



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Técnicas de biorremediación de suelos contaminados con
petróleo usando microorganismos**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Argandoña Diaz, Marialuisa (ORCID: 0000-0003-3091-6514)

Siguenza Carlos, Katerin Mishel (ORCID: 0000-0002-2408-1322)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A Dios por guiar siempre mi camino, a mis padres Luisa Diaz y Guillermo Argandoña por su apoyo incondicional, confianza, amor, valores y dedicación. A mis hermanos por motivarme a seguir creciendo, porque sin ellos mis logros no serían posibles.

Marialuisa Argandoña Diaz.

Dedicado principalmente a Dios por el regalo de la vida y permitirme llegar hasta donde estoy y que siga guiando mi camino. A mi padre Carlos Siguenza, mi madre Ana Carlos y mis hermanas, por su apoyo incondicional desde muy pequeña hasta ahora en esta etapa importante y con quienes sé que seguiré contando.

Katerin Mishel Siguenza Carlos.

Agradecimiento

A dios por ser mi guía, darme la fuerza e iluminar siempre mi camino

A mis padres, con quienes estaré siempre agradecida por el apoyo, dedicación, valores, amor, esfuerzo que me brindaron a lo largo de mi carrera profesional y de mi vida.

A mis hermanos por el cariño y siempre motivarme a seguir adelante.

A mi familia.

Al Dr. Alfredo Cruz Monzón por su asesoría y su gran labor como docente para guiarnos durante el desarrollo y elaboración de esta tesis

Marialuisa Argandoña Diaz.

Agradecer primero a Dios por cuidar de mí y darme fuerza para superar las dificultades que se me presentaron a lo largo de mi vida.

A mis padres y hermanas por siempre estar para mí en todo momento, enseñarme los valores de la vida, superar los obstáculos y por motivarme a crecer como persona y profesional.

Al Dr. Alfredo Cruz Monzón por guiarnos académicamente durante todo este tiempo, su constante paciencia para enseñar y su valiosa guía de asesoramiento.

Katerin Mishel Siguenza Carlos.

Índice de contenidos

	Pág.
Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2. Escenario de estudio	8
3.3. Participantes.....	8
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
3.5. Procedimiento	9
3.6. Rigor científico.....	10
3.7. Método de análisis de datos	10
3.8. Aspectos éticos	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
V. CONCLUSIONES.....	18
VI. RECOMENDACIONES	19
REFERENCIAS	20

Índice de tablas

Tabla N° 01. <i>Criterios de inclusión</i>	9
Tabla N° 02. <i>Artículos identificados según búsqueda primaria</i>	10
Tabla N° 03. <i>Artículos seleccionados según criterios de inclusión</i>	10
Tabla N° 04. <i>Tendencia de los artículos publicados durante los últimos 7 años</i> ...	11
Tabla N° 05. <i>Artículos seleccionados por aplicación de criterios de inclusión</i>	13

Índice de figuras

<i>Figura N°1.</i> Porcentaje de artículos según el tipo de tratamiento de biorremediación...	12
<i>Figura N°2.</i> Composición de Técnicas utilizadas en artículos de revisión.....	15
<i>Figura N° 3.</i> Microorganismos reportados con más frecuencias en la revisión.....	17

Resumen

El incremento de la industrialización y la población ha generado un crecimiento en los problemas de contaminación del suelo por hidrocarburos ya sea causado por la acción antropogénica o accidentes, afectando a los ecosistemas, la salud, economía. Este estudio realizó una revisión sistemática sobre las técnicas de biorremediación de suelos contaminados con petróleo usando microorganismos. Los artículos que sirvieron como base para esta investigación fueron recopilados de las bases de datos como Sciencedirect, Researchgate, Springerlink, World Wide Science, Redalyc, Semantic Scholar y Scielo. Luego de aplicados los criterios de inclusión fueron retenidos 12 artículos que cumplían estrictamente con las características requeridas. La evaluación de la información permite afirmar que las técnicas más utilizadas y reportadas fueron la bioaumentación y bioestimulación quienes muestran valores elevados de degradación del petróleo presente en suelos contaminados y que además la especie bacteriana más reportada fue *Pseudomona aeruginosa* quien ha demostrado gran facilidad de adaptación a distintos medios contaminados. Asimismo, para sistemas binarios, la técnica más efectiva reportada fue biopilas con las especies *Micrococcus* y *Bacillus*, mientras que, para consorcios de tres especies a nivel de biorreactor, las especies *Enterobacter aerogenes*, *Serratiamarcescens*, *Proteus myxofaciens*, mostraron los valores más altos de degradación.

Palabras claves: Biorremediación, Suelos contaminados, Petróleo, Microorganismos.

Abstract

The increase in industrialization and population has generated growth in hydrocarbon soil contamination problems, whether caused by anthropogenic action or accidents, affecting ecosystems, health, and the economy. This study carried out a systematic review on the bioremediation techniques of petroleum-contaminated soils using microorganisms. The articles that served as the basis for this research were collected from databases such as Scimedirect, Researchgate, Springerlink, World Wide Science, Redalyc, Semantic Scholar and Scielo. After applying the inclusion criteria, 12 articles were retained that strictly complied with the required characteristics. The evaluation of the information allows us to affirm that the most used and reported techniques were bioaugmentation and biostimulation, which show high levels of degradation of the oil present in contaminated soils and that also the most reported bacterial species was *Pseudomonas aeruginosa*, which has shown great ease of adaptation to various contaminated media. Likewise, for binary systems, the most effective technique reported was biopiles with the *Micrococcus* and *Bacillus* species, while for consortia of three species at the bioreactor level, the *Enterobacter aerogenes*, *Serratiamarcenscens*, *Proteus myxofaciens* species, showed the highest degradation values.

Keywords: Bioremediation, Contaminated soils, Oil, Microorganisms.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de la contaminación tanto en suelo como aire y agua se ha incrementado a nivel mundial principalmente causadas por las acciones antropogénicas, entre uno de estos problemas se destaca la contaminación por hidrocarburos (Velásquez, 2017, p.151). Debido al aumento de la industrialización, el crecimiento de la población (Koshlaf y Ball, 2017, p.26) y economía mundial; el consumo de energía, la exploración, almacenamiento y producción también aumentó considerablemente (Velásquez, 2017, p.152) (Contreras y Carreño, 2018, p.28). El petróleo se considera una fuente de energía predominante que mantiene un país (Adipah, 2019, p.2). La materia prima es aprovechada para la fabricación (Napoles, Suyen, Liuber, 2015, p.323) de plástico y el caucho, entre otros. Todo esto causó un incremento en el interés por valorar la calidad y salud de los recursos (Serrano, Torrado y Pérez, 2013, p.235).

Los derrames en el Perú por hidrocarburos se vienen presentando desde aproximadamente el año 1978, y aún en los últimos años toman contacto con el recurso suelo en cantidades superiores al que establece el Ministerio de Energía y Minas (Buendía, 2013, p.124). Desde el año 2011 hasta junio de 2018 se han reportado 178 derrames de petróleo en país (Parra y Manrique, 2019, p.3).

La necesidad de reducir los problemas de contaminación por hidrocarburos en el recurso suelo ha llevado a desarrollar nuevas tecnologías entre ellas destaca la biorremediación, también se le conoce como biotecnología ambiental (Garzón, Hernández y Gómez, 2017, p.310), se define esta tecnología como un sucesión que implica el uso de microorganismos o plantas para disminuir el perjuicio provocado (Rentería y Rosero, 2019, p.40) (Fabelo, 2017, p.55); cuenta con grandes ventajas como: menos costosos (Napoles, Suyen y Liuber, 2015, p.323), en pocas ocasiones requieren de tratamientos posteriores, tecnologías benéficas para el ambiente y los contaminantes generalmente son destruidos (Garzón, Hernández y Gómez, 2017, p.316).

