos discutir los microorganismos en los procesos de biorremediación de suelos contaminados, en los cuales, según **Vasilyeva et al. (2019)**. En su investigación demuestra que los microorganismos que le dio resultados de eficacia de remoción de hidrocarburos de petróleo son: *Pseudomonas putida* B - 2187 y *Rhodococcus erythropolis*. Los cuales arrojaron resultados de porcentajes mayor al 90% de remoción al momento de realizar la biorremediación con el tratamiento de bioaumentación. Sin embargo, **Maddela, et al (2016)**. En su investigación demuestra tener aproximadamente hasta el 87.90% de eficacia en la remoción de hidrocarburos de petróleo, con lo siguientes microorganismos

4.4. Tecnologías de biorremediación eficaces para recuperar suelos contaminados.

4.4.1. Los resultados que se han obtenido en la investigación nos han llevado a evaluar la eficacia de las tecnologías de biorremediación, los cuales evaluando las técnicas de biorremediación In Situ determinamos en la **Figura 05**.

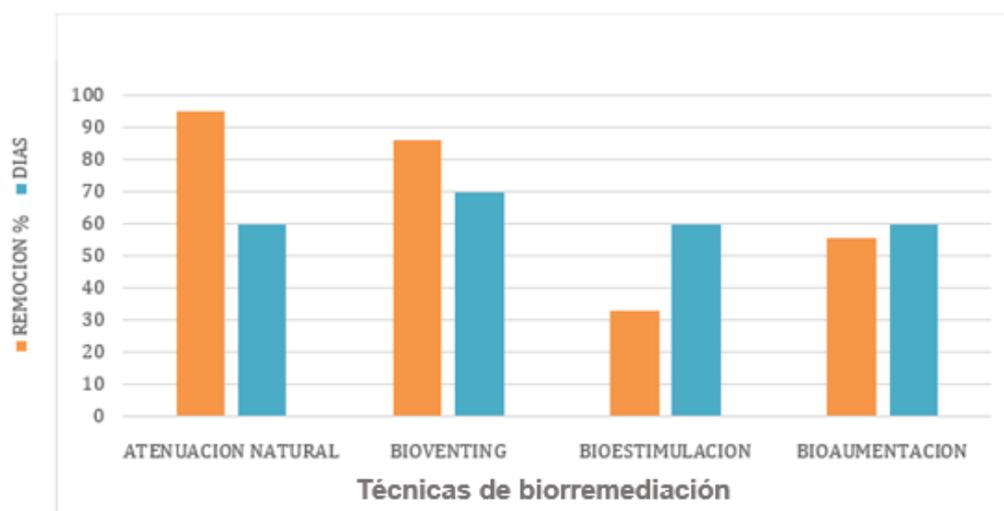


Figura 05 - Técnicas de biorremediación IN-SITU

Según lo evaluado se determina que la técnica de biorremediación que muestra ser eficaz tanto por su grado de remoción como su valor aproximado en días de tratamiento es la Atenuación Natural.

4.4.2. Los resultados que se han obtenido en la investigación nos han llevado a evaluar la eficacia de las tecnologías de biorremediación, los cuales evaluando las técnicas de biorremediación In Situ determinamos en la **Figura 06**.

