



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evaluación del Microorganismo Degradador de Hidrocarburos en
Suelos Contaminados en Jabonillal - Talara 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA AMBIENTAL

AUTORES:

Mendoza Otero, Almendra Jordana (ORCID: 0000-0002-5294-2548)

Pazo Fiestas, Sonia Mercedes (ORCID: 000-0003-1827-4133)

ASESOR:

Mg. Herrera Díaz, Marco Antonio (ORCID: 0000-0002-8578-4259)

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Le dedico a Dios, por darme la vida, la fortaleza para continuar mis metas trazadas y así mismo por forjar mi camino, a mis padres por apoyarme sin condición y a mis profesores porque siempre estuvieron orientándome y aconsejándome para ser una buena profesional.

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi inspiración y por darme la fuerza para continuar el proceso de lograr una de mis cosas más deseables.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio todos estos años, gracias a su esfuerzo pude culminar esta etapa y a los demás que me han apoyado en este duro camino.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
2.2. Bases teóricas	7
2.3. Definición de términos.....	19
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Tipo y diseño de investigación	22
3.2. Variables y operacionalización	22
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	23
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.5. Procedimientos	24
IV. RESULTADOS	36
V. DISCUSIÓN	42
VI. CONCLUSIONES.....	43
VII. RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS	45
ANEXOS.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del petróleo	16
Tabla 2. Subclases de destilados de petróleo	18
Tabla 3. Clasificación textura del suelo	19
Tabla 4. Datos geográficos del Distrito de Pariñas	34
Tabla 5. Concentración de hidrocarburos en las muestras de suelo de la Zona de Jabonillal	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de refinación del crudo	17
Figura 2. Estratos del suelo	21
Figura 3. Proceso de intemperie de los hidrocarburos en el ambiente	23
Figura 4. Disposición en el espacio de los agregados constituyentes del suelo ...	26
Figura 5. Mapa geográfico de Jabonillal	33
Figura 6. Mapa de ubicación de área de estudio	35
Figura 7. Materiales utilizados para obtener la muestra	36
Figura 8. Suelo contaminado	37
Figura 9. Barrido del suelo contaminado y recojo de la muestra	38
Figura 10. Rotulación y conservación de la muestra	39
Figura 11. Obtención de la segunda muestra a partir del raspado de la pared	40
Figura 12. Recolección, rotulación y conservación de la segunda muestra	41
Figura 13. Recolección, rotulación y conservación de la tercera muestra	42
Figura 14. Primera visita a la Zona de Jabonillal	44
Figura 15. Fuentes de contaminación de la Zona de Jabonillal	45
Figura 16. Ausencia de población en la Zona de Jabonillal	46
Figura 17. Presencia de la planta del género Rudbeckia	46
Figura 18. Presencia de residuos sólidos en la zona	47
Figura 19. Microorganismos (bacterias) aislados de la muestra de suelo contaminado con hidrocarburos de la Zona de Jabonillal	48
Figura 20. Eficiencia degradadora de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) de <i>Methylobacterium sp.</i>	49

RESUMEN

La Zona de Jabonillal es un área de extracción de hidrocarburos del petróleo, presentando problemas de contaminación ambiental, principalmente en el suelo, pero a la vez representa un hábitat en el que algunos tipos de microorganismos se han adaptado para crecer, usando como sustrato los hidrocarburos totales del petróleo (THP). En ese sentido, la investigación busca evaluar el microorganismo degradador de hidrocarburos en el suelo contaminado de la zona, a través del desarrollo de algunas actividades, como: primero, analizar la situación del suelo a través de la observación; luego, realizar análisis de laboratorio de unas muestras de suelo para determinar los microorganismos degradadores de hidrocarburos; y finalmente, determinar la eficiencia del microorganismo degradador de hidrocarburos más abundante en el suelo. Por lo tanto, se evidenció que el suelo de la zona está contaminado con hidrocarburos totales de petróleo; siendo los microorganismos más abundantes *Methylobacterium sp.* en mayor proporción y *Phyllobacterium myrsinacearum* en menor proporción; sin embargo, el primero presentó mayor capacidad de degradación de THP en el suelo llegando a una eficiencia de 85.34% en los 12 primeros días, subiendo un 0.02% a los 14 y 16 días.

Palabras clave: Microorganismos, Suelo e Hidrocarburo de petróleo.

ABSTRACT

The Jabonillal Zone is an area for the extraction of hydrocarbons from petroleum, presenting environmental contamination problems, mainly in the soil, but at the same time it represents a habitat where some types of microorganisms have been adapted to grow, using hydrocarbons as a substrate total hydrocarbons of petroleum (THP). In the same way, the research has like objective to evaluate the hydrocarbon-degrading microorganism in the contaminated soil of the area, through the development of some activities, such as: first, analyzing the soil situation through observation; then, perform laboratory analysis of soil samples to determine hydrocarbon degrading microorganisms; and finally, to determine the efficiency of the most abundant hydrocarbon degrading microorganism in the soil. Therefore, it was evidenced that the soil in the area is contaminated with total hydrocarbons of petroleum; being the most abundant microorganisms *Methylobacterium sp.* in a higher proportion and *Phyllobacterium myrsinacearum* in a lesser proportion; however, the first one presented the most degradation capacity of THP in the soil, showing an efficiency of 85.34% in the first 12 days, increasing by 0.02% at 14 and 16 days.

Keywords: Microorganisms, Soil and Petroleum Hydrocarbon.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y la modernización de la sociedad han provocado un aumento de la contaminación ambiental en los sistemas biológicos terrestres y marítimos resultantes de los hidrocarburos, siendo uno de los problemas naturales más destacados en la actualidad (Liu et al. 2017), debido a que la actividad antropogénica depende del petróleo para satisfacer sus demandas energéticas que durante la producción, almacenamiento y transporte de hidrocarburos se generan derrames que ocurren como resultado de accidentes de explosión en los campos petrolíferos y fugas de oleoductos (Zhang et al., 2019).

La cantidad de filtración de petróleo crudo natural se estima en 600.000 toneladas métricas por año con un rango de incertidumbre de 200.000 toneladas métricas por año, lo cual ha dado lugar a una necesidad urgente de remediación como un aspecto fundamental para lograr un desarrollo sostenible, por lo tanto, los grandes derrames deben reciclarse o eliminarse en la mayor medida posible (Das y Chandran, 2016). Sin embargo, en algunos casos es difícil recuperar los materiales derramados, lo que hace que permanezcan en el área afectada y presenten riesgos persistentes para el ambiente, principalmente en recursos terrestres (Li et al., 2019).