Las distintas causas que despertaron el interés de los autores por este tema es la problemática que genera la contaminación natural o antropogénica del recurso suelo por los hidrocarburos y sus derivados; debido a que el petróleo contiene químicos tóxicos que dañan y generan cambios en las características químicas y

físicas del recurso suelo (Velásquez, 2017, p.155), alterando la fertilidad, (Cavazos, Pérez y Mauricio, 2014, p.540) (Pérez, López y Rodríguez, 2019, p.135) la flora, la fauna (Martínez, Ferrera y Hernández, 2016, p.25), los seres humanos y la población de microorganismos, los cuales simbolizan una parte fundamental del ecosistema (Guzmán, 2017, p.52), afectando también el crecimiento de las plantas, la existencia y sobrevivencia de animales, a su vez afecta al ámbito social que incluye un procedimiento de producción, la salud (Silvana, Martínez y Arocena, 2014, p.252) (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019, p.7) (Pérez, López y Rodríguez, 2019, p.135) (Leturia y Nugoli, 2016, p.329) la economía (Velásquez, 2017, p.152), y forma de vida de las poblaciones (Cavazos, Pérez y Gutiérrez, 2014, p.540). Es por estos motivos que en distintos estudios se aplica como alternativa de solución la biorremediación, ya que es una tecnología con grandes ventajas que viene siendo aplicada en distintos países mostrando buenos resultados.

Se planteó como objetivo general realizar una revisión de la literatura científica existente respecto a técnicas de biorremediación de suelos contaminados con petróleo usando microorganismos, para plantear una posible alternativa de uso con condiciones más generales, y como objetivos específicos determinar la técnica más efectiva de biorremediación de suelos contaminados con petróleo; determinar el microorganismo con mejor porcentaje de reducción de petróleo en el suelo contaminado, respecto a los artículos de investigación recopilados.

II. MARCO TEÓRICO

Ebadi, et al. (2017), en su estudio titulado “Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant-producing *Pseudomonas aeruginosa* consortium”, se planteó como objetivo determinar el efecto de la salinidad sobre la actividad microbiana del suelo, el proceso de biorremediación de hidrocarburo y evaluar la eficacia de degradación del consorcio bacteriano productor de biosurfactante. Los métodos que se utilizaron fueron la bioaugmentación y bioestimulación a través de 54 muestras durante 120 días en un invernadero, se inoculó un consorcio bacteriano con 4 cepas de *Pseudomona aeruginosa*. la temperatura varió de 20 a 30°C, la humedad fue del 30%. Como resultados se obtuvieron que luego de la inoculación del suelo salino que fue contaminado se pudo disminuir la inhibición, promoviendo así la degradación de los hidrocarburos en un 33 a 39.2%.

Üstün, et al. (2016) en su investigación titulada “Bioremediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soils obtained from southeast Anatolia”, tuvo como objetivo investigar el uso del hongo *Aspergillus niger* para eliminar los hidrocarburos del suelo contaminado con petróleo y en consecuencia se estudió la degradación de los mismos. Se desarrolló en tres medios de suelos distintos el primero en suelo esterilizado con *A. niger*, el segundo con microorganismos del propio suelo más *A. niger* y el tercero solo con microorganismos del suelo, este tratamiento duró 96 días, se analizaron las muestras al inicio y final de los experimentos. En sus resultados concluye que la mejor eficacia se dio en el primer medio con un 30% de degradación, en el cual su valor inicial fue 48.300 ppm a 44.630 ppm (30 días), 39.430 ppm (65 días) y 33.600 ppm (96 días).

Almamoori, et al. (2018), en su estudio por título “Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons polluted soils using augmentation by inoculating with bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*) and fungi (*Penicillium expansum*)”, esta investigación pretende analizar la eficacia y grado de porcentaje de degradación del petróleo por parte de los microorganismos antes nombrados haciendo uso de la técnica bioaugmentación. Se colocaron 5 kg de muestra de suelo contaminado en cada maceta luego se dejó homogeneizar por 3 días; para el tratamiento se realizaron 3 repeticiones el primero fue suelo no contaminado (muestra de control),

El segundo contaminado, tercero suelo contaminado con inóculo de *P. aeruginosa*, Cuarto suelo contaminado con *Penicillium expansum*, quinto suelo contaminado con *P. aeruginosa* y *Penicillium expansum*; las propiedades físicas y químicas de las muestras se midieron antes del experimento, pasado un mes y el final pasado dos meses de aplicado el tratamiento. Como resultados se obtuvieron que el tercer y quinto tratamiento fueron más efectivos que el cuarto; también se mencionó que la *P. aeruginosa* es el más activo para la degradación del petróleo, pudiendo eliminar más del 90 % del contaminante en solo una semana.

Medina, et al. (2014), en su investigación titulada “Biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado Falcón”, se planteó como objetivo estudiar la biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados del lugar antes mencionado. La metodología que usaron consistió identificar y aislar los microorganismos en el suelo de los cuales se obtuvo al *Aspergillus Niger*, *Aspergillus Flavus* y *Aspergillus Terreus*, para luego usar tres recipientes como biorreactores en los cuales se colocó 2 kg de suelo contaminado, dos de estos recipientes se mantuvieron saturados y aireados con medio mínimo surfactante (MMS) durante el tiempo que se llevó a cabo el tratamiento y el otro biorreactor se utilizó a manera de control, luego se tomaron muestras de suelos en los días 0, 7, 14, 21 y 30 para finalmente analizar el contenido de hidrocarburos y la tasa de degradación. Se obtuvo como resultado una remoción aproximada de 85%, pudiendo corroborar así la eficacia de estos microorganismos y su potencial para este tipo de estudios.

Vilasó, et al. (2017), en su estudio titulado “Extracción de petróleo en suelo contaminado empleando ramnolípidos producidos por *Pseudomona aeruginosa* ORA9”, tuvo como objetivo evaluar la remoción de hidrocarburos totales de petróleo de un suelo contaminado empleando los ramnolípidos producidos por *Pseudomona aeruginosa* ORA9, en su metodología para el tratamiento se utilizó una muestra de suelo de que fue contaminado con 0.12 g de hidrocarburo por g. de suelo, pasado esto se pesó 1 g de suelo para luego colocarlo en una matraz , se añadieron 4 mL de medio de cultivo libre de células y una concentración de ramnolípidos de

332 mg/L, para esto se realizaron 15 experimentos que contaron con tres réplicas. Como resultados obtuvieron una extracción máxima de 75%.

Biorremediación: Esta técnica es considerada simple y fácil de poder aplicar, consiste en poder aprovechar de la actividad que realizan los microorganismos propios de un medio (Beltrán, Berrio, Cardona, 2013, p.42) para degradar distintos tipos de materiales contaminantes (Rodríguez, Peña y Gutiérrez, 2017, p.355); entre ellos se usan los hongos, bacterias, levaduras, micro algas (Hernández, Álvarez y Ríos, 2017, p.141) (Rivera, Andrade y rivera, 2017, p.250). Existen ciertos factores que influyen en el proceso de biorremediación como la capacidad de degradación de los microorganismos, la disposición del contaminante en el medio que se encuentre respecto a la población microbiana (Álvarez, 2015, p.20) además de la temperatura, pH, presencia de oxígeno (Ome y Zafra, 2018, p. 575), tipo de suelo y nutrientes.