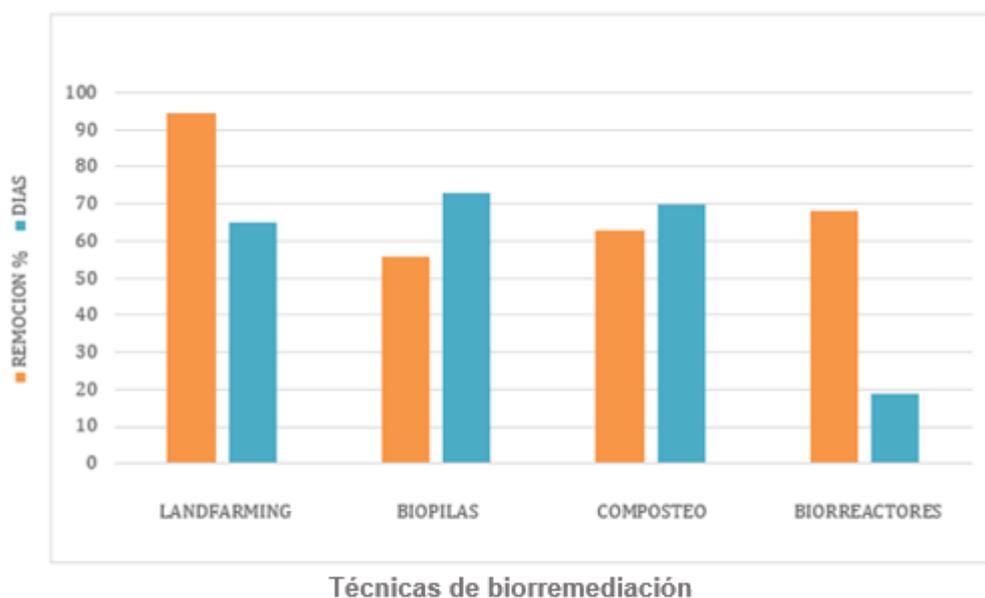


Figura 06 - Técnicas de biorremediación EX-SITU

Según lo evaluado se determina que la técnica de biorremediación que muestra ser eficaz tanto por su grado de remoción como su valor aproximado en días de tratamiento es la LandFarmig.

Se discute que:

Según los resultados obtenidos en la revisión sistémica, se discute entre dos tecnologías de biorremediación una In Situ y otra Ex Situ, según lo evaluado la Atenuación natural en suelos contaminados por hidrocarburos a tomado mayor significancia al obtener resultados sumamente increíbles a considerarse que puede remover hasta el 99% de contaminantes de petróleo. Según **Fernández Valqui, R. L. (2020)**. Sin embargo, en la técnica de Ex Situ, el tratamiento de landfarming demuestra ser una de las tecnologías de mayor importancia ya que

logra obtener resultado de eficacia de remoción mayores a 90% optimizando los dos en los que se puso en marcha la descontaminación de suelos. Según **Castillo, P. (2009)**.

V. CONCLUSIONES

- Se identificó las tecnologías de biorremediación, en lo cual se determinó que según su estrategia IN Situ o EX Situ. Las Técnicas que proporcionan mayor remoción de contaminantes de petróleo son la técnica de atenuación natural que obtiene grados de remoción > 90% en tratamientos que se realizan a menor escala promedio en el lugar contaminado y la técnica de Landfarming, por ser una técnica a realizada a escala de laboratorio, pero mostrando grandes resultados en la remoción de contaminantes de petróleo.
- Se idéntico las características con las cuales los grados de remoción han sido significativos en la descontaminación de suelos, una de las características esenciales son un pH > 7.5 y es esencial tener identificado la textura del suelo estudiado, ya que en suelo Franco arenoso la impregnación de bacterias como *Rhodococcus erythropolis*, logra obtener resultados favorables para la biorremediación,
- Se identificó los microorganismos que degradan el petróleo, en estos se comparó con diversos estudios realizados a escala laboratorio. En la relación de microorganismos predominantes que han logrado obtener una efectividad de remoción alta han sido *Pseudomonas putida B - 2187* y *Rhodococcus erytropolis*. Los cuales son considerados los microorganismos lideres en la deegracion de suelos contaminados.
- Se evaluó la eficacia de las Tecnologías de Biorremediación según su técnica In Situ y Ex Situ en cual se pudo determinar que las técnicas que sobresalen tanto por su grado de remoción aproximado y sus días en los cuales se logra optimizar el proceso de descontaminación son; la técnica In Situ es la Atenuación Natural y la técnica Ex situ es la de Landfarming.

