



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamiento con inoculación de bacterias endofíticas para
degradar los Hidrocarburos Aromáticos del Suelo: Revisión
Sistemática.**

TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Lopez Cordova, Janet (000 0002 4761 198X)

Mamani Mamani, Milagros Candy (0000 0002 1158 0325)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca. Yimi Tom (0000 0002 0803 1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres Adriano y Amada quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por haber inculcado en mí el ejemplo del esfuerzo, valentía y perseverancia.

Janet Lopez Cordova.

A mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mis abuelitos que desde el cielo me iluminan, a mi familia por su apoyo moral y aun buen amigo que siempre estuvo ahí en todo momento desde el inicio hasta el final.

Milagros Candy Mamani Mamani.

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer primero a Dios porque nos dio el don de la perseverancia para alcanzar nuestra meta.

A la universidad que nos abrió sus puertas para ser buenos profesionales.

A mis padres, amigos que siempre estuvieron a mi lado para motivarme y nunca dejarme decaer en este camino de

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRAC.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	14
3.3. Escenario de estudio.....	16
3.4. Participantes.....	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.6. Procedimiento	17
3.7. Rigor científico.....	18
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
V. CONCLUSIONES.....	31
VI. RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS.....	33
ANEXOS.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Antecedentes de los inóculos de bacterias endofíticas para degradar suelos con PAH

Tabla N°2: Matriz de categorización apriorística

Tabla N°3: Características de las bacterias endofíticas para degradar los HAP

Tabla N°4: Capacidad de degradación de las bacterias endofíticas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Estructura de algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Figura N°2: Fuentes naturales y antropogénicas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

*Figura N°3: Inoculación de bacteria *Streptomyces* sp. en planta de maíz y remoción de HAP en suelo contaminado*

Figura N°4: Bacterias endofíticas compuestas

Figura N°5: Descripción general del modo de entrada de bacterias endofíticas en diferentes tejidos vegetales.

Figura N°6: Variación de la MO de un sueño contaminado con hidrocarburos aromáticos

Figura N°7: Alteración de la textura del suelo (arena, limo, arcilla) por hidrocarburos

Figura N°8: Contaminación de suelo arcilloso por diesel y variación en sus partículas

Figura N°9: Contaminación de suelo arcilloso por combustóleo y variación en sus partículas

Figura N°10: Alteración la porosidad por hidrocarburos aromáticos

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Procedimiento de recolección de datos

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.

PAC: Compuestos aromáticos policíclicos

ILCR: Riesgo de cáncer incremental de por vida

RESUMEN

El presente estudio cuenta un tipo de investigación aplicada, con un diseño narrativo de tópico; por lo cual se realizó una búsqueda minuciosa de revisiones sistemáticas a nivel nacional e internacional para definir de qué manera se degradan los hidrocarburos aromáticos del suelo empleando inoculación de bacterias endofíticas.

Obteniendo lo siguiente; que las características que presentan las bacterias endofíticas más empleadas para degradar los hidrocarburos aromáticos del suelo es la parte de la planta en la cual va a presentar mayor adsorción del contaminante; siendo las raíces seguida de los brotes; la que presenta mayor retención de los HA siendo un 95% de los investigadores que lo indican. Además, la concentración de HA es relativamente mayor en las raíces y los brotes de las plantas probablemente como resultado de la mayor acumulación de compuestos lipofílicos que contiene un mayor contenido de lípidos. Así también, la capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos se da en promedios de 60 a 70%. Debido a la localización de los endófitos en el interior de los tejidos vegetales, facilitando el mutualismo entre endófito-planta. Además, las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos indica que la presencia de hidrocarburos aromáticos en el suelo genera cambios en su composición física y química dependiendo del tiempo presente en el suelo y la concentración del hidrocarburo, donde las propiedades del suelo que se ven afectados son; textura, MO, densidad real y porosidad de suelo arcilloso.

Palabras clave: Endófitos, bacterias, hidrocarburos aromáticos, inoculación, suelo, contaminación.

ABSTRAC

This study is a type of applied research, with a topical narrative design; therefore, a thorough search of systematic reviews at national and international level was carried out to define how aromatic hydrocarbons are degraded in the soil using endophytic bacteria inoculation.

The following was obtained: the characteristics of the endophytic bacteria most commonly used to degrade aromatic hydrocarbons in the soil is the part of the plant in which it will present the greatest adsorption of the pollutant, with the roots followed by the shoots, which has the greatest retention of the HA, with 95% of the researchers indicating this. In addition, the concentration of HA is relatively higher in the roots and shoots of the plants, probably as a result of the greater accumulation of lipophilic compounds that contain a higher lipid content. Also, the degradation capacity of endophytic bacteria in soils with aromatic hydrocarbons averages 60-70%. This is due to the location of the endophytes inside the plant tissues, facilitating endophyte-plant mutualism. In addition, the physicochemical characteristics of soils contaminated with aromatic hydrocarbons indicate that the presence of aromatic hydrocarbons in the soil generates changes in its physical and chemical composition depending on the time present in the soil and the concentration of the hydrocarbon, where the soil properties that are affected are; texture, MO, real density and porosity of clay soil.

Key words: endophytes, bacteria, aromatic hydrocarbons, inoculation, soil, contamination.

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos contaminados hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) se han convertido en un problema ambiental de preocupación mundial debido a que amenazan la salud pública a través de la exposición a la cadena alimentaria (Wu Chen et al., 2021, p.1).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son microcontaminantes cancerígenos resistentes a la degradación ambiental debido a su naturaleza altamente hidrófoba (Yan Jinxia et al., 2016, p.1). En las últimas décadas, los HAP han atraído mucha atención debido a sus propiedades tóxicas y su naturaleza persistente (Edokpayi Joshua N. et al., 2016, p.1).

En las últimas décadas, los HAP han atraído mucha atención debido a sus propiedades tóxicas y su naturaleza persistente (Balcioglu Esra B., 2016, p.1). Como resultado, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (USEPA) ha incluido 16 HAP como contaminantes de control prioritario. Posteriormente, muchos otros países han elaborado una serie de regulaciones relevantes sobre emisiones de PAH con el fin de prevenir la contaminación ambiental (Bello D. y Leong D., 2017, p.4).

Hoy en día, la contaminación ambiental, especialmente la contaminación del suelo, es un problema importante en todo el mundo (Huang Haobo et al., 2017, p.2). Debido a las continuas emisiones de los gases de escape del tráfico y los derrames de petróleo, la contaminación de los suelos por PAH es común en algunas áreas de rápido desarrollo (Wu Yucheng et al., 2016, p.1).

Las preocupaciones sobre sus efectos adversos para la salud han dado lugar a extensos estudios sobre la remediación de suelos contaminados con HAP (Zhang Pei y Chen Yinguang, 2017, p.1).

Por lo tanto, los suelos contaminados por HM y HAP deben remediarse con urgencia (Peng C., Wnag M. y Chen W., 2016, p.2). Los métodos de remediación física y química suelen tener algunas desventajas, por ejemplo, costo elevado y eliminación incompleta, que fácilmente provocan contaminación secundaria y, por

lo tanto, no son respetuosos con el medio ambiente (Cheng Yuan et al., 2021, p.2).

Debido a ello se estudia las bacterias endofíticas; ya que, la inoculación con bacterias endofíticas degrada los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y reduce eficazmente el contenido de PAH en plantas en sitios contaminados (Zhang Guichi et al., 2021, p.1).

Las bacterias beneficiosas asociadas con las plantas desempeñan un papel importante en la salud y el crecimiento de las plantas bajo diversas tensiones ambientales (Da Cunha Ferreira S. et al., 2021, p.2). Las bacterias, que colonizan el tejido interno (los espacios intercelulares) de las plantas sin indicar ninguna influencia negativa sobre su hospedador, constituyen un gran reservorio de diversidad bacteriana con un sorprendente potencial biotecnológico (Huang Haobo et al., 2017, p.3).

Se sabe que los mecanismos que utilizan las bacterias endofíticas para mejorar el crecimiento de las plantas son similares a los de las bacterias rizosféricas (Afzal Imran et al., 2019, p.1). Además, en comparación con las rizobacterias, las bacterias endofíticas también pueden disminuir los efectos adversos del estrés ambiental en las plantas de manera eficaz (Aamir Mohd et al., 2020, p.1).

Debido a la realidad problemática descrita se plantea el siguiente problema general: ¿Cómo se degrada los hidrocarburos aromáticos empleando inoculación de bacterias endofíticas? Y como problemas específicos se plantearon los siguientes:

PE1: ¿Cuáles son las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradar los hidrocarburos aromáticos del suelo?

PE2: ¿Cuál es la capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos?

PE3: ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos?

De igual manera se planteó el siguiente objetivo general: Definir de qué manera se degradan los hidrocarburos aromáticos del suelo empleando inoculación de bacterias endofíticas. Y como objetivos específicos:

OE1: Analizar las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradación los hidrocarburos aromáticos del suelo.

OE2: Definir la capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos.

OE3: Determinar las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos.

Así mismo la justificación que presente esta revisión sistemática es en base teórica, buscando la recolección de diversos investigadores a nivel mundial que aborden la problemática de los HAP, buscando emplear la inoculación de bacterias endofíticas; de esta manera abriendo mayores métodos amigables con el medio ambiente para resolver para despertar el interés de los lectores y que se realicen de manera práctica.

II. MARCO TEÓRICO

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son un grupo de compuestos orgánicos persistentes que se componen de al menos dos anillos aromáticos condensados (Sudhakar M. et al., 2020, p.1). También, los compuestos aromáticos policíclicos (PAC) incluyen HAP y son compuestos que tienen la estructura básica de HAP y restos sustituyentes como grupos alquilo, amino, cloro, ciano, hidroxilo o tiol, y / o que contienen átomos como nitrógeno, oxígeno o azufre. en la estructura aromática (Nikita T. et al., 2017, p.2).

Los PAC son contaminantes ambientales ubicuos que se encuentran en el aire, el agua y el suelo (incluidos los sedimentos) y la estructura de algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos se muestra en la figura N°1 (Lawal Abdulazeed T., 2017, p.7).

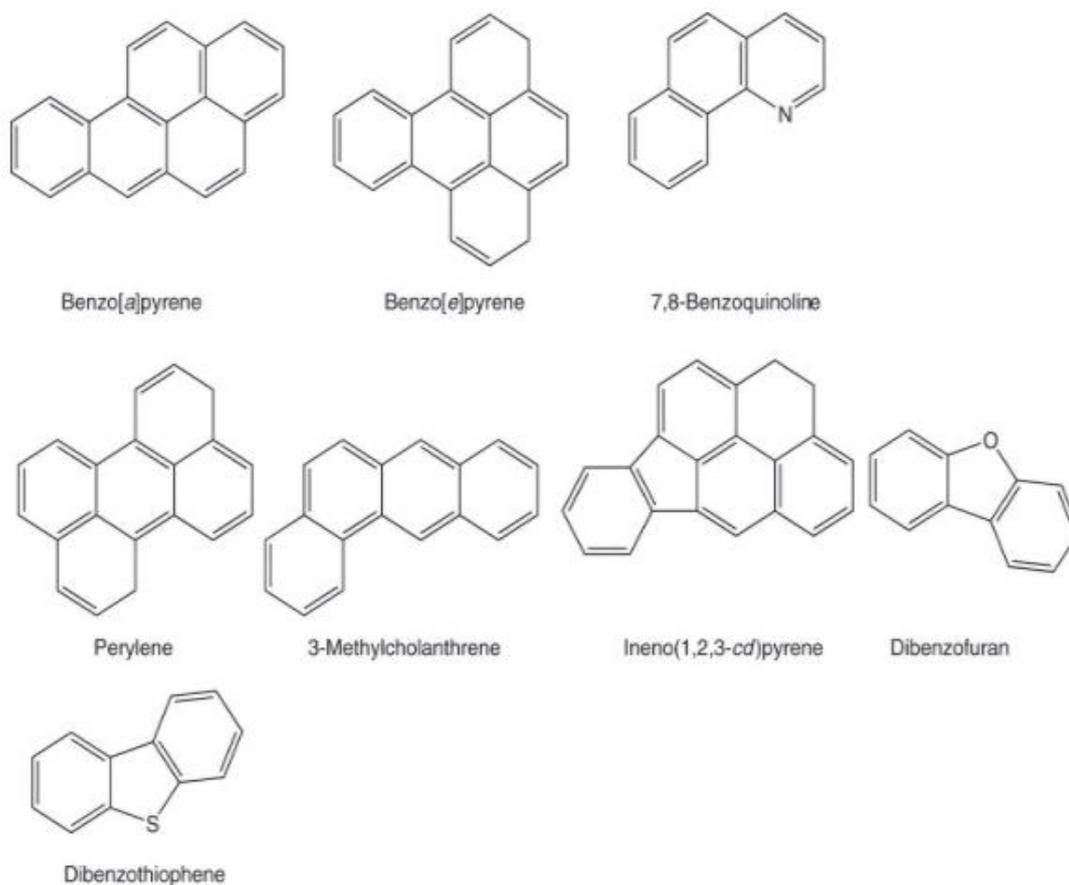


Figura N°1: Estructura de algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Fuente: Lawal Abdulazeed T., 2017

Son el producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles que se ha convertido en un importante contaminante orgánico tóxico que se infiltra en los ecosistemas terrestres y acuáticos (Abdel-Shafy H. y Mansour Mona, 2016, p.2).

