



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos con
Trichoderma sp y Exiguobacterium: Una Revisión Sistemática de
los Últimos 5 Años**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Ayala Ancachi, Yomara Soraya (orcid.org/0000-0002-6571-5176)

Caballon Quichca, Josue (orcid.org/0000-0003-2244-7586)

ASESOR:

Dr. Espinoza Farfan, Eduardo Ronald (orcid.org/0000-0003-4418-7009)

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

Este esfuerzo está dedicado a nuestros padres, por brindarnos su apoyo y confianza incondicional.

A la Universidad Cesar Vallejo por haber contribuido a nuestra formación profesional.

Agradecimiento

Primeramente, agradecer a nuestro divino por permitirme un día más de vida y en seguida a mi asesor Dr. Espinoza Farfán Eduardo Ronald por todo su apoyo incondicional y asesoramiento en este trabajo de investigación; sin usted y sus virtudes, este trabajo no lo hubiera logrado tan fácil.

Todos sus consejos siempre fueron útiles para poder lograr este gran trabajo.

A Usted que formo parte importante de esta historia con sus aportes profesionales que lo caracterizan. Gracias por sus orientaciones.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	ii
Índice de contenidos	ii
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	iv
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización	16
3.3. Escenario de estudio.....	16
3.4. Participantes	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6. Procedimientos	17
3.7. Rigor científico.....	19
3.8. Método de análisis de información	20
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS.....	39
ANEXOS	48

Índice de tablas

Tabla 1: Porcentajes de remoción de hidrocarburos en suelos.....	21
Tabla 2: Tiempo óptimo por los <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> en remover hidrocarburos	24
Tabla 3: Variables ambientales apropiadas para la remoción de hidrocarburos por <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i>	31
Tabla 4: Eficiencia de Biorremediación por <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> .	35

Índice de figuras

Figura 1: Tipo de hidrocarburos	11
Figura 2: <i>Trichoderma spp</i>	14
Figura 3: Diagrama de flujo de artículos y revistas utilizados	18
Figura 4: Nivel de porcentajes de la capacidad degradadora de la <i>Trichoderma sp.</i>	22
Figura 5: Nivel de porcentajes de la capacidad degradadora de la <i>Exiguobacterium</i>	23
Figura 6: Tiempo óptimo por la <i>Exiguobacterium</i> en degradar los hidrocarburos	26
Figura 7: Tiempo óptimo por la <i>Trichoderma sp</i> en degradar hidrocarburos	27
Figura 8: Variables apropiadas por <i>Trichoderma sp</i> en degradar hidrocarburos.	33
Figura 9: Variables apropiadas por <i>Exiguobacterium sp</i> en degradar hidrocarburos	34

Resumen

En la presente investigación el objetivo fue evaluar la eficiencia de Biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos con la aplicación de *Trichoderma* sp y *Exiguobacterium*. El tipo de investigación fue básica con un enfoque cualitativo, el diseño es de revisión sistemática, la metodología se apoyó en la técnica de recolección de información utilizando análisis documental en las interpretaciones de artículos y revistas indexadas que no sean mayor de 5 años que abarca entre el año 2022 y 2018, Los resultados fueron que la *Trichoderma* sp degradó el 88.7% hidrocarburos totales de petróleo y *Exiguobacterium* degradó a los alcanos el 89.6% y 78% a los hidrocarburos aromáticos siendo los porcentajes más altos de remoción; el tiempo óptimo que estas usaron para *Trichoderma* sp empleó 1 día en degradar al petróleo crudo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y antraceno y *Exiguobacterium* empleo de 1 a 5 días sobre el pireno e hidrocarburos, Además de las variables ambientales adecuadas a *Trichoderma* sp y *Exiguobacterium* en una temperatura de 34 °C y la humedad de 61.4%, ya que a una mejor humedad del suelo estas especies se acondicionan mejor. Se concluyó que el uso *Trichoderma* sp y *Exiguobacterium* lograron ser eficientes en degradar los hidrocarburos.

Palabra clave: Biorremediación, Hidrocarburos, suelo, *Trichoderma* sp y *Exiguobacterium*

Abstract

The objective of this research was to evaluate the efficiency of bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons with the application of *Trichoderma* sp and *Exiguobacterium*. The type of research was basic with a qualitative approach, the design is of systematic review, the methodology was based on the technique of data collection using documentary analysis in the interpretations of articles and indexed journals that are not older than 5 years covering between the year 2022 and 2018, The results were that the *Trichoderma* sp degraded 88.7% total petroleum hydrocarbons and *Exiguobacterium* degraded to alkanes 89.6% and 78% to the aromatic hydrocarbons being the highest percentages of removal; the optimal time that these used for *Trichoderma* sp used 1 days in degrading crude oil, polycyclic aromatic hydrocarbons and anthracene and *Exiguobacterium* used from 1 to 5 days on the pyrene and hydrocarbons, In addition to the environmental variables suitable to *Trichoderma* sp and *Exiguobacterium* in a temperature of 34 °C and humidity of 61.4%, since to a better humidity of the soil these species are better conditioned. It was concluded that the use of *Trichoderma* sp and *Exiguobacterium* were efficient in degrading hydrocarbons.

Keywords: Bioremediation, Hydrocarbons, soil, *Trichoderma* sp and *Exiguobacterium*.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, debido a la contaminación por hidrocarburos en los ecosistemas acuáticos y terrestres, se han aplicado diferentes tecnologías de remediación y otras están surgiendo. Todos ellos tienen diferentes grados de éxito. Sin embargo, se ha informado que las tecnologías biológicas o de biorremediación son más rentables que las tecnologías químicas, térmicas o físicas. En los ecosistemas terrestres, la Biorremediación se considera segura, ecológica y económica y conserva la estructura y funcionalidad del suelo (Rodríguez et al., 2019).

Los recursos del suelo son una base importante para la mejora y la sostenibilidad de los ecosistemas que proporcionan los mecanismos únicos para el desarrollo humano (agua, suelo, aire). Sin embargo, la interacción de los ecosistemas con la actividad humana continúa provocando la degradación inducida por la contaminación de la diversidad de actividades industriales (Naeem et al. 2020).

“En términos de su toxicidad para las plantas y la flora microbiana, los derrames de petróleo afectan negativamente a los ecosistemas del suelo al limitar la disponibilidad de oxígeno y aumentar la anaerobicidad” (Chen et al., 2021). El petróleo crudo se basa en una mezcla compleja de alcanos, azufre, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), oxígeno y nitrógeno, que causan efectos cancerígenos, neurotóxicos, mutagénicos, e inmunotóxicos en los humanos. Junto con otros derivados del petróleo, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) han llamado mucho la atención en las últimas décadas debido a su toxicidad (Alkaabi et al., 2020).

La biorremediación es una técnica de tratamiento fisicoquímico eficaz, económica y respetuosa con el ambiente. Además, es un tratamiento in situ beneficioso que impide la revuelta de los ecosistemas locales y un proceso interesante para la eliminación de la contaminación por hidrocarburos (Sarma et al., 2019). “El suelo es un importante receptor de muchos contaminantes y proporciona el ambiente necesario para diversos procesos de evaporación, deposición y descomposición” (Quintella et al., 2019).

A este respecto, se ha informado ampliamente sobre la descontaminación de suelos contaminados con petróleo utilizando cultivos bacterianos puros y mixtos aislados, y el aislamiento de comunidades bacterianas y que degradan el petróleo se considera un organismo degradador de hidrocarburos eficiente. Sin embargo, diferentes cepas microbianas degradan los hidrocarburos de petróleo de manera diferente. (Sunita et al., 2020).

Por tanto, el uso de los “*Trichoderma* sp denominados hongos cosmopolitas radica en su capacidad de adaptarse y producir metabolitos como enzimas, compuestos que provocan el desarrollo de las plantas y compuestos volátiles, de particular interés ecológico” (Muangchinda et al., 2020). Asimismo, las *Exiguobacterium* son bacterias que viven en casi todas las partes del mundo. Son esenciales para el ecosistema, algunas especies pueden vivir en situaciones realmente extremas de presión y temperatura, también muy útiles para degradar contaminantes en el suelo, en este caso la presencia de hidrocarburos en el suelo (Pritesh et al., 2020).

La investigación realizada tiene como aporte ambiental que, a través de la biorremediación, que es uno de los procesos utilizados por diferentes microorganismos para remover contaminantes tales como hidrocarburos, petróleo, aceites y grasas, siendo estos removidos, inactivados o atenuando su efecto tóxico en el suelo, ya que estos ocasionaron riesgos en la biodiversidad de micronutrientes que alimentan el estado natural del suelo, esta investigación recopilara información de artículos científicos sobre estos microorganismos para generar información o alternativas de solución, comparación, sirviendo como aporte para futuros investigadores.

A diferencia de otras técnicas de biorremediación, este método utiliza bacterias y hongos porque su procesamiento más avanzado les permite degradar hidrocarburos de mayor peso molecular sin causar daño al medio ambiente porque son ecológicos.

Por lo tanto, se formula el problema general:

PG: ¿Cuál es la eficiencia de biorremediación por *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en suelos contaminados por hidrocarburos?

En cuanto a los problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los porcentajes de la capacidad degradadora de la *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* sobre los hidrocarburos depositados en los suelos?

PE2: ¿Cuál será el tiempo óptimo para *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en Biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos?

PE3: ¿Cuáles serán las condiciones ambientales apropiadas para *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en Biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos?

La Justificación social, informa a la sociedad con respecto al método de Biorremediación con *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en relación a la acumulación de hidrocarburos presentes en la corteza terrestre por accidentes de derrames, con el fin de reducir los daños y pérdidas al suelo que ocasionan al momento de acumularse. Justificación económica, Se basa en la pérdida económica para las instituciones y el público si la empresa competente sufre contaminación como consecuencia de la fuga de hidrocarburos, contribuyendo con planes para recuperar los suelos afectados por los hidrocarburos. Justificación ambiental, se enfocó directamente en el uso de *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en tratar suelos afectados por hidrocarburos, ya que estos ocasionan muchos problemas ambientales como la pérdida de biodiversidad de las especies que habitan en las áreas afectadas. Para ello, la Biorremediación fue una de las técnicas eco-amigables con el medio ambiente para devolver a su estado natural la calidad de los suelos dañados por los hidrocarburos.

El objetivo general se planteó a continuación:

OG: Evaluar la eficiencia de Biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos con la aplicación de *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium*, 2022.

Los objetivos específicos:

OE1: Determinar los porcentajes de la capacidad degradadora de la *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* sobre los hidrocarburos depositados en los suelos.

OE2: Determinar el tiempo óptimo para *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

OE3: Determinar las condiciones ambientales apropiadas para *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en la Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

II. MARCO TEÓRICO

Muangchinda et al. (2020), Evaluaron el efecto de la bioaumentación con *Exiguobacterium* sp. AO-11 sobre la eliminación de petróleo crudo. Usaron una comunidad bacteriana durante la degradación del petróleo crudo, la adición de AO-11 no cambió la comunidad bacteriana autóctona, mientras que la adición de fertilizante de urea indujo un cambio estructural de la comunidad bacteriana autóctona. Los resultados fueron que la bioaumentación con *Exiguobacterium* sp. AO-11 tuvieron un efecto de eliminación de 75 %, de 4 % (p/p) de petróleo crudo en un periodo de 100 días. Concluyeron que bioaumentación con la cepa AO-11 podría ser una solución eficaz para la biorremediación de ambientes contaminados con petróleo crudo.

Tagabi et al. (2022), Valoraron los efectos de mejora por *Trichoderma harzianum* y los microbios del suelo de la rizosfera en la biosorción de cadmio por contaminación de aceites. experimento en macetas en un diseño completamente al azar factorial con tres repeticiones. Los tratamientos fueron *T. harzianum* (Tri) y suelo de rizosfera (Rhi) y Cd. Los resultados mostraron que la aplicación de *T. harzianum* y microorganismos autóctonos del suelo tuvo efectos positivos sobre la absorción de Cd de 150 mg/kg. Concluyeron que la coinoculación de *T. harzianum* y los microbios del suelo mejora los efectos negativos de la contaminación por Cd comoderivado de aceites.