Las ventajas que presenta esta técnica se ven plasmados en su bajo costo para aplicar a comparación de otras, reducido daño ecológico durante el tratamiento de degradar los diferentes contaminantes (Garzón, Rodríguez y Hernández, 2017, p. 314), no genera residuos y se pueden aplicar a su vez con otras tecnologías de tratamiento (Losob, Prisecaru y Stoica, 2016, p. 91); sin embargo presenta también ciertas limitaciones como la existencias de productos químicos con una elevada concentración de clorado que no pueden ser degradados con facilidad (Garzón, Rodríguez y Hernández, 2017, p. 314).

Hidrocarburos: Son considerados combustibles fósiles que se usan en todas partes del mundo como fuente para generar múltiples formas de energía, los podemos encontrar en la naturaleza debido al hacinamiento de biomásas pormiles de años (Velásquez, 2017, p. 152), cumplen un papel importante en el desarrollo económico de distintos países (Ríos, 2013, p. 55) (Cortázar y Linares, 2015, p. 87) (Adipah, 2019, p. 2), como consecuencia debido a la alta demanda de consumo de los hidrocarburos por partes de las personas se han incrementado el número de casos de contaminación (Velásquez, 2017, p. 155).

Petróleo: el petróleo es una mezcla de hidrocarburos, se dividen en 4 clases, está compuesto esencialmente por hidrocarburos y lo restante lo conforma el oxígeno, azufre, y nitrógeno (Aguirre, Macedo, 2014, p. 4)

Microorganismos: Comúnmente llamados también gérmenes, virus o microbios, se encuentran en todas partes de nuestro entorno representado en diversas formas y tamaños, pero con una dificultad para poder observarlos a simple vista debido a su diminuto tamaño que los caracteriza; son reconocidos como un elemento fundamental en el mundo por las funciones que cumplen. (Sánchez, González y Ayora, 2017, p. 1).

Suelo contaminado: Denominado así aquellos suelos que se han visto alterados en sus propiedades química de manera negativa, por la existencia de sustancias contaminantes como consecuencia del desarrollo de distintas actividades que realiza el ser humano (MINAM, 2015).

Tratamiento Biológico: Este tipo de tratamientos hacen uso de microorganismos que permitan descomponer la materia orgánica. Pueden desarrollarse de dos formas: aerobio, que consiste en generar compost o bioestabilizar el residuo y anaerobio que se enfoca en producir biogás. Sin embargo, se debe considerar que existen compuestos en los residuos que son nocivos ya sea para la salud de las personas como el medio ambiente (Steinvorth, 2014, p. 3).

Bioestimulación: Esta técnica consiste en introducir micro y macro nutrientes que permitan fomentar el crecimiento de la población microbiana y estimular a los microorganismos con capacidad de degradar el material contaminante de interés (Islas, Peralta, Vega, 2016, p. 3) (López, Cisneros; Ochoa, 2016, p. 2), la ventaja de este tipo de tratamiento es que puede ser aplicado en lugares con zonas y territorios amplios (Suarez, 2013, p. 28).

Bioaumentación: Es una técnica para tratamiento de lugares que han sido impactados por distintos contaminantes (Pérez, Viguera y Gómez, 2015, p. 3), radica en la adición de microorganismos o consorcios, ya sean nativos o no nativos para disminuir el grado de contaminación en un medio (Islas, Peralta y Vega, 2016), las cualidades de esta técnica se muestran en sus características como el que no advierte contar con un área designada únicamente para desarrollar este tratamiento (Suarez, 2013, p. 29).

Ex situ: se define como la conservación de los recursos naturales y diversidad biológica (González, 2013, p. 3) mediante distintas técnicas e infraestructuras externas a su hábitat natural (Food and agriculture organization of united Nations, 2020, p. 15) este tratamiento es costoso pero el periodo de descontaminación es más corto lo que permite una mejor recuperación de la zona afectada (Escusol y Rodríguez, 2014, p.106).

In situ: Este tratamiento se refiere a la conservación de los ecosistemas y del ambiente natural (Engelman y González, 2013, p. 3) donde se encuentran los contaminantes, en este tipo de tratamiento el manejo del suelo es menor pero la duración del proceso es más lenta y presenta la dificultad de establecer el contacto de los agentes con toda el área donde se encuentre el contaminante (Escusol y Rodríguez, 2014, p.106).

Consortio microbiano: se considera a la unión de varios microorganismos (Muskus, Muños y Plata, 2013) capaces de eliminar contaminantes o sustancias complejas, que en ocasiones un solo microorganismo no tiene la capacidad para degradar por completo la mezcla o componentes del contaminante. Un potenciador de degradación para estos consorcios son las micro algas debido a que tienen metabolismo mixotrófico, soportan temperaturas y extremas situaciones ambientales (Marín, Morales y Carrasquero, 2018, p. 7)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es tipo básica ya que la información aquí mostrada permitirá incrementar los conocimientos científicos y aportar para futuras investigaciones y el diseño aplicado aquí fue no experimental.

3.2. Escenario de estudio

El escenario está basado en material científico como son los artículos de investigación y el área de estudio en las que se aplican son los suelos contaminados con petróleo aplicando microorganismos que permitan la degradación de este contaminante, todos ellos fueron recopilados de bases indexadas.

3.3. Participantes

Se identificaron para el estudio 122 artículos de biorremediación de suelo con petróleo usando microorganismos de los cuales, de los cuales 23 eran artículos repetidos y 39 no contaban con acceso abierto. Se seleccionaron 11 que cumplían con las características requeridas

El mayor porcentaje de artículos recopilados se obtuvo de la base de datos Researchgate.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo con palabras claves, para lo cual se definieron palabras claves y criterios de inclusión para la búsqueda en las siguientes bases de datos

- Science Direct.
- Researchgate.
- Springerlink.
- World Wide Science.
- Redalyc.
- Semantic Scholar.
- Scielo.
- WorldCat.

3.5. Procedimiento

Se establecieron como palabras claves “Bioremediation” (Biorremediación), “Contaminated soils” (suelos contaminados), “Oil” (Petróleo), “Microorganisms” (Microorganismos), que están relacionadas al tema de investigación y que fueron utilizados en bases antes mencionada.

Posteriormente para el estudio se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

Tabla N° 01. Criterios de inclusión.

Criterios	Inclusión
<i>Rango de tiempo</i>	2013 - 2020
<i>Idioma</i>	Inglés – Español
<i>Tipo de documento</i>	Artículos de revistas indexadas
<i>Ingreso</i>	Acceso libre
Tipo de tratamiento	In situ – ex situ

Fuente: Elaboración propia.

Luego se aplicó los criterios de inclusión y palabras claves en la recolección de información, en los cuales las siguientes tablas se muestran el número de artículos seleccionados por cada base de datos durante el desarrollo del estudio.

Tabla N° 02. Cantidad de artículos encontrados.

Base de datos	N° artículos
Science Direct	26
Researchgate	61
World Wide Science	23
Redalyc	7
Open air – explore	5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 03. *Artículos seleccionados según criterios de inclusión.*

Base de datos	N° artículos
Science Direct	1
Researchgate	4
World Wide Science	1
Redalyc	2
Open air – explore	3

Fuente: Elaboración propia.

De los artículos encontrados en la primera fase se seleccionaron 11 de ellos, quienes cumplían con los criterios de inclusión considerados previamente.

3.6. Rigor científico

En la presente investigación se ha recopilado la información consultando a las bases de datos que contienen revistas indexadas y que ha permitido respaldar la información con rigor y veracidad que en este se presentan.