Además, son uno de los contaminantes orgánicos persistentes más extendidos en sedimentos, atmósfera, agua y suelo, y se atribuyen principalmente a fuentes antropogénicas, como la combustión incompleta o la pirólisis de material orgánico como petróleo, coque, petróleo, gas, carbón y biomasa (Varjani Sunita J. y Upasani Vivek N., 2017, p.2).

Dado que los HAP son lipofílicos y generalmente poco solubles en agua, se disuelven y transportan fácilmente por las lipoproteínas de la membrana celular y se acumulan en los tejidos grasos de los organismos vivos, lo que provoca efectos indeseables relacionados con la aparición de cáncer, malformaciones y mutación genética (Gupte Akshaya et al., 2016, p.1). A medida que aumenta el peso molecular, la solubilidad disminuye y la toxicidad de los PAH aumenta (Edokpayi et al., 2016).

De fuentes antropogénicas se descargan a la atmósfera en estado gaseoso o adsorbidos en partículas (Varjani Sunita J. y Upasani Vive N., 2017, p.2). En el suelo son transportados durante las tormentas por la escorrentía del agua a los ríos y mares; en el medio acuático, los HAP ingresan a las plantas marinas, peces y organismos sedentarios (Varjani Sunita J., 2018, p.1). Es por ello que se considera a los HAP como un contaminante ubicuo, puesto que, se han detectado incluso en partes remotas de la tierra (Alvarez Analía et al., 2017, p.4). Por ejemplo, se informó que la concentración atmosférica promedio de la suma de 11 PAH en Barrow, Alaska, era de 1,2 y 0,16 ng m⁻³, para marzo y agosto de 1979, respectivamente, y las concentraciones de PAH en los sedimentos han oscilado entre indetectables en el río Amazonas y más de 10000 µg l⁻¹ en el río Charles, Boston, EE. UU (Ma Li et al., 2021, p.2).

Por otro lado, no se sabe muy bien que los PAH se pueden producir biológicamente, por ejemplo, pueden ser sintetizados por ciertas plantas y bacterias o formarse durante la degradación de la materia vegetativa (Qi Yi-Bin et al., 2017, p.5).

Pero, el modo de formación de HAP puede ser natural o antropogénico como se muestra en la Figura 2:

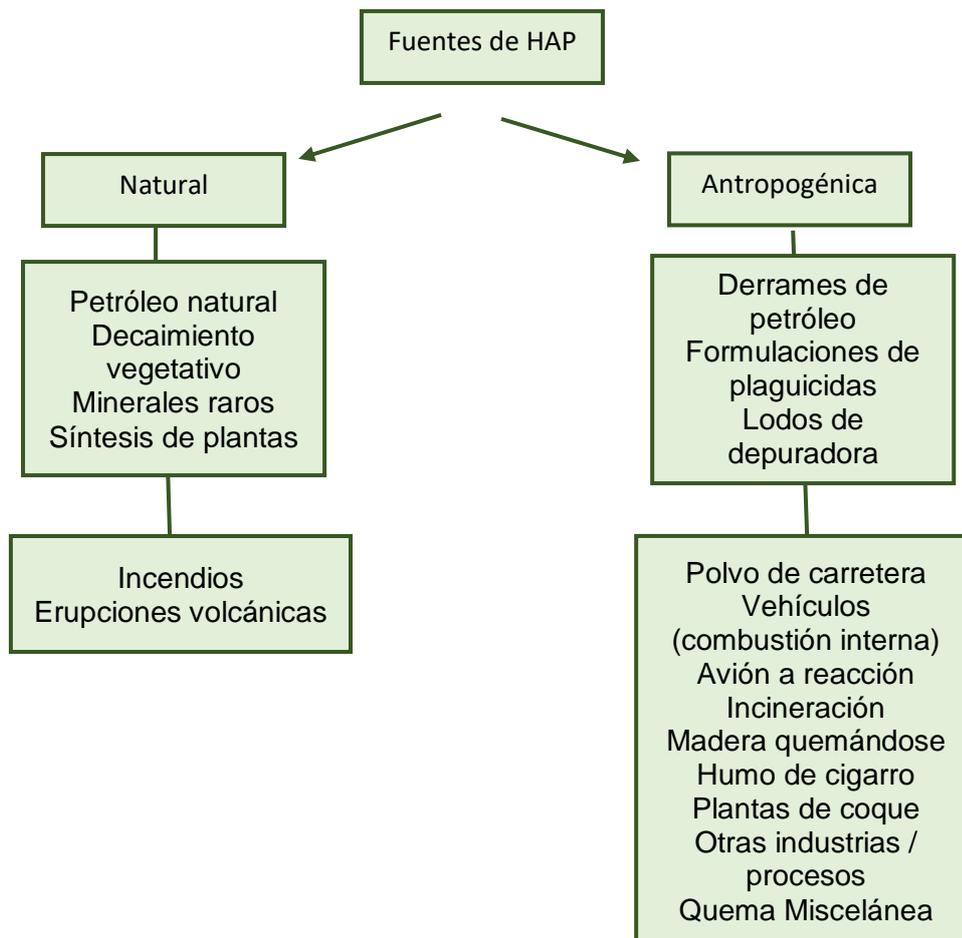


Figura N°2: Fuentes naturales y antropogénicas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Fuente: Abdel-shafy y Mansour M., 2016

A causa de ello, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (USEPA) ha incluido 16 HAP como contaminantes de control prioritarios, siendo los siguientes incluidos naftaleno (NAP), acenafteno (ACE), acenaftileno (ACY), fluoreno (FLO), fenantreno (PHE), antraceno (ANT), fluoranteno (FLA), pireno (PYR), benza (a) antraceno (BaA), criseno (CHR), benzo (b) fluoranteno (BbF), benzo (k) fluoranteno (BkF), benzo (a) pireno (BaP), indeno (1,2,3-cd) pireno (IcdP), dibenz (a, h) antraceno (DahA) y benzo (g, h, i) perileno (BghiP) (Rengarajan Thamaraiselvan et al., 2016, p.2).

De manera análoga, la contaminación del suelo con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) es un problema creciente en muchos países; ello debido a que, alta hidrofobicidad y la estructura química estable, los HAP no son solubles y pueden absorberse rápidamente en las partículas del suelo, particularmente en la materia orgánica del suelo (Boutin C. y Carpenter D., 2017, p.3).

Los HAP en el suelo pueden dispersarse por la escorrentía superficial y la producción de polvo (Qin Wei et al., 2017, p.1). Por lo tanto, los suelos pueden considerarse como una de las fuentes de contaminación por HAP en el aire y los sedimentos (Baoune Hafida et al., 2019, p.2). Está bien establecido que los HAP tienen efectos cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos en los animales; por ello, se estudia la inoculación de bacterias endofíticas; ya que, estas bacterias minimizan eficazmente los HAP que se encuentran en las plantas sembradas en los suelos contaminados (Zhang Gui et al., 2021, p.1).

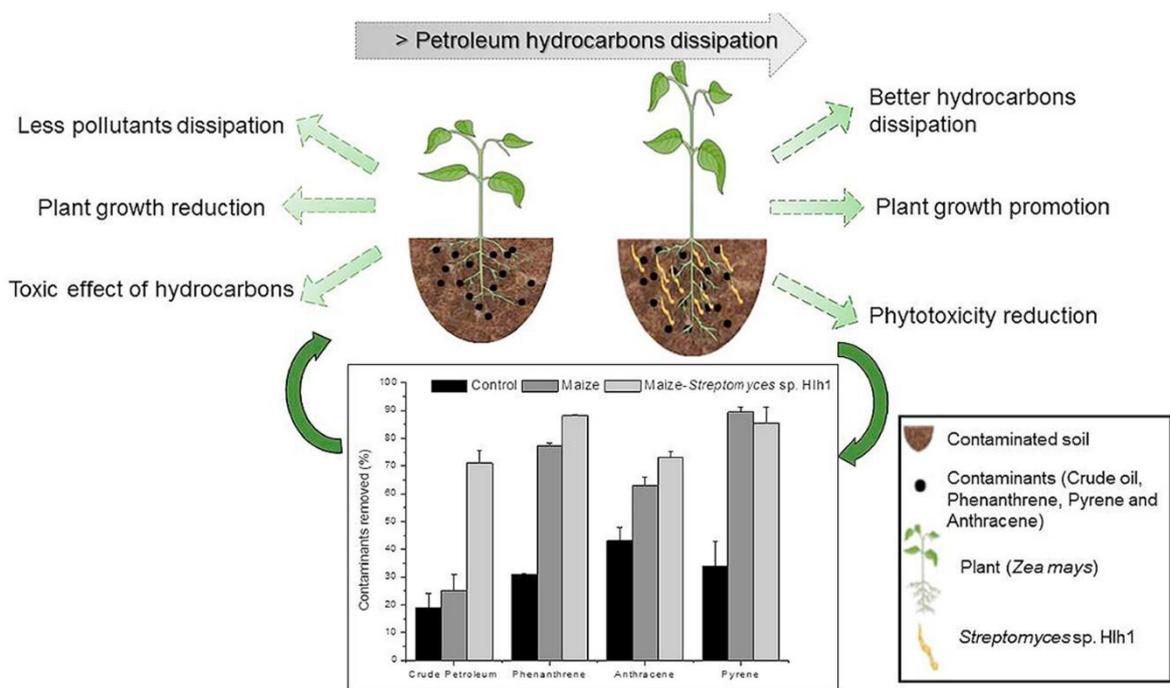


Figura N°3: Inoculación de bacteria *Streptomyces sp.* en planta de maíz y remoción de HAP en suelo contaminado

Fuente: Baoune Hafida et al., 2019

En la figura 3 en la imagen derecha se detalla la inoculación de la planta con las actinobacterias y como con la aplicación se desarrolló vegetal significativo y pigmentos fotosintéticos mejorados en comparación con las imagen de la izquierda que fueron plantas cultivadas en otras condiciones experimentales;

concluyendo que la inoculación de plantas con bacterias endofíticas juegan un papel notable en la remoción de hidrocarburos de petróleo, mejorando el desarrollo de plantas en suelos contaminados.

El crecimiento bacteriano implica inocular un cierto número de bacterias en un medio líquido adecuado y comprobar el número de células viables en diferentes intervalos de tiempo (Li Yuqing et al., 2020, p.2).