Ferreira et al. (2021), sobre la microrremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por especies de *Trichoderma*. Usó el hongo filamentoso *Trichoderma* sp., para probar su resistencia a altas concentraciones de mercurio para uso en biorremediación. Como resultado, la cepa 2 logró el mayor crecimiento radial. Todos fueron similares en crecimiento excepto la cepa TCH 1, con una diferencia insignificante. El máximo crecimiento de las cepas a 50 mg/l de mercurio ocurrió con TCH 1 ($89,42 \pm 0,63$ mm), seguido del aislado TCH 2 ($87,3 \pm 0,58$ mm). Concluimos que los aislados de *Trichoderma* fueron capaces de tolerar ambientes contaminados con mercurio, causando retraso en el crecimiento y esporulación. Por lo tanto, tiene potencial para su uso en la biorremediación de mercurio. Sin embargo, su resistencia es ocho veces mayor que la de los humanos.

Din et al. (2021), Resistencia al cadmio y potencial de biorremediación del hongo filamentoso *Penicillium chrysogenum* FMS2 aislado del suelo. El objetivo era aislar una bacteria resistente al cadmio, llamada FMS2, del suelo contaminado con metales recolectado en Lahore, Pakistán, e investigar su papel en la biorremediación de cadmio. Utilice un diseño experimental con material de laboratorio de espectrofotómetro, un microscopio electrónico y una hoja de recopilación de datos. Como resultado, *p. chrysogenum* FMS2 es tolerante al cadmio, con un límite máximo permisible de 1000 mg l⁻¹. La cepa FMS2 puede crecer a temperaturas elevadas (15-35 °C) y pH (4,0-12,0). Se encontró que la capacidad de eliminación de cadmio de la cepa FMS2 era del 49 ± 0,8 % en 15 días. Las micrografías electrónicas de barrido muestran distintas manchas blancas con distintos picos de cadmio en los espectros de espectroscopia de dispersión de energía, que concluimos indican biosorción de cadmio

Govarathan et al. (2018), Sobre la remediación de micofitos de suelos contaminados con arsénico y plomo por *Helianthus annuus* y el hongo de la pudrición de la madera, *Trichoderma* sp. Madera podrida aislada. El objetivo fue evaluar *Helianthus annuus* cultivado en suelo contaminado con arsénico (As) y plomo (Pb) y tratado con hongos que inhiben el crecimiento vegetal. La eficiencia fitorremediadora de MG aislado de madera podrida de *Trichoderma* sp. Estoy usando configuración experimental, diseño experimental con matriz de adquisición de datos. Los resultados mostraron que el tratamiento de *H. annuus* con aislamientos MG presentó la mayor acumulación de metales en los brotes (As; 67%, Pb; 59%). Además, se observó un aumento significativo en la actividad exoenzimática del suelo en suelos reparados con hongos. Ella concluye que es una cepa potencial para la remediación fúngica de suelos contaminados con As y Pb.

Li et al., (2020), evaluaron la aplicación de alquil poliglucósidos en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos usando *Pseudomonas stutzeri* y *Sphingomonas changbaiensis*. El objetivo fue estudiar los efectos de los biosurfactantes de alquil poliglucósido (APG) sobre la contaminación del suelo biodegradable por hidrocarburos de petróleo utilizando *Pseudomonas stutzeri*. y *Sphingomonas changbaiensis*. Los resultados mostraron que *S. changbaiensis* y *P.*

stutzeri a los 30 días fueron $39,2 \pm 1,9$ % y $47,2 \pm 1,2$ %, respectivamente. Concluyeron que la combinación microbiana fue altamente efectiva en la restauración de suelos degradados por la presencia de hidrocarburos.

Rabodonirina et al. (2019), evaluaron la degradación de fluoreno y fenantreno en suelo contaminado con PAH usando cepas de *Pseudomonas* y *Bacillus* aisladas de un sitio de derrame de petróleo. Los resultados mostraron que solo los PAH de bajo peso molecular, fluoreno y fenantreno, se depuraron de manera eficiente dentro de los 72 días posteriores a la incubación con los organismos de prueba. Estas descomposiciones fueron del 65 al 86% y del 86 al 95% para fluorenos y fenantrenos, respectivamente. Concluimos que las vidas medias de fenantreno (2,4 a 2,7 días) y fluoreno (3,5 a 4,6 días) son inferiores a 10 días, lo que señala aclimatación a la cepa.

Aniefiok et al. (2019), evaluaron la eficiencia de las plantas y microbios en recuperar los suelos con presencia de petróleo. Se proporcionó información sobre la capacidad de las plantas y los microbios en remover los contaminantes de suelos contaminados que ha surgido del creciente cuerpo de investigación de biorremediación y sus aplicaciones en la práctica. A lo largo de los años, las plantas y los microorganismos han realizado un roll importante en el resultado, y la biorremediación ha sido reconocida como una alternativa a los métodos fisicoquímicos tradicionales para la remediación de sitios contaminados. Concluyeron que las interacciones planta-microbio con respecto a la biodegradación de hidrocarburos de petróleo fueron muy eficientes en mejorar la calidad de los suelos contaminados por los contaminantes.

Ogbonna et al. (2019), Eficiencia de biorremediación de *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas aeruginosa* con cambios de nutrientes en petróleo crudo contaminado por suelo. Fertilizaron cepas CL 9 de *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas aeruginosa* en suelos de ríos contaminados en Nigeria para la biorremediación utilizando bioestimulantes como tripas de pescado y estiércol de cabra. Los resultados fueron el porcentaje de remediación de hidrocarburos y la eficiencia de biorremediación (en orden descendente) durante 56 días en diferentes

parcelas de tratamiento (valor inicial de contaminación TPH de 9296.83 mg/kg). Llegaron a la conclusión de que las enmiendas incluían nutrientes orgánicos como estiércol de cabra y excremento de pescado para regenerar suelos contaminados con petróleo.

Kumari et al. (2020), evaluaron las cepas productoras de biosurfactantes de *Pseudomonas*. ISTPY2 para la degradación eficiente de pireno y la biorremediación en suelos de vertederos mediante estudios de microcosmos y proteómica del suelo. Determinaron la eficiencia de la cepa de *Pseudomonas* para producir biosurfactantes. ISTPY2 aislado de suelo de vertedero para degradación de pireno y remediación de suelo de vertedero en el microcosmos del suelo. Los resultados indicaron que varias proteínas degradadoras de xenobióticos, como el ftalato 4,5-dioxigenasa, el aldehído deshidrogenasa y la oxidorreductasa dependiente de F420, fueron inducidas y desempeñaron un papel en respuesta al estrés por pireno en su eficiente biodegradación. Los metabolitos fueron identificados por GC-MS, concluye, y se observó un aumento en la cantidad de lípidos durante el proceso utilizando ftalatos y alcanos como metabolitos principales.

Agnello et al. (2018), Biorremediación comparativa de suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos de petróleo mediante atenuar naturalmente, fitorremediación, y bioaumentación, .evaluaron cuatro estrategias de biorremediación a través de un experimento en maceta: a) Sin tratamiento, b) *Medicago sativa* L., c) *Pseudomonas aeruginosa*, y d) *Medicago sativa* L. y *Pseudomonas aeruginosa*, para el tratamiento de un suelo grueso. -contaminado con niveles moderados de metales pesados. Concluyeron que los tratamientos de fitorremediación asistidos por bioaumentación tuvieron la mayor remoción total de hidrocarburos de petróleo (68 %), seguidos por la bioaumentación (59 %), la fitorremediación (47 %) y la degradación natural (37 %).

Varjani y Upasani. (2021), sobre Bioaumentación de *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514: un nuevo degradador de desechos aceitosos para el tratamiento de hidrocarburos de petróleo. El objetivo fue evaluar remediación del área contaminada con desechos aceitosos mediante la utilización de una bacteria recién

obtenida. Lograron que la *P. aeruginosa* NCIM 5514 para la sustentabilidad ambiental. A partir de los resultados, se concluye que la bioaumentación con la nueva *P. aeruginosa* sp. (degradador de desechos aceitosos) podría remediar la contaminación por desechos aceitosos de manera efectiva.

Morales et al. (2018), determinaron la degradación del diésel al emulsionar bacterias secuestradas con hidrocarburos en el suelo. El objetivo fue determinar la población bacteriana (total, excluyendo bacterias lipolíticas, solubilizadoras de P, fijadoras de N y degradadoras de hidrocarburos) en suelo no contaminado o en suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo meteorizados (WPH), y para cada bacteria la emulsión y propiedades de descomposición del diesel contra la distorsión. Utilice la hoja de observaciones y análisis para la planificación experimental. Este resultado sugiere que las bacterias emulsionantes pueden ayudar a remediar suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo degradados. Llegaron a la conclusión de que las pruebas bioquímicas mostraron que la cepa bacteriana también podría producir ácido indolacético.

Romero et al. (2019), evaluaron el modelado de la biorremediación ex situ del diésel presente en el suelo en un biorreactor de lodos utilizando un inoculante degradante de hidrocarburos. El objetivo fue desarrollar un modelo para simular la biorremediación ex situ de depósitos de diésel en el suelo utilizando un reactor de biolodos inoculados con una cepa bacteriana que degrada el diésel. Use hojas de observación de diseño experimental. Los resultados revelan la capacidad del modelo para pronosticar la eficacia de la biorremediación en diversos escenarios ajustando los parámetros de entrada de cada sistema. Las conclusiones del análisis de sensibilidad revelaron la importancia de mantener una alta densidad bacteriana en el sistema para lograr la máxima eficiencia de biorremediación.

Popoola y Yusuff (2021), evaluaron la optimización y caracterización mediante microorganismos en los suelos contaminados con crudo de petróleo utilizando aislamientos bacterianos: Efecto del crecimiento vegetal. El objetivo fue investigar el efecto del pH del suelo, la concentración de petróleo crudo, la relación nitrógeno-fósforo y la concentración de bacterias aisladas, utilizando un diseño compuesto

central en laboratorio. Los resultados muestran que las bacterias aisladas pueden usarse como agentes de limpieza efectivos para la biodegradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo crudo. Concluyeron que la eficacia de las bacterias aisladas fue muy eficiente en remover crudo de en un experimento de maceta de 60 días.

Apolonia et al. (2018), evaluó la biodiversidad de bacterias presentes en la corteza terrestre contaminados con derivados del petróleo para la biorremediación. El objetivo fue generar más amplia de investigaciones recientes, de revistas científicas que detallan sobre las diversas metodologías de biorremediación en suelos contaminados por los derivados de petróleo, esto por medio de artículos de investigación de diferentes autores. Los resultados muestran que los hidrocarburos son biodegradados por una variedad de bacterias, ya sea individualmente o en combinación, como el fenantreno, un compuesto aromático, que es biodegradado por 11 cepas bacterianas diferentes.

La contaminación del suelo es aquella ocasionada a través de causas físicas o químicas, provocando la disminución parcial o total de la fertilidad, lo que genera efectos nocivos para todos los organismos vivos. Las diferentes composiciones del suelo dificultan en ocasiones determinar qué componente deja ser beneficioso y es el promotor del nivel de contaminación (Becerra, 2020).

La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), es la norma reguladora del marco legal y normativo para la gestión ambiental en el Perú. Promueve la gestión ambiental eficiente y asevera la realización efectiva del derecho a un ambiente sano, equilibrado y suficiente para el pleno desarrollo de la vida y el cumplimiento de las obligaciones de protección ambiental. Formular principios y normas básicas y sus componentes con el fin de optimizar la calidad de vida de los ciudadanos y alcanzar el desarrollo sostenible del país. (MINAM, 2020).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos se pueden dividir en dos categorías principales: oleosos y aromáticos. Por el contrario, los lípidos se pueden clasificar en alcanos, alquenos y alquenos según el tipo de enlace que mantienen con los

átomos de carbono. Las fórmulas generales para alcanos, alquinos y alquenos son C_nH_{2n+2} , C_nH_{2n} y C_nH_{2n-2} (Mousavi et al., 2020).

Seguidamente los hidrocarburos se clasifican como parafinas o alquenos, los carbonos sujetan 4 enlaces simples (hibridación sp^3) e hidrocarburos insaturados (hibridación sp^2 y/o hibridación sp) que contienen al menos un doble enlace (alqueno u olefina) o enlaces, carbono terciario (alqueno o acetileno) (Merlin et al., 2021).