3.7. Método de análisis de datos

Para para el análisis y encaminar el desarrollo de esta investigación se plantearon las siguientes sub preguntas que ayudaran a resolver los objetivos específicos planteados.

¿Cuál es la tendencia en los últimos años sobre biorremediación en suelos contaminados con petróleo usando microorganismos?

¿Cuál es el porcentaje de artículos según el tipo de tratamiento de biorremediación aplicados?

¿Qué técnicas y microorganismos usados en biorremediación se encontraron en los artículos de investigación seleccionados?

¿Cuáles son los porcentajes de degradación de petróleo en el suelo que se encontraron en los artículos de investigación seleccionados

3.8. Aspectos éticos

En el presente estudio la total información se ha elaborado con datos verídicos, recopiladas de fuentes reales y cada una de las citas seleccionadas fueron atentamente adjuntadas respetando la autenticidad de sus autores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concluida la búsqueda primaria se lograron identificar 122 artículos con los cuales se hizo el análisis respectivo resultado que se muestran en la tabla 4.

Tabla N° 04. *Tendencia de los artículos publicados durante los últimos 7 años.*

Base de datos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Science Direct	1	2	4	2	3	4	5	5	26
Researchgate	6	5	6	7	8	8	11	10	61
World Wide Science	2	1	3	2	3	3	4	5	23
Redalyc	-	1	-	1	1	2	1	1	7
Open air – explore				2	1	1		1	5
Total	9	9	13	14	16	18	21	22	122

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 04 se observa un interés creciente en la comunidad científica por investigar estrategias para la recuperación de suelos contaminados usando la biorremediación, lo cual se contrasta con los problemas crecientes de contaminación por hidrocarburos en el recurso suelo (Garzón, Miranda y Gómez, 2017, p. 310) pues se ha reportados que afecta la flora, fauna (Leonel, Moreno, 2018) (Nápoles, Suyen, Liuber, 2015) los microorganismos y la fertilidad del suelo, crecimiento de plantas, como también los procesos de producción, estilos de vida (Cavazos, Pérez, Mauricio, 2014), salud (Silvana, Martínez, Arocena, 2014) (Rodríguez, McLaughlin, Pennock, 2019) y economía (Velásquez, 2017), esto posiblemente ha direccionado los estudios

A enfocarse en el desarrollo de nuevas tecnologías como sucede al usar la biorremediación (Garzón, Miranda y Gómez, 2017, p. 312).

Luego de la aplicación de los criterios de inclusión, en base a los 14 artículos de los cuales se realizó la evaluación, cuyo resultado se muestra a continuación.

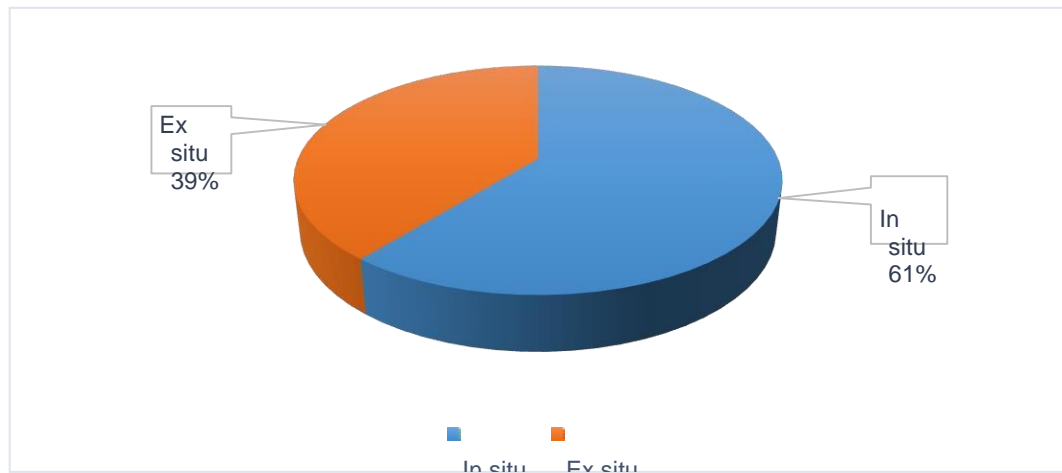


Figura 01. Porcentaje de artículos según el tipo de tratamiento de biorremediación.

La figura 01 nos muestra que los estudios realizados según el tipo de tratamiento los procesos *in situ* son los que predominan; esto posiblemente se explica por una serie de factores involucrados en la toma de decisiones como puede ser el ahorro de costos (Suarez, 2013, p. 25) (Lobo, 2013, p.13) (Kuppusami, Thavamani, Megharaj, 2016, p.9); condiciones geográficas, climáticas, (Chibueze, Blaise, Chijioke, 2016, p. 1) así como condiciones que requieren los microorganismos para cumplir su función, sin embargo en otros estudios mencionan que el *ex situ* cuenta con ventajas como menos tiempo de tratamiento, permite una muestra uniforme ya que puede ser tamizada y tener el control del contaminante (Kuppusami, Palanisami, Megharaj, 2016, p. 3) (Santanu, 2018, p. 2) (Chibueze, Blaise, Chijioke, 2016, p. 3).

Tabla N° 05. Artículos seleccionados por aplicación de criterios de inclusión.

N°	Título	Técnica	Microorganismos	Degradación (%)
01	Isolate and identification of pseudomonas aeruginosa from contaminated soil with hydrocarbons discharged from gas filling refineries.	Bioestimulación	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	82
02	Extracción de petróleo en el suelo contaminado empleando ramnolípidos producidos por <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ORA9.	Bioestimulación	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	75
03	Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant-producing <i>Pseudomonas aeruginosa</i> consortium.	Bioaumentación y bioestimulación	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	33 a 39
04	Bioremediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soils obtained from southeast Anatolia.	Bioestimulación y Bioaumentación	<i>Aspergillus niger</i>	30
05	Crude oil degradation by bacillus and micrococcus species isolated from soil compost in kano, Nigeria.	Biopilas	<i>Micrococcus</i> <i>Bacillus</i>	97.3 87.7

06	Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons polluted soils using augmentation by inoculating with bacteria (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>) and fungi (<i>Penicillium expansum</i>)	Bioaugmentación	<i>Pseudomona aeruginosa</i> y <i>Penicillium expansum</i>	90
07	Isolation of indigenous hydrocarbon transforming bacteria from oil contaminated soils in libya: selection for use as potential inocula for soil bioremediation.	Bioestimulación	<i>Pseudomonas putida</i> , , <i>Bacillus species</i>	49 70
08	Bioremediation of petroleum oil by pseudomonas aeruginosa and <i>Pseudomonas fluorescens</i> (biotype a) isolated from petroleum oil contaminated soil.	Bioestimulación	<i>Pseudomona aeruginosa</i> <i>Pseudomona fluorescens</i>	64.46 55.33
09	Biodegradation of Hydrocarbon by Micro-organisms Isolated from Crude Oil Contaminated Soil in Niger Delta Area of Nigeria.	Biorreactor	<i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Serratiamarcescens</i> , <i>proteus myxofaciens</i>	86
10	Biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado Falcón.	Bioestimulación	<i>Aspergillus Flavus</i> , <i>Aspergillus Niger</i> , y <i>Aspergillus Terreus</i> .	85
11	Bioremediation plan for oil contaminated soils.	Bioaugmentación y bioestimulación	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	80

Fuente: Elaboración propia.

En base a la tabla N° 5, se evaluaron las técnicas más utilizadas, resultados que se muestran a continuación.