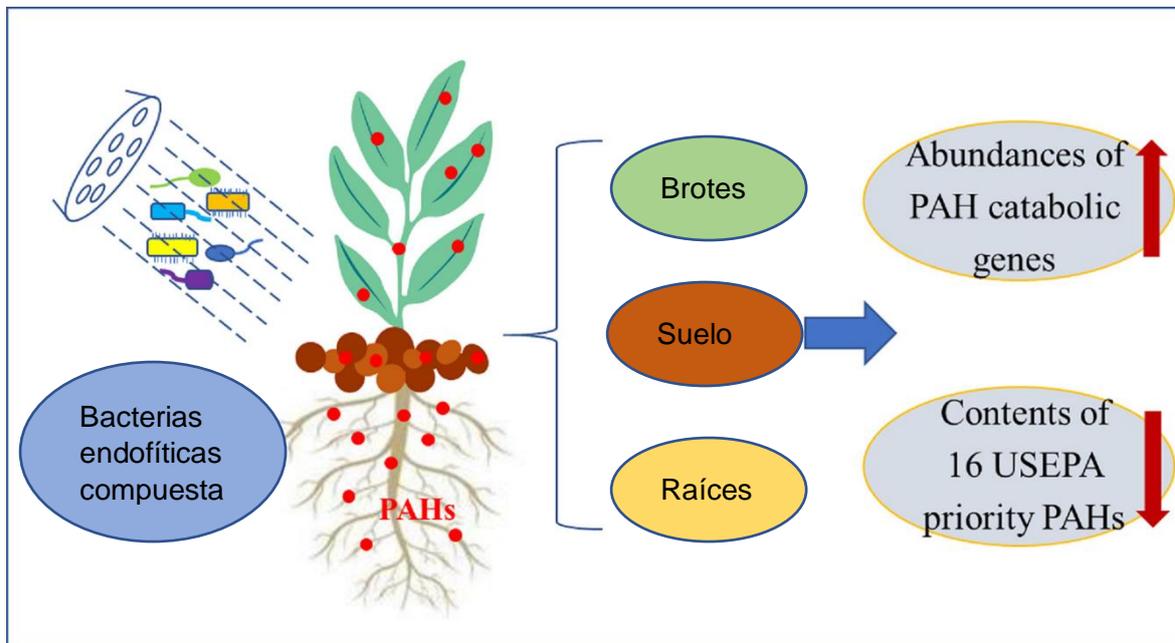


Figura N°4: Bacterias endofíticas compuestas

Fuente: Modificado de Zhou X. et al., 2021

Así también se muestra en la figura 4 como la aplicación de bacterias endofíticas compuestas añadidas a la planta contaminada con HAP en los brotes suelo y raíces aumenta la abundancia de genes catabólicos de PAH y disminuye el contenido de 16 PAH prioritarias.

Así mismo, los endófitos bacterianos colonizan ubicuamente los tejidos internos de las plantas y se encuentran en casi todas las plantas del mundo; donde algunos endófitos pueden promover el crecimiento de plantas (Li Yuqing et al., 2020, p.1). Para esas cepas, los mecanismos de promoción del crecimiento de las plantas que se sabe que son empleados por endófitos bacterianos son similares a los mecanismos utilizados por las bacterias rizosféricas (Santoy Gustavo et al., 2016, p.2).

Los endófitos bacterianos pueden ofrecer varios beneficios a la planta hospedante, particularmente promoción del crecimiento y protección contra patógenos; y que bajo diversas condiciones ambientales las bacterias endófitas pueden comunicarse e interactuar con la planta de manera más eficiente que las bacterias rizosféricas (Chatterjee A. y Abraham J., 2020, p.1). Para colonizar los tejidos internos de la planta, se ha propuesto que los endófitos bacterianos tienen diferencias genómicas en comparación con las bacterias colonizadoras de la rizosfera, aunque hasta ahora no se ha identificado ningún grupo definitivo de genes que sea responsable del estilo de vida endófito (Pillai N. y Harilal C., 2018, p.3).

Así mismo, la capacidad de diversos endófitos bacterianos para promover el crecimiento de las plantas se produce como consecuencia de mecanismos directos o indirectos (Handayani D. et al., 2018, p.12). La promoción directa del crecimiento de las plantas ocurre cuando una bacteria facilita la adquisición de nutrientes esenciales o modula el nivel de hormonas dentro de una planta (Handayani Dian et al., 2017, p.1).

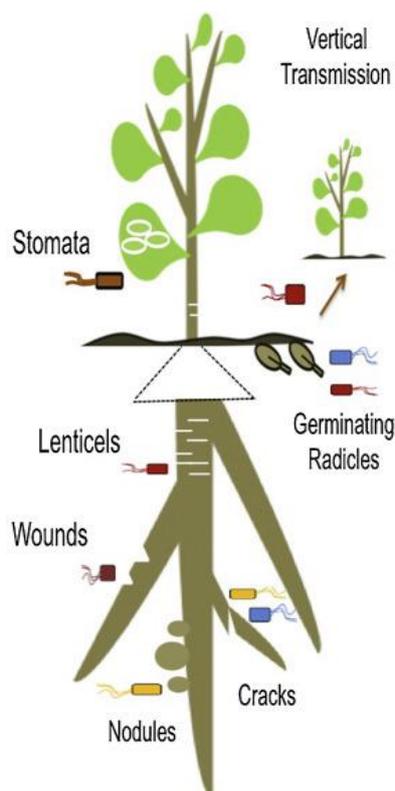


Figura N°5: Descripción general del modo de entrada de bacterias endófitas en diferentes tejidos vegetales.

Fuente: Waghunde Rajesh R. et al., 2021

Como se muestra en la Figura 5; se detalla la forma más común de entrada es a través de las raíces, a través de las células ciliadas primarias y laterales de la raíz, las grietas y heridas de la raíz, así como la hidrólisis de las células de la raíz, otras formas en que los sitios incluyen estomas, particularmente en hojas y tallos jóvenes; lenticelas y radículas germinantes.

Los rizobios pueden colonizar los tejidos internos de las plantas y formar nódulos radiculares (Macheleidt Juliane y Col, 2016, p.3). La transmisión vertical de semillas también es otra forma de heredar endófitos a través de generaciones de plantas hospedantes (Waghunde Rajesh R. et al., 2021, p.2).

Además, la adquisición de nutrientes facilitada por PGPB (bacterias promotoras del crecimiento vegetal) generalmente incluye nitrógeno, fósforo y hierro y la modulación de los niveles hormonales puede implicar que PGPB sintetice una o más de las fitohormonas auxina, citoquinina y giberelina (Handayani Dian et al., 2018, p.2).

En medio de ello, se detalla 15 antecedentes más relevantes en la tabla 1:

Tabla N°1: Antecedentes de los inóculos de bacterias endofíticas para degradar suelos con PAH

Artículo	Eficiencia de la aplicación de bacterias endofíticas	Fuente
Degradación de PAH y abundancia de genes en suelos y vegetales inoculados con bacterias endofíticas degradantes de PAH	Los contenidos de Σ PAH en los brotes y raíces de espinaca de agua, col china y pakchoi con inoculación de CEB se redujeron en más del 46% y 51%, respectivamente, mientras que los de los suelos con vegetación correspondientes se redujeron en más del 32%.	Zhang Guichi et al., 2021
Rasgos beneficiosos de endófitos y rizobacterias de raíces asociados con plantas que crecen en suelos fitomanipulados con contaminación mixta de trazas de metales e hidrocarburos aromáticos	El endófito RhizobiumLa cepa MR28 aislada de maíz y pireno degradante produjo moléculas bioemulsificantes capaces de mejorar la disponibilidad de HAP del suelo de Pierrelaye.	Kidd Petra S. et al., 2021

policíclicos.		
La colonización de bacterias que degradan los hidrocarburos aromáticos policíclicos en las raíces reduce el riesgo de contaminación por HAP en las verduras	El resultado del análisis del gen de ARNr 16S indicó que la cepa RS1 comparte > 99% de identidad con bacterias de <i>Sphingobium sp.</i> y es casi idéntico a <i>Sphingobium fuliginis</i> .	Chen Shuang et al., 2019
Diversidad y características funcionales de las bacterias endofíticas de dos especies de gramíneas que crecen en un sitio contaminado con petróleo en el delta del río Amarillo, China	Más del 70% de los aislados de endófitos que degradan los hidrocarburos mostraron la capacidad de estimular el crecimiento de las plantas. Estos aislados pertenecían principalmente a <i>Bacillus sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Beijerinckia sp.</i> , <i>Serratia sp.</i> , <i>Acinetobacter sp.</i> , <i>Microbacterium sp.</i> Y <i>Rhizobium.sp.</i>	Wu Tao et al., 2021
Efectividad de la <i>Zea mays-Streptomyces</i> asociación para la fitorremediación de suelos impactados con hidrocarburos de petróleo	Los resultados mostraron que la inoculación de endófitos aumentó la eliminación de contaminantes. La máxima remoción de hidrocarburos (70%) se logró en suelo inoculado y plantado contaminado con petróleo crudo, mientras que se registró 61%, 59% y 46% de disipación de hidrocarburos para fenantreno, pireno y antraceno, respectivamente.	Baoune Hafida et al., 2019
Degradación del petróleo por endofítico. <i>Streptomyces</i> spp. aislado de plantas cultivadas en suelos contaminados del sur de Argelia	La determinación por degradación del petróleo crudo mediante cromatógrafo de gases-detector de ionización de llama reveló que cinco cepas podrían usar petróleo como única fuente de carbono y energía y la eliminación del petróleo se logró hasta el 98% después de 7 días de incubación.	Baoune Hafida et al., 2018
El compuesto de bacterias endofíticas que degradan los HAP reduce la	Las concentraciones de \sum PAH en partes comestibles de col china y pakchoi	Wang Jian et al., 2017

contaminación y los riesgos para la salud causados por los HAP en las verduras	colonizadas por EB PAH compuesto a través de SS y LP con suspensión bacteriana a DO 600 nm = 0.2–1.5 fueron 42.07–70.77% y 15.79–53.20% más bajos, y los valores de riesgo de cáncer incremental de por vida (ILCR) para hombres y mujeres fueron 31.78–84.08% y 26.60–83.40% más pequeños, respectivamente.	
Distribución subcelular y biotransformación de fenantreno en pakchoi después de la inoculación con endofítico. <i>Pseudomonassp.</i> Como se probó utilizando HRMS junto con etiquetado de isótopos	Las reacciones de conjugación de fenantreno-metabolitos y compuestos vegetales endógenos mejoraron como resultado de la inoculación.	Sun Kai et al., 2018
Alivio de la fitotoxicidad por especies bacterianas aisladas de sitios contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Tanto las dos cepas T1 como W1 pueden reducir la fitotoxicidad inducida por PAH en plantas de berro.	Pii Youry et al., 2019
Perspectivas de rizorremediación de rizobacterias degradantes de hidrocarburos poliaromáticos, que facilitan la respuesta al estrés mediada por glutatión y glutatión-S-transferasa, y mejoran el crecimiento de plantas de arroz en suelos contaminados con pireno	Los aislados AWD5 y PDB1 han mostrado una buena cantidad de liberación de sideróforos (56,3% y 84,3% unidad). Hubo un aumento del 19,1% en la longitud de los brotes de las plántulas de arroz tratadas con PDB1 en presencia de pireno.	Pandey Piyush, 2018
Efectos y mecanismos de las fitoalexinas en la eliminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) por una bacteria endofítica aislada del raigrás	Los resultados mostraron que la tasa de eliminación de HAP por <i>M. extorquens</i> aumentó en presencia de niveles bajos de lastres fitoalexinas. Las concentraciones más eficaces de cumarina, resveratrol y rutina fueron 0,20, 0,15 y 0,25 mg / L, respectivamente, y la	Lu Li et al., 2019