Los hidrocarburos grasos suelen ser de cadena lineal, cadena abierta (sin cadenas laterales) o ramificados, con cadenas laterales. Por otra parte, suelen ser alcanos cíclicos, definidos como hidrocarburos de cadena cerrada, o monofuncionales, que tienen un solo anillo, o policíclicos, que tienen varios anillos (Merlin et al., 2021).



Figura 1: Tipo de hidrocarburos

Fuente: Merlín, 2021.

El “petróleo es considerado un aceite negro menos pesado que el agua y tiene un olor que le caracteriza. Son mezclas de hidrocarburos con cantidades diversas de

oxígeno, nitrógeno y azufre. El petróleo se encuentra sólo en las rocas sedimentarias” (Sha et al., 2020).

Debido a que “los suelos contaminados con hidrocarburos presentan riesgos para la salud y el ambiente, es imperativo realizar un diagnóstico situacional antes de identificar depósitos en áreas afectadas por estas sustancias contaminantes” (Din et al., 2021).

El suelo determinado como una textura arena, limo, arcilla con una determinada cantidad de materia orgánica presentan el agotamiento nutricional con la presencia de hidrocarburos del petróleo perjudicando a las plantas. Además, la contaminación por hidrocarburos de petróleo afecta negativamente a las plantas al producir minerales tóxicos que pueden ser absorbidos por el suelo, causando su degradación. Pérdida de constituyentes orgánicos; el agotamiento de nutrientes minerales como sodio, potasio, sulfato, fosfato y nitrato del suelo lo hace más susceptible a la intemperie y la erosión. La cantidad de estos contaminantes puede reducir la fertilidad del suelo, reducir el rendimiento de los cultivos y afectar negativamente a los humanos y al ecosistema en general (Ferreira et al., 2021).

En general, los derivados de hidrocarburos (queroseno, gasolina, petróleo, fuel, parafina, asfalto, etc.) son ampliamente utilizados en actividades humanas que pueden ingresar al medio ambiente en un accidente. No solo aflora la superficie del suelo, sino que también conlleva el riesgo de invadir las aguas subterráneas y causar contaminación. También puede ser transportado por derrames y causar más daño ambiental (Khudor L. et al., 2019).

La biorremediación es el uso de microorganismos para purificar las aguas subterráneas y el suelo contaminado. Los microorganismos, como las bacterias, son organismos muy pequeños que viven en el medio ambiente. La biorremediación promueve microorganismos específicos en remover contaminantes. Los contaminantes tratados por biorremediación incluyen aceites, derivados, solventes y pesticidas (Kumar et al., 2019).

La bioestimulación utiliza las propiedades inherentes de los organismos ya presentes en el suelo o el agua que se está tratando y se adapta a las condiciones ambientales. En pocas palabras, los bioestímulos incluyen cambios en la absorción de nutrientes y variables ambientales como el pH del suelo y el agua (Baranger et al., 2021).

La “biorremediación ex situ es una tecnología de biorremediación que toma agua o suelo contaminados y los trata en una instalación dedicada para ese fin. A diferencia de la anterior, esta técnica se utiliza en pequeñas cantidades” (Ogbonna et al., 2019).

Trichoderma spp. funciona contra una amplia categoría de patógenos de plantas que se transmiten a través del suelo y el aire. Usado contra una gran clase de podredumbre de especies causada por *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium*. y patógenos formadores de esclerocios tales como esclerocios (Muangchinda et al., 2020).

Además, se mencionan especies *Trichoderma*. Es un hongo cosmopolita, generalmente derivado de suelos que pueden ser transportados a sustratos en cultivos de hongos comestibles. La mayoría de las especies del género *Trichoderma* se han descrito en América del Norte y Europa, pero futuras investigaciones en otras regiones geográficas conducirán a la identificación de nuevas especies y sus interacciones en el cultivo de hongos comestibles (Prittesh et al., 2020).

De acuerdo con la fisiología de *Trichoderma*, se encuentra en una amplia variedad de materia orgánica y suelos y se adapta bien a diferentes condiciones ambientales, de ahí su amplia distribución. Algunas especies prefieren condiciones cálidas y secas, mientras que otras prefieren condiciones cálidas y frías. Estos hongos son bien conocidos por producir toxinas y antibióticos. Debido a que varias especies y cepas del género *Trichoderma* surgen en el cultivo de hongos comestibles, algunas inofensivas y otras altamente tóxicas, su antagonismo con los hongos cultivados

aún no se comprende completamente. Varía según la especie y la cepa (Prittesh et al., 2020).



Figura 2: *Trichoderma* spp

Fuente: Fitosanidad, 2017

La *Exiguobacterium* es un tipo de bacilos y un miembro de los filos *Bacillota*, por primera vez el género *Exiguobacterium* con la determinación de la cepa DSM6208T de *E. aurantiacum* de una planta procesadora de papa alcalina. Se ha encontrado en áreas que cubren una amplia gama de temperaturas, incluidos glaciares en Groenlandia y aguas termales y se ha aislado del antiguo permafrost en Siberia (Quintella C. et al., 2019)

Asimismo, la *Exiguobacterium* sp. han sido aisladas y detectadas molecularmente en una amplia gama de hábitats. La característica única de esta bacteria sp. es crecer en condiciones ambientales extremas con una temperatura que oscila entre -12 y 55 °C con un mínimo de nutrientes (Prittesh et al., 2020).

El género *Exiguobacterium* comprende especies y cepas psicrótróficas, mesófilas y termófilas moderadas con una diversidad morfológica pronunciada (ovoides, bastones, bastones dobles y cadenas) según la especie, la cepa y las condiciones ambientales (Nath et al., 2021). Hasta ahora, los estudios de *Exiguobacterium* sp. centrado principalmente en las características de resistencia a condiciones extremas como alta/baja temperatura, ambiente alcalino y altas concentraciones de sales. Las aplicaciones biotecnológicas de estas cepas, especialmente en la

biodegradación de materiales lignocelulósicos, no han sido exploradas (Rabodonirina, et al., 2019).

Los factores ambientales son aquellos que influyen en el desarrollo del medio ambiente en determinadas circunstancias. Al realizar una evaluación ambiental, se analiza el impacto de unas variables sobre otras variables a través de las interacciones que se dan entre ellas (Aniefiok et al., 2019).

Dado que el suelo es un aislador para el flujo de calor entre la tierra sólida y la atmósfera, la temperatura está directamente vinculada con la temperatura atmosférica. Por ejemplo, en días soleados, el suelo absorbe energía solar y se calienta” (Baranger et al., 2021).

El pH caracteriza la acción de los iones de hidrógeno en las soluciones del suelo. Esto denominará si el suelo es ácido, neutro o alcalino. El pH del suelo es un parámetro importante que afecta varios factores del suelo y afecta el desarrollo de las plantas. (Becerra, 2020).

La precipitación se define como el porcentaje de la precipitación total que se utiliza para satisfacer las demandas de agua de la planta. Por lo tanto, se excluyen la filtración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación desde la superficie del suelo (Cunningha et al., 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de Investigación: es básica, “conocida como pura, que tiene como finalidad la obtención de información que permita también explicar los fenómenos, pero sin entrar en sus posibles aplicaciones prácticas” (Hernández et al., 2014)

Diseño de Investigación: es revisión sistemática, de acuerdo a Gavilánez (2018), la investigación de revisión sistemática requiere de un análisis mediante una recopilación de datos de los artículos en relación a la investigación. Con el requisito de biorremediación para eliminar contaminantes de los suelos a través de una revisión sistemática: categorías y subcategorías, archivos, la revisión se organizará, analizará y evaluará, y se actualizará el conocimiento.

3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización

Para el desarrollo de la investigación se plantearon 3 categorías y subcategorías por cada objetivo específico. Categoría 1: % de remoción: (Factores ambientales y tipos de hidrocarburos). Categoría 2: tiempo de biorremediación: (Duración de la eliminación de hidrocarburos en el suelo). Categoría 3: variables ambientales: (tipo de variables ambientales) (Véase en el Anexo 1)

3.3. Escenario de estudio

Para la investigación, los escenarios se caracterizan por su accesibilidad y los campos donde se realizan los experimentos. En otras palabras, es necesario verificar porque la información puede ser infiltrada y obtenida a través de negociaciones y las fuentes de información deben cumplir con las condiciones requeridas para la investigación (Hernández et al., 2010).

Al ser la investigación de revisión sistemática, los escenarios están compuestos por los suelos contaminados por hidrocarburos de las diferentes

investigaciones encontradas de las diversas plataformas web, los cuales estuvieron relacionados con el tema de investigación.

3.4. Participantes

En el presente trabajo de investigación los participantes fueron el factor determinante en la información extraída, conformadas por las bases de datos como: ScienceDirect, Springer Link, Taylor & Francis Online.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica usada en la investigación fue el análisis de documentos, la cual es un método estandarizado y sistemático para estudiar, sintetizar y analizar toda la información de diversas publicaciones científicas.

En cuanto a los instrumentos utilizados fueron mediante fichas de recopilación de información de acuerdo a las categorías planteadas, que fueron validadas y firmadas por 3 jueces expertos.

3.6. Procedimientos

El procedimiento de investigación tuvo tres etapas básicas en la recolección de datos en base a la ejecución de los resultados y síntesis de trabajo, y la información se extrajo de una manera objetiva, ordenada y sistemática. Para ello, se utilizó la información de artículos extraídos de bases: ScienceDirect, Springer Link y Google Académico, donde se empleó las palabras claves en inglés y español. Todo esto quedó demostrado a detalle en la figura 3 los procesos correspondientes a cada fase desarrollada.

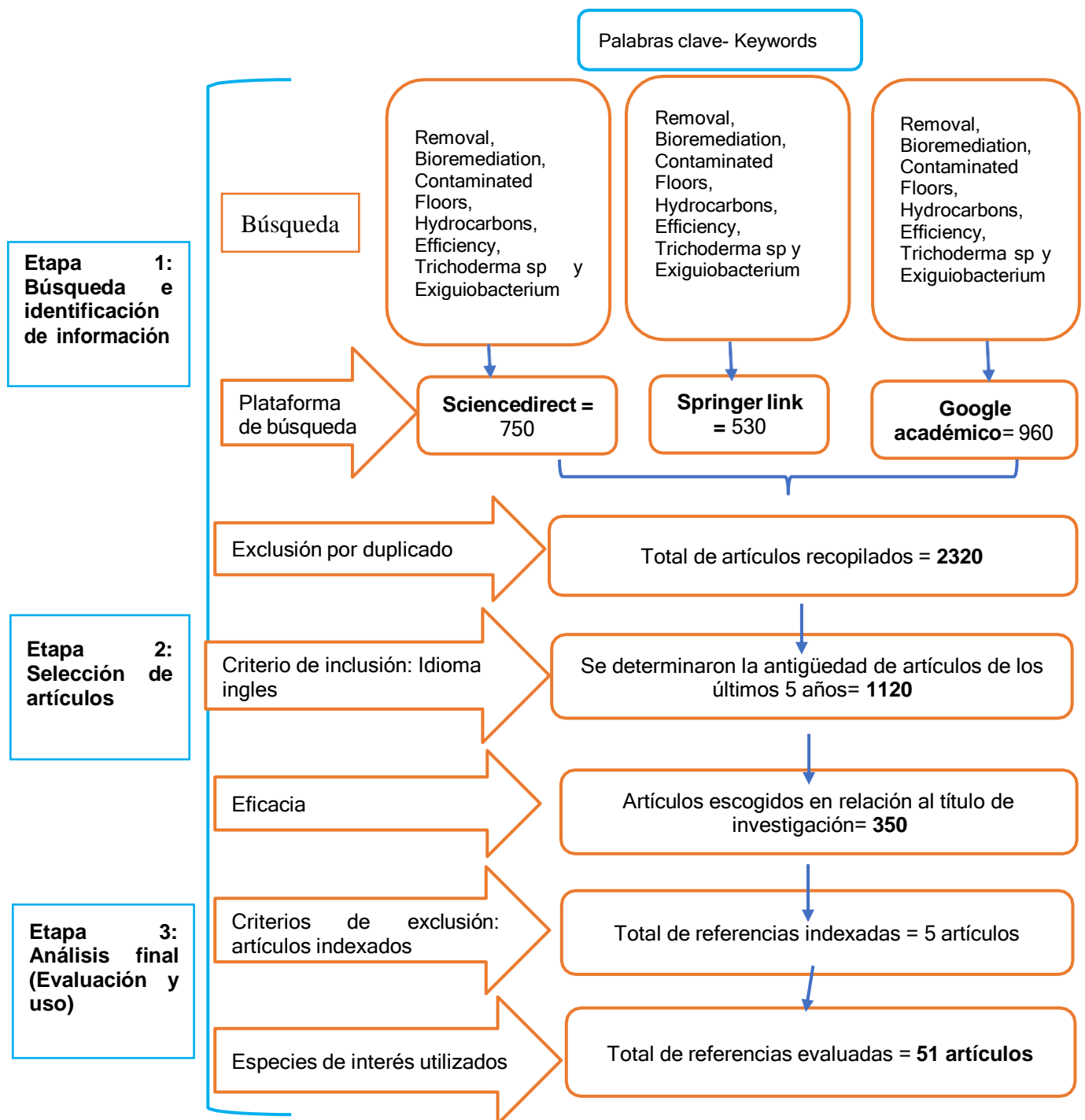


Figura 3: Diagrama de flujo de artículos y revistas utilizados

- **Los criterios de inclusión:** Fueron considerados todos los artículos que indicaron el uso de *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en remediar los suelos contaminados por hidrocarburos.
- **Los criterios de exclusión:** Fueron descartados todos los artículos que indicaron la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos por otros

microorganismos que no tenían nada en relación con la *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium*