En este contexto, las consecuencias que se evidencian en el suelo son los cambios en los elementos de la microbiota y la contaminación por la filtración en las aguas subterráneas, asimismo se obstruyen los espacios de los poros reduciendo la aireación del suelo y aumentando la densidad aparente, lo que posteriormente afectaría el crecimiento de las plantas (Klamerus-Iwan et al. 2015). Pues los aceites que son más densos que el agua y pueden restringir la permeabilidad del suelo, pero a pesar de ello, algunas bacterias que degradan los hidrocarburos del petróleo han evolucionado como resultado de las proximidades en forma natural (Rahayu 2019).

En el caso de Perú, hay refinerías de petróleo que producen compuestos derivados de este producto para ser usados en diferentes actividades industriales que contaminan el suelo, corriendo el riesgo de que estos compuestos ingresen al suelo en cantidades no asimilables. Según De La Torre (2019), en la ciudad de Talara, diversas empresas, tanto públicas como privadas, son parte del historial de desastres ambientales, calculando que en 10 años al menos 9743 barriles de petróleo han sido vertidos en todo el territorio del país (mar y tierra), provocando derrames al suelo que deterioran los ecosistemas del lugar.

Por esta razón, una alternativa para restaurar suelos contaminados es la utilización de microorganismos capaces de degradar compuestos tóxicos en un proceso denominado biorremediación, el cual podría ser aplicado en el suelo contaminado de la Zona de Jabonillal, situado en el Distrito de Pariñas de la Provincia de Talara de la Región Piura, que constituye una zona de importante producción de hidrocarburos, siendo relevante determinar los microorganismos presentes en el suelo y conocer sus características y eficiencia en biorremediación de suelos contaminados.

Sobre la base de realidad problemática presentada se planteó el problema general y los problemas específicos de la investigación. El problema general de la investigación fue cómo evaluar el microorganismo degradador de hidrocarburos en suelos contaminados en Jabonillal; planeando las siguientes preguntas específicas:

- PE1: ¿Cuál es la situación del suelo de la Zona de Jabonillal?
- PE2: ¿Cómo identificar el tipo de microorganismo degradador de hidrocarburos mediante el análisis de laboratorio?
- PE3: ¿Cuál es la eficiencia del microorganismo degradador para recuperar suelos contaminados con petróleo?

Por lo tanto, el objetivo general de la investigación fue evaluar el microorganismo degradador de hidrocarburos en suelos contaminados en Jabonillal 2020; teniendo como objetivos específicos los siguientes:

- OE1: Analizar la situación del suelo de la Zona Jabonilla.
- OE2: Realizar análisis de laboratorio para determinar los microorganismos degradadores de hidrocarburos.
- OE3: Determinar la eficiencia del microorganismo degradador de hidrocarburos más abundante en el suelo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En el territorio peruano existen refinerías de petróleo que producen y transportan compuestos derivados para su utilizan en diversas actividades económicas que contaminan el suelo, pues a pesar del cuidado en el manejo y almacenamiento de este producto, puede existir riesgo de presencia en el suelo hasta en niveles superiores al 5%, el cual es el límite máximo permisible establecido por el Ministerio de Energía y Minas (Pacheco, 2017). Para la preparación de esta indagación se tomaron en cuenta precedentes internacionales y nacionales que nos permitirán tener un amplio conocimiento del tema.

A nivel internacional, Rahayu (2019) en su investigación titulada “Aislamiento e identificación de bacterias de degradación de hidrocarburos y bacterias solubilizadoras de fosfato en suelos contaminados con petróleo en Bojonegoro, en Indonesia”, tuvo como objetivo aislar e identificar bacterias degradantes de hidrocarburos y bacterias solubilizadoras de fosfato, para ello se empleó una metodología experimental para para encontrar cada uno de los dos tipos de bacterias degradantes. Los resultados obtuvieron cuatro especies de bacterias como *Pseudomonas pseudomallei*, *Pseudomonas fluorescens-25*, *Flavobacterium odoratum* y *Enterococcus sp.*

Lima et al. (2019) realizó un trabajo titulado “aislamiento y caracterización de bacterias degradantes de hidrocarburos de agua subterránea contaminada con fugas en gasolineras en el sur de la Amazonía, Brasil”, donde tuvo como objetivo evaluar la capacidad de las bacterias para producir biosurfactantes. Así se aislaron veintitrés cepas que degradan diésel, hexadecano, benceno, tolueno y xileno, de las cuales dos cepas pertenecían al género *Bacillus* (L26 y L30). Los resultados mostraron que la cepa L30 era la más eficaz para degradar n-alcano de diesel

después de 7 días de cultivo en medio mineral. Se concluye que estas bacterias podrían tener aplicaciones prometedoras en la biorremediación de hidrocarburos.

Tian et al., (2019) en su investigación titulada “Características de aislamiento, cribado y degradación del petróleo crudo de las bacterias que degradan los hidrocarburos para el tratamiento de aguas residuales aceitosas” tuvo como objetivo aislar bacterias degradantes de hidrocarburos en sedimentos contaminados por petróleo de larga data. Los resultados evidenciaron seis bacterias como *Pseudomonas sp.* y *Bacilo sp.*, los cuáles en conjunto degradaban el 80,64% del petróleo crudo y el 76,30% de los alcanos del petróleo crudo, mostrando un buen efecto de biodegradación, por lo que, en conclusión, se pueden aplicar para el tratamiento de ambientes contaminados con petróleo.