	tasa de eliminación de PAH aumentó aproximadamente entre un 18,3% y un 35,0%.	
Degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en un suelo mixto contaminado apoyado por fitoestabilización, aditivos de suelo orgánicos e inorgánicos	Las concentraciones de PAH permanecieron constantes en el suelo durante los 30 días de incubación, excepto por el 13 C-PHE fácilmente disponible en el tratamiento modificado.	Wawra Anna et al., 2018
Mecanismo de remediación de hongos endofíticos. <i>Phomopsis liquidambaris</i> sobre fenantreno in vivo	Las actividades de las enzimas que degradan el fenantreno y los niveles de expresión génica en las raíces del arroz fueron más altos que los del brote. Además, el sistema combinado puede mejorar la biorremediación aumentando la viabilidad de las raíces, el contenido de clorofila y el suministro de energía.	Fu Wan-Qiu et al., 2020
Diversidad de tejidos específicos de endófitos bacterianos en plantas de tomate de cáscara mexicanas (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot. ex Horm.), y la detección de sus múltiples actividades de promoción del crecimiento de las plantas.	Los resultados mostraron que la mayor abundancia de bacterias endofíticas se encontró en la raíz ($8,84 \times 10^{-2}$), seguida de las hojas ($4,35 \times 10^{-2}$) y los tallos ($1,59 \times 10^{-2}$). Se aislaron y caracterizaron un total de 315 aislamientos (108 de raíces, 102 de tallos y 105 de hojas) de plantas de tomate de cáscara.	Hernández – Pacheco C. et al., 2021
Actividades promotoras del crecimiento vegetal para endófitos bacterianos y fúngicos aislados de la planta medicinal de <i>Teucrium polium</i> L.	Estos endófitos mostraron varios mecanismos directos e indirectos para promover el crecimiento de las plantas sin daño sintomático; por lo tanto, la inoculación de plantas de maíz con aislamientos endofíticos representativos estimuló el crecimiento de las plantas y aumentó la producción de biomasa en comparación con las plantas no inoculadas.	Hassan Saad E., 2017

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio es una investigación cualitativa, de tipo aplicada (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p.2).

De acuerdo con Edgar, T. W., & Manz, D. O. (2017, p.2) la investigación aplicada es un aspecto importante, ya que, es una aplicación de conocimientos para lograr los resultados deseados. La investigación aplicada es la etapa del ciclo de vida de la investigación en la que comprendemos lo bien que hemos utilizado nuestros conocimientos para diseñar un sistema para resolver un problema acuciante y generar resultados predecibles.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Se elaboró una matriz apriorística para detallar el conjunto de datos que nos permitirá resolver la realidad problemática planteada; enfocándonos en los objetivos específicos y problemas específicos.

Tabla N°2: Matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Analizar las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradación los hidrocarburos aromáticos del suelo.	¿Cuáles son las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradar los hidrocarburos aromáticos del suelo?	Características de las bacterias endofíticas (Li Yuqing et al., 2020, p.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Inoculación de la bacteria en la raíz • Inoculación de la bacteria en el tallo • Inoculación de la bacteria en las hojas (Boutin C. y Carpenter D., 2017, p.3).	De acuerdo al lugar donde reside la bacteria	De acuerdo al lugar de alojamiento de la planta
Definir la capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos.	¿Cuál es la capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos?	Capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con HAP (Abdel-Shafy H. y Mansour Mona, 2016, p.2).	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de incubación de las bacterias endofíticas • Capacidad de degradación (mg/kg) (Boutin C. y Carpenter D., 2017, p.3)	De acuerdo al porcentaje de remoción	De acuerdo a la cantidad inicial de HAP presente en el suelo
Determinar las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos.	¿Cuáles son las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos?	Características fisicoquímicas de los suelos contaminados con HAP (Gitipour Saeid et al., 2018, p.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Polaridad • Carbono orgánico • pH • Tamaño de particular del suelo (Fayeulle Antoine et al., 2019, p.1)	De acuerdo a la textura del suelo	De acuerdo a sus propiedades físicas

Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

La presente investigación al ser una revisión presenta con la síntesis, análisis y recolección de información para resolver con la problemática; para lo cual presenta como escenario de estudio en los laboratorios en los cuales se llevaron a cabo los experimentos en base a la eliminación de materia orgánica del agua residuales empleando bacterias rizosfericas; siendo dichas estudios artículos científicos extraídos de como bibliotecas virtuales, portales web y páginas institucionales.

3.4. Participantes

Los participantes involucrados en la recolección de la información son las revistas académicas editadas en diversas partes del mundo, siendo tomados los artículos científicos y revistas científicas, enfocados en el tratamiento con inoculación de bacterias endofíticas para degradar suelos con hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH); dichos participantes o bases de datos bibliográficos se extraen de fuentes como: Scopus, Web of Science, Scielo, ScienceDirect, Elsevier, entre otros.

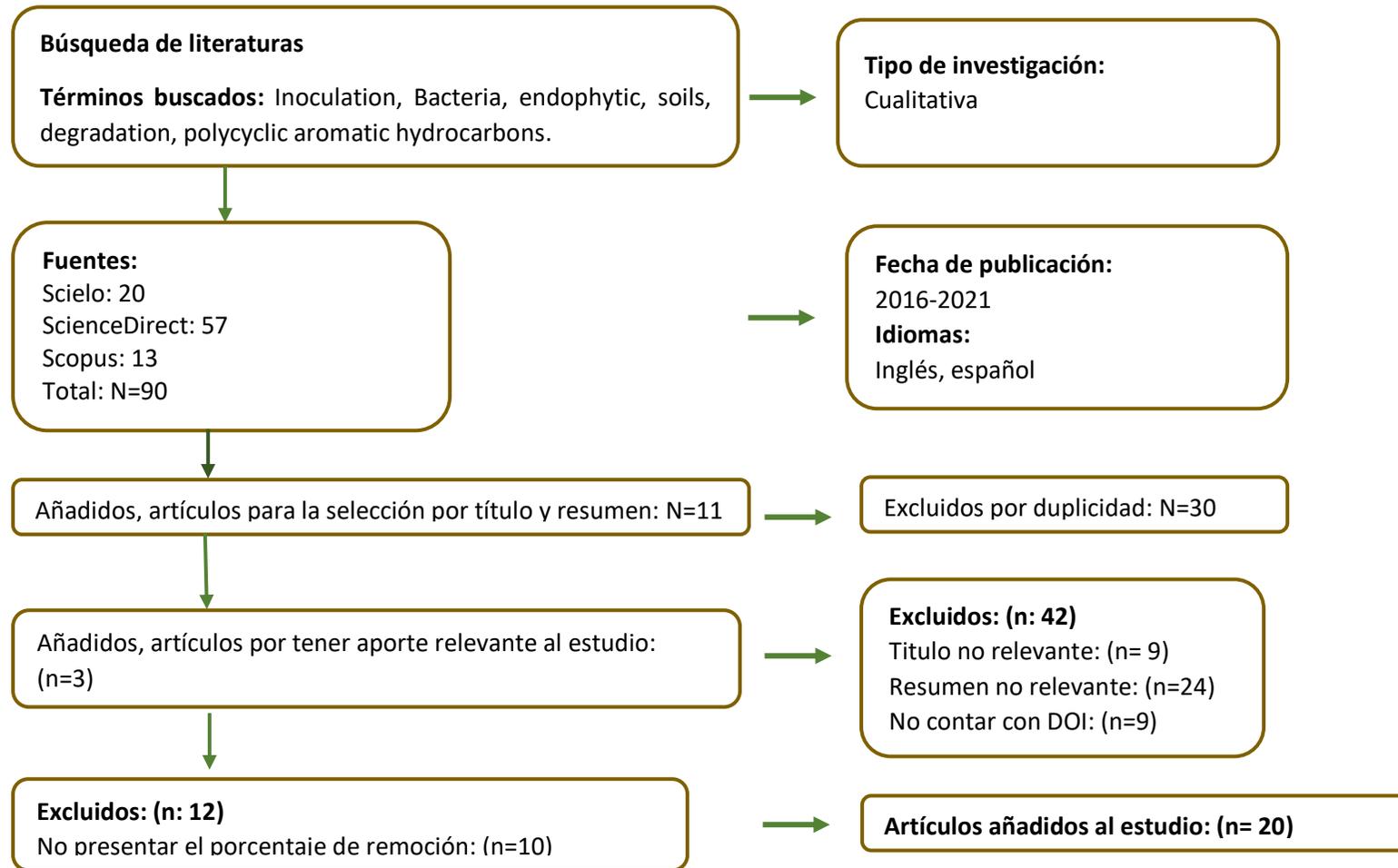
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La información que se buscó se realizó mediante palabras claves, y la matriz apriorística, donde se utilizó a la clasificación de categorías y sub categorías, organizándolas en una base de datos denominada ficha de recolección (Ver anexo 1) (Luna González M. et al., 2015, p.1). Debido a ello se menciona que la técnica empleado es el análisis documental mediante la ficha de recolección.

El análisis de contenido es una herramienta basada en el análisis de fuentes documentales, en su concepto, definición y metodología, ventajas y limitaciones (Gui Oliver J, 2008, p.1). El análisis de documental es una herramienta de gran utilidad basada en el análisis y la interpretación de fuentes documentales y en identificar los códigos utilizados por el emisor del discurso, su contenido manifiesto, el contexto en el que surge y se desarrolla el mensaje, para descubrir y evidenciar sus contenidos latentes (Vilches Loreno, 2020, p.1).

3.6. Procedimiento

Gráfico N°1: Procedimiento de recolección de datos



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El presente estudio desarrolla un análisis de los criterios de rigor científico que según la literatura especializada guían o deberían guiar el proceso de investigación cualitativa; donde se justifica la calidad de la información proporcionada y su validación.

Dicho ello, la presente revisión sistemática cuenta con el criterio de credibilidad, que en base al marco del estudio cualitativo nos señala lo creíble de los hallazgos en los que se confiere; además de la credibilidad de los hallazgos con una relación directa en la metodología y procedimientos (Jiménez María S., 2011, p.14). Este criterio es alcanzado con la confirmación de los datos brindados, ya que se asegura la procedencia de la información extraída como son las páginas confiables; debido a ello se puede asegurar credibilidad, naturaleza y veracidad de los datos utilizados.

Otro criterio es la validez; este criterio se relaciona con la capacidad de un método de corresponder con otras mediciones que se recopilan para estudiar el mismo concepto (Campbell J., Hindle A. y Stroulia E., 2015, p.141). Esto es aplicada mediante la recolección de diversos estudios enfocados en la inoculación de bacterias endofíticas, y estudiarlas en base a los suelos con hidrocarburos aromáticos policíclicos; comparando diversos estudios.

Así también se presenta el criterio de auditabilidad, y se encuentra mediante el poder de otros investigadores para seguir la pista o la misma ruta realizada por el autor original (Jiménez María S., 2011, p.14). Este criterio se encuentra mediante los resultados similares generados por otros investigadores.

Por último, se encuentra el criterio de transferibilidad, este es uno de los primeros criterios para presentar rigor científico metodológico de la investigación cualitativa; y es obtenido cuando una investigación se puede extender a otros contextos para ser utilizado por otros investigadores (García de la Vega A., 2016, p.9). Este criterio es presentado mediante los hallazgos generados por la presente revisión sistemática y que pueden ser realizados de manera práctica en la eliminación de otros contaminantes derivados del hidrocarburo.

3.8. Método de análisis de información

Se ha utilizado la metodología de investigación para obtener los 4 criterios de investigación como lo son la credibilidad, validez, auditabilidad y transferibilidad; que aporten al rigor científico de la investigación y con ello la calidad del presente estudio y que rigen el desarrollo de la investigación.