3.7. Rigor científico

En la investigación se buscó desempeñar los datos obtenidos de acuerdo a los 4 criterios para obtener el rigor científico del trabajo de investigación; los criterios fueron la credibilidad, transferibilidad, dependencia y confiabilidad. Como lo menciona Sampieri (2014, p.486),

- **credibilidad:** Según Castillo y Vásquez (2003), este criterio se aplica a los investigadores que deben comprender y ser capaces de interpretar la complejidad de la investigación. De acuerdo al trabajo de investigación este criterio fue cumplido por la calidad de los estudios en los que los artículos fueron utilizados a partir de fuentes indexadas, lo que garantiza la autenticidad de los datos.
- **Transferibilidad:** Esto muestra la posibilidad de generalizar los resultados a otras poblaciones. Guba y Lincoln (1981) afirmaron que se trata de qué tan bien la calificación de una prueba se ajusta a otro contexto. Para ello en el trabajo de investigación se logró proporcionando la mayor cantidad de información posible establecido en el estudio para que los investigadores utilicen nuevas aplicaciones o para continuar la investigación con otros estudiantes.
- **dependencia:** Se detalló los pasos del procedimiento del trabajo de investigación, demostrando el mayor detalle posible, contribuyendo así a disminuir la inestabilidad de la información obtenida. Según Sampieri (2014), Este criterio es más controvertido entre los investigadores ya que se ha debatido su estabilidad en relación con los datos incluidos en los resultados. Esto se debe a que es un estudio experimental y los resultados son únicos e irreproducibles, lo que indica que hemos logrado consistencia en los informes.
- **confiabilidad:** Se estableció una metodología de acuerdo a los estudios racializados, según la investigación (Leininger, 1994), “Se refiere a la

forma en que los investigadores pueden rastrear el rastro o la ruta de lo que otros han hecho”

3.8. Método de análisis de información

Respecto a los métodos de análisis de información, la descripción de la evidencia producida se utiliza como un método de análisis que permite recopilar, almacenar, clasificar, comparar o interpretar los conjuntos de datos recopilados en relación con los parámetros relevantes de eliminación de la contaminación.

3.9. Aspectos éticos

Los datos obtenidos fueron reales no sufrirán ninguna variación en la redacción, se respetó los derechos de autor en cada cita, también la redacción estuvo administrada bajo el programa antiplagio turnitin de la universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo de la investigación se resolvió el primer objetivo específico “Determinar los porcentajes de la capacidad degradadora de la *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* sobre los hidrocarburos depositados en los suelos”. En el cual se determinaron los tipos de hidrocarburos removidos por los microorganismos, demostrado en la tabla 1. según los autores Campos et al. 2019, Tran et al. (2021), García et al., (2018), Vélez et al. (2020), Liu et al. (2020) y Ramadass et al. (2018) quienes lograron evaluar los mejores porcentajes de degradación de los hidrocarburos.

Tabla 1: Porcentajes de remoción de hidrocarburos en suelos

Uso de <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> para Biorremediar suelos				
Tipo de microorganismo	Factores ambientales	Tipo de hidrocarburos	% remoción	Fuente
<i>Trichoderma sp</i>	Temperatura= 40°C.	HAP	Etapa 1= 78.5% HAP	Campos et al. 2019
			Etapa 2= 94,5% de HAP	
<i>Trichoderma sp</i>	Temperatura= 34°C Humedad= 28%.	Naftaleno, pireno y Fluoreno.	Naftaleno= 65.5%	García et al., 2018
			Pireno= 27.4%	
			Fluoreno= 29.7%	
<i>Trichoderma sp</i>	Humedad= 75%	Hidrocarburos totales de petróleo (TPH).	Etapa 1= 70% de TPH	Tran et al. 2021
			Etapa 2= 99% de TPH.	
<i>Exiguobacterium</i>	pH= 6.5	Alcano y Alqueno	Alcano= 89,6%	Vélez et al. 2020
			Alqueno= 67%	
<i>Trichoderma sp</i>	Temperatura= 35°C	Petróleo crudo	Etapa 1= 53% de petróleo.	Ali et al. 2020
			Etapa 2= 63% de petróleo.	
<i>Trichoderma sp</i>	pH= 6.8 Temperatura= 36 °C.	Petróleo crudo	Petróleo= 87%	Galazka et al. 2020
<i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i>	Temperaturas= 35°C	Pireno	Pireno= 60%	Li et al. 2020

<i>Exiguobacterium</i>	pH= 6.8	Hidrocarburos alifáticos	Hidrocarburos alifáticos= 78%	Liu et al. 2020
<i>Exiguobacterium</i>	pH= 7.6	Aceite de motor	Aceite= 74%	Ramadass et al. 2018
<i>Trichoderma sp</i>	pH= 5	Petróleo crudo	Etapa 1= 2.46% de Petrónimo	Ojewumi et al. 2018
			Etapa 2= 3.75% de Petrónimo	
<i>Trichoderma sp</i>	Temperaturas= 45°C	Hidrocarburos Totales de Petrónimo (TPH).	TPH= 97%	Ezekoye et al. 2018
<i>Exiguobacterium</i>	pH= 8.1 Temperatura= 30 °C	Petrónimo	Petrónimo= 75%	Muangchinda et al., 2020
<i>Exiguobacterium</i>	Temperatura= 45 °C	Petrónimo	Petrónimo= 8.49%	Liu et al., 2020

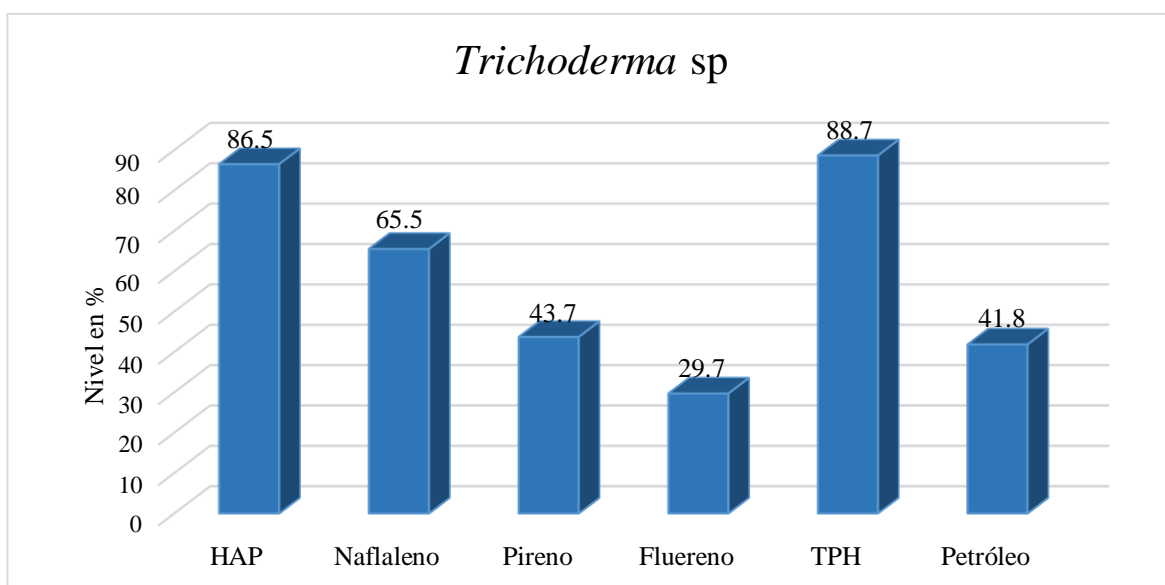


Figura 4: Nivel de porcentajes de la capacidad degradadora de la *Trichoderma sp*.

Dado los datos mostrados en la figura 4 de los porcentajes de remoción de hidrocarburos por *Trichoderma sp*., siendo el 88.7% de hidrocarburos de petróleo promediados con mayor porcentaje de remoción según los trabajos de investigación avalados por Tran et al. 2021 y Ezekoye et al. 2018.

Los porcentajes removidos se dieron porque la temperatura óptima de 40 °C. donde las *Trichoderma* a temperaturas más altas pierden la facilidad de degradar hidrocarburos, cabe mencionar que *Trichoderma* sp., se adaptan mejor a un ambiente húmedo.

Además, se obtuvo un 86,5% de remoción de hidrocarburos aromáticos policíclicos resultados promediados y un 65,5% de naftaleno, resultados extraídos en base al trabajo de investigación de (Campos et al. 2019; y García et al., 2018).

Estos microorganismos lograron una mejor eficiencia de remoción de hidrocarburos por la humedad de 75% que la *Trichoderma* sp. se acondicionan y tienen la capacidad de degradar los contaminantes

Sin embargo, existe una remoción en bajos porcentajes en cuanto a pireno de 43.7%, petróleo en 41.8% y flureno de 29.7%, resultados obtenidos por los trabajos de investigación de García et al., 2018, Li et al. 2020, Ali et al. 2020 y Ojewumi et al. 2018. Ocurrió debido a las altas temperaturas que presentó el área de tratamiento, además los investigadores utilizaron otros macroorganismos en mayor cantidad que perjudicaron la actividad degradante de *Trichoderma* sp.