VI. RECOMENDACIONES

- Debido a que; se realizó un análisis de los grados de remoción se puede sugerir que las técnicas que puedan aplicarse a escala de campo sean atenuación natural y landfarming, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas y microbiológicas que debe contar el suelo para la óptima remoción de contaminantes.
- Debido a que, los estudios a escala de campo son hasta ahora limitados, se sugiere que; se amplíen los estudios en campo para que así se obtenga un conocimiento a mayor escala y definir su eficacia más detallada, Ya que; entre los Artículos estudiados se pudo observar que en su mayoría son estudios aplicados en laboratorio, invernaderos u otros.
- El uso de microorganismo de *Pseudomonas putida B - 2187* y *Rhodococcus erythropolis* ya que se ha podido demostrar en este trabajo de investigación que son microorganismos que logran un alcance significativo en las técnicas de remoción de contaminantes de Hidrocarburos.
- Debido a que, no se cuenta con una evaluación de las investigaciones de tratamientos ya realizados, se sugiere que se investiguen más los periodos de remoción y los microorganismos involucrados para que se pueda optimizar las técnicas ya resaltadas como las más eficientes.

REFERENCIAS

- ABBASPOUR, Ali, ZOHRABI, Farshad, DOROSTKAR, Vajiheh, FAZ, Angel y ACOSTA, Jose A., 2020. Remediation of an oil-contaminated soil by two native plants treated with biochar and mycorrhizae. *Journal of environmental management*. en línea. 2020. Vol. 254, no. 109755, pp. 109755. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109755. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719314732>.
- ACUÑA, Adrián, PUCCI, Graciela, MORALES, María José y PUCCI, Oscar, 2010. Biodegradación de petróleo y sus derivados por la comunidad bacteriana en un suelo de la Patagonia Argentina. *Boletín Sociedad Venezolana de Microbiología*. en línea. 2010. Vol. 30, no. 1, pp. 29–36. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 1315-2556. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562010000100007.
- ADIPAH, Sylvia, 2018. Introduction of petroleum hydrocarbons contaminants and its human effects. *Journal of environmental science and public health*. en línea. 2018. Vol. 03, no. 01. DOI 10.26502/jesph.96120043. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. ISSN 2575-9612. Disponible en: <https://www.fortuneonline.org/articles/introduction-of-petroleum-hydrocarbons-contaminants-and-its-human-effects.pdf>
- ALKAABI, Nasser, AL-GHOUTI, Mohammad A., JAOUA, Samir y ZOUARI, Nabil, 2020. Potential for native hydrocarbon-degrading bacteria to remediate highly weathered oil-polluted soils in Qatar through self-purification and bioaugmentation in biopiles. *Biotechnology reports (Amsterdam, Netherlands)*. en línea. 2020. Vol. 28, no. e00543, pp. e00543. DOI 10.1016/j.btre. 2020.e00543. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. ISSN 2215-017X. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X20305397>

ÁLVAREZ, Héctor, 2015. Biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos: un proceso complejo que involucra múltiples variables. *Química Viva*, vol. 14, núm. 1, abril, 2015, pp. 18-25 Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2022]. ISSN 1666-7948. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86340672004.pdf>.

DZIONEK, Anna, WOJCIESZYŃSKA, Danuta y GUZIK, Urszula, 2016. Natural carriers in bioremediation: A review. *Electronic journal of biotechnology: EJB*. en línea. 2016. Vol. 23, pp. 28–36. DOI 10.1016/j.ejbt.2016.07.003. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 0717-3458. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0717345816300732>.

BAIL, M. H. y GUILLÉN, A. J. L., 2017. Sustentabilidad y petróleo. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)* [en línea], 12(3). [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. ISSN 1870-557X. Disponible en: [http://www.spentamexico.org/v12-n3/A5.12\(3\)42-64.pdf](http://www.spentamexico.org/v12-n3/A5.12(3)42-64.pdf).

BAJAGAIN, Rishikesh, GAUTAM, Prakash y JEONG, Seung-Woo, 2020. Biodegradation and post-oxidation of fuel-weathered field soil. *The Science of the total environment*. en línea. 2020. Vol. 734, no. 139452, pp. 139452. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.139452. [fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720329697>.