También se empleó la matriz apriorística, la cual mediante el uso de los objetivos específicos y problemas específicos se consideró las 3 categorías:

Características de las bacterias endofíticas, Capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con HAP y Características fisicoquímicas de los suelos contaminados con HAP.

A su vez se elaboró sub categorías para cada uno, ayudando de esta manera a presentar un resultado más sintetizado y explícito.

Sub categorías 1:

- Inoculación de la bacteria en la raíz
- Inoculación de la bacteria en el tallo
- Inoculación de la bacteria en las hojas

Sub categorías 2:

- Tiempo de incubación de las bacterias endofíticas
- Capacidad de degradación (mg/kg)

Sub categorías 3:

- Densidad
- Polaridad
- Carbono orgánico
- pH
- Tamaño de particular del suelo

3.9. Aspectos éticos

Esta revisión sistemática se realizó siguiendo los criterios científicos que permitieron obtener el rigor científico del estudio, así como la autenticidad de los autores de quienes se utilizó la información en el estudio; siguiendo con la normativa de derecho de autor indicada por la UCV en el manual ISO 690, y los lineamientos de la elaboración mediante la Guía de Productos Observables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradar los hidrocarburos aromáticos del suelo son sub categorizadas por la inoculación de la bacteria en la raíz, en el tallo y en las hojas; siendo presentados los más relevantes en la tabla N°3.

Tabla N°3: Características de las bacterias endofíticas para degradar los HAP

MEDIO DONDE OCURRE LA INOCULACIÓN DE LA BACTERIA	NOMBRE DE LA PLANTA	DE LA FUENTE DE INFORMACIÓN
BROTOS Y RAÍCES	Espinaca de agua ,col chinay pakchoi	Zhang Guichi et al., 2021
RAÍZ	Plantas de suelos fitomandos (<i>Populus o Zea mays</i>)	Kidd Petra S. et al., 2021
RAÍCES Y BROTES	Espinaca de agua (<i>Ipomoea aquatica Forsk</i>), el pakchoi (<i>Brassica campestris</i>) y la col china (<i>Brassica chinensis</i>)	Chen Shuang et al., 2019
RAÍCES Y HOJAS	<i>Phragmites australis</i> y <i>Chloris virgata</i>	Wu Tao et al., 2021
BROTOS Y RAÍZ	<i>Zea mays</i>	Baoune Hafida et al., 2019
RAÍZ	<i>Zygophyllum album</i>	Baoune Hafida et al., 2018
RAÍCES Y BROTES	Col china (<i>Brassica chinensis L.</i>) y el pakchoi (<i>Brassica campestris L.</i>).	Wang Jian et al., 2017
RAÍCES Y BROTES	Pakchoi (<i>Brassica chinensis L.</i>)	Sun Kai et al., 2018
BROTOS	Plantas de berro (<i>sativum L.</i>)	Pii Youry et al., 2019
RAÍZ	Plantas de arroz	Pandey Piyush, 2018
RAÍZ	Raigrás (<i>Lolium perenne</i>)	Lu Li et al., 2019
RAÍZ	No indica	Wawra Anna et al., 2018
RAÍCES Y BROTES	Arroz (<i>Oryza sativa L.</i>)	Fu Wan-Qiu et al., 2020
RAÍZ, HOJAS Y TALLO	Plantas de tomate de cáscara mexicanas (<i>Physalis</i>	Hernández – Pacheco C. et

	<i>ixocarpa</i> Brot. ex Horm.)	al., 2021
BROTOS Y RAÍCES	<i>Teucrium polium</i> L.	Hassan Saad E., 2017
RAÍZ	<i>Dracaena sanderiana</i>	Suyamud B. et al., 2018
RAÍZ	<i>Salicornia</i> sp.	Komaresofla Behzad R. et al., 2019
RAÍCES Y HOJAS	<i>Chloris virgata</i> y <i>Phragmites australis</i>	Wu Tao et al., 2020
RAÍZ	<i>Triquetra Scirpus</i>	Zhang Xinying et al., 2015
RAÍCES, BROTES Y HOJAS	<i>Lotus corniculatus</i> L. y <i>Oenothera biennis</i> L.	Pawlik Malgorzata et al., 2017

Elaboración propia

Las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradar los hidrocarburos aromáticos del suelo presentan la mayor adsorción de los HAP en las raíces; siendo un 95% de los investigadores que lo indican.

Esto es corroborado por Kidd Petra S. et al., 2021 quien afirma en su estudio que los aislamientos representativos aumentaron significativamente la longitud de la raíz de la planta que la encontrada para las plantas no inoculadas. Así también, en un experimento de invernadero, las plantas inoculadas con endófitos mostraron mejores pesos secos de brotes y raíces en comparación con las plantas no inoculadas (Diem Pha Un. Et al., 2018, p.2).

Por otro lado, Sun Kai et al., 2018 señala que el fenantreno en las raíces y brotes de pakchoi disminuye en diferentes grados con el aumento del tiempo. Por ejemplo, el fenantreno en las raíces fue de 36.80, 31.93 41,01, y 34,17 ng/mg (peso fresco) a los 24 d, que fueron 36,66%, 42,61%, 40,07% y 37,87% más bajos que los de los 6 días; probablemente porque la diferente actividad enzimática en las fracciones subcelulares impactó en la tasa de biotransformación del fenantreno.

Además, la concentración de HA es relativamente mayor en las raíces y los brotes de las plantas probablemente como resultado de la mayor acumulación de compuestos lipofílicos contiene un mayor contenido de lípidos (Datta Shivika et al., 2020, p.133).

Así también, al respecto Wu Tao et al., 2021 afirma que los efectos de la relación sinérgica entre plantas y bacterias endofíticas funcionales en la remediación de suelos contaminados por petróleo se han confirmado en diversos países del mundo.

La capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos son descritas en las literaturas mediante el tiempo de remoción máxima y la capacidad de degradación las bacterias endofíticas; siendo presentados en la tabla N°4.

Tabla N°4: Capacidad de degradación de las bacterias endofíticas

BACTERIA ENDOFÍTICA	TIEMPO DE INCUBACIÓN / TIEMPO DE ELIMINACIÓN	% DE REMOCIÓN	CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN	FUENTE DE INFORMACIÓN
CEPAS BACTERIANAS ENDOFÍTICAS / PSEUDOMONAS SP.	5 días	Brotos: 46% Raíces: 51%	Fue capaz de degradar 16 HAP	Zhang Guichi et al., 2021
PROTEOBACTERIA Y ACTINOBACTERIA	2 días	Raíz: 75%	produjo moléculas bioemulsificantes capaces de mejorar la disponibilidad de HAP del suelo	Kidd Petra S. et al., 2021
SPHINGOBIUM SP. Y SPHINGOBIUM FULIGINIS.	3 días	Raíz: 93.7% Brotos de vegetales: 75.2%	Después de la incubación durante 48 h, se degradó aproximadamente el 97%	Chen Shuang et al., 2019
BACILLUS SP., PSEUDOMONAS SP., BEIJERINCKIA SP., SERRATIA SP., ACINETOBACTER SP., MICROBACTERIUM SP. Y RHIZOBIUM.SP.	4 días	No indica	Más del 70% de los aislados de endófitos que degradan los hidrocarburos mostraron la capacidad de estimular el cre-	Wu Tao et al., 2021

			cimiento de las plantas.	
STREPTOMYCES SP.	3 días	63%, 93% y 83% para el fenantreno , pireneno y antraceno	La máxima remoción de hidrocarburos (70%)	Baoune Hafida et al., 2019
STREPTOMYCES SPP.	2 días / 7 días	No indica	La eliminación del petróleo se logró hasta el 98%	Baoune Hafida et al., 2018
SPHINGOBIUM SP. Y SPHINGOBIUM SP.	10 días	No indica	Degradación de los PAH en más del 65%	Wang Jian et al., 2017
PSEUDOMONAS SP.	24 día	Raíz: 48% Brote: 36%	55% de degradación de los PAH.	Sun Kai et al., 2018
STAPHYLOCOCCUS WARNERI Y BACILLUS NIACINI	2 días / 10 días	Brotos: 78%	78% de degradación	Pii Youry et al., 2019
KLEBSIELLA PNEUMONIAE	6 días / 9 días	No indica	48,5%	Pandey Piyush, 2018
ALCALIGENES FAECALIS			50,29%	
PSEUDOMONAS FRAGI			31,3%	
PSEUDOMONAS AERUGINOSA			36%	
ACINETOBACTER SP				
METHYLOBACTERIUM EXTORQUENS	10 días / 12 a 48 horas	No indica	Tasa de eliminación del PAH: 18,3% y un 35,0%.	Lu Li et al., 2019
BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS Y ACTINOMICETOS	30 días / 12 meses	No indica	68%	Wawra Anna et al., 2018
PHOMOPSIS LIQUIDAMBARIS	21 días / 14 días	Brotos: 25,17% Raíz: 23,95%	Las raíces del arroz fueron más altas que los del brote. 69,35%	Fu Wan-Qiu et al., 2020

PH. LIQUIDAMBARIS	10 días / 28 días	La mayor abundancia de bacterias endofíticas se encontró en la raíz ($8,84 \times 10^{-2}$), seguida de las hojas ($4,35 \times 10^{-2}$) y los tallos ($1,59 \times 10^{-2}$).	A los 14 días (mayor 44,48%) y a los 28 días (mayor 26,51%)	Hernández – Pacheco C. et al., 2021
BACTERIAS ENDÓFITAS BACILLUS CEREUS Y BACILLUS SUBTILIS OBTENIENDO HONGOS: PENICILLIUM CHRYSOGENUM Y PENICILLIUM CRUSTOSUM BACILLUS THURINGIENSIS, PANTOEA DISPERSA	5 días / 14 días	Brotos: 53% Raíces: 76	No indica	Hassan Saad E., 2017
	No indica	No indica	Las plantas inoculadas con bacterias endofíticas adsorbieron el 92% de hidrocarburos aromáticos	Suyamud B. et al., 2018
SALICORNIA STAPHYLOCOCCUS.SP.	4 días / 13 días	No indica	65,2%	Komaresofla Behzad R. et al., 2019
PHRAGMITES AUSTRALIS CHLORIS VIRGATA	No indica	Raíces: 6,17-10,26 g/kg Hojas: 5,84-7,71 g/kg	24,5% 40, 2%	Wu Tao et al., 2020
PSEUDOMONAS SP. Y BACILLUS SUBTILIS	3 días / 7 días	No indica	La asociación de las dos bacterias podría mejorar en gran medida la relación de eliminación del hidrocarburo: >70%	Zhang Xinying et al., 2015

PHYLA PROTEOBACTERIA	7 días / 2 días	No indica	83,33	Pawlik Malgorzazata et al., 2017
ACTINOBACTERIA			64,29%	

Elaboración propia

La capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos son en un 60 a 70%.

Esto es debido a que los endófitos se localizan en el interior de los tejidos vegetales, ese vínculo estrecho facilita el mutualismo entre los endófitos y la planta. Dado que los endófitos actúan como productores de varios compuestos bioactivos a través de diversos mecanismos, ofrecen varios beneficios que afectan significativamente el crecimiento de las plantas (Sun Yuankai et al., 2021, p.2).

De acuerdo a la tabla N° 4 las bacterias endofíticas más recurrentes son las *Pseudomonas* sp. y *Bacillus* sp. Así también, entre las bacterias beneficiosas para las plantas, *Pseudomonas* y *Bacillus* fueron los dos géneros principales en los hallazgos de Hu Jie et al., (2020, p.4).

Es también el caso de Zhen Mengyuan et al., (2018, p.2), donde se detectaron posibles atributos de estimulación del crecimiento de las plantas en 38 endofitos degradadores de hidrocarburos; encontrando que el 70% (27 de 38) de los endofitos degradadores de hidrocarburos tienen al menos un atributo de crecimiento de las plantas; siendo estos aislados pertenecientes principalmente a *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Beijerinckia* sp., *Serratia* sp., *Acinetobacter* sp, *Microbacterium* sp., y *Rhizobium* sp.