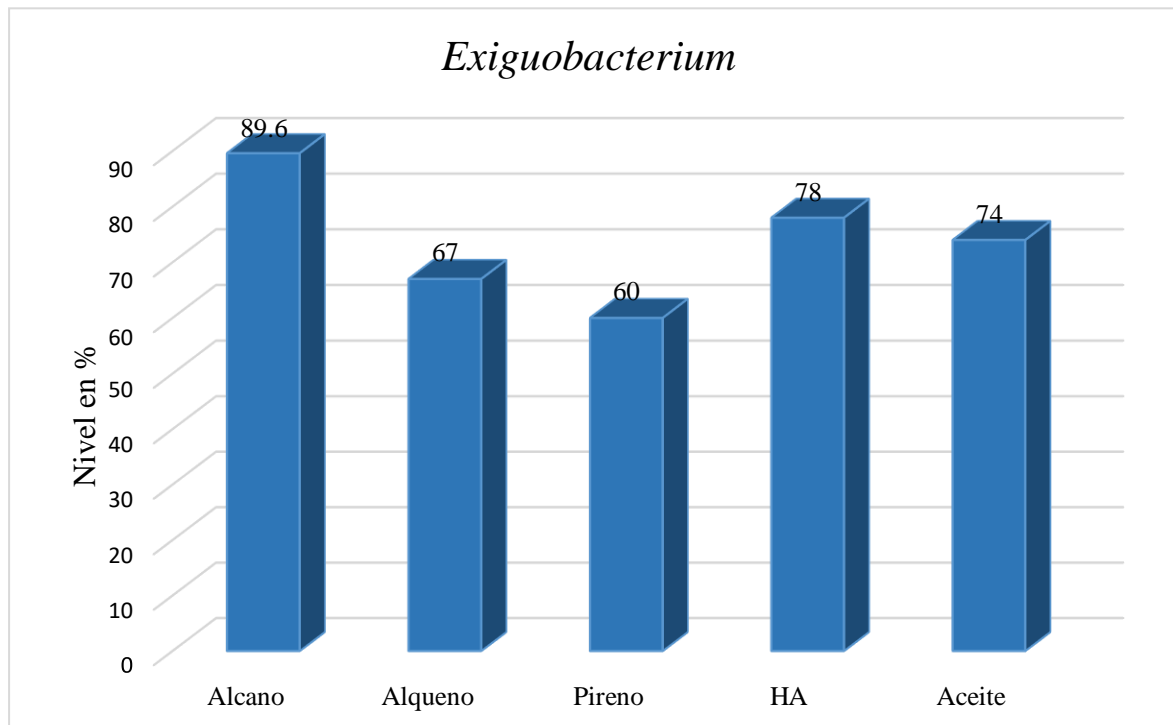


Figura 5: Nivel de porcentajes de la capacidad degradadora de la *Exiguobacterium*

La figura 5 se muestra puntualmente en base a los estudios que describen las diversas clases de hidrocarburos remediados por *Exiguobacterium*, con su eficiencia de degradación hacia cada contaminante, siendo el 89.6% para los alcanos, contaminante con mayor porcentaje de remoción de acuerdo al tratamiento ex situ utilizando laboratorio con muestras de suelo contaminado por hidrocarburos. Donde las bacterias fueron inoculadas y ubicadas en incubadoras para el proceso de degradación a una temperatura promedio de 36°C.

Posteriormente al porcentaje más alto de remoción se indica en la figura 4 por medio de los estudios Vélez et al., 2020, Liu et al. 2020 y Muangchinda et al., 2020 y Ramadass et al. 2018, los porcentajes de remoción por *Exiguobacterium* el 78% para hidrocarburos aromáticos y el 74% sobre los aceites respectivamente.

Por lo tanto, la mayoría de los estudios establecidos en los resultados se han centrado en la eliminación de hidrocarburos por cada tipo, ya que prevalecen en el medio ambiente como tóxicos, perjudicando especialmente a la diversidad de especies terrestres y acuáticas.

Tabla 2: Tiempo óptimo por los *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en remover hidrocarburos

Tiempo usado por la <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i>			
Tiempo	Microorganismo	Tipo de hidrocarburo	Fuente
5 días	<i>Exiguobacterium</i>	Pireno	Swati et al. 2020
15 días	<i>Exiguobacterium</i>	Petróleo crudo	Ukpaka et al. 2020
1 día	<i>Trichoderma</i> y <i>Exiguobacterium</i>	Petróleo crudo	García et al. 2021
1 día	<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo crudo	Okoh et al. 2019
60 días	<i>Trichoderma sp</i>	Gasóleo	Machado et al. 2020
35 días	<i>Trichoderma sp.</i>	Keroseno	Summerbell & Boldú et al. 2019
45 días	<i>Exiguobacterium</i>	Petróleo crudo	Barnes et al. 2018
15 días	<i>Trichoderma sp.</i>	Petróleo crudo	Asemoloye et al. 2018

22 días	<i>Trichoderma sp.</i>	Antraceno	Vasudevan et al. 2018
90 días	<i>Exiguobacterium</i>	Hidrocarburos de alto peso molecular	Andreolli et al. 2021
21 días	<i>Trichoderma sp</i>	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	Adeleye et al., 2018
90 días	<i>Exiguobacterium</i>	Hidrocarburos de petróleo	Alkaabi et al., 2020
15 días	<i>Trichoderma sp</i>	Hidrocarburos	Bandurska et al., 2021
15 días	<i>Trichoderma sp</i>	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	Chen et al., 2021
60 días	<i>Exiguobacterium</i>	Hidrocarburos Totales de Petróleo	Khudur et al., 2019
20 días	<i>Trichoderma sp</i>	Hidrocarburos totales de petróleo	Qianwei et al., 2020
56 días	<i>Exiguobacterium</i>	Hidrocarburos de petróleo totales (TPH)	Ogbonna et al., 2019

De acuerdo a lo expuesto en la tabla 2, en cuanto al tiempo óptimo para las dos especies evaluadas en la degradación o eliminación de los tipos de hidrocarburos acumulados en la superficie del suelo, demostramos en las siguientes figuras, indicadas por cada especie utilizada, el tiempo óptimo para cada uno de los utilizados en los tratamientos.

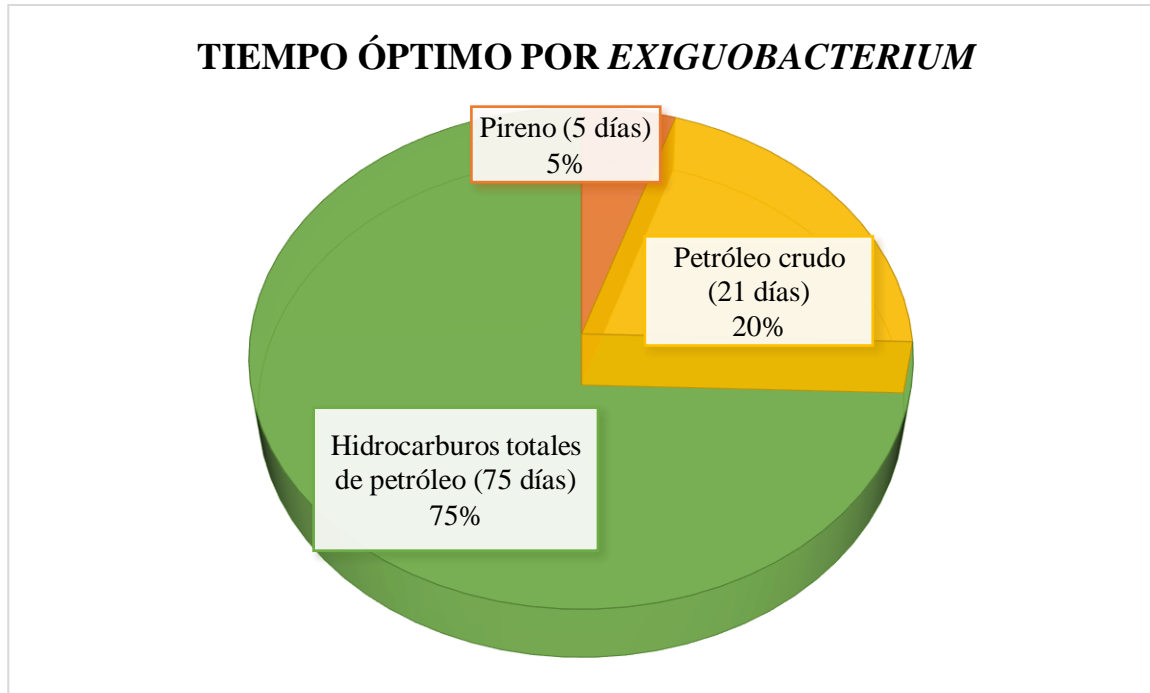


Figura 6: Tiempo óptimo por la *Exiguobacterium* en degradar los hidrocarburos

En la demostración de la figura 6 en base al tiempo óptimo para que la bacteria *Exiguobacterium* degrade los tipos de hidrocarburos que se encontraron acumulados en los diferentes suelos evaluados, se determinó que el tiempo óptimo fue de 1 a 5 días con un porcentaje promedio del 5% para pireno de acuerdo a los días estimados, datos obtenidos según (Swati et al. 2020 y García et al. 2021), quienes realizaron sus investigaciones de forma ex situ utilizando laboratorios, siendo los más eficientes en la degradación de los hidrocarburos. Para ello también fue fundamental la temperatura ya que las bacterias fueron adaptadas de la mejor manera en el medio de tratamiento de acuerdo a (Swati et al. (2020). Además, *Exiguobacterium* demandaron de mucho tiempo en degradar a los hidrocarburos en los tratamientos in situ ya que depende mucho de las variables ambientales que entorpecen a la degradación de los hidrocarburos por *Exiguobacterium*.

Además, según su investigación Ukpaka et al. (2020), Barnes et al. (2018), Andreolli et al. (2021), Alkaabi et al., (2020), Khudur et al., (2019) y Ogbonna et al., (2019), realizaron sus investigaciones de campo in situ, las cuales requirieron mayor tiempo con porcentajes entre los rangos del 20%. al 75%, siendo efectivos, pero en cuanto al tiempo, necesitan muchos días en comparación con los tratamientos de

laboratorio. Por lo tanto, se demuestra que el tiempo óptimo para *Exiguobacterium* es de 1 a 5 días con altos porcentajes en remoción por hidrocarburos en relación a la recuperación de la calidad del suelo.

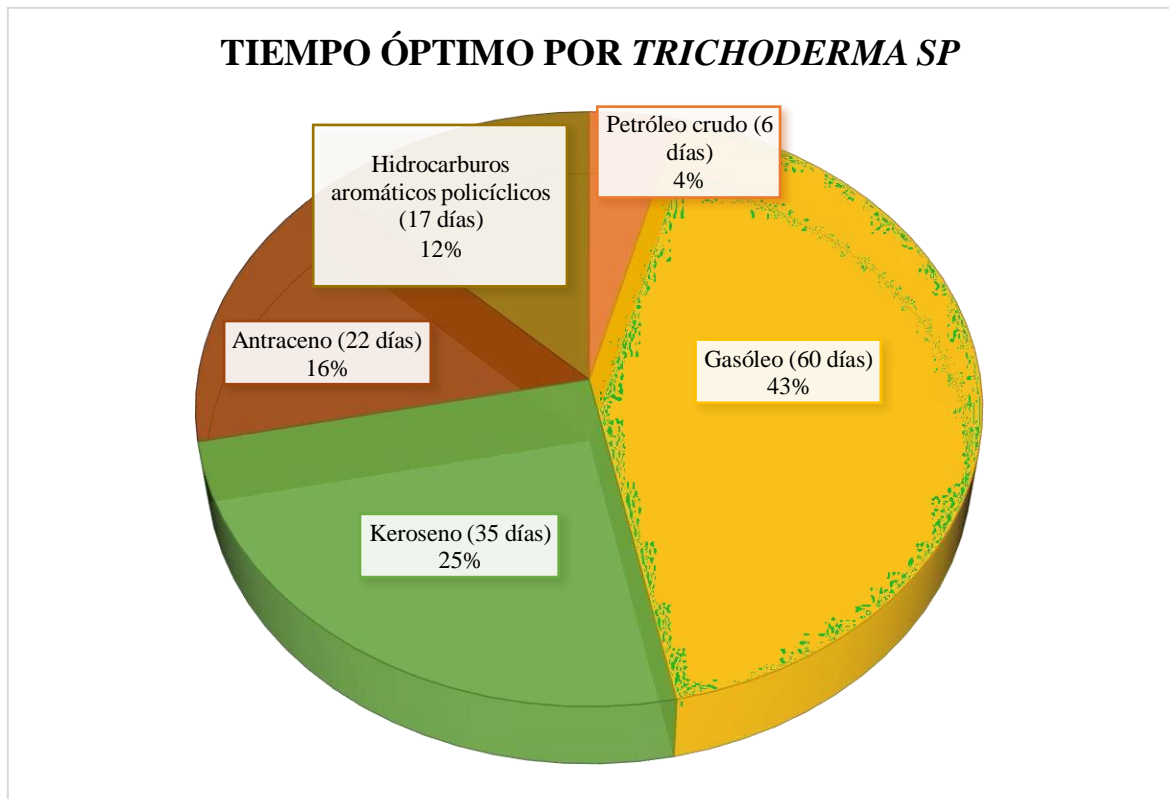


Figura 7: Tiempo óptimo por la *Trichoderma sp* en degradar hidrocarburos

De acuerdo a la figura 7 esquematizada en base al tiempo óptimo por los hongos *Trichoderma sp* degrade los tipos de hidrocarburos que se encontraron acumulados en los diferentes suelos evaluados, donde se determinó que el tiempo óptimo de 1 a 21 días con porcentajes promedios de 4% a 16%, en cuanto a petróleo crudo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y antraceno, informado por investigadores según García et al. (2021), Okoh et al. (2019), Asemoloye et al. (2018), Vasudevan et al. (2018), Adeleye et al., (2018), Bandurska et al., (2021), Chen et al., (2021), Qianwei et al., (2020), quienes realizaron sus investigaciones de forma ex situ e in situ utilizando laboratorios y campo, logrando ser más eficientes en la degradación de los hidrocarburos que se encontraron depositados en los suelos.