Figuroa (2017) en su investigación titulada “Evaluación de la capacidad degradadora de hidrocarburos (HC) de petróleo de hongos y bacterias aislados del borde costero de la región del Bio-Bio” nos plantea como objetivo identificar microorganismos de suelos manchados por hidrocarburos y evalúan su capacidad biorremediador por debajo de las condiciones de las instalaciones de investigación. Para lo cual la metodología fue descriptiva y experimental, donde se recogieron pruebas de suelo manchado de tres lugares contiguos a la unidad de petróleo, llegando alrededor de 11 cepas confinadas y 1 organismo, de los cuales 5 se

Por otro lado, a nivel nacional Quispe (2020) en su investigación titulada “Determinación de los tiempos de la biodegradación del hidrocarburo a diferentes concentraciones en biorreactores de polietileno con un inóculo de bacterias nativas de suelo contaminados con hidrocarburos” tuvo como objetivo establecer los tiempos de biodegradación de Diesel B5 a concentraciones distintivas. La estrategia se basó en cuatro pruebas: T1 (control) con 10% DB5 sin inóculo, T2 con 10% DB5 con inóculo, T3 con 20% DB5 con inóculo y T4 con 30% DB5 con inóculo. Se logró un 47,92% de biodegradación en T2 en 21 días de tratamiento, 50,83% de

biodegradación en T3 en 28 días de tratamiento y 43,04% de biodegradación en T4 en 36 días de tratamiento.

Chang (2020) en su tesis titulada “Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por *Pseudomonas spp.* en biorreactores” tuvo como objetivo objeto de evaluar el impacto de la aplicación de *Pseudomonas spp.* con dosis totalmente diferentes, para ello se aisló cepas presentes la muestra de suelo, el cual tiene textura, franco arcillo arenoso, pH 6 y humedad del 25%. Los resultados muestran que las colonias estaban disminuyendo a medida que avanzaba el tiempo, de esta manera se concluye que, cuanto menor es la biodisponibilidad de la adición de hidrocarburos de petróleo, menor es la proximidad de las unidades formadoras de colonias de *Pseudomonas spp.*

Castillo et al. (2020) en su investigación titulada “Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui, Amazonas” tuvo como objetivo aislar e identificar cepas bacterianas con potencial biorremediador en medios de cultivo suplementados con petróleo. Los resultados detectaron a los filos Proteobacteria y Bacteroidetes como predominantes en agua y suelo contaminados con hidrocarburos. De esta manera, se determinaron los principales grupos implicados en la degradación de hidrocarburos haciendo uso de técnicas dependientes e independientes de cultivo.

Muñoz-Silva et al. (2019) en su estudio titulado “Microorganismos tolerantes a metales pesados de tierras baldías de relaves de minas Santa Rosa, Jangas” tuvo como objetivo estudiar el grado de tolerancia a metales pesados de hongos y bacterias aisladas de suelos con y sin rizosfera. En los resultados se aislaron 23 cepas de hongos y 18 de bacterias, donde los hongos con mejores índices de tolerancia fueron *Fusarium temperatura*, *F. oxysporum*, *F. inflexum* y *Penicillium vanluykii*. Mientras que con respecto las cepas bacterianas fueron Bacillus

licheniformis, *B. subtilis*, *B. cereus* y *Serratia sp.* Se concluye que los hongos tienen mejores índices de tolerancia que las cepas bacterianas.

Michilot (2019) en su investigación titulada “Análisis y medidas de mitigación de los impactos ambientales sobre la contaminación de suelos por derramamiento de hidrocarburos en el lote VIII”, tuvo como objetivo evaluar la aplicación de agentes surfactantes y estimulantes en 4 tratamientos de bioestimulación variando la concentración de los estimuladores y manteniendo constante los nutrientes. Se concluye que la bacteria con mayor efectividad a la hora de degradar los hidrocarburos propuestos, siendo estos del petróleo del lugar, es la bacteria *A. baumannii*, gracias a su buena metabolización de las cadenas largas de hidrocarburos.

Lustosa et al. (2018) en su estudio titulado “Degradación de hidrocarburos de petróleo por bacterias aisladas de manglares” tuvo como objetivo evaluar el potencial de degradación de bacterias aisladas de sedimentos de manglares en la degradación de hidrocarburos de petróleo. Los resultados revelaron bacterias como *Proteobacterium*, *Pseudomonas* y *Exiguobacterium*, los cuales en un medio salino mineral que contiene 1% de petróleo, crecieron con densidad óptica a 595 nm durante 15 días. En general, es posible la aplicación de estas bacterias en los procesos de biorremediación, debido a sus capacidades metabólicas y adaptativas para crecer en un medio rico en hidrocarburos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Refinamiento de petróleo

El petróleo crudo se compone principalmente de carbono e hidrógeno en la porción 83-87% de C y de 11-14% de H, además contiene muchas impurezas que incluyen fosfátidos, ácidos grasos libres, sustancias gomosas, cuerpos de color, tocoferoles, esteroides, hidrocarburos, cetonas y aldehídos, las cuales se eliminan en el proceso

de refinado, especialmente fosfolípidos, ácidos grasos libres y olores y para mejorar el color del aceite (Hendrikse, Grutters y Schäfer 2016). De esta manera, la refinación descompone el petróleo crudo en sus diversos componentes, que luego se reconfiguran selectivamente en nuevos productos. En la Tabla 1, se aprecia la composición química porcentual del petróleo.

Tabla 1. *Composición química del petróleo*

Componente	Porcentaje (%)
Carbono	84-87 %
Hidrogeno	11-14 %
Azufre	0.06-2 %
Nitrógeno	0.1-2 %
Oxigeno	0,1-2 %

Fuente. Tomado de Arzata (2012)

Para ello se requieren instalaciones industriales complejas y costosas, donde se llevan a cabo procesos termodinámicos como separación, conversión y tratamiento, así dentro de las unidades de destilación, los líquidos y vapores se separan en componentes de petróleo, donde las fracciones pesadas están en la parte inferior y las fracciones ligeras en la parte superior. En seguida, el método de conversión más utilizado es el craqueo, donde se utiliza calor, presión, catalizadores y, a veces, hidrógeno para romper moléculas de hidrocarburos pesados en moléculas más ligeras (Kumar, 2021).