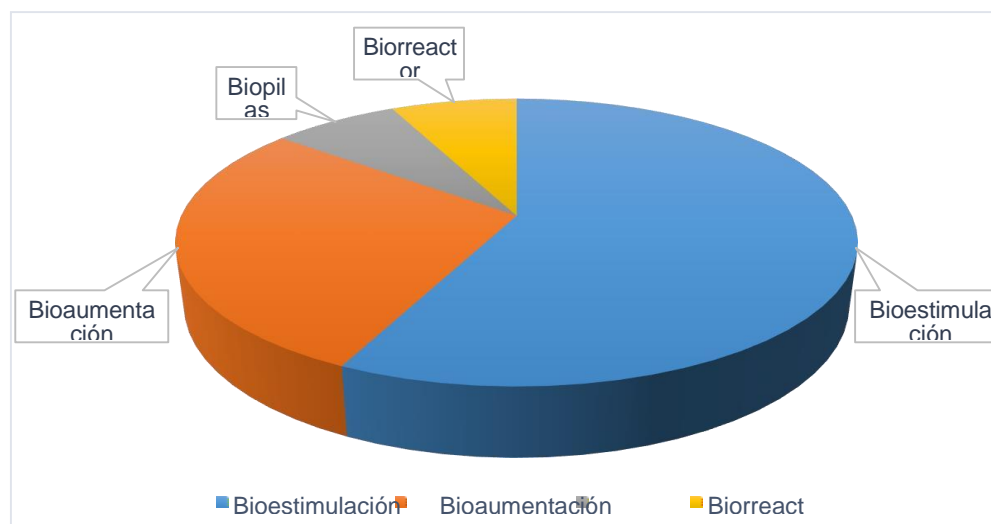


Figura N°2. Composición de Técnicas utilizadas en artículos de revisión

En base a la tabla N° 05 y la figura N° 2 se observan los microorganismos y técnicas utilizadas en los artículos seleccionados, en los cuales se evidencia que las técnicas más aplicadas son la bioestimulación y bioaumentación, debido a que estas técnicas posiblemente la primera optimiza la eficacia de los microorganismos para degradar contaminantes por medio de nutrientes que aumentan su velocidad (Okoh, Yelebe, Oruabena. 2019, p. 11) (Rivera, Andrade, Heyer, 2017, p. 3) (Islas, Peralta, Vega, 2016, p. 3). Sin embargo, se reportan en otros artículos que una de las limitaciones de la técnica ocurre cuando se seleccionan microorganismos que no cumplen las características para degradar ciertos contaminantes y en algunos casos se ha demostrado que la alta concentración de ambos también representa una limitante en los estudios (Cota, Nuñez, Delgado, 2019, p.39). Otro limitante identificado es la ubicación, ya que en zonas de temperatura baja el tiempo del proceso de remediación se extiende (Fundación de Chile, 2019, p.62). En la bioaumentación consiste en proporcionar cepas bacterianas especializadas de acuerdo a su capacidad para metabolizar diferentes contaminantes (Ome, Zafra. 2018, p.8). (Busi, 2014, p.4532) (Islas, Peralta, Vega, 2016, p. 8); se debe tener en cuenta que al utilizar esta técnica se debe realizar un enriquecimiento de cultivos, considerar el aislar microorganismos que tenga la característica de emplear el contaminante

como fuente de carbono, de no ser así se obtendrá una pérdida económica (Fundación de Chile, 2019, p. 61).

Así mismo, del análisis de los 11 artículos los 4 primeros aplican un solo microorganismos, los 4 artículos que continúan usaron dos microorganismos y en los finales 3 artículos emplearon tres microorganismos. La eficiencia de estos se comparó en grupos según el número de microorganismos que disponen y su tiempo de remediación. De los que utilizaron un solo microorganismo destaca la *Pseudomona aeruginosa* que logro alcanzar un 75% de degradación en un tiempo de 60 minutos según el artículo de Ajeel y Mohammed (2017) por lo que se puede decir que es la más eficiente. Sin embargo, según el estudio de Vilasó, et al. (2016) en sus resultados demostró que lograron en un periodo de 10 días de tratamiento un 80% de degradación del petróleo en su suelo contaminado. De los 3 siguientes un notable porcentaje de degradación de petróleo se encuentra en el artículo n° 5 de los autores Kawo y Bacha (2016) con un 97% para *Micrococcus* y 87.7% para *Bacillus*, que fueron aplicados durante 15 días; manifestando así la óptima eficiencia del primer microorganismo. Los tres últimos artículos trabajaron con consorcios microbianos, entre ellos sobresale el artículo n° 9 de Mamah, et al.(2013), en su estudio los microorganismos que lo conforman son *Enterobacter aerogenes*, *Serratiamarcescens*, *proteus myxofaciens*; después de los 28 días de aplicado el tratamiento se obtuvo como resultado un 86% de degradación en el suelo, considerándose así el más óptimo respecto a % y tiempo de degradación a diferencia de los otros artículos en comparación ya que estos últimos muestran mayor tiempo de tratamiento con menores % como resultados.

En lo referente a los microorganismos más utilizados en las investigaciones que formaron parte de la presente investigación tenemos.