Seguido, según su investigación de Machado et al. (2020), Summerbell & Boldú et al. (2019), realizaron sus investigaciones en campo denominado in situ, las cuales requirieron mayor tiempo con porcentajes entre los rangos de 25% a 43%, siendo efectivos, pero en cuanto al tiempo, necesitan muchos días en comparación con los tratamientos de laboratorio. Por lo tanto, se demuestra que el tiempo óptimo para *Trichoderma sp* es de 1 a 21 días con altos porcentajes en remoción por hidrocarburos en relación a la recuperación de la calidad del suelo que fue afectado por derrames de petróleo.

Posteriormente en respuesta al tercer objetivo específico “Determinar las condiciones ambientales apropiadas para *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos” se tuvo en cuenta la temperatura, el pH y la humedad especificada en la tabla 3 evaluados por los diferentes investigadores. Abalado según su investigación de Adeleye et al. (2018), Evaluaron la remoción de aceite de motor gastado mediante la aplicación de *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium*, donde se determinó las variables ambientales como temperatura y humedad.

Tabla 3: Variables ambientales apropiadas para la remoción de hidrocarburos por *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium*

VARIABLES AMBIENTALES	MICROORGANISMOS	TIPO DE HIDROCARBURO	% DE REMOCIÓN	FUENTE
pH= 5.8 Temperatura= 38°C	<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo	Por la aplicación de <i>Trichoderma sp</i> lograron eliminar un 65% de petróleo del suelo.	Cunningham et al. 2020
Humedad= 74% Temperatura= 22°C	<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo Crudo	Mediante el uso de <i>Trichoderma sp</i> lograron reducir el TPH un 35%, 41% y 66% en tres tratamientos diferentes.	Yaman. 2020
Temperatura= 45°C	<i>Trichoderma sp</i>	TPH	Lograron reducir el TPH un 49.4 al 60.1 % mediante la aplicación de <i>Trichoderma sp</i>	Steliga & Kluk 2020
Temperatura= 37°C Humedad= 25%	<i>Exiguobacterium</i>	HAP	Determinaron la remoción por aplicación de <i>Exiguobacterium</i> un 84% durante la evaluación de 15 días de los suelos contaminados por HAP.	Wolf et al. 2020
Humedad= 88% Temperatura 28°C	<i>Exiguobacterium</i>	HAP	las concentraciones equivalentes de toxicidad total de los PAH totales y los PAH de 4, 5 y 6 anillos se redujeron	Li et al. 2020

			en un 49,0 %, 63,7 %, 48,2 % y 30,1 %	
Temperatura de 35 °C Humedad= 42%	<i>Exiguobacterium</i>	Hidrocarburos Totales de Petróleo	En los resultados lograron reducir del 46 a 76 % en la biorremediación de los suelos salinos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo.	Ebadi et al. 2018
Humedad= 78% Temperatura= 34 °C	<i>Trichoderma sp.</i>	Aceite de motor gastado	Lograron remover al lubricante usado del suelo en un 52% del total acumulado	Adeleye et al. 2018
Temperatura= 30°C	<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo Crudo	Mediante el uso de la <i>Trichoderma sp</i> se logró remover un 70% del petróleo crudo acumulado en el suelo.	Hawash et al. 2018
pH= 6.0 Temperatura= 37 °C	<i>Exiguobacterium</i>	Benzopireno contaminante de hidrocarburo de petróleo.	Por la aplicación de <i>Exiguobacterium</i> se logró reducir en 62% del Benzopireno en el suelo contaminado.	Baranger et al. 2021
Temperatura= 65°C pH= 6.5.	<i>Exiguobacterium</i>	Petróleo	Tuvieron un efecto de remoción de petróleo de 62. 02%	Kachienga et al. 2018

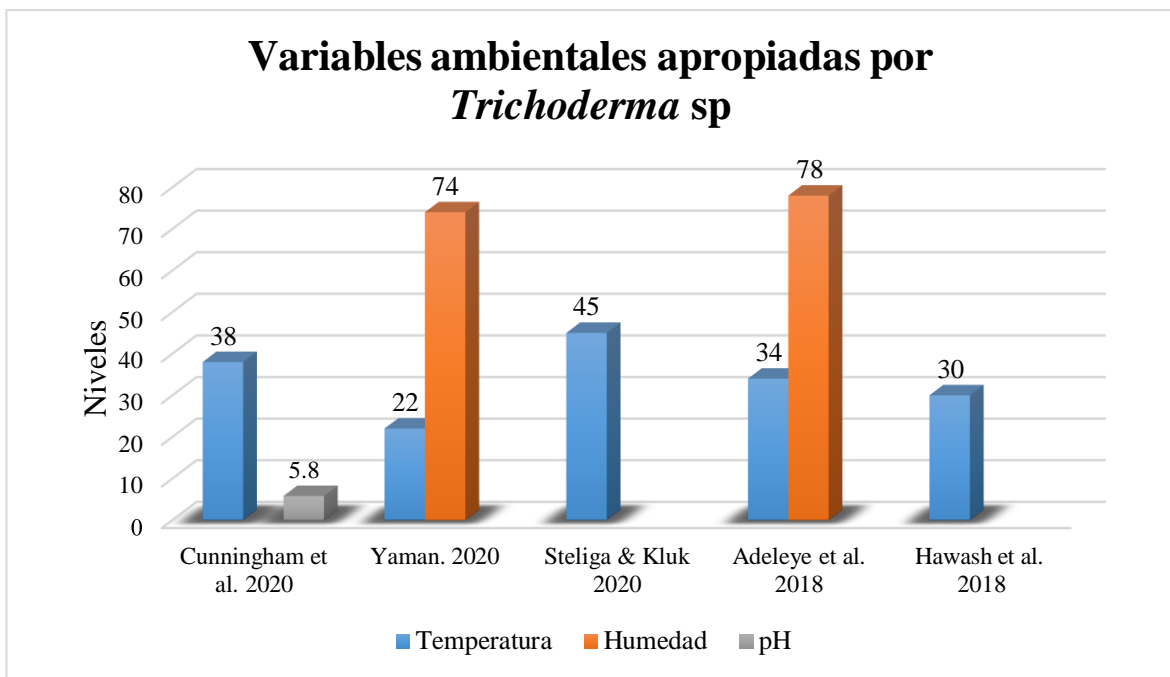


Figura 8: Variables apropiadas por *Trichoderma* sp en degradar hidrocarburos.

De acuerdo a la figura 8, ha sido demostrado por diversos estudios las variables ambientales apropiadas para *Trichoderma* sp en la degradación de los hidrocarburos de los suelos contaminados. Donde se ha demostrado alta eficiencia de remoción por influencia de temperatura de 34 °C y humedad de 78%.

Resultados que fueron respaldados por los siguientes estudios que aplicaron la técnica de biorremediación por *Trichoderma* sp según Adeleye et al. 2018, Hawash et al. 2018, Cunningham et al. 2020 y Yaman. 2020, quienes lograron resultados similares en la degradación de los hidrocarburos.

Por lo tanto, se indica algunos inconvenientes, señalando que existen otros factores que afectan a la remoción de los hidrocarburos, como las características de los microorganismos en cuanto a las condiciones fisiológicas y la edad, así también, las características del medio, como su composición del suelo, pH que desestabilizan la eficiencia del microorganismo en degradar a los hidrocarburos, mencionado de acuerdo a los trabajos de investigación de Cunningham et al. 2020, Yaman. 2020, Yaman. 2020 y Adeleye et al. 2018.

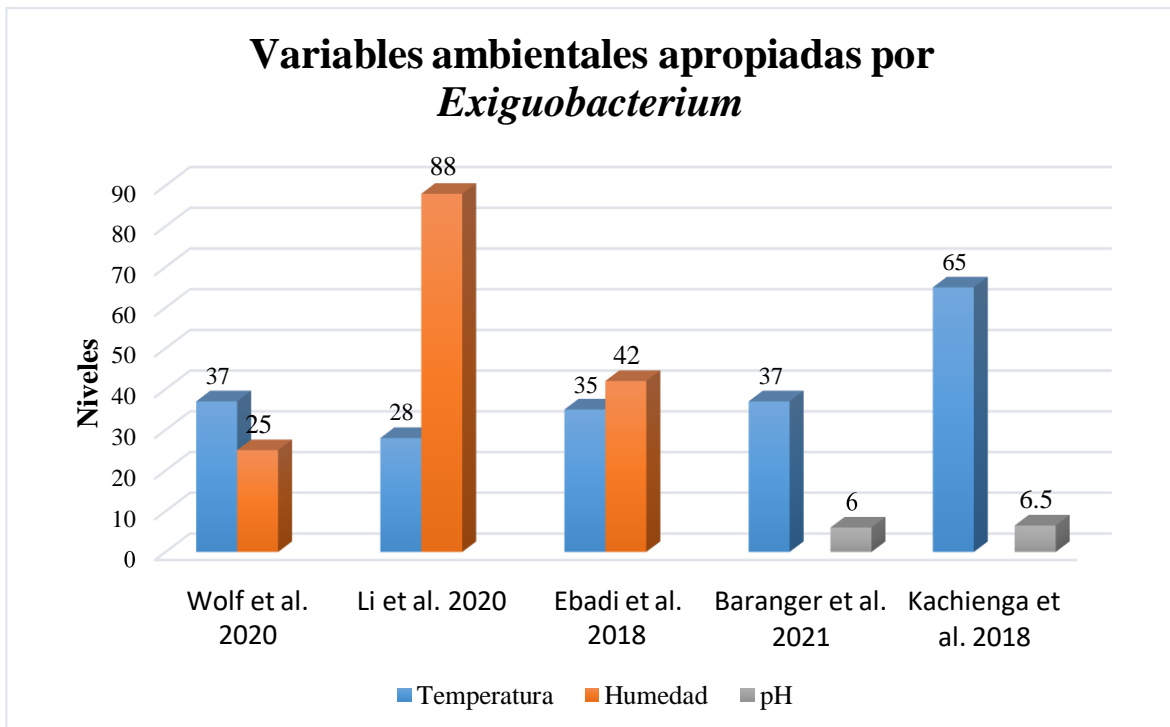


Figura 9: Variables apropiadas por *Exiguobacterium* sp en degradar hidrocarburos

En la figura 9 se mostró las variables ambientales apropiadas para *Exiguobacterium* sp por los diversos estudios en la degradación de los hidrocarburos de los suelos contaminados. Donde se ha establecido alta eficiencia de remoción por una temperatura de 35 °C y humedad de 88%, ya que a un medio en alto porcentaje de humedad los microorganismos absorben mejor a los contaminantes.

Resultados que fueron respaldados por los siguientes estudios que aplicaron la técnica de biorremediación para *Exiguobacterium* según Wolf et al. 2020, Li et al. 2020, Ebadi et al. 2018, quienes lograron resultados similares en la degradación de hidrocarburos depositados en los suelos.

Seguidamente en cuanto al objetivo general sobre la eficiencia de Biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos con la aplicación de *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium*, de acuerdo a los análisis correspondientes al total de documentos revisados se especifica en la tabla 4 la cantidad de porcentajes removidos de los contaminados derrames de hidrocarburos.