Así también, ventajosamente, los endófitos colonizan tejidos vegetales con apariencia asintomática; compiten con patógenos en el mismo hábitat e influyen positivamente en la salud de las plantas (Li Xia et al., 2016, p.4).

Algunas literaturas también han informado de que ciertas especies de *Methylobacterium* seleccionadas de suelos contaminados podrían utilizar HAPs como la única fuente de carbono (Nzila et al., 2016, p.2). Por ejemplo, los cultivos mixtos que contienen *Methylobacterium rhizobium* y otras seis cepas

representativas mostraron alrededor del 10%~30% de degradación de fenantreno en 2 días. En comparación con las literaturas, *M. extorquens*, como bacteria endófito de plantas, exhibió excelentes propiedades de degradación de PAH (Lu Li et al., 2019).

Además, de acuerdo con Fu Wan-Qiu et al., 2020 en la tabla 4 señala que la actividad de la P450 monooxigenasa del tratamiento (R+P) + B3 fue significativamente mayor que la de los tratamientos (R+P) en la raíz del arroz y en la parte aérea después de 14 días (Fig. 3A), y la actividad de (R+P) +B3 fue un 36,84% y un 44,23% mayor que la de los tratamientos (R+P) en los brotes y en la raíz respectivamente a los 28 días.

Esto es apoyado por Taktek Salma et al., (2017, p.3) quien señala que la inoculación con endófitos aumentó la solubilización del fosfato y mejoró significativamente el crecimiento de las plantas.

Es el caso también de Zhang et al., (2020, p.2) quien en su estudio se caracterizaron 38 cepas de bacterias endofíticas degradadoras de hidrocarburos de *Phragmites australis* y *Chloris virgata*, que han crecido en un suelo salino contaminado por petróleo a largo plazo; los 38 aislados se distribuyeron principalmente en tres filos (Firmicutes, Proteobacteria y Actinobacteria) y diez géneros.

Muchos estudios también han informado de que las bacterias endofíticas de las plantas que degradan los hidrocarburos del petróleo pertenecen principalmente a los filos Proteobacteria, Firmicutes y Actinobacteria (Lumactud Rheat et al., 2016, p.4). Además, muchos estudios han demostrado que las bacterias endofíticas *Bacillus* sp. y *Pseudomonas* sp., al presentar atributos de crecimiento pueden promover el crecimiento de las plantas y la tolerancia a los hidrocarburos del petróleo (Zhao Qingqing et al., 2020, p.3).

Las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos se detallan en la tabla N°5.

De acuerdo con Martínez Víctor E. et al., (2001, p.2) el principal parámetro del suelo que sufre sustanciales variaciones debido a los hidrocarburos aromáticos es

la materia orgánica, textura densidad y porosidad; estas alteraciones se verán afectadas de acuerdo a la concentración presente en el suelo; por ejemplo, una concentración de 30 000 mg/kg de diesel genera 347% de incremento en comparación con un suelo libre de hidrocarburos. (Ver imagen 6, 7, 8, 9 y 10).

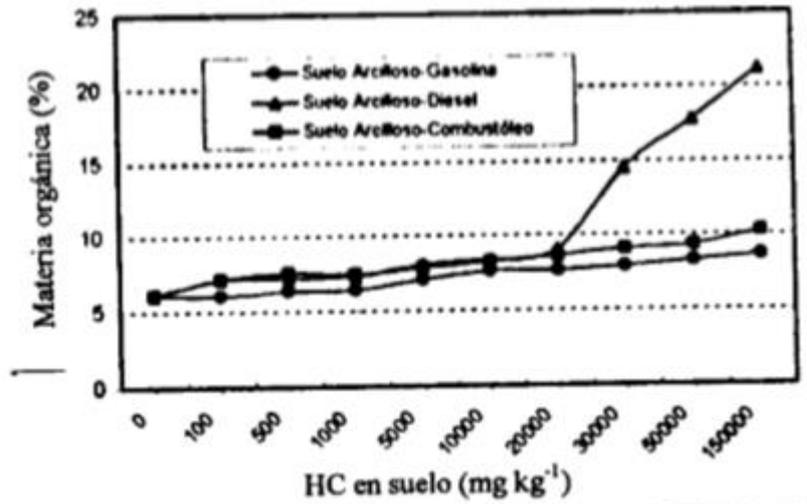


Figura N°6: Variación de la MO de un suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos

Esto es también corroborado por Wang Yaling et al., (2021, p.2); donde en su investigación los hidrocarburos de petróleo (TPH) condujeron a notables alteraciones de la materia orgánica, los minerales y el pH de los suelos, lo que a su vez influyó en la distribución y disponibilidad de los TPH en los suelos. Además, los componentes de volátiles de los hidrocarburos como la estructura C5 a C9 al ponerse en contacto con el ácido sulfúrico una parte se va perder y el resto oxidar; es así también la estructura del diesel C10 a C23 con pequeñas proporciones de compuestos volátiles se oxidará en su casi totalidad y presentará niveles elevados de MO (Chen Huan R. et al., 2020, p.6).

También otro parámetro del suelo que se ve afectado por los hidrocarburos es la textura; siendo demostrado en la figura 7, 8 y 9.

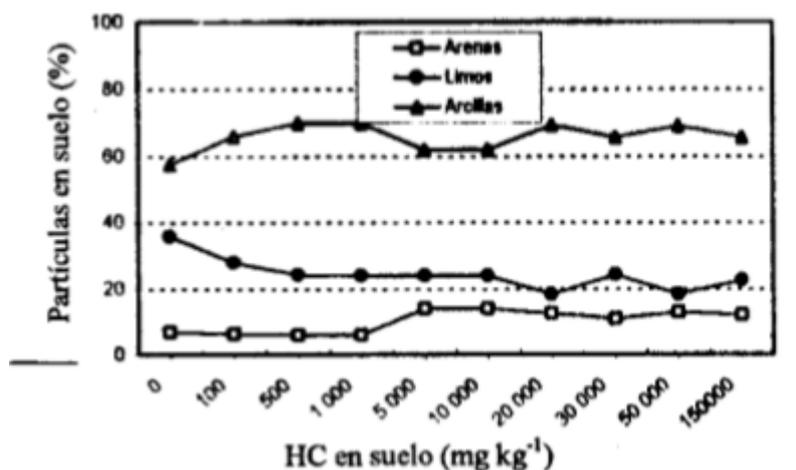


Figura N°7: Alteración de la textura del suelo (arena, limo, arcilla) por hidrocarburos

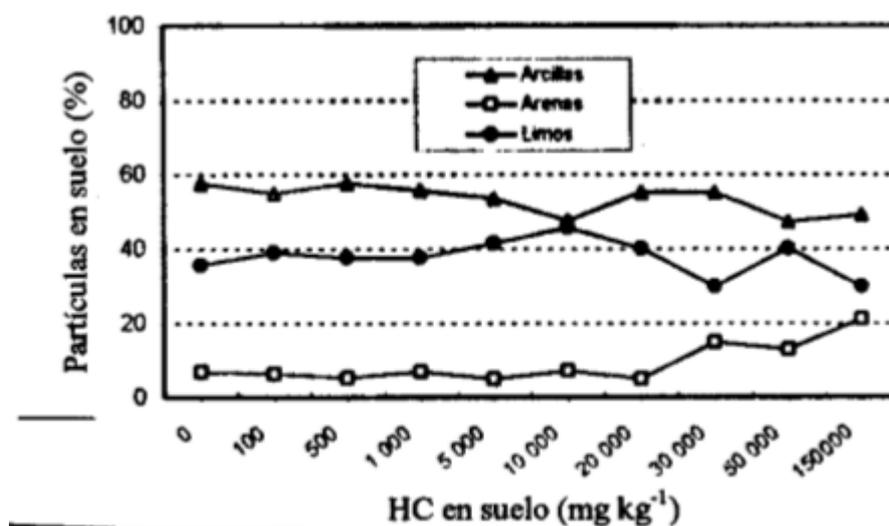


Figura N°8: Contaminación de suelo arcilloso por diesel y variación en sus partículas

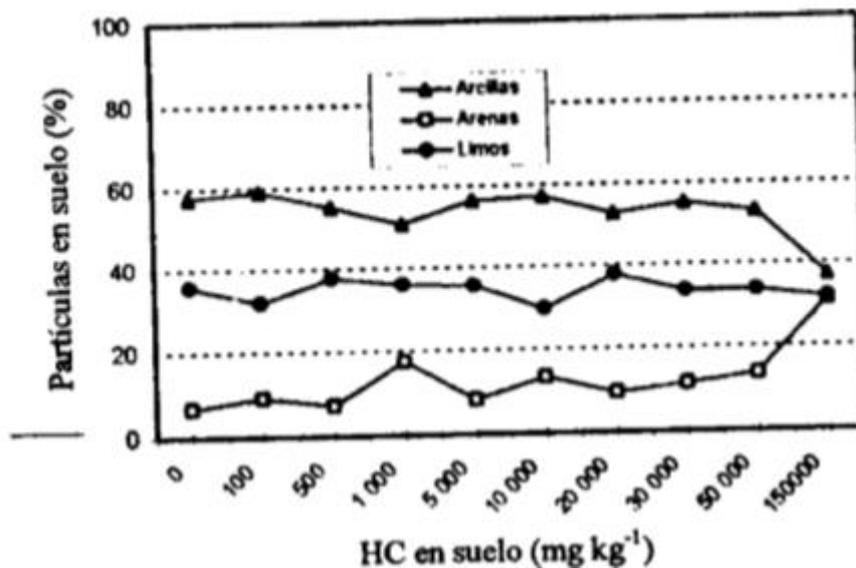


Figura N°9: Contaminación de suelo arcilloso por combustóleo y variación en sus partículas

Como se observa en las figuras 7, 8 y 9; la mayor variación de arena, limo y arcilla se ve en la imagen 9; siendo la variación de estas partículas indicador de alteración en la textura del suelo; como se observa en la figura 9 ocurre una

disminución de arcilla, y los niveles de arena aumentan significativamente. Se adiciona también lo expuesto por Wu B., Guo S. y Wang J., (2021, p.4) señalando que los valores de arena, limo y arcilla no alterarán si no existe una alta concentración de hidrocarburos mayores a 150 000 mg/kg.

Otro parámetro que se ve afecto en la contaminación del suelo por hidrocarburos aromáticos como el combustóleo es la densidad real; disminuyendo en concentraciones de 30 000 a 150 000 mg/kg; disminuyendo de 2.23 hasta un 1.26 g/cm³ (Sazykin I. S. et al., 2021, p.3).

Por último, la porosidad del suelo; es otro de los principales parámetros que sufre alteraciones por la presencia de concentraciones de hidrocarburos.