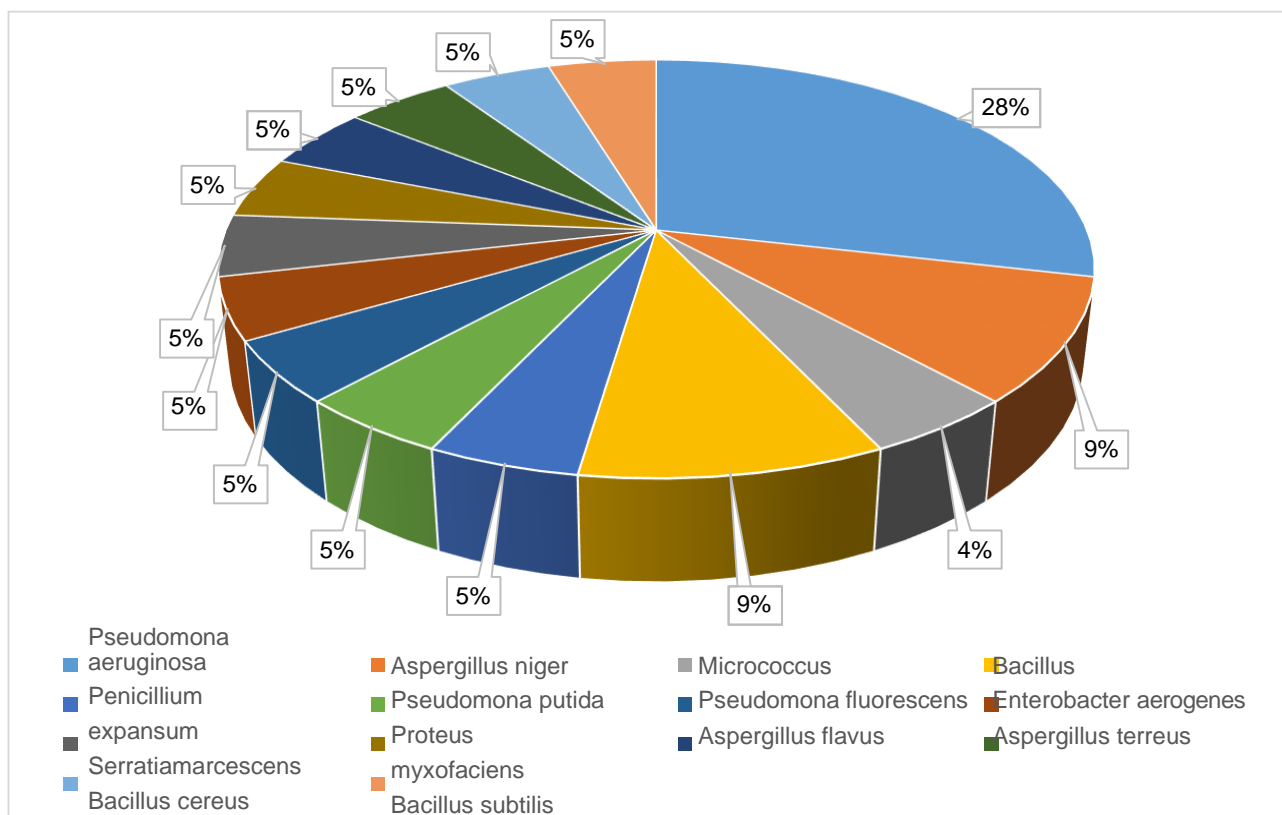


Figura N° 3. Microorganismos reportados con más frecuencias en la revisión

En la figura N° 3, se observa que el microorganismo más frecuentemente reportado en los artículos que forman parte de la investigación es la *Pseudomonas Aeruginosa*, debido a sus posibles ventajas que presentan para adaptarse a distintos medios contaminados (Mendoza y Guerrero, 2015, p. 10) y los parámetros en que estos se encuentran (Luján, 2019, p. 4) (Herrero, 2016, p. 32). (Mayz y Manzi, 2017, p.34).

1. Se pudo observar que en los artículos donde se trabajó con consorcios bacterianos sus porcentajes de degradación son altos posiblemente debido al número de microorganismos que utilizaron (Díaz, Marín y Alburgue, 2017, p.7) (Tirado, Acevedo y Romo, 2015, p. 5) (Hernández, Álvarez y Ríos, 2017, p. 18); sin embargo algunos autores en sus estudios mencionan las desventajas de utilizar los consorcios bacterianos por lo complicado de formarlos y evitar que compitan entre sí por el lugar y sustrato (Tirado, Acevedo y Romo, 2015, p. 6); exponer los microorganismos a un ambiente desfavorable causaría que la eficiencia y la población de microorganismos se vean perjudicados cuando los contaminantes a tratar se encuentran en altos niveles de concentración (Reyes, Puentes y Casanova, 2018, p. 2).

V. CONCLUSIONES

1. Al aplicar tratamientos de biodegradación a suelo contaminado con petróleo y usando un solo microorganismo, la técnica más efectiva reportada es la bioestimulación y utilizando a la *Pseudomonas aeruginosa* que muestran degradaciones alrededor del 75 % en 60 min
2. Al usar sistemas binarios de microorganismos, la técnica más efectiva reportada fue la de biopilas y que correspondía al sistema *Micrococcus* y *Bacillus* quienes lograron valores de degradación entre 87,7 y 97,3% respectivamente en un tiempo de 15 días
3. El uso de consorcios conformado por tres especies bacterianas a nivel de biorreactor, ha sido reportado que pueden alcanzar degradaciones de petróleo en suelo contaminado alrededor al 86% y en un tiempo de 28 días, destacándose el consorcio formado por *Enterobacter aerogenes*, *Serratiamarcescens*, *Proteus myxofaciens*.

VI. RECOMENDACIONES

- Tomar las precauciones en el manejo de la *Pseudomona aeruginosa* por cuanto se trata de una bacteria patógena considerada como oportunista que ataca al sistema inmunológico y que es causante de afectaciones al personal del laboratorio si no se toman las precauciones del caso.
- Para formar consorcios bacterianos en la biorremediación de suelos contaminados con petróleo, se debe asegurar que los microorganismos seleccionados puedan trabajar conjuntamente para evitar la disputa entre sí y por el espacio donde serán aplicados.
- Se debe considerar el aislar microorganismos que tenga la característica de emplear el contaminante como fuente de carbono, para poder así evitar pérdidas económicas en los tratamientos que se puedan emplear.

REFERENCIAS

ADIPAH, Sylvia. "Introduction of Petroleum Hydrocarbons Contaminants and its Human Effects". *Journal of Environmental Science and Public Health*. [En línea]. China, enero 2019. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.fortunejournals.com/articles/introduction-of-petroleum-hydrocarbons-contaminants-and-its-human-effects.html>

AJEEL, Nahla; MOHAMMED, Ahmed. "Isolate and identification of Pseudomonas aeruginosa from contaminated soil with hydrocarbons discharged from gas filling refineries". *Global Journal of Bio-science and Biotechnology*. [En línea]. Iraq, 2017. [fecha de consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: [http://scienceandnature.org/GJBB_Vol6\(2\)2017/GJBB-V6\(2\)2017-24.pdf](http://scienceandnature.org/GJBB_Vol6(2)2017/GJBB-V6(2)2017-24.pdf)

ALMAMOORI, Anas; SALEH, Jasim, "Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons polluted soils using augmentation by inoculating with bacteria (Pseudomonas aeruginosa) and fungi (Penicillium expansum". *Mesopotamia Enviromental Journal*. [En línea]. 2018. [fecha de consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325673158_Bioremediation_of_polycyclic_aromatic_hydrocarbons_polluted_soils_using_augmentation_by_inoculating_with_bacteria_Pseudomonas_aeruginosa_and_fungi_Penicillium_expansum

ALVAREZ, Héctor. "Biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos: un proceso complejo que involucra múltiples variables". Universidad Nacional de la Patagonia. [En línea]. Argentina, abril 2015. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86340672004.pdf>

ISSN 1666-7948

BELTRÁN, Oscar [et al]. "Tecnologías de tratamiento para la Tierra fuller contaminada con aceite dieléctrico". *Revista EIA*. [En línea]. Colombia, junio 2013. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n19/n19a04.pdf>

ISSN 1794-1237

BUENDÍA, Hildebrando. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Rev. Instituto de investigación - UNMSM*. [en línea]. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101/3268>

BUSI, M. "bioaugmentation". Rice university. [en línea]. Houston. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en:

file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/chp_10.1007_978-3-540-77587-4_356.pdf

CAVAZOS, Judith; PEREZ, Beatriz; GUTIÉRREZ, Amparo. "Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México". [en línea]. México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. octubre-diciembre, 2014 [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000400006

CHIBUEZE, Christofer; BLAISE, Chioma y CHIJOKE, Gideon. "Bioremediation techniques – classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. [en línea]. septiembre 2016. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2018]. Disponible en:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11274-016-2137-x.pdf>

CONTRERAS, Hans; CARREÑO, Carmen. "Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado". *Revista Científica UNTRM Ciencias Naturales e Ingeniería* [en línea]. Perú, 2018. [fecha de consulta: 6 de mayo de 2020] disponible en:

<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/269>

CORTÁZAR, Jonathan; LINARES, Elkin. "Impact of oil prices in economic growth and foreign investments". *Cife* [En línea]. Colombia, junio 2015. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5586869.pdf>

ISSN 0124- 355

COTA, Keni [et al]. "Biorremediación: actualidad de conceptos y aplicaciones. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. [en línea] mayo, 2018. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/330090699_BIORREMEDIACION_ACTUALIDAD_DE_CONCEPTOS_Y_APLICACIONES_BIOREMEDIATION_CURRENT_CONCEPTS_AND_APPLICATIONS

EBADI, Eii; KHOSHKOLGH, Nayer; OLAMAEE, Mohsen; HASHEMI, Maryam.