Tabla 4: Eficiencia de Biorremediación por *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium*

Hongos y bacterias	Eficiencia	Fuente
<i>Trichoderma sp</i>	Etapa 1: 78.5% HAP	Campos et al. 2019
	Etapa 2: 94,5% HAP	
<i>Trichoderma sp</i>	Naflaleno: 65.5%	García et al., 2018
	Pireno: 27.4%	
	Fluoreno: 29.7%	
<i>Trichoderma sp</i>	Etapa 1: 70% HAP	Tran et al. 2021
	Etapa 2: 99% HAP	
<i>Exiguobacterium</i>	Alcano: 89,6%	Vélez et al. 2020
	Alqueno: 67%	
<i>Trichoderma sp</i>	Etapa 1: 53% petróleo crudo	Ali et al. 2020
	Etapa 2: 63% petróleo crudo	
<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo crudo: 87%	Galazka et al. 2020
<i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i>	Pireno: 60%	Li et al. 2020
<i>Exiguobacterium</i>	Alifáticos: 78%	Liu et al. 2020
<i>Exiguobacterium</i>	Aceite: 74%	Ramadass et al. 2018
<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo crudo: 3.75%	Ojewumi et al. 2018
	Petróleo crudo: 2.46%	
<i>Trichoderma sp</i>	Hidrocarburos Totales de Petróleo: 97%	Ezekoye et al. 2018
<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo: 65%	Cunningham et al. 2020
<i>Trichoderma sp</i>	Etapa 1: 35% de Petróleo crudo	Yaman 2020
	Etapa 2: 41% de Petróleo crudo	

	Etapa 3: 66% de Petróleo crudo	
<i>Trichoderma sp</i>	TPH: 49.4% a 60.1 %	Steliga & Kluk 2020
<i>Exiguobacterium</i>	HAP: 84%	Wolf et al. 2020
<i>Exiguobacterium</i>	PAH de 4 anillos: 49,0 %	Li et al. 2020
	PAH de 5 anillos: 63,7 %	
	PAH de 6 anillos: 48,2 %	
<i>Exiguobacterium</i>	TPH: 46% a 76 %	Ebadi et al. 2018
<i>Trichoderma sp.</i>	Aceite: 52%	Adeleye et al. 2018
<i>Trichoderma sp</i>	Petróleo crudo: 70%	Hawash et al. 2018
<i>Exiguobacterium</i>	Benzopireno: 62%	Baranger et al. 2021
<i>Exiguobacterium</i>	Petróleo: 62.02%	Kachienga et al. 2018

La tabla 4 muestra el resumen detallado del objetivo general en base a los estudios que describen los tipos de contaminantes remediados por *Trichoderma sp* con su eficiencia de degradación hacia cada contaminante, logrando determinar al hidrocarburo con porcentaje más alto de remoción de 97% de hidrocarburos de petróleo, porcentaje logrado a una temperatura promedio de 34 °C, en tiempo óptimo de 21 días según los trabajos de investigación de Ezekoye et al. 2018, García et al., 2021, Tran et al. 2021 y Ali et al. 2020 quienes lograron evaluar resultados similares de acuerdo al tiempo usado y la temperatura empleado durante los tratamientos.

Seguidamente en cuanto a la *Exiguobacterium* con su eficiencia de degradación hacia cada hidrocarburo removido; determinaron al contaminante con 89.6% para los alcanos, porcentaje logrado a una temperatura promedio de 35 °C, en tiempo óptimo de 5 días según los trabajos de investigación de Vélez et al. 2020, Swati et al. 2020 y García et al. 2021 quienes lograron remover resultados similares de acuerdo al tiempo usado y la temperatura empleado durante los tratamientos.

Por lo tanto, la eficiencia de la degradación de los hidrocarburos de los suelos por parte de *Trichoderma sp* y *Trichoderma sp* se dio por la disponibilidad de micronutrientes de los suelos según los trabajos de investigación Ebadi et al. 2018, Campos et al. 2019, Cunningham et al. 2020.

V. CONCLUSIONES

1. Se concluyó que la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos por *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* estableció la eficiencia de degradación hacia cada contaminante, donde *Trichoderma sp* tuvo un porcentaje de remoción del 97% en hidrocarburos de petróleo a una temperatura de 34°C durante un periodo de 21 días y *Exiguobacterium* tuvo una eficiencia de 89,6% para alcanos a una temperatura de 35°C por un tiempo de 5 días.
2. Los porcentajes de capacidad degradante por los microorganismos utilizados en suelos contaminados por hidrocarburos concluyeron que *Trichoderma sp* alcanzó la remoción del 88,7% de los hidrocarburos totales del petróleo y *Exiguobacterium* degradó el 89,6% a alcanos y el 78% a hidrocarburos aromáticos, siendo los porcentajes más altos de la remoción de contaminantes.
3. A través de los procesos de remoción de hidrocarburos del suelo se determinó el tiempo óptimo por los microorganismos estudiados, en cuanto a *Trichoderma sp* empleó 1 día para degradar crudo de petróleo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y antraceno y *Exiguobacterium* usó 5 días sobre pireno e hidrocarburos en el suelo.
4. Las variables ambientales apropiadas para *Exiguobacterium sp* por los diversos estudios en la degradación de los hidrocarburos fue a una temperatura de 35 °C y humedad de 88%; al igual que *Trichoderma sp* en la degradación de los hidrocarburos de los suelos contaminados logro una mejor remoción por una temperatura adecuada de 34 °C y humedad de 78%.

VI. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar investigaciones ampliando los porcentajes de remoción de hidrocarburos mediante el uso de *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* en la recuperación de la estructura física y química de los suelos afectados, ya que dichos microorganismos tienen la facilidad de degradar los hidrocarburos.
2. Ampliar la investigación realizada en base a los porcentajes eliminados de los hidrocarburos por *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* por ser muy eficientes en la biorremediación de suelos con presencia de hidrocarburos. Ya que los datos obtenidos serán de importancia para futuros investigadores.
3. Profundizar mediante los tratamientos de biorremediación desarrollados en los suelos contaminados por hidrocarburos fijando el tiempo óptimo por *Trichoderma sp* y *Exiguobacterium* sobre los porcentajes más altos de remoción contribuyendo a la eficiencia de los microorganismos usados.
4. Desarrollar las evaluaciones correspondientes a las variables ambientales como temperatura, humedad, pH; considerando que son fundamentales en el periodo de tratamiento en la obtención de los porcentajes de remoción de los hidrocarburos presentes en el suelo.

REFERENCIAS

- ADELEYE, Ao et al. Effect of microorganisms in the bioremediation of spent engine oil and petroleum related environmental pollution [En línea] Journal of Applied Sciences and Environmental Management – volume 22, 07 March 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: 10.4314/jasem.v22i2.1
- ALKAABI, Nasser et al. Potential for native hydrocarbon-degrading bacteria to remediate highly weathered oil-polluted soils in Qatar through self-purification and bioaugmentation in biopiles [En Línea] Biotechnology Reports Volume 28, December 2020, e00543, [Fecha de consulta: 9 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.00543>
- ANIEFION, et al. Role of Plants and Microbes in Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons Contaminated Soils [En línea] International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation – volumen 7, 25 March 2019 [Fecha de consulta: 12 de mayo Del 2022] Disponible en: <http://www.sciepub.com/journal/ijebb>
- ALI, Nedaa et al. Bioremediation of soils saturated with spilled crude oil [En línea] Scientific Reports volumen 10, 24 January 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57224-x>
- ANDREOLLI, et al. Mesocosm-based simulations to optimize a bioremediation strategy for the effective restoration of wildfire-impacted soils contaminated with high-molecular-weight hydrocarbons [En línea] Journal of Applied Microbiology – volume 131, 28 January 2021 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jam.15018>
- ASEMOLOYE, Michael et al. Transcriptomic responses of catalase, peroxidase and laccase encoding genes and enzymatic activities of oil spill inhabiting rhizospheric fungal strains [En línea] Environmental Pollution – volume 235, April 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.042>
- BARANGER, Claire et al. A compartmentalized microsystem helps understanding the uptake of benzo[a]pyrene by fungi during soil bioremediation processes [En línea] Science of The Total Environment – volume 784, 25 August 2021 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147151>

- BANDURSKA, Katarzyna et al. Mycoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead by *Trichoderma* sp. [En línea] *Ecological Chemistry and Engineering* - volume 21, June 2021 [Fecha de consulta: 16 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.2478/eces-2021-0020>
- BARNES, N.M et al. Bioremediation potential of hydrocarbon-utilizing fungi from select marine niches of India. [En línea] *Biotech* – volume 8, 18 December 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13205-017-1043-8>
- BECERRA, Karen. Análisis cualitativo de literatura sobre las técnicas de biorremediación de suelos por hidrocarburos y contaminantes orgánicos persistentes empleando el hongo *Trichoderma* sp. [En línea] Repositorio UAN - 2020 [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022] Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2267>
- CAMPOS, Jacobo et al. Bioremediation of soil contaminated by hydrocarbons with the combination of three technologies: bioaugmentation, phytoremediation, and vermiremediation [En línea] *Journal of Soils and Sediments* – volume 19, 18 December 2018 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2213-y>
- CHEN Wu, et al. Genetically engineered microbial remediation of soils co-contaminated by heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Advances and ecological risk Assessment, [En Línea] *Journal of Environmental Management* Volume 296, 15 October 2021, ISSN: 113-185 [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113185>
- CUNNINGHA, Colin et al. Potential risks of antibiotic resistant bacteria and genes in bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soils [En línea] *Environmental Science: Processes & Impact* – volume 22, 01 April 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C9EM00606K>
- DIN, G. et al. Cadmium tolerance and bioremediation potential of filamentous fungus *Penicillium chrysogenum* FMS2 isolated from soil [En línea] *International Journal of Environmental Science and Technology* – volumen 19, 01 March

- 2021 [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03211-7>
- EBADI, Ali et al. Remediation of saline soils contaminated with crude oil using the halophyte *Salicornia pérsica* in conjunction with hydrocarbon-degrading bacteria [En línea] *Journal of Environmental Management* – volume 219, 1 August 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.115>
- EZEKOYE, CC. et al Fungal diversity associated with crude oil-impacted soil undergoing in-situ bioremediation [En línea] *Sustainable Chemistry and Pharmacy* – volume 10, December 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.11.003>
- FERNANDEZ, Grecia. Biorremoción de petróleo crudo mediante cepas de hongos nativos, aislados de tiraderos de hidrocarburos del distrito de Cerro Colorado (Arequipa) y determinación de su toxicidad mediante bioensayo con *daphnia pulex* [En línea] Repositorio Institucional de la UNAS - 2021 [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022] Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13926>
- FERREIRA, Antonio et al. Potential absorption of mercury-contaminated substrate by *Trichoderma* sp isolated from Brazil Nuts and Amazon Soil [En línea] *Ciência e Natura* – volume 43, 2021 [Fecha de consulta: 17 de mayo del 2022] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X27785>
- GALAZKA, Anna et al. Fungal Community, Metabolic Diversity, and Glomalin-Related Soil Proteins (GRSP) Content in Soil Contaminated With Crude Oil After Long-Term Natural Bioremediation [En línea] *Microbiotechnology* – 17 September 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.572314>
- GARCÍA, Ricardo et al. Bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons based on bacteria used as bioproducts. [En línea] *Revista Lasallista de Investigación* – volume 17, 31 January 2021 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a19>
- GARCÍA, Mercedes et al. A comparative study to evaluate natural attenuation, mycoaugmentation, phytoremediation, and microbial-assisted phytoremediation strategies for the bioremediation of an aged PAH-polluted soil [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 147, January 2018,

Pages 165-174 [Fecha de consulta: 17 de junio del 2022] Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.012>

GHASEMKHEILI, Fatemeh et al. Ameliorative Effects of *Trichoderma harzianum* and Rhizosphere Soil Microbes on Cadmium Biosorption of Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Cd-Polluted Soil [En línea] *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* – volume 22, 23 de November 2021 [Fecha de consulta: 17 de mayo del 2022] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00666-y>

GOVARTHANAN, M et al. Myco-phytoremediation of arsenic- and lead-contaminated soils by *Helianthus annuus* and wood rot fungi, *Trichoderma* sp. isolated from decayed Wood [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety* – volume 151, 30 de April del 2018. [Fecha de consulta: 19 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.020>

HAWASH, Adnan et al. Isolation and characterization of two crude oil-degrading fungi strains from Rumaila oil field, Iraq [En línea] *Biotechnology Reports* – Volume 17, March 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.12.006>

KACHIENGA, Leonard et al. Metagenomic profiling for assessing microbial diversity and microbial adaptation to degradation of hydrocarbons in two South African petroleum-contaminated water aquifers [En línea] *Scientif Reports* -volume 8, 15 May 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25961-0>