Finalmente, el proceso de tratamiento, principalmente hidrotratamiento, elimina productos químicos indeseables al unirlos con hidrógeno, absorbiéndolos en columnas separadas o añadiendo ácidos para eliminarlos, de esta manera tanto el petróleo crudo entrante como los productos finales salientes se almacenan

refinería, se vaporizan y suben a la parte superior, en cambio los líquidos de peso medio, incluidos el queroseno y los destilados, permanecen en el centro de la torre de destilación, mientras que los líquidos más pesados, llamados gasóleos, se separan más abajo. Dentro de estos, los lubricantes, queroseno y gasolina se usan como combustible para aviones de reacción, así como combustible diésel, aceite de calefacción y materias primas petroquímicas que se necesitan para crear los plásticos (Sánchez, 2018), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. *Subclases de destilados de petróleo*

Subclase	Ejemplos de productos	Rango de ebullición (°C)	Rango de átomos de carbono
LPD	Alcohol de limpieza, nafta para limpieza en seco, bencina, líquido para encendedores, éter de petróleo, combustible coleman, diluyente de pintura	0 - 150	C ₄ - C ₉
MPD	Alcohol blanco, alcoholes minerales, limpiador de brochas, petróleo, diluyente de pintura, desengrasante de metales	125 - 225	C ₈ - C ₁₃
HPD	Queroseno, petróleo, aceite para lámparas, aceite para antorchas, limpiador de cepillos, líquido para encendedor de barbacoas, combustible para aviones, gasoil, combustible diesel, aceite de calefacción	150 - 350	C ₉ - C ₂₀₊

Fuente. Tomado de Hendrikse, Grutters y Schäfer (2016)

2.2.2. Estructura y composición del suelo

Los suelos están referidos a un conjunto de partículas en la capa superior de la corteza terrestre que tiene propiedades distintivas del movimiento básico de la roca

infrayacente, como resultado de intuición entre el clima, los seres vivos, la roca madre y el relieve (Maldonado 2018). De esta manera, el suelo es el elemento crítico de los sistemas de soporte vital porque proporciona varios bienes y servicios de los ecosistemas que tienen efectos sobre el bienestar humano (Neina 2019), pues proporciona nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas de cultivo porque mantiene una comunidad biótica diversa y activa, exhibe una estructura de suelo típica y permite una descomposición sin perturbaciones (Bünemann et al. 2018).

La estructura del suelo describe la forma en que las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan. La arena se compone de pequeños fragmentos de roca y es la más áspera en la textura, mientras que la arcilla se vuelve pegajosa o grasosa cuando está húmeda, y muy dura cuando está seca, en cambio, el limo está entre la arena y la arcilla en textura, siendo el mejor suelo para la mayoría de las plantas. Casi todos los suelos encontrados en la naturaleza contienen alguna proporción de dos o más de los tres tipos de suelo junto con alguna materia orgánica, por lo tanto, estos suelos son arcillosos, pero varían en las proporciones de arcilla, limo, arena y materia orgánica (Yang et al., 2020), tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. *Clasificación textural del suelo*

Tipos de suelo	Textura	Relación arena-limo-arcilla (%)
Livianos	Arenoso	90-5-5
	Arenoso franco	80-15-5
	Franco arenoso	65-25-10
	Franco	40-40-20
Medios	Franco limoso	20-65-15
	Franco arcilloso arenoso	35-35-30
Pesados	Franco arcilloso	35-30-35
	Franco arcillo limoso	10-35-55
	Limoso	10-85-5

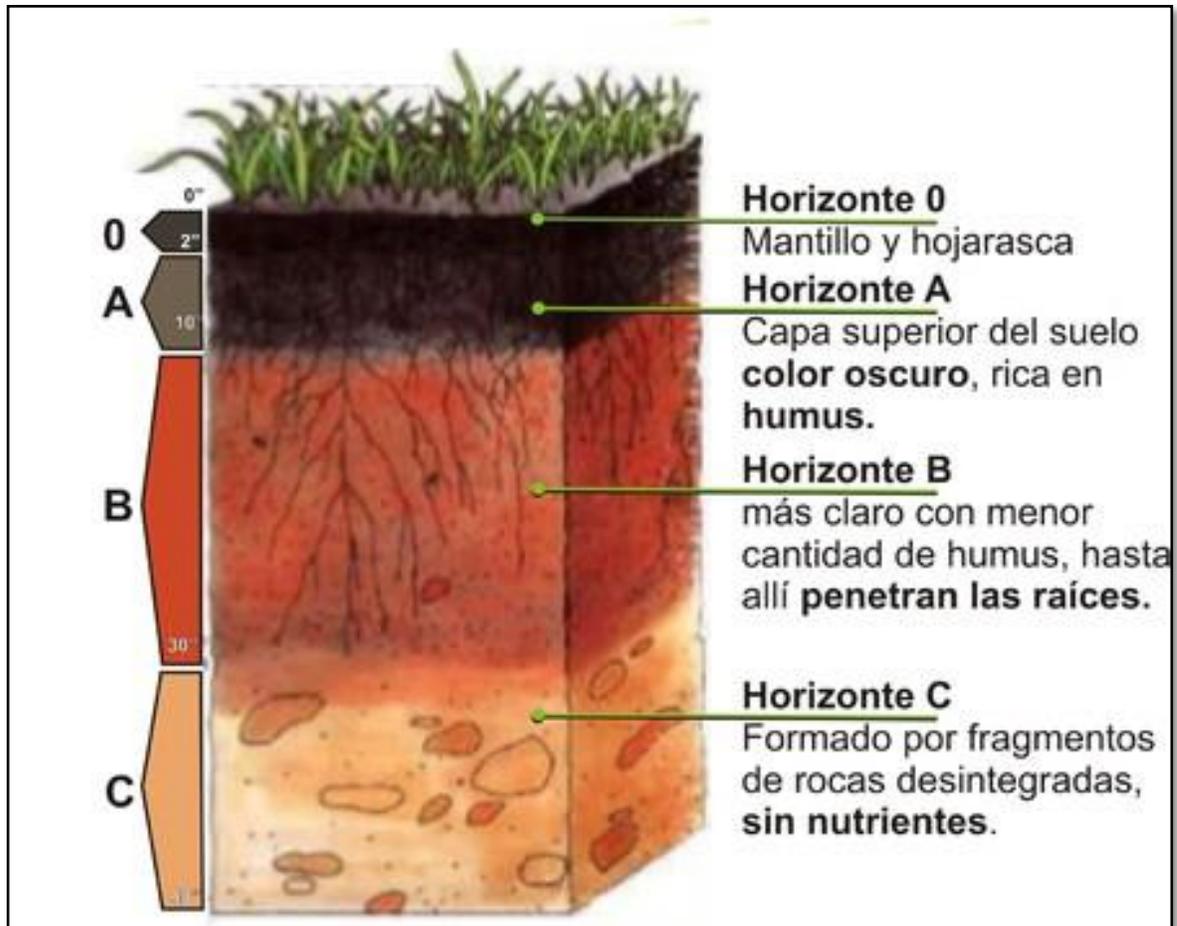
Arcillo arenoso	55-5-40
Arcillo limoso	5-50-45
Arcilloso	10-20-60

Fuente. Tomado de Ciancaglini (2017)

La textura es una propiedad única del suelo que tiene un efecto profundo en el comportamiento de los suelos, como la capacidad de retención de agua, la retención y el suministro de nutrientes, el drenaje y la lixiviación de nutrientes, por ejemplo, los suelos más gruesos generalmente tienen una menor capacidad para retener y retener nutrientes que los suelos más finos. Sin embargo, esta capacidad se reduce a medida que los suelos de textura fina sufren una lixiviación intensa en ambientes húmedos (McClellan 2021).