"Effective bioremediation of a petroleum-polluted saline soil by a surfactant-producing *pseudomonas aeruginosa* consortium. *Journal of Advanced Research* [En línea]. Irán, noviembre 2017. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123217300668>

EL-KHAWAGA, Maie; SALAH EL-DIN, Rawheya; GHONEM; Rahal. "Bioremediation of Petroleum Oil by *Pseudomonas fluorescens* (Biotype A) Isolated from Petroleum Oil Contaminated Soil". *Journal of Biotechnology*. [En línea]. Egypto, 2015 [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/292981736_BIOREMEDIATION_OF_PETROLEUM_OIL_BY_PSEUDOMONAS_AERUGINOSA_AND_PSEUDOMONAS_FLUORESCENS_BIOTYPE_A_ISOLATED_FROM_PETROLEUM_OIL_CONTAMINATED_SOIL

ENGELMANN, Florent; GONZALEZ, María. "Introducción a la conversación *ex situ* de los recursos genéticos vegetales". Universidad Veracruzana. [En línea]. México, enero 2013. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/280638600_Introduccion_a_la_conservacion_ex_situ_de_los_recurso_geneticos_vegetales

ESCUSOL, Mercedes; RODRÍGUEZ, Rafael. "Revisión comparativa de técnicas empleadas para la descontaminación "in situ" de suelos contaminado". Revista *Ingeniería Civil*. [En línea]. España, 2014. [fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. Disponible en:

<http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/405/385>

FABELO, Antonio. "Propuesta de Metodología para la Recuperación de Suelos Contaminados". [en línea] Octubre, 2016. [fecha consultada: 13 de junio]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000100006

Fundación de Chile, Gobierno de Chile. “Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados”. [en línea]. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-detecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf

GARCIA, Ulises y AGUIRRE, Leopoldina. “Biodegradación de petróleo por bacterias: algunos casos de estudio en el Golfo de México”. [en línea]. 2014 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/273002971_Biodegradacion_de_petroleo_por_bacterias_algunos_casos_de_estudio_en_el_Golfo_de_Mexico

GARZÓN, Jennyfer; RODRIGUEZ, Juan; HERNANDEZ, Catalina. “Aporte de biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible”. *Revista Universidad y Salud*. [En línea]. Colombia 2017 [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/view/3120>

GUZMÁN, Silvia. “Los microbios y la ecología”. [en línea]. Abril-junio de 2017. [fecha de consulta: 25 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_2/PDF/MicrobiosEcologia.pdf

HERNANDEZ, Gina; ÁLVAREZ, Natalia; RÍOS, Leonardo. “Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática”. *Corpoica Cience Technol Agropecuaria*. [En línea]. Colombia, abril 2017. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a09.pdf>

ISSN 0122-8706

HERRERO, María. “Comparativa de métodos de descontaminación de suelos afectados por hidrocarburos aplicación a la obra del ave Malaga”. [en línea]. 2016 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: http://oa.upm.es/39774/1/MARIA_JOSE_HERRERO_PENA.pdf

ISLAS, Alejandro [et al]. “Biorremediación por bioestimulación bioaumentación con microorganismos nativos de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos”. [en línea]. Agosto, 2016. [fecha de consulta: 18 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/328389954_Biorremediacion_por_bioestim

[ulacion y bioaumentacion con microorganismos nativos de un suelo agricola co
ntaminado con hidrocarburos](#)

KAWO, A.; BACHA, H. "Crude Oil Degradation by bacillus and micrococcus species isolated from soil compost in Kano, Nigeria". Bayero Journal of Pure and applied Sciences. [en línea] Mayo,2016 [fecha de consulta: 26 de mayo de 2020] Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/bajopas/article/view/139865>

KOSHLAF, Eman; BALL, Andrew. "Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbons polluted environments". *Journal Aims microbiology*. [En línea]. Australia. Enero 2017. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313957030_Soil_bioremediation_approaches_for_petroleum_hydrocarbon_polluted_environments

KUPPUSAMY, Saranya [et al]. In-situ Remediation Approaches for the Management of Contaminated Sites: A Comprehensive Overview [en línea]. Octubre 2016 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282566848_Insitu_remediation_approaches_for_the_management_of_contaminated_sites_A_comprehensive_overview

LEONEL, María; MORENO, Daniela. "Biorremediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos en Cultivo de Tomate". [en línea]. Octubre,2018. [Fecha de consulta: 13 de Junio de 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/329629665>

LÓPEZ, Erick; CISNEROS, Salvador; OCHOCA, Jesica. "Proceso de bioestimulación para la remediación de suelos agrícola contaminados con tebuconazol y cialotrina". Revista de simulación y Laboratorio. [En línea]. Septiembre de 2016. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Simulacion_y_Laboratorio/vol3num8/Revista_de_Simulacion_y_Laboratorio_V3_N8_1.pdf

LETURIA, Mauro y NUGOLI, Solange. "La contaminación por hidrocarburos. El caso "Magdalena"". Revista Anales de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. [en línea]. Julio, 2016. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/RevistaAnalesJursoc/article/download/4004/3826/>

LOBO, Paula. "evaluación de la sostenibilidad de las diferencias de recuperación de

suelos contaminados”. Universidad de Oviedo. [en línea]. España, 2013. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/18166/TFMPaulaLoboRosarioProteg.pdf;jsessionid=9E8BFF3E83A528233720FDDA11D7A9C2?sequence=4>

LOSOB, Gabriel [et al]. “Biological remediation of soil polluted with oil products: An Overview of available technologies”. Universitate Vasile Alecsandri. [En línea]. Noviembre 2016. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309901995_BIOLOGICAL_REMEDIATION_OF_SOIL_POLLUTED_WITH_OIL_PRODUCTS_AN_OVERVIEW_OF_AVAILABLE_TECHNOLOGIES

LUJÁN, Daniel. “uso de *Pseudomona aeruginosa* en biorremediación. [en línea]. Agosto, 2019 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335871095_Uso_de_Pseudomonas_aeruginosa_en_biorremediacion_revisi

MAMAH, Stanley; EDOGA, Matthew; KOVO, Abdulsalami. “Biodegradation of Hydrocarbon by Micro-organisms Isolated from Crude Oil Contaminated Soil in Niger Delta Area of Nigeria”. Elixir International Journal [en línea]. Noviembre, 2013 [fecha de consulta: 13 de junio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317175843_Biodegradation_of_Hydrocarbon_by_Microorganisms_Isolated_from_Crude_Oil_Contaminated_Soil_in_Niger_Delta_Area_of_Nigeria/link/5987152b0f7e9b6c85374148/download

MARÍN, Julio. [et al]. “Consortio microbiano autóctono para el tratamiento de aguas contaminadas con gasoil del Puerto de isla de toas”. Revista Ciencia e ingeniería neogranadina. [En línea]. Venezuela, octubre 2017. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/download/2792/2668/>

MARTINEZ, J; FERRERA, R; HERNANDEZ, H. “Compostaje en biopilas para la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo”. [En línea]. Abril, 2016. [fecha de consulta: 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/797/662>

MAYZ, Juliana; MANZI, Lorna. “Bacterias hidrocarburoclásticas del genero *Pseudomonas* en la rizosfera de *Samanea saman* (Jacq.) Merr.”. [En línea]. Colombia,

2016. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v19n1/0123-3475-biote-19-01-00029.pdf>

MEDINA, Jhonny; GARCIA, Franklin. “Biodegradación de petróleo por microorganismos autóctonos en suelos contaminados provenientes de la bahía de Amuay del Estado Falcón”. [en línea]. Venezuela, 2014. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732642007.pdf>