BELTRÁN PÉREZ, Óscar Darío, BERRÍO GIRALDO, Linda Ivette, AGUDELO, Édison Alexander y CARDONA GALLO, Santiago Alonso, 2013. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA LA TIERRA FULLER CONTAMINADA CON ACEITE DIELECTRICO. *Revista EIA*. en línea. 2013. No. 19, pp. 33–48. [fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 1794-1237. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372013000100004.

BAOUNE, Hafida, APARICIO, Juan Daniel, ACUÑA, Adrian, EL HADJ-KHELIL, Aminata Ould, SANCHEZ, Leandro, POLTI, Marta Alejandra y ALVAREZ, Analia, 2019. Effectiveness of the *Zea mays*-*Streptomyces* association for the phytoremediation of petroleum hydrocarbons impacted soils. *Ecotoxicology and environmental safety*. en línea. 2019. Vol. 184, no. 109591, pp. 109591. DOI 10.1016/j.ecoenv.2019.109591. [fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 0147-6513. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319309224>.

BUSTAMANTE CABRERA, Gianmarco, SILVA ORA, Josué, 2019. Efecto de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en establecimientos de servicios. en línea. 2019. [Fecha de consulta 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4643/BC- TES-3463%20BUSTAMANTE%20CABRERA%20-%20SILVA%20ORA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CONTRERAS, J., et al. ¿Qué es? *Cuadernos de pedagogía*, 1994, vol. 224, p. 8-12. [fecha de consulta: 10 de junio de 2022]. Disponible en: http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_2/PDF/QueSonMicrobios.pdf.

Decreto Supremo. N° 011-2017-MINAM "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo [en línea]. [fecha de consulta: 10 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>.

Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM [en línea]. [fecha de consulta: 10 de junio de 2022] Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-002-2017-minam-2/>.

DAS, Surajit; DASH, Hirak R. Microbial bioremediation: A potential tool for restoration of contaminated areas. En *Microbial biodegradation and bioremediation*. Elsevier, 2014. p. 1-21. [fecha de consulta: 10 junio de 2022]. ISSN 978-0-12-800021-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128000212000017>.

Environmental Assessment and Control Agency, 2018. en línea 2018. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=38399.

HERNÁNDEZ-RUIZ, Gina; ÁLVAREZ-OROZCO, N. A.; RÍOS-OSORIO, L. A. Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria* [en línea]. Enero–abril 2017, n 1.[Fecha de consulta: 04 de junio de 2022] ISSN 0122-8706. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062017000100009.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ Carlos, BAPTISTA, María. *METODOLOGÍA de la investigación* [en línea]. Quinta edición. Mac Graw Hill. 2014.[fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. ISBN 978-607-15-0291-9. Disponible en <https://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/2707>.

Instituto Español de Minas y Geología "IGME", 1996. [en línea]. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: http://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf.

KURNAZ, Senem Üstün; BÜYÜKGÜNGÖR, Hanife. Bioremediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soils obtained from southeast Anatolia. *Acta Biologica Turcica*, 2016, vol. 29, no 2, p. 57-60.

[fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 2458-7893. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299599058_Bioremediation_of_Total_Petroleum_Hydrocarbons_in_Crude_Oil_Contaminated_Soils_obtained_from_Southeast_Anatolia.

KENSA, V. Mary. Bioremediation-an overview. I Control Pollution, 2011, [en línea]. vol. 27, no 2, p. 161-168. [fecha de consulta: 15 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.icontrolpollution.com/articles/bioremediation-an-overview-161-168.pdf>.