Además, los suelos están compuestos tanto de materia orgánica como plantas y animales como de materia inorgánica, de esta manera consta de aproximadamente un 45% de minerales, un 5% de materia orgánica, un 20-30% de agua y un 20-30% de aire. Estos porcentajes son, en el mejor de los casos, solo generalizaciones. En realidad, el suelo es muy complejo y dinámico. La composición del suelo puede fluctuar a diario, dependiendo de numerosos factores como el suministro de agua, las prácticas de cultivo y / o el tipo de suelo (Kalev y Toor, 2018). Asimismo, en la Figura 2, se detallan las características de los estratos del suelo.

Figura 2. Estratos del suelo



Fuente. Tomado de Ttito (2019)

La materia orgánica del suelo incluye desde moléculas simples como aminoácidos, azúcares monoméricos, hasta moléculas poliméricas como celulosa, proteína y lignina, las cuales se presentan junto con residuos vegetales y microbianos no descompuestos y parcialmente descompuestos (Baldock, 2007 citado en (Neina 2019). Además, la producción de productos ecológicamente seguros es posible en un complejo edafónico biótico con un contenido óptimo de microorganismos procarióticos, hongos y pequeños animales que debido a su función acumuladora

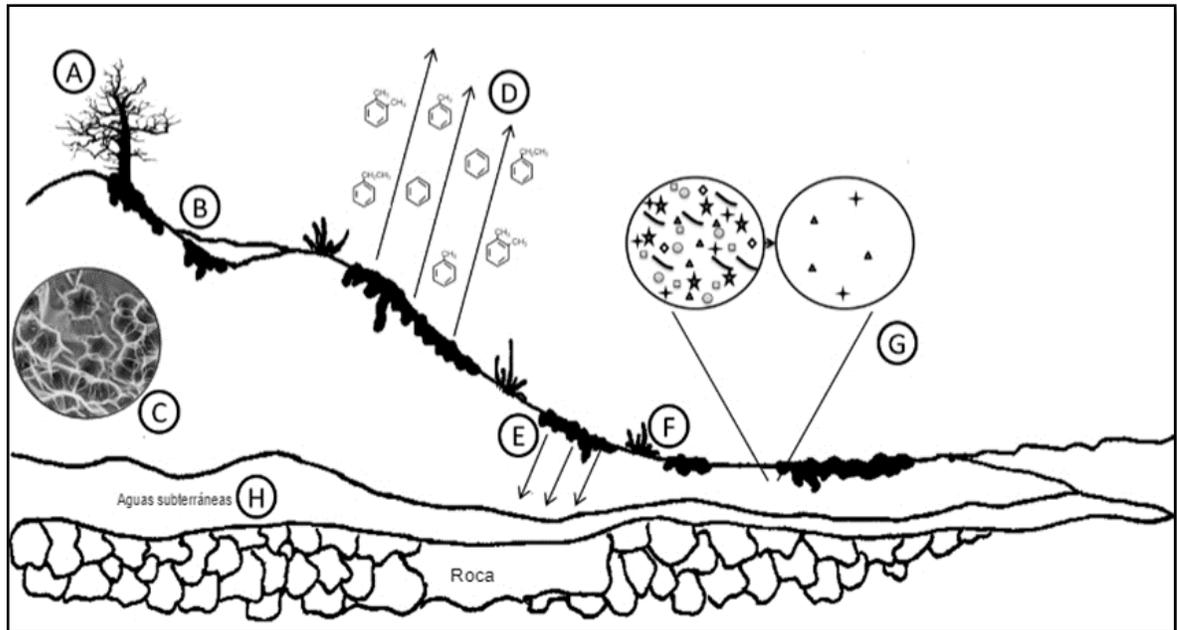
forman conexiones complejas de movimiento lento con sustancias inaccesibles para el consumo de las plantas (Hovalyg y Toropova 2017).

2.2.3. Contaminación del suelo por hidrocarburos

Los compuestos de hidrocarburos del petróleo se pueden dividir en cuatro clases: los saturados, los aromáticos, los asfaltenos como fenoles, ácidos grasos, cetonas, ésteres y porfirinas, asimismo las resinas como piridinas, quinolinas, carbazoles, sulfóxidos y amidas (Pernía et al., 2012 citado en Baca, 2019). Estos se unen a los componentes del suelo y son difíciles de eliminar o degradar, pues se produce el proceso de intemperie que implica influencias físicas de dispersión, fisicoquímicas como evaporación, disolución y sorción, químicas como fotooxidación y autooxidación, asimismo biológicas como catabolismo vegetal y microbiano de los hidrocarburos (Truskewycz et al. 2019).

En la Figura 3, se representa el destino del petróleo y cambios característicos del lugar tras un derrame de petróleo terrestre, a considerar (A) muerte de plantas, (B) zonas anaerobias, (C) alteración de la estructura del suelo, (D) volatilización, (E) percolación de hidrocarburos, (F) zonas aeróbicas, (G) disminución inicial de las poblaciones microbianas y diversidad, (H) aguas subterráneas contaminadas por hidrocarburos. De esta manera, los principales orígenes de aparición de hidrocarburos son fuga de depósitos, vertidos accidentales, enterramiento de residuos que contienen hidrocarburos, lavado de aglutinantes de caminos asfaltados y riegos de caminos de tierra con aceites residuales para evitar el polvo, los cuales causan acumulación en los poros del suelo (Arcila, 2016).