MENDOZA, Allen y GUERRERO, Ana. “biodegradación de petróleo diesel-2 en agua de mar por *Pseudomona aeruginosa* en un birreactor aireado y agitado”. [en línea]. Junio, 2016 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/267888946>

MENDOZA, Allen; GUERRERO, Ana. “Biodegradación de petróleo diesel-2 en agua de mar por *Pseudomonas aeruginosa* en un birreactor aireado y agitado”. Universidad Nacional de Trujillo [En línea]. Perú, junio 2016. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/267888946.pdf>

MINAM. “Glosario de términos”. [En línea]. Perú, 2015. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta- Glosario.pdf>

MOINUDDIN, Ahmed; SAMIYAH, Tasleem; ADA, Khan. “Bioremediation plan for oil contaminated soils”. Bioscience Research. [En línea]. Pakistán, diciembre 2018. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/332139020_Bioremediation_plan_for_oil_contaminated_soils

NAPOLIS, Janet; RODRIGUEZ, Suyen; SANTIAGO; Liuber y Ábalos Arelis. “Disminución del Extracto Orgánico Total en Suelos Contaminados con Hidrocarburos” [en línea] Junio 2015 [fecha consultada: 7 de Junio] Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2224-61852015000300006>

OKOH, Elechi [et al]. “Clean-up of crude oil-contaminated soils: bioremediation option”. International Journal of Environmental Science and Technology. [en línea]. Diciembre, 2019. [fecha de consulta: 17 de mayo]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338109708_Clean-up_of_crude_oil_contaminated_soils_bioremediation_option

OME, Óscar; ZAFRA, Carlos. "Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales. Una revisión". *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. [En línea] .2018 [fecha de consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012342262018000200573&script=sci_abstr act&tlng=es

Food and agriculture organization of united Nations. "La biodiversidad para la alimentación y la agricultura: esbozo revisado de necesidades y posibles medidas". [en línea]. Abril 2020 [fecha de consulta: 28 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/nc504es/nc504es.pdf>

OYOLA, Alfredo; CHANDUVI, Willer y QUISPE, Melisa. "Tiempos de demora para la publicación de artículos en una revista científica peruana" [en línea]. [fecha de consulta: 8 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v76n4/a23v76n4.pdf>

PARRA, Fiorella; MANRIQUE, Hernán; MARTINEZ, Vania. "Derrames de petróleo y afectación a la salud materno infantil en pueblos indígenas de la Amazonía Peruana: un análisis exploratorio desde los determinantes de la salud". CIES, consorcio de investigación económica y social. *Engineering* [En línea]. Nigeria, enero 2018. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338084129_Derrames_de_petroleo_y_afectacion_a_la_salud_materno_infantil_en_pueblos_indigenas_de_la_Amazonia_peruana_un_analisis_exploratorio_desde_los_determinantes_de_la_salud

PÉREZ, Josefina. [et al]. "Degradación microbiana con BNFA de hidrocarburos aromáticos por bioaumentación en Biopilas". *Revista CENIC Ciencias biológicas*. [En línea]. Cuba, diciembre 2015. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181259521017.pdf>

PEREZ, Yuliana [et al]. "Evaluación de impacto socio ambiental, por derrame de petróleo de un ducto en Comalcalco, Tabasco". Journal of Basic SCIENCES. [en línea] agosto, 2019. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/download/3574/2730>

RENTERÍA, María; ROSERO, Doris. "Estudios sobre la biorremediación en Colombia". [En línea]. Colombia, diciembre 2019. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/view/339845/20802199>

REYES, María. [et al]. "Inmovilización de bacterias potencialmente degradadoras de petróleo crudo en matrices orgánicas naturales sintéticas". Revista de contaminación ambiental. [En línea]. Costa Rica, marzo 2018. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992018000400597&lng=es&nrm=iso&tlng=es
DOI 1020937

RÍOS, Álvaro. "Rol del gas natural en el desarrollo económico y social de América Latina y el Caribe". Organización latinoamericana de energía. [En línea]. Canadá, 2013. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/08/Rol-gas-natural-desarrollo-ecsoc.pdf>

RIVERA, Patricio [et al]. "Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. [en línea]. Agosto, 2017. [fecha de consulta; 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.02.06/46754>

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.02.06>

RODRIGUEZ, Lizeth [et al]. "Biorremediación de arsénico mediada por microorganismos genéticamente modificados". Terra latinoamericana [En línea]. México, Agosto 2017. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n4/2395-8030-tl-35-04-00353.pdf>

RODRIGUEZ, Natalia; MCLAUGHLIN, Michael Y PENNOCK, Daniel. “La Contaminación del Suelo: Una Realidad Oculta”. [en línea] 2019. [fecha de consulta: 15 de Mayo]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

SÁNCHEZ, María. [et al]. “¿Que son los microbios?”. Revista ciencia. [En línea]. Junio 2017. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/68_2/PDF/QueSonMicrobios.pdf

SANTANU, Maitra. “In situ Bioremediation – an overview”. Research Journal of life Sciences, Bioinformatics Pharmaceutical and Chemical Sciences. [en línea]. Noviembre 2018 [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.rjlbpcs.com/article-pdf-downloads/2018/22/440.pdf>

SERRANO, María; TORRADO, Luz, PERÉZ, Diego. “Impacto de los derrames de petróleo de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenoso”. Revista científica General José María Córdova. [En línea]. Septiembre 2013. [fecha de consulta: 15 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.scielo.org/?q=&lang=es&count=15&from=0&output=site&sort=&format=summary&fb=&page=1&q=Impacto+de+los+derrames+de+petr%C3%B3leo+de+crudo+en+las+propiedades+mec%C3%A1nicas+de+suelos+arenoso&lang=es&page=1>

SILVANA, Cecilia; MARTINEZ, Miguel; AROCENA, Lucas. “Estudio Comparativo del Agregado de Enmiendas Orgánicas en Procesos de Biorremediación de Suelos Norpatagónicos Contaminados con Petróleo”. Revista Sociedad Química del Perú. [en línea] Octubre, 2014. [fecha de consulta: 26 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v80n4/a04v80n4.pdf>

STEINVORTH, Arturo. “Tratamientos mecánico-biológicos y su aporte al manejo de residuos sólidos municipales” CEGESTI Éxito Empresarial. [en línea]. 2014. [fecha de consulta: 3 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_257_120514_es.pdf

SUAREZ, Roland. "Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos". [en línea]. 2013. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf?sequence=1>

TIRADO, David. [et al]. "Participación de consorcios microbianos en la Biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos". Revista Iberoamericana de Ciencias. [En línea]. México, mayo 2015. [fecha de consulta: 5 de mayo de 2020]. Disponible en:

<http://www.reibci.org/publicados/2015/mayo/1000101.pdf>

ISSN 2334-2501

USTUN, Senem; BUYUKGUNGOR, Hanife. "Bioremediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soils obtained from southeast Anatolia". Acta Biológica Turcica. [En línea]. Turquía, 2016. [fecha de consulta: 30 de mayo de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/299599058_Bioremediation_of_Total_Petroleum_Hydrocarbons_in_Crude_Oil_Contaminated_Soils_obtained_from_Southeast_Anatolia

VELÁSQUEZ, Johana. "Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburo en Colombia. Biorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación" [en línea]. Junio 2017. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2020] disponible en:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846>

VILASÓ, Javier; RODRIGUEZ, Odalys; ÁBALOS, Arelis. "Extracción de petróleo en suelos contaminados empleando Ramnolípidos producidos por Pseudomonas aeruginosa ORA9". [en línea]. Cuba, 2017. [fecha de consulta: 10 de mayo de 2020] disponible en:

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.03.11/46704>