GARZÓN, Jennyfer M., RODRÍGUEZ MIRANDA, Juan Pablo y HERNÁNDEZ GÓMEZ, Catalina, 2017. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. Universidad y salud. en línea. 2017. Vol. 19, no. 2, pp. 309. DOI 10.22267/rus.171902.93 [fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. ISSN 0124-7107. Disponible en: <https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>

GARCÍA-CRUZ, N. Ulises; AGUIRRE-MACEDO, Ma Leopoldina. Biodegradación de petróleo por bacterias: algunos casos de estudio en el Golfo de México. *Golfo de México: Contaminación e Impacto Ambiental, Diagnóstico y Tendencias; Botello, AV, Rendón von Osten, J., Benítez, JA, Gold-Bouchot, G., Eds*, 2014, p. 641-652. [fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. ISSN 1316-6832. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/M-Aguirre-Macedo/publication/273002971_Biodegradacion_de_petroleo_por_bacterias_algunos_casos_de_estudio_en_el_Golfo_de_Mexico/links/54f4ee330cf2eed5d735ae60/Biodegradacion-de-petroleo-por-bacterias-algunos-casos-de-estudio-en-el-Golfo-de-Mexico.pdf.

GONZÁLEZ ALASTRUÉ, José Antonio; COBO VALERI, Erik; VILARÓ PACHECO, Marta. Revisión sistemática y meta-análisis. 2014.. [en línea]. [fecha de consulta: 03 de junio de 2022] Disponible en:

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/183176/t15_metanalisis-5228.pdf.

LABANA, Sumeet, et al. Diversity, biodegradation and bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. En *Environmental bioremediation technologies*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. p. 409-443. [fecha de consulta: 16 de junio de 2022]. ISBN 978-3-540-34790-3. Disponible en: https://elearning.unite.it/pluginfile.php/194095/mod_resource/content/0/Alegebeleye%20et%20al.%2C%202017.pdf.

NOREÑA, Ana Lucía, ALCARAZ-MORENO, Noemí, ROJAS, Juan Guillermo y REBOLLEDO-MALPICA, Dinora, 2012. Aplicabilidade dos critérios de rigor e éticos na pesquisa qualitativa. *Aquichan*. en línea. 2012. Vol. 12, no. 3, pp. 263–274. [fecha de la consulta: 14 de junio 2022]. ISSN 1657-5997. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-59972012000300006&script=sci_abstract&tlng=pt.

NÁPOLES, Janet, et al. Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos. *Tecnología Química*, 2015, vol. 35, no 3, p. 322-333. [fecha de consulta: 16 de junio de 2022]. ISSN 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300006.

ÑUSTEZ CUARTAS, Diana Cristina. Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. 2012. [fecha de la consulta: 22 de julio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/fd067e2a-ff8b-4b21-ba6a-66218e6b48e8>.

OME BARRERA, Óscar; ZAFRA MEJÍA, Carlos. Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales. Una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 2018, vol. 21, no 2, p. 573-585. En línea. 2018. [fecha de consulta: 16 de junio de 2022]. ISSN 0123-4226 Disponible en: [0123-4226-rudca-21-02-00573.pdf](https://www.udca.edu.co/revistas/0123-4226-rudca-21-02-00573.pdf)

(scielo.org.co).

RIVERA ORTIZ, Patricio, et al. Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 2018, vol. 34, no 2, p. 249-262. En línea. 2018 [fecha de consulta: 16 de junio 2022] Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.02.06/46754>

SAMANEZ GIBAJA, Elizabet. Biodegradación bacteriana por bioestimulación en suelos contaminados con petróleo crudo. 2008. [en línea]. [fecha de consulta: 16 de junio de 2022]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/245>.

STEINVORTH, Arturo. Tratamientos mecánico-biológicos y su aporte al manejo integral de residuos sólidos municipales. Obtenido de http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_257_120514_es.pdf, 2014. [fecha de consulta: 19 de junio de junio]. Disponible en: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_257_120514_es.pdf.

SRIVASTAVA, Shaili, 2015. Bioremediation technology: A greener and sustainable approach for restoration of environmental pollution. En: *Applied Environmental Biotechnology: Present Scenario and Future Trends*. New Delhi: Springer India. pp. 1–18. [fecha de consulta: 10 de junio de 2022]. ISBN 9788132221227. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-81-322-2123-4_1.