Figura 3. *Proceso de intemperie de los hidrocarburos en el ambiente*



Fuente. Tomado de Truskewycz et al. (2019)

2.2.4. Calidad del suelo

La calidad del suelo vincula los atributos del recurso con las funciones necesarias para el uso que se destina. Por ejemplo, un suelo empleado para cultivos hortícolas generalmente necesitará una alta concentración de nutrientes y un pH neutro o alcalino, por el contrario, un suelo que se utilizará para el cultivo de árboles requerirá un nivel bajo de nutrientes y un pH ácido. Además, como base para edificios, se requieren propiedades físicas muy diferentes en función de la resistencia mecánica del suelo (Powlson 2020). Por otro lado, Blum (2005) citado (Petrescu-Mag, Petrescu y Azadi 2020) define seis tareas que debe cumplir un suelo para ser de calidad, incluida la producción de biomasa, la protección de los seres humanos y el medio ambiente, el reservorio genético, la base física de las actividades humanas,

la fuente de materias primas, a capacidad del suelo para actuar como reserva de carbono y el patrimonio geogénico cultural.

Además, existen muchos marcos para evaluar la calidad del suelo tanto los indicadores que describen el estado actual del sistema agrícola mediante mediciones detalladas sobre el terreno analizando estadísticamente para determinar las propiedades y funciones del suelo más importantes, o profundizando en el estado de amenazas específicas del suelo. Asimismo, los indicadores que se centran en el cambio de la calidad y la productividad de los suelos bajo diferentes sistemas de gestión, mientras que otros indicadores proporcionan información especializada sobre contaminación en suelos (Drobnik et al. 2018). Por otro lado, la calidad del suelo es afectada por cuestiones como la expansión de la densidad aparente, la compactación y pérdida por erosión que son resultados principalmente de la actividad ganadera y la deforestación (Calderón-Medina, Bautista-Mantilla y Rojas-González 2018).

2.2.5. Límites máximos permisibles para hidrocarburos

Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua, estos parámetros son indicadores de contaminación, siendo los límites máximos que se establecen la normativa general para fiscalizar y controlar impactos (ver Anexo N° 2: Límites máximos permisibles de parámetros químicos). Además permiten la regulación de emisiones y descargas de contaminantes, son parámetros que se miden en el foco de emisión en condición de cuerpo emisor de una manera directa y puntual (Torres, 2018).

2.2.6. Estándares de calidad ambiental

Son valores que establecen umbrales de concentración de contaminantes por debajo de los cuales no se produce ningún impacto adverso en el medio y que tiene en cuenta explícitamente la dilución disponible a diferentes lugares de descarga que determina la degradación máxima permitida de los medios ambientales (Medina y

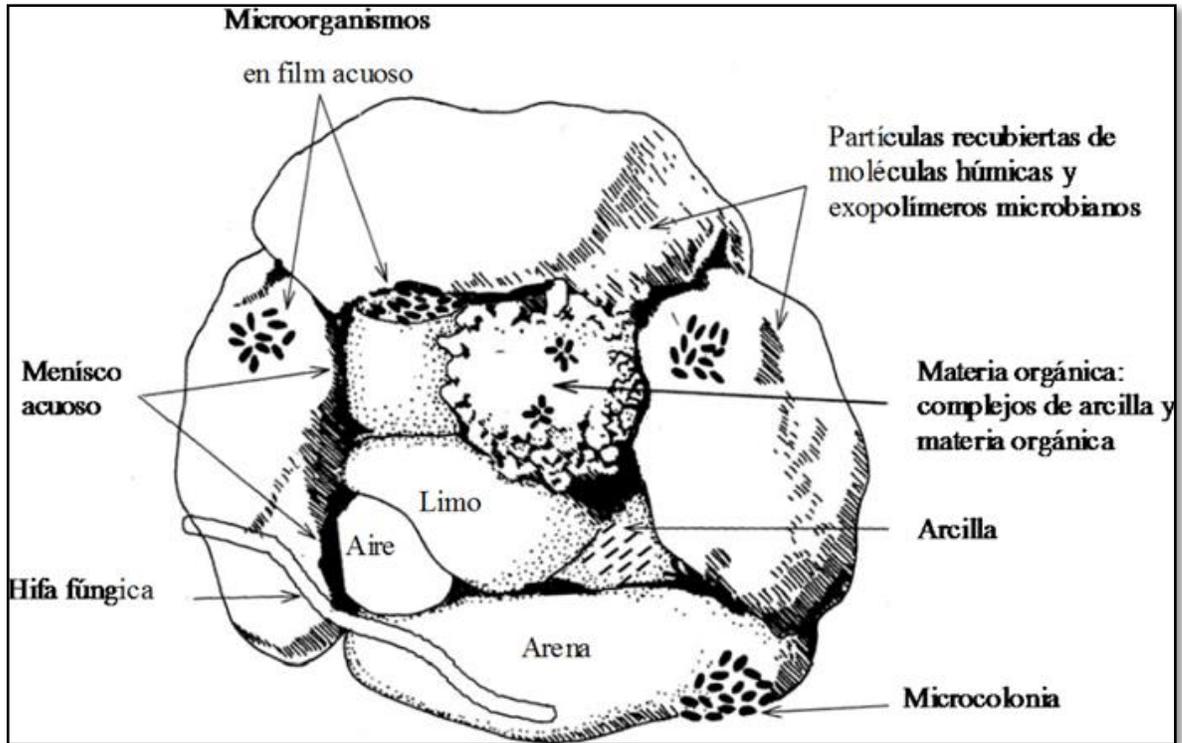
Lazo, 2018). Los objetivos de calidad pueden fundamentarse en varios niveles, por ejemplo, existen niveles deseables a largo plazo, niveles máximos tolerables a corto plazo y niveles de intervención en función de alarma (Inglezakis et al. 2016). Asimismo, se cuenta con diversos estándares de calidad ambiental que se tienen en cuenta en cada país (ver Anexo 3: Estándares de calidad ambiental para suelo).

2.2.7. Degradación microbiana de hidrocarburos de petróleo

Es un proceso complejo mediante el cual se pueden limpiar los contaminantes de hidrocarburos de petróleo del ambiente de manera económica, sin embargo, puede llevar un período de tiempo prolongado debido a que depende del tipo y cantidad de hidrocarburos presentes, donde principalmente las bacterias, levaduras y hongos son los agentes biorremediadores (Horel y Schiewer 2020). En este contexto, el primer microorganismo mencionado es el más activo en la degradación del petróleo y actúan como degradadores primarios del aceite derramado en el medio ambiente, pues varias bacterias se alimentan exclusivamente de hidrocarburos (Louvado et al. 2019).