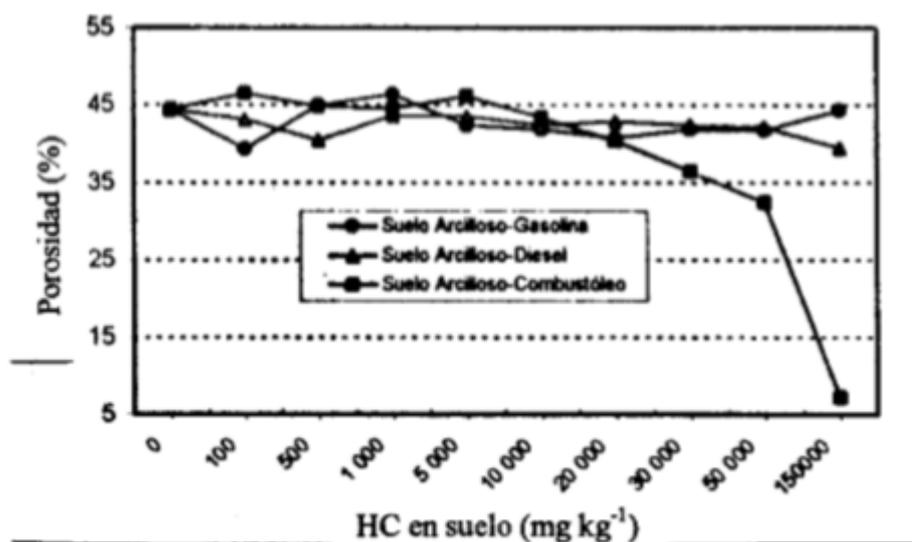


Figura N°10: Alteración la porosidad por hidrocarburos aromáticos

La disminución de la porosidad en presencia de hidrocarburos se da de manera drástica en presencia de concentraciones de 20 000 mg/kg (Rajan Sancho et al., 2021, p.2). Adicionando esta afirmación Christopher Judia M. et al., (2021, p.4) señala que la disminución de la porosidad de debe al efecto de la alteración de la densidad real; demostrando una dependencia y relación directa entre ambos.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados expuestos definir de qué manera se degrada los hidrocarburos aromáticos empleando inoculación de bacterias endofíticas se tiene las siguientes conclusiones:

1. Las características de las bacterias endofíticas más empleadas para degradar los hidrocarburos aromáticos del suelo presentan la mayor adsorción de los HAP en las raíces; siendo un 95% de los investigadores que lo indican. Además, la concentración de HA es relativamente mayor en las raíces y los brotes de las plantas probablemente como resultado de la mayor acumulación de compuestos lipofílicos contiene un mayor contenido de lípidos
2. La capacidad de degradación de las bacterias endofíticas en suelos con hidrocarburos aromáticos se da en promedios de 60 a 70%. Debido a la localización de los endófitos en el interior de los tejidos vegetales, facilitando el mutualismo entre endófito-planta.
3. Las características fisicoquímicas de los suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos indica que la presencia de hidrocarburos aromáticos en el suelo genera cambios en su composición física y química dependiendo del tiempo presente en el suelo y la concentración del hidrocarburo, donde las propiedades del suelo que se ven afectados son; textura, MO, densidad real y porosidad de suelo arcilloso.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones a los futuros investigadores son las siguientes:

1. Profundizar con mayores investigaciones ya que existen escasos artículos a nivel nacional e internacional de la aplicación de bacterias endofíticas para degradar hidrocarburos; siendo en su mayoría estudios que utilizan las rizo bacterias aunque ya está comprobada en los escasos estudios que los endófitos bacterianos pueden tener una ventaja sobre las bacterias que habitan en la rizosfera, ya que vivir dentro de los tejidos de una planta representa una oportunidad para estar siempre en contacto con las células de la planta y, por lo tanto, para ejercer más fácilmente un efecto beneficioso directo.
2. Para el desarrollo de una asociación positiva de plantas endófitos, el genotipo de la planta es un determinante importante; para lo que se recomienda utilizar técnicas como la micropropagación y el crecimiento vegetativo, que producen clones genéticos de las plantas hospedadoras que tienen el mismo genotipo y así minimizar el efecto del genotipo del hospedador en las interacciones planta-bacteria
3. Realizar promedios de eficiencia de las bacterias endofíticas como degradadoras en función a la composición química y la concentración del hidrocarburo.

REFERENCIAS

1. AAMIR, Mohd, et al. Fungal endophytes: Classification, diversity, ecological role, and their relevance in sustainable agriculture. En *Microbial Endophytes*. Woodhead Publishing, 2020. p. 291-323. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818734-0.00012-7>
2. ABDEL-SHAFY, Hussein I.; MANSOUR, Mona SM. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian journal of petroleum*, 2016, vol. 25, no 1, p. 107-123. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
3. ABEDINZADEH, Motahharez; ETESAMI, Hassan; ALIKHANI, Hossein Ali. Characterization of rhizosphere and endophytic bacteria from roots of maize (*Zea mays* L.) plant irrigated with wastewater with biotechnological potential in agriculture. *Biotechnology Reports*, 2019, vol. 21, p. e00305. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00305>
4. AFZAL, Imran, et al. Plant beneficial endophytic bacteria: mechanisms, diversity, host range and genetic determinants. *Microbiological research*, 2019, vol. 221, p. 36-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.02.001>
5. ALVAREZ, Analia, et al. Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere*, 2017, vol. 166, p. 41-62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.070>
6. BALCIOĞLU, Esra Billur. Potential effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in marine foods on human health: a critical review. *Toxin Reviews*, 2016, vol. 35, no 3-4, p. 98-105. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15569543.2016.1201513>
7. BAOUNE, Hafida, et al. Effectiveness of the *Zea mays*-*Streptomyces* association for the phytoremediation of petroleum hydrocarbons impacted soils. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, vol. 184, p. 109591. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109591>
8. BAOUNE, Hafida, et al. Petroleum degradation by endophytic *Streptomyces* spp. isolated from plants grown in contaminated soil of southern Algeria. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 147, p. 602-609. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.013>

9. BELLO, Dhimiter; LEONG, David T. A decade of nanotoxicology: Assessing the impact on human health and the environment!. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.impact.2017.04.001>
10. BOUTIN, C.; CARPENTER, D. J. Assessment of wetland/upland vegetation communities and evaluation of soil-plant contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons and trace metals in regions near oil sands mining in Alberta. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 576, p. 829-839. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.062>
11. Campbell, J. C., Hindle, A., & Stroulia, E. (2015). Latent Dirichlet Allocation. *The Art and Science of Analyzing Software Data*, 139–159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-411519-4.00006-9>
12. CHATTERJEE, Ankita; ABRAHAM, Jayanthi. Mangrove endophytes: a rich source of bioactive substances. En *Biotechnological Utilization of Mangrove Resources*. Academic Press, 2020. p. 27-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819532-1.00002-0>
13. CHEN, Huan; RHOADES, Charles C.; CHOW, Alex T. Characteristics of soil organic matter 14 years after a wildfire: A pyrolysis-gas-chromatography mass spectrometry (Py-GC-MS) study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2020, vol. 152, p. 104922. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104922>
14. CHEN, Shuang, et al. Colonization of polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria on roots reduces the risk of PAH contamination in vegetables. *Environment international*, 2019, vol. 132, p. 105081. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105081>
15. CHENG, Yuan, et al. Distribution and bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons in industrially contaminated site soils as affected by thermal treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 411, p. 125129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125129>
16. CHRISTOPHER, Judia Magthalin, et al. Bioremediation of aromatic hydrocarbons contaminated soil from industrial site using surface modified amino acid enhanced biosurfactant. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 289, p. 117917. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117917>

17. DA CUNHA FERREIRA, Solange, et al. Isolation and characterization of cassava root endophytic bacteria with the ability to promote plant growth and control the in vitro and in vivo growth of *Phytophthora* sp. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2021, p. 101709. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101709>
18. DATTA, Shivika, et al. Endophytic bacteria in xenobiotic degradation. En *Microbial endophytes*. Woodhead Publishing, 2020. p. 125-156. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818734-0.00006-1>
19. DIEM, Pham Nu Kieu; CHAU, Nguyen Ngoc Bao; QUOC, Nguyen Bao. Isolation endophytic bacteria from elephant grass (*Pennisetum purpureum* schumach) and their potential application. *ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, 2018, vol. 8, no 2, p. 3-13. Disponible en: <https://doi.org/10.46223/HCMCOUJS.tech.en.8.2.341.2018>
20. Edgar, T. W., & Manz, D. O. (2017). Applied Experimentation. *Research Methods for Cyber Security*, 271–297. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805349-2.00011-x>
21. EDOKPAYI, Joshua N., et al. Determination and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in rivers, sediments and wastewater effluents in Vhembe District, South Africa. *International journal of environmental research and public health*, 2016, vol. 13, no 4, p. 387. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph13040387>
22. FAYEULLE, Antoine, et al. PAH biodegradation by telluric saprotrophic fungi isolated from aged PAH-contaminated soils in mineral medium and historically contaminated soil microcosms. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, vol. 19, no 7, p. 3056-3067. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02312-8>
23. FU, Wan-Qiu, et al. Remediation mechanism of endophytic fungus *Phomopsis liquidambaris* on phenanthrene in vivo. *Chemosphere*, 2020, vol. 243, p. 125305. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125305>
24. GARCÍA DE LA VEGA, Alfonso. Análisis curricular y rigor científico en los textos literarios sobre las observaciones del tiempo y clima. *Propuesta*

- didáctica con fuentes primarias. 2016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14198/GeoAlicante2015.15>
25. GITIPOUR, Saeid, et al. Treatment technologies for PAH-contaminated sites: a critical review. *Environmental monitoring and assessment*, 2018, vol. 190, no 9, p. 1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6936-4>
 26. GUPTE, Akshaya, et al. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs): a perspective. *The Open Biotechnology Journal*, 2016, vol. 10, no 1. Disponible en: <https://doi.org/10.2174/1874070701610010363>
 27. Guix Oliver, J. (2008). El análisis de contenidos: ¿qué nos están diciendo? *Revista de Calidad Asistencial*, 23(1), 26–30. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1134-282x\(08\)70464-0](https://doi.org/10.1016/s1134-282x(08)70464-0)
 28. HANDAYANI, Dian, et al. Antibacterial activity of endophytic fungi isolated from mangrove plant *Sonneratia griffithii* Kurz. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2017, vol. 7, no 04, p. 209-212. Disponible en: ISSN 2231-3354
 29. HANDAYANI, Dian, et al. Antimicrobial and cytotoxic activities of endophytic fungi isolated from mangrove plant *Sonneratia alba* Sm. *J Appl Pharm Sci*, 2018, vol. 8, no 02, p. 049-53. Disponible en: <https://doi.org/10.7324/JAPS.2018.8207>
 30. HASSAN, Saad El-Din. Plant growth-promoting activities for bacterial and fungal endophytes isolated from medicinal plant of *Teucrium polium* L. *Journal of advanced research*, 2017, vol. 8, no 6, p. 687-695. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.09.001>
 31. HERNÁNDEZ-PACHECO, Claudia E., et al. Tissue-specific diversity of bacterial endophytes in Mexican husk tomato plants (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.), and screening for their multiple plant growth-promoting activities. *Current Research in Microbial Sciences*, 2021, vol. 2, p. 100028. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100028>
 32. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. *Metodología de la investigación* [en línea]. 6ta ed. México: Mc Graw-Hill/ Interamericana, 2014 [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en:

<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sextaedicion.compressed.pdf>

33. HU, Jie, et al. Rhizosphere microbiome functional diversity and pathogen invasion resistance build up during plant development. *Environmental Microbiology*, 2020, vol. 22, no 12, p. 5005-5018. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15097>
34. HUANG, Haobo, et al. Long-term diffuse phosphorus pollution dynamics under the combined influence of land use and soil property variations. *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 579, p. 1894-1903. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.198>
35. HUANG, Haobo, et al. Long-term diffuse phosphorus pollution dynamics under the combined influence of land use and soil property variations. *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 579, p. 1894-1903. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.198>
36. JIMÉNEZ, María Soledad Erazo. Rigor científico en las prácticas de investigación cualitativa. *Ciencia, docencia y tecnología*, 2011, vol. 22, no 42, p. 107-136. Disponible en: ISSN: 0327-5566
37. KIDD, Petra S., et al. Beneficial traits of root endophytes and rhizobacteria associated with plants growing in phytomanaged soils with mixed trace metal-polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Chemosphere*, 2021, vol. 277, p. 130272. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130272>
38. KOMARESOFLA, Behzad Razzaghi, et al. Improved growth and salinity tolerance of the halophyte *Salicornia* sp. by co-inoculation with endophytic and rhizosphere bacteria. *Applied Soil Ecology*, 2019, vol. 138, p. 160-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.022>
39. LAWAL, Abdulazeez T. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Una revisión. *Ciencia ambiental convincente*, 2017, vol. 3, no 1, pág. 1339841. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23311843.2017.1339841>
40. LI, Xia, et al. The endophytic bacteria isolated from elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) promote plant growth and enhance salt tolerance of Hybrid *Pennisetum*. *Biotechnology for Biofuels*, 2016, vol. 9, no 1, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0592-0>