SALMADOR SÁNCHEZ, María Paz, LONGO SOMOZA, Mónica y CEGARRA NAVARRO, Juan Gabriel, 2011. Aprendizaje cooperativo: Análisis de una

aplicación práctica. Poster. Universidad Politécnica de Cartagena. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. ISBN 978-84-694-5333-9. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/2327>.

SUEYOSHI, Toshiyuki y WANG, Derek, 2014. Sustainability development for supply chain management in U.S. petroleum industry by DEA environmental assessment. *Energy economics*. en línea. 2014. Vol. 46, pp. 360–374. DOI 10.1016/j.eneco.2014.09.022.. [fecha de consulta: 16 junio de 2022]. ISSN 0140-9883. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.09.022>.

TAO, Kaiyun, LIU, Xiaoyan, CHEN, Xueping, HU, Xiaoxin, CAO, Liya y YUAN, Xiaoyu, 2017. Biodegradation of crude oil by a defined co-culture of indigenous bacterial consortium and exogenous *Bacillus subtilis*. *Bioresource technology*. en línea. 2017. Vol. 224, pp. 327–332. DOI 10.1016/j.biortech.2016.10.073. [fecha de consulta: 19 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416314870>

VERA RODRÍGUEZ, Jaime Alberto. Remoción de mercurio en aguas contaminadas mediante microorganismos tolerantes, una aproximación a la biorremediación microbiana. 2016. [en línea]. [fecha de consulta: 16 de junio de 2022]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2952>.

VASILYEVA, Galina, KONDRASHINA, Victoria, STRIJAKOVA, Elena y ORTEGA-CALVO, Jose-Julio, 2020. Adsorptive bioremediation of soil highly contaminated with crude oil. *The Science of the total environment*. en línea. 2020. Vol. 706, no. 135739, pp. 135739. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.135739. [fecha de consulta: 16 de julio de 2022]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719357341>.

VILLEGAS, Liliana Beatriz, MARTÍNEZ, María Alejandra, RODRÍGUEZ, Analia y AMOROSO, María Julia, 2014. Microbial consortia, a viable alternative for cleanup of contaminated soils. En: *Bioremediation in Latin America*. Cham: Springer International Publishing. pp. 135–148. [fecha de consulta: 16 de junio 2022]. ISBN 9783319057378. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05738-5_8.

WANG, Sih-Yu, KUO, Yu-Chia, HONG, Andy, CHANG, Yu-Min y KAO, Chih-Ming, 2016. Bioremediation of diesel and lubricant oil-contaminated soils using enhanced landfarming system. *Chemosphere*. en línea. 2016. Vol. 164, pp. 558–567. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.08.128. [fecha de consulta: 19 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653516311638>

WU, Manli, LI, Wei, DICK, Warren A., YE, Xiqiong, CHEN, Kaili, KOST, David y CHEN, Liming, 2017. Bioremediation of hydrocarbon degradation in a petroleum-contaminated soil and microbial population and activity determination. *Chemosphere*. en línea. 2017. Vol. 169, pp. 124–130. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.11.059. [fecha de consulta: 16 de mayo de 2022]. ISSN 0045-6535. disponible en: doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.11.059.

ZAWIERUCHA, Iwona; MALINA, Grzegorz. Bioremediation of contaminated soils: effects of bioaugmentation and biostimulation on enhancing biodegradation of oil hydrocarbons. En *Bioaugmentation, Biostimulation and Biocontrol*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 187-201. [fecha de consulta: 17 de mayo de 2022]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-19769-7_8

ANEXOS

ANEXOS 01 Ficha de Análisis de contenidos de Revisión

 <p>UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</p>	<h1 style="margin: 0;">FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</h1>	<p>INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p>
---	--	---

TÍTULO:	Eficacia de las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados por hidrocarburos: Revisión Sistemática 2022.
AUTOR:	Dioses Dioses, Diego Alonso
ASESOR:	MSc. Quijano Pacheco, Wilber Samuel
FACULTAD:	Ingeniería Ambiental
LINEA DE INVESTIGACION:	Calidad y Gestión de recursos naturales