Aunque las algas y los protozoos son los miembros importantes de la comunidad microbiana en los ecosistemas acuáticos y terrestres, los informes son escasos sobre su participación en la biodegradación de hidrocarburos. Por otro lado, el mecanismo de degradación más rápida y completa de la mayoría de los contaminantes orgánicos se produce en condiciones aeróbicas con mayor eficiencia pero también es posible en anaeróbicas (Baca, 2019). En ambos casos es indispensable la presencia de microorganismos con las capacidades metabólicas, los cuales, en condiciones óptimas de crecimiento y biodegradación de hidrocarburos, teniendo en cuenta los elementos de la Figura 4.

Figura 4. Disposición en el espacio de los agregados constituyentes del suelo



Fuente. Tomado de Lladó (2012)

Estos microorganismos se pueden mantener asegurando concentraciones adecuadas de nutrientes y oxígeno y que el pH esté entre 6 y 9 (Khudur et al. 2019). De esta manera, existen dos enfoques tanto la bioaumentación, en la que se añaden bacterias conocidas que degradan el aceite para complementar la población microbiana existente, como la bioestimulación, en la que el crecimiento de degradadores de hidrocarburos autóctonos es estimulado por la adición de nutrientes u otros cosustratos que limitan el crecimiento (Das y Chandran, 2016).

2.2.8. Factores que influyen en la degradación de los hidrocarburos del petróleo

La composición y biodegradabilidad inherente del contaminante de hidrocarburos de petróleo es el primer factor que más importante consideración cuando se va a evaluar la idoneidad de un enfoque de remediación. Entre los factores físicos, la temperatura juega un papel importante porque afecta directamente la química de los contaminantes, así como la fisiología y diversidad de la flora microbiana, por ejemplo, a bajas temperaturas, la viscosidad del aceite aumenta, mientras que la volatilidad de los hidrocarburos tóxicos de bajo peso molecular se reduce, retrasando el inicio de la biodegradación.

La temperatura también afecta la solubilidad de los hidrocarburos, pues, aunque la biodegradación de los hidrocarburos puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas, la tasa de biodegradación generalmente disminuye con la temperatura decreciente, así las tasas de degradación más altas ocurren generalmente en el rango de 30 - 40°C en ambientes de suelo. Por otro lado, los nutrientes son ingredientes muy importantes para una biodegradación exitosa de los contaminantes de hidrocarburos, especialmente nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, hierro, sin embargo, las concentraciones excesivas de nutrientes también pueden inhibir la actividad de biodegradación.

2.3. Definición de términos

- **Pasivos ambientales:** Son establecimientos o almacenes de desperdicio que se originaron por la falta de un manejo adecuado en las operaciones petroleras y en la actualidad se encuentran inactivas durante un largo período de tiempo causando contaminación (Rangel 2020).
- **Mapas de suelos:** Se refieren a datos referente a la ubicación y origen de diversos suelos en una región, así como del rendimiento agrícola, usos y manejo de la superficie terrestre compilados mediante estudios de campo respaldados

por sensores remotos y otros datos ambientales, opiniones de expertos y análisis de laboratorio (Agricultura 2021).

- **Niveles de referencia:** Los niveles de referencia son la concentración pasable más extrema sin impactos desfavorables sobre los seres vivos en el suelo y toman en consideración puntos de vista como la biodisponibilidad de los hidrocarburos, sus propiedades fisicoquímicas y usos de la superficie terrestre (Lago 2018).
- **Nivel de fondo:** Es la concentración dentro del suelo de sustancias químicas que no fueron producidas por la actividad natural del suelo o fueron creadas por una fuente antropogénica diferente a la acción, por lo tanto, representa una circunstancia perfecta para determinar la contaminación por la presencia de sumas de metales inusualmente altas (Jensen et al. 2017).
- **Muestreo de suelo:** tiene por objetivo examinar la presencia de contaminación del suelo mediante la recopilación de pruebas representativas para establecer si el suelo se encuentra en los niveles óptimos según el estándar de calidad ambiental (MINAM 2018).
- **Potencial de hidrógeno del suelo:** es una medida de la acidez y alcalinidad del suelo, lo que representa la concentración de hidrógeno en la solución terrestre, así esta propiedad química es vital porque influye en la conducta y la evolución de los componentes necesarios en el rendimiento de los cultivos, la liberación de nutrientes del suelo y la actividad microbiana del suelo (Zhang, Wu y Liu 2019).
- **Cianuro total:** se refiere a la suma total de todas las formas químicas inorgánicas de cianuro que se disocian y liberan cianuro libre cuando se someten a reflujos en condiciones fuertemente ácidas, el cual se determina analíticamente mediante destilación de ácido fuerte o radiación UV y exposición a ácido fuerte seguido del análisis del cianuro libre liberado (Gobierno de Columbia Británica 2017).
- **Cianuro Libre:** Forma de cianuro en hidrógeno molecular (HCN) biodisponible por encima de pH 11 o cianuro iónico (CN-) presente a un pH de 7 o menos en

agua. El cianuro difusible se recupera y determina mediante análisis de microdifusión o difusión de gas (Gobierno de Columbia Británica 2017).

- **Arsénico (As):** es un elemento ubicuo cuya forma metálica es brillante, gris plateado y quebradizo que se puede detectar a bajas concentraciones en la naturaleza de diversas formas, aunque raramente en estado sólido, pues su dispersión se produce tanto por fenómenos naturales como erupciones volcánicas y erosión del suelo, como por actividades antropogénicas (Tchounwou et al. 2016).
- **Plomo (Pb):** es un metal gris azulado natural con características densas, blandas y de resistencia a la corrosión, sin embargo, puede fundirse a bajas temperaturas permitiendo un moldeado fácilmente estirable sin perjuicio de fraccionamiento (Monger y Wangdi 2020).
- **Cadmio (Cd):** es un elemento de color blanco con ligero matiz azulado, blando, dúctil, resistente a la corrosión e insoluble tanto en agua como en disolventes orgánicos, así por lo general está presente naturalmente en vegetales, cereales y tubérculos con niveles bajos, sin embargo, la actividad humana ha incrementado considerablemente esos niveles (Cai et al. 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Con respecto a la investigación, se definió que la metodología es cualitativa. Asimismo, el tipo de investigación es exploratorio y descriptivo, teniendo en cuenta el objetivo del estudio. Mientras que el diseño de investigación es no experimental porque busca y recoge información relacionadas con las actividades que se pondrán en práctica.