41. LU, Li, et al. Effects and mechanisms of phytoalexins on the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by an endophytic bacterium isolated from ryegrass. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 253, p. 872-881. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.097>
42. LUNA GONZÁLEZ, Mary Eugenia. Organización del conocimiento en la red digital. *Investigación bibliotecológica*, 2015, vol. 29, no 67, p. 77-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibbai.2016.02.037>
43. LUMACTUD, Rhea, et al. Bacterial endophytes isolated from plants in natural oil seep soils with chronic hydrocarbon contamination. *Frontiers in microbiology*, 2016, vol. 7, p. 755. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00755>
44. LI, Yuqing, et al. Basic Biology of Oral Microbes. En *Atlas of Oral Microbiology: From Healthy Microflora to Disease*. Springer, Singapore, 2020. p. 1-24. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7899-1_1
45. MA, Li, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil-turfgrass systems in urban Shanghai: Contamination profiles, in situ bioconcentration and potential health risks. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 289, p. 125833. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125833>
46. MACHELEIDT, Juliane y col. Regulación y papel de los metabolitos secundarios fúngicos. *Revisión anual de genética*, 2016, vol. 50, pág. 371-392. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120215-035203>
47. MARTÍNEZ, Víctor E., et al. Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra latinoamericana*, 2001, vol. 19, no 1, p. 9-17. Disponible en: ISSN: 2395-8030
48. NIKITHA, T., et al. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Their transport, fate and biodegradation in the environment. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 2017, vol. 6, no 4, p. 1627-1639. Disponible en: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.199>
49. PANDEY, Piyush. Rhizoremediation prospects of Polyaromatic hydrocarbon degrading rhizobacteria, that facilitate glutathione and glutathione-S-transferase mediated stress response, and enhance growth of rice plants in pyrene contaminated soil. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.069>

50. PAWLIK, Małgorzata, et al. Hydrocarbon degradation potential and plant growth-promoting activity of culturable endophytic bacteria of *Lotus corniculatus* and *Oenothera biennis* from a long-term polluted site. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no 24, p. 19640-19652. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9496-1>
51. PENG, Chi; WANG, Meie; CHEN, Weiping. Spatial Analysis of PAHs in Soils along an Urban–Suburban–Rural Gradient: scale effect, distribution patterns, diffusion and influencing factors. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep37185>
52. PII, Youry, et al. Phytotoxicity alleviation by bacterial species isolated from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contaminated sites. *Environmental Technology & Innovation*, 2019, vol. 13, p. 104-112. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.11.001>
53. Pillai, N.G., Harilal, C.C., 2018. Mangroves—a review, *IJRMR* 5 (8), 40354038.
54. QIN, Wei, et al. Biodegradation of benzo (a) pyrene by *Microbacterium* sp. strain under denitrification: degradation pathway and effects of limiting electron acceptors or carbon source. *Biochemical engineering journal*, 2017, vol. 121, p. 131-138. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.02.001>
55. QI, Yi-Bin, et al. Removal capacities of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by a newly isolated strain from oilfield produced water. *International journal of environmental research and public health*, 2017, vol. 14, no 2, p. 215. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph14020215>
56. RAJAN, Sancho, et al. Soil concentrations, compositional profiles, sources and bioavailability of polychlorinated dibenzo dioxins/furans, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in open municipal dumpsites of Chennai city, India. *Waste Management*, 2021, vol. 131, p. 331-340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.015>
57. RENGARAJAN, Thamaraiselvan, et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2016, vol. 5, no 3, p. 182-189. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30003-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30003-4)

58. SANTOYO, Gustavo, et al. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological research*, 2016, vol. 183, p. 92-99. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>
59. SAZYKIN, I. S., et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons, antibiotic resistance genes, toxicity in the exposed to anthropogenic pressure soils of the Southern Russia. *Environmental Research*, 2021, vol. 194, p. 110715. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110715>
60. SUDHAKAR, Magapu Solomon; AGGARWAL, Aakriti; SAH, Mahesh Kumar. Engineering biomaterials for the bioremediation: advances in nanotechnological approaches for heavy metals removal from natural resources. En *Emerging Technologies in Environmental Bioremediation*. Elsevier, 2020. p. 323-339. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819860-5.00014-6>
61. SUN, Kai, et al. Subcellular distribution and biotransformation of phenanthrene in pakchoi after inoculation with endophytic *Pseudomonas* sp. as probed using HRMS coupled with isotope-labeling. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 237, p. 858-867. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.039>
62. SUN, Yuankai, et al. Combination of the endophytic manganese-oxidizing bacterium *Pantoea eucrina* SS01 and biogenic Mn oxides: An efficient and sustainable complex in degradation and detoxification of malachite green. *Chemosphere*, 2021, vol. 280, p. 130785. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130785>
63. SUYAMUD, B., et al. *Dracaena sanderiana* endophytic bacteria interactions: effect of endophyte inoculation on bisphenol A removal. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 157, p. 318-326. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.066>
64. TAKTEK, Salma, et al. Igneous phosphate rock solubilization by biofilm-forming mycorrhizobacteria and hyphobacteria associated with *Rhizoglosum irregulare* DAOM 197198. *Mycorrhiza*, 2017, vol. 27, no 1, p. 13-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0726-z>

65. VARJANI, Sunita J., et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons from petroleum oil industry activities: effect on human health and their biodegradation. En Waste bioremediation. Springer, Singapore, 2018. p. 185-199.
66. VARJANI, Sunita J.; UPASANI, Vivek N. Critical review on biosurfactant analysis, purification and characterization using rhamnolipid as a model biosurfactant. Bioresource technology, 2017, vol. 232, p. 389-397. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.047>
67. VARJANI, Sunita J.; UPASANI, Vivek N. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. International Biodeterioration & Biodegradation, 2017, vol. 120, p. 71-83. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.006>
68. VELAND, Siri, et al. Narrative matters for sustainability: the transformative role of storytelling in realizing 1.5 C futures. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2018, vol. 31, p. 41-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.12.005>
69. VILCHES, Loreno (ed.). La investigación en comunicación: métodos y técnicas en la era digital. Editorial Gedisa, 2020. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=gUMBEAAAQBAJ&lpg=PA13&ots=bkNOZbTNz8&dq=El%20an%C3%A1lisis%20de%20contenidos%20es%20una%20herramienta%20de%20gran%20utilidad%20basada%20en%20el%20an%C3%A1lisis%20y%20la%20interpretaci%C3%B3n%20de%20fuentes%20documentales%20y%20en%20identificar%20los%20c%C3%B3digos%20utilizados%20por%20el%20emisor%20del%20discurso%2C%20su%20contenido%20manifiesto%2C%20el%20contexto%20en%20el%20que%20surge%20y%20s&lr&hl=es&pg=PA13#v=onepage&q&f=false>
70. WAGHUNDE, Rajesh Ramdas, et al. Application of cereal and vegetable endophytes in plant health management. En Microbiomes and Plant Health. Academic Press, 2021. p. 29-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819715-8.00002-1>
71. WANG, Jian, et al. Composite of PAH-degrading endophytic bacteria reduces contamination and health risks caused by PAHs in vegetables. Science of the Total Environment, 2017, vol. 598, p. 471-478. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.126>

72. WU, Chen, et al. Genetically engineered microbial remediation of soils co-contaminated by heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Advances and ecological risk assessment. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 296, p. 113185. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113185>
73. WU, Tao, et al. Diversity and functional characteristics of endophytic bacteria from two grass species growing on an oil-contaminated site in the Yellow River Delta, China. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 767, p. 144340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144340>
74. WU, Tao, et al. Characterization and initial application of endophytic *Bacillus safensis* strain ZY16 for improving phytoremediation of oil-contaminated saline soils. *Frontiers in microbiology*, 2019, vol. 10, p. 991. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00991>
75. WU, Yucheng, et al. Effects of pH and polycyclic aromatic hydrocarbon pollution on thaumarchaeotal community in agricultural soils. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, vol. 16, no 7, p. 1960-1969. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1390-9>
76. WANG, Yaling, et al. Interrelated effects of soils and compounds on persulfate oxidation of petroleum hydrocarbons in soils. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 408, p. 124845. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124845>
77. WAWRA, Anna, et al. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in a mixed contaminated soil supported by phytostabilisation, organic and inorganic soil additives. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 628, p. 1287-1295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.156>
78. WU, Bo; GUO, Shuhai; WANG, Jianing. Assessment of the human health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from areas of crude oil exploitation. *Environmental Research*, 2021, vol. 193, p. 110617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110617>
79. YAN, Jinxia, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water from three estuaries of China: distribution, seasonal variations and ecological

- risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, vol. 109, no 1, p. 471-479. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.025>
80. ZHANG, Guichi, et al. PAH degradation and gene abundance in soils and vegetables inoculated with PAH-degrading endophytic bacteria. *Applied Soil Ecology*, 2021, vol. 168, p. 104193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104193>
81. ZHANG, Pei; CHEN, Yinguang. Polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in surface soil of China: a review. *Science of the total Environment*, 2017, vol. 605, p. 1011-1020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.247>
82. ZHANG, Xinying, et al. Diesel degradation potential of endophytic bacteria isolated from *Scirpus triqueter*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, vol. 87, p. 99-105. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.11.007>
83. ZHAO, Qingqing, et al. Shifts in the soil bacterial community along a salinity gradient in the Yellow River Delta. *Land Degradation & Development*, 2020, vol. 31, no 16, p. 2255-2267. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.3594>
84. ZHENG, Mengyuan, et al. Degradation of Macondo 252 oil by endophytic *Pseudomonas putida*. *Journal of environmental chemical engineering*, 2018, vol. 6, no 1, p. 643-648. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.071>
85. ZHOU, Xuedong; LI, Yuqing (ed.). *Atlas of oral microbiology: From healthy microflora to disease*. Springer Nature, 2021. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=oq0SEAAAQBAJ&lpg=PR6&ots=dkHblqOlgJ&dq=%20Basic%20Biology%20of%20Oral%20Microbes.%20Atlas%20of%20Oral%20Microbiology%3A%20From%20Healthy%20Microflora%20to%20Oral%20Microbiology%3A%20From%20Healthy%20Microflora%20to&lr&hl=es&pg=PR6#v=onepage&q=Basic%20Biology%20of%20Oral%20Microbes.%20Atlas%20of%20Oral%20Microbiology:%20From%20Healthy%20Microflora%20to&f=false>

ANEXOS

ANEXOS N° 1:

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
--	---------------------------------------

TÍTULO:

DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION
TIPO DE INVESTIGACION:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES :		
BACTERIAS ENDOFÍTICAS		
CARACTERÍSTICAS		
CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN		
RESULTADOS :		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS		

Elaboración propia



Declaratoria de Originalidad de los Autores

Yo (Nosotros), Lopez Cordova Janet, Mamani Mamani Milagros Candy estudiante(s) de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: **Tratamiento con Inoculación de Bacterias Endofíticas para Degradar los Hidrocarburos Aromáticos del Suelo: Revisión Sistemática.**, es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que el Tesis:

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

En tal sentido asumo (asumimos) la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima 9 de noviembre de 2021

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
Lopez Cordova Janet DNI: 47145347 ORCID: 000 0002 4761 198X	
Mamani Mamani Milagros Candy DNI: 46845411 ORCID: 0000 0002 1158 0325	