ARTICULO/REVISTA INDEXADA:	AÑO DE PUBLICACION	PAGINAS UTILIZADAS
	<input style="width: 80%;" type="text"/>	<input style="width: 80%;" type="text"/>

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR (ES):
-------------------------------	--------------------

CODIGO ISBN o DOI	
PALABRAS CLAVES	
OBJETIVOS	
METODOLOGIA	
APLICACION	
RESULTADOS	



CONCLUSIONES	
---------------------	--

		
Ing. Percy Luis Grijalva Aroni CIP:221016	Ing. Eduardo Espinoza Farfán CIP: 92135	Ing. Jony M. Arteaga C. CIP:81317

VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellido y Nombre: Percy Luis Grijalva Aroni
- 1.2. Cargo o institución donde labora: DOCENTE UCV
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: ING. AMBIENTAL
- 1.4. Nombre del instrumento: FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO
- 1.5. Autor (s) del instrumento: DIOSÉS DIOSÉS, DIEGO ALONSO

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACHIVABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		43	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Sea formulado con lenguaje comprensible												4	
2. OBJETIVIDAD	Sea adecuado a los leyes y principios científicos												4	
3. ACTUALIDAD	Sea adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación												4	
4. ORGANIZACIÓN	Cuente una organización lógica												4	
5. SUFICIENCIA	Tome en cuenta las relaciones metodológicas esenciales												4	
6. INTENCIONALIDAD	Sea adecuado para afirmar las variables de la hipótesis												4	
7. CONSISTENCIA	Se respalde en fundamentos técnicos y/o científicos												4	
8. COHERENCIA	Cuente coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores												4	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis												3	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico												4	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento SI cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALIDACIÓN:

94

Lima, 18 de septiembre del 2022



Nombres y Apellidos: Percy Luis Grijalva Aroni
CIP:221016

VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: ESPINOZA FARFAN EDUARDO RONALD
- 1.2. Cargo o institución donde labora: DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: ING. AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
- 1.4. Nombre del instrumento: FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO
- 1.5. Autor (a) del instrumento: DIOSES DIOSES, DIEGO ALONSO

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÉNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a los leyes y principios científicos													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación													X
4. ORGANIZACIÓN	Cuando una organización lógica										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos												X	
8. COHERENCIA	Cuando coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico													X

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento SI cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALIDACIÓN:

95%

Lima, 18 de septiembre del 2022



Nombres y Apellidos: EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN
CIP 92135

VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Ing. Jony M. Arteaga C
- 1.2. Cargo o institución donde labora: Municipalidad Distrital de Santral
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: ING. AMBIENTAL
- 1.4. Nombre del instrumento: Ficha de análisis de contenido
- 1.5. Autor(a) del instrumento: DIOSÉS DIOSÉS, DIEGO ALONSO

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CONTENIDOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible										1			
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos											1		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación											1		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica											1		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												1	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para evaluar las variables de la hipótesis												1	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos teóricos y/o científicos													1
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores													1
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar la hipótesis													1
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su relevancia al Mercado Científico													1

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento SÍ cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento NO cumple con los requisitos para su aplicación

X

IV. PORCENTAJE DE VALORACIÓN:

87%

Lima, 20 de septiembre del 2022



Nombres y Apellidos: Ing. Jony M. Arteaga C
CIP: 81317



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, QUIJANO PACHECO WILBER SAMUEL, 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: "Eficacia de las tecnologías de biorremediación para recuperar suelos contaminados por Hidrocarburos de petróleo: Revisión sistemática 2022", cuyo autor es DIOSES DIOSES DIEGO ALONSO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 25.00%, 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, 04 de Setiembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
QUIJANO PACHECO WILBER SAMUEL DNI: 06082600 ORCID: 0000-0001-7889 -7928	Firmado electrónicamente por: WLSAMUELQUP el 07-09-2022 15:28:28

Código documento Trilce: TRI - 0426508