KHUDUR, Leadin et al. The impact of lead co-contamination on ecotoxicity and the bacterial community during the bioremediation of total petroleum hydrocarbon-contaminated soils [En línea] *Environmental Pollution* – volume 253, October 2019 [Fecha de consulta: 14 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.107>

KUMAR, Vinay et al. Hexavalent chromium stress response, reduction capability and bioremediation potential of *Trichoderma* sp. isolated from electroplating wastewater [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety* – volume 185, 15 December 2019 [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109734>

- LI, Qian et al. Application of alkyl polyglycosides for enhanced bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil using *Sphingomonas changbaiensis* and *seudomonas stutzeri* [En línea] *Science of The Total Environment* – volume 719, 1 June del 2020 [Fecha de consulta: 14 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137456>
- LI, Qianwei et al. Fungal bioremediation of soil co-contaminated with petroleum hydrocarbons and toxic metals [En línea] *Applied Microbiology and Biotechnology* volume 104, 17 September 2020 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10854-y>
- LI, Fengmei et al. Pilot-scale electro-bioremediation of heavily PAH-contaminated soil from an abandoned coking plant site [En línea] *Chemosphere* – volume 244, April 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125467>
- MACHADO, Thaís et al. Effects of homemade biosurfactant from *Bacillus methylotrophicus* on bioremediation efficiency of a clay soil contaminated with diesel oil [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety* – volume 201, 15 September 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110798>
- MERLIN, Francois et al. Dispersants as marine oil spill treating agents: a review on mesoscale tests and field trials [En línea] *Environmental Systems Research* volume 10, 03 August 2021 [Fecha de consulta: 31 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40068-021-00241-5>
- MINAM. Ley General de Ambiente (Ley No. 28.611). [Fecha de consulta: 17 de agosto del 2022] Disponible en: <https://www.gob.pe/minam>
- MOUSAVI, Seyed et al. Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted saline-sodic soil [En Línea] *Environmental Science and Pollution Research* volume 27, pages10027-10038 (2020) [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07578-6>
- MUANGCHINDA, Chanokporn et al. The effect of bioaugmentation with *Exiguobacterium* sp. AO-11 on crude oil removal and the bacterial community in sediment microcosms, and the development of a liquid ready-to-use inoculum [En línea] *Chemosphere* – volume 250, July 2020 [Fecha de consulta: 19 de

mayo del 2022] Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126303>

Muangchinda, C., Srisuwankarn, P., Boubpha, S., Chavanich, S., & Pinyakong, O. (2020). The effect of bioaugmentation with *Exiguobacterium* sp. AO-11 on crude oil removal and the bacterial community in sediment microcosms, and the development of a liquid ready-to-use inoculum. [En Línea] *Chemosphere*, 126303. [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022] Disponible en: doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.12

NAEEM, Urooj. Tecnologías de vanguardia en biorremediación para la eliminación de hidrocarburos de petróleo [En Línea] *Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación* volume 27, paginas27370-27382 (2020) [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06124-8>

OGBONNA, David et al. Bioremediation Efficiency of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Pseudomonas aeruginosa* with the Nutrient Amendment on Crude Oil Polluted the Soil [En línea] *Microbiology Research Journal International* – volume 29, 20 November 2019 [Fecha de consulta: 14 de mayo del 2022] Disponible en: [10.9734/mrji/2019/v29i530175](https://doi.org/10.9734/mrji/2019/v29i530175)

OKOH, E et al. Clean-up of crude oil-contaminated soils: bioremediation option [En línea] *International Journal of Environmental Science and Technology* volumen 17, 21 December 2019 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02605-y>

QUINTELLA, Cristina et al. Overview of bioremediation with technology assessment and emphasis on fungal bioremediation of oil contaminated soils [En Línea] *Journal of Environmental Management* Volume 241, 1 July 2019, Pages 156-166 [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.019>

RAMADASS, Kavitha et al. Bioavailability of weathered hydrocarbons in engine oil-contaminated soil: Impact of bioaugmentation mediated by *Pseudomonas* spp. on bioremediation [En línea] *Science of The Total Environment* – volume 636, 15 september 2018 [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.379>

RABODONIRINA, S et al. Degradation of fluorene and phenanthrene in PAHs-contaminated soil using *Pseudomonas* and *Bacillus* strains isolated from oil spill

- sites [En línea] *Journal of Environmental Management* – volume 232, 15 de February 2019 [Fecha de consulta: 13 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.005>
- RABODONIRINA, S et al. Degradation of fluorene and phenanthrene in PAHs-contaminated soil using *Pseudomonas* and *Bacillus* strains isolated from oil spill sites [En línea] *Journal of Environmental Management* – volume 232, 15 February 2019 [Fecha de consulta: 16 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.005>
- ROMERO, María et al. Modelling the ex situ bioremediation of diesel-contaminated soil in a slurry bioreactor using a hydrocarbon-degrading inoculant [En línea] *Journal of Environmental Management* – volume 246, 15 September 2019 [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.034>
- SARMA, Roy et al. Bioremediation potential of native hydrocarbon-degrading bacterial strains in soils contaminated with crude oil under microcosm study [En línea] *International Biodeterioration & Biodegradation* Volume 94, October 2019, Pages 79-89, ISSN: 403 – 024 [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.024>
- SUMMERBELL & BOLDÚ. Fungal Communities in Hydrocarbon Degradation [En línea] *Accelerating the world's research - 2019* [Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-60063-5_8-2
- SUNITA VARJANI, VIVEK N. UPASANI. Bioaugmentation of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514 – A novel oily waste degrader for treatment of petroleum hydrocarbons, [En Línea] *Bioresource Technology* Volume 319, January 2021, 124240, [Fecha de consulta: 8 de abril de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124240>
- SHA, Mansoor et al. An environmentally benign ionic liquid based formulation for enhanced oil spill remediation: Optimization of environmental factors [En línea] *Journal of Molecular Liquids* – volume 314, 15 September 2020 [Fecha de consulta: 06 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113603>
- STELIGA & KLUK. Application of *Festuca arundinacea* in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons [En línea]

- Ecotoxicology and Environmental Safety – volume 194, May 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110409>
- SWATI et al. Evaluation of a biosurfactant producing bacterial strain *Pseudomonas* sp. ISTPY2 for efficient pyrene degradation and landfill soil bioremediation through soil microcosm and proteomic studies [En línea] Bioresource Technology Reports- volume 12, December 2020 [Fecha de consulta: 16 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100607>
- TAGHAVI, Fatemeh et al. Ameliorative Effects of *Trichoderma harzianum* and Rhizosphere Soil Microbes on Cadmium Biosorption of Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Cd-Polluted Soil [En línea] Revista de ciencia del suelo y nutrición vegetal volume 22, paginas527-539 (2022) [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00666-y>
- TAMAYO, Nelson et al. Aplicaciones de microorganismos para remediar suelos contaminados por petróleo y sus residuos o derivados. Revisión Sistemática 2021 [En línea] Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo [Fecha de consulta: 18 de mayo del 2022] Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/66398>
- TRAN, Huu et al. Aerobic composting remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. Current and future perspectives [En línea] Science of The Total Environment – volume 753, 20 January 2021 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142250>
- JAZEN, Jessica y TERESINSHA, Leila. Rhizospheric microorganisms as a solution for the recovery of soils contaminated by petroleum: A review [En línea] Journal of Environmental Management Volume 210, 15 March 2018, Pages 104-113 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.015>
- UKPAKA & OKON. Modeling of *Azadirachta indica* Leaves Powder Efficiency for the Remediation of Soil Contaminated with Crude Oil [En línea] Chemistry International- volume 7, 16 September 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=3693675>
- VASUDEVAN, Vidya et al. Bioremediation of a pentacyclic PAH, Dibenz(a,h)Anthracene- A long road to trip with bacteria, fungi, autotrophic eukaryotes and surprises [En línea] Chemosphere – volume 202, July 2018

[Fecha de consulta: 14 de junio del 2022] Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.074>

VELEZ, Patricia et al. Cultivable fungi from deep-sea oil reserves in the Gulf of Mexico: Genetic signatures in response to hydrocarbons [En línea] Marine Environmental Research - Volume 153, January 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104816>

WOLF, DC et al. Bioremediation of PAH-contaminated shooting range soil using integrated approaches [En línea] Science of The Total Environment – volume 726, 15 July 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138440>

YAMAN, Cevat. Performance and Kinetics of Bioaugmentation, Biostimulation, and Natural Attenuation Processes for Bioremediation of Crude Oil-Contaminated Soils [En línea] Processes – volume 8, 22 July 2020 [Fecha de consulta: 16 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr8080883>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de categorización apriorística

Matriz de categorización apriorística: Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos con <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> , Revisión Sistemática, de los últimos 5 años						
Ámbito de estudio	Problema general	Objetivo general	Categoría	subcategoría	Criterios	Referencias
Espacio total de los Suelos contaminados por hidrocarburos	¿Cuál es la eficiencia de biorremediación por <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> en suelos contaminados por hidrocarburos, 2022?	Evaluar la eficiencia de Biorremediación de los suelos contaminados por hidrocarburos con la aplicación de <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> , 2022	% de remoción	<ul style="list-style-type: none"> Factores ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> pH Temperatura Precipitación 	<ul style="list-style-type: none"> campos et al., 2019 Tran et al., 2021 Vélez et al., 2020 Ali et al. 2020 Galazka et al. 2020 Li et al. 2020 Liu et al. 2020 Ramadass et al. 2018 Ojewumi et al. 2018 Ojewumi et al. 2018 Ezekoye et al. 2018
	Problema específico	Objetivo específico				
	¿Cuáles son los porcentajes de la capacidad degradadora de la <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> sobre los hidrocarburos depositados en los suelos?	Determinar los porcentajes de la capacidad degradadora de la <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> sobre los hidrocarburos depositados en los suelos.	<ul style="list-style-type: none"> Tipos de hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> Petróleo Aceites aromáticos policíclicos hidrocarburos alifáticos 	<ul style="list-style-type: none"> campos et al., 2019 Tran et al., 2021 Vélez et al., 2020 Ali et al. 2020 Galazka et al. 2020 Li et al. 2020 Liu et al. 2020 Ramadass et al. 2018 Ojewumi et al. 2018 Ojewumi et al. 2018 Ezekoye et al. 2018 	
¿Cuál será el tiempo optimo por la <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> en Biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos?	Determinar el tiempo optimo por la <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> en Biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos.	Tiempo de Biorremediación	<ul style="list-style-type: none"> Duración de la eliminación de hidrocarburos en el suelo 	<ul style="list-style-type: none"> 1 día - 30 días 1 día - 60 días 1 día - 90 días 1 día - 120 días 	<ul style="list-style-type: none"> Sarma et al. 2019 Tamayo et al 2021 Quintella et al 2019 Ogbonna et al 2019 Swati et al. 2020 Ukpaka et al. 2020 García et al. 2021 Okoh et al. 2019 	

						<ul style="list-style-type: none"> • Machado et al. 2020 • Summerbell & Boldú et al. 2019 • Barnes et al. 2018 • Asemoloye et al. 2018 • Vasudevan et al. 2018 • Andreolli et al. 2021
	<p>¿Cuáles serán las condiciones ambientales apropiadas para <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> en Biorremediar suelos contaminados por hidrocarburos?</p>	<p>Determinar las condiciones ambientales apropiadas para <i>Trichoderma sp</i> y <i>Exiguobacterium</i> en la Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos</p>	<p>Variables ambientales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de variables ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • Humedad • Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> • Naeem 2020 • Kumar et al 2019 • Fernandez 2021 • Cunningham et al. 2020 • Yaman 2020 • Steliga & Kluk 2020 • Wolf et al. 2020 • Li et al. 2020 • Ebadi et al. 2018 • Adeleye et al. 2018 • Hawash et al. 2018 • Baranger et al. 2021 • Kachienga et al. 2018



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN, 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: "Biorremediación de Suelos Contaminados por Hidrocarburos con Trichoderma sp y Exiguobacterium: Una Revisión Sistemática de los últimos 5 años

", cuyos autores son AYALA ANCACHI YOMARA SORAYA, CABALLON QUICHCA JOSUE, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, 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, 22 de Octubre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN DNI: 40231227 ORCID: 0000-0003-4418-7009	Firmado electrónicamente por: ERESPINOZAF el 24- 10-2022 20:29:27

Código documento Trilce: TRI - 0435416