3.2. Variables y operacionalización

3.2.1. Variable independiente

En la investigación, la variable independiente es el microorganismo degradador, que operacionalmente se define como: un microorganismo degradador de hidrocarburos totales de petróleo (THP) con capacidad para crecer en BMTM conteniendo una mezcla de fenantreno (0,5 g/l), fluoreno, antraceno y dibenzotiofeno (cada uno de ellos a la concentración final de 0,05 g) incubados en placas de microtitulación por 10 días a 25°C en oscuridad.

3.2.2. Variable dependiente

En la investigación, la variable dependiente es el suelo contaminado con hidrocarburos, que operacionalmente se define como: una muestra de suelo de 500 g extraída a 20 cm de profundidad de la superficie del suelo de la Zona de Jabonillal y analizada para determinar la contaminación con hidrocarburos totales de petróleo (THP) por el Método de Ensayo Referencial ASTM D 5134.1998.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

3.3.1. Población

La población está constituida por el suelo de la Zona de Jabonillal, ubicado en el Distrito de Pariñas.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por los suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (THP) de la Zona de Jabonillal, obteniendo tres muestras de 500 g de suelo de hasta una profundidad de 10 cm.

3.3.3. Muestreo

El muestreo se realizó en puntos específicos predeterminados de la Zona de Jabonillal, constituyendo un muestro no probabilístico, obteniendo una muestra conveniente, según las coordenadas S-4.516991 y E-81.209788.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica que se aplicó fue la recolección de datos, mediante observaciones de la zona y toma de muestras para ser analizadas en laboratorio para definir el estado actual del suelo; para lo cual se realizó trabajo de campo y coordinaciones con instituciones involucradas.

3.4.1.1. Trabajo de campo

Consistente en visitas técnicas aplicadas en el lugar objeto de estudio (Jabonillal), esta actividad se llevará a cabo en los meses de enero, febrero y marzo del 2020 en donde se hizo el recorrido de la zona, se registraron las condiciones ambientales, se identificó las fuentes de afectación al ambiente. Vertimiento de hidrocarburos y

problemas de arrojado de residuos sólidos a los alrededores, detectando fuentes causales de contaminación ambiental y factores ambientales afectados.

3.4.1.2. Coordinaciones con instituciones involucradas

Para la realización de la presente investigación se llevaron a cabo coordinaciones con instituciones involucradas en materia ambiental y de saneamiento que pudieron proveer de información de la situación ambiental.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos fue la excavación del suelo contaminado de la Zona de Jabonillal; para lo cual, se utilizó:

- Mapas satelitales
- Fotografías
- Libreta de apuntes
- Kit de toma de muestras.

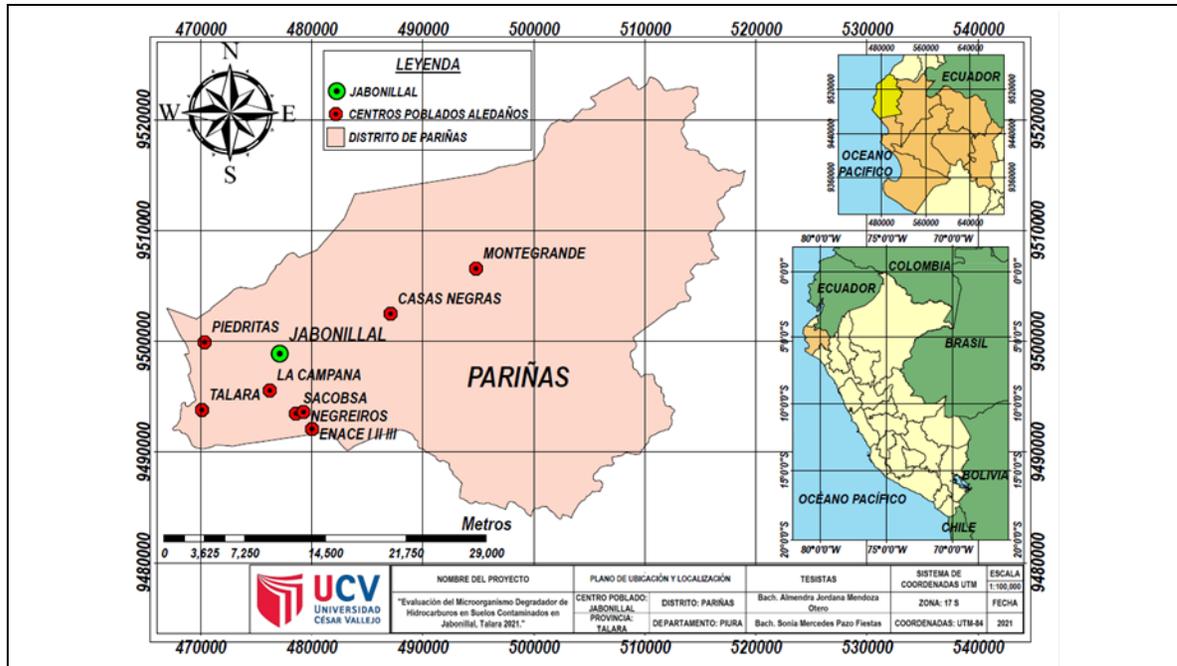
3.5. Procedimientos

3.5.1. Diagnóstico de la situación actual de la Zona de Jabonillal

3.5.1.1. Aspectos generales

Se ubicó geográficamente en un mapa la Zona de Jabonillal, realizando un mapeo satelital, tal como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Mapa geográfico de Jabonillal



Fuente. Elaboración propia

Se tomaron en cuenta las características geográficas y demográficas de la Zona de Jabonillal (ubicada en el Distrito de Pariñas, Provincia de Talara, Región Piura y está localizada a orillas del Océano Pacífico; que cuenta con una población estimada de 124 444 habitantes según el XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades indígenas del 2017), tal como detalla en la Tabla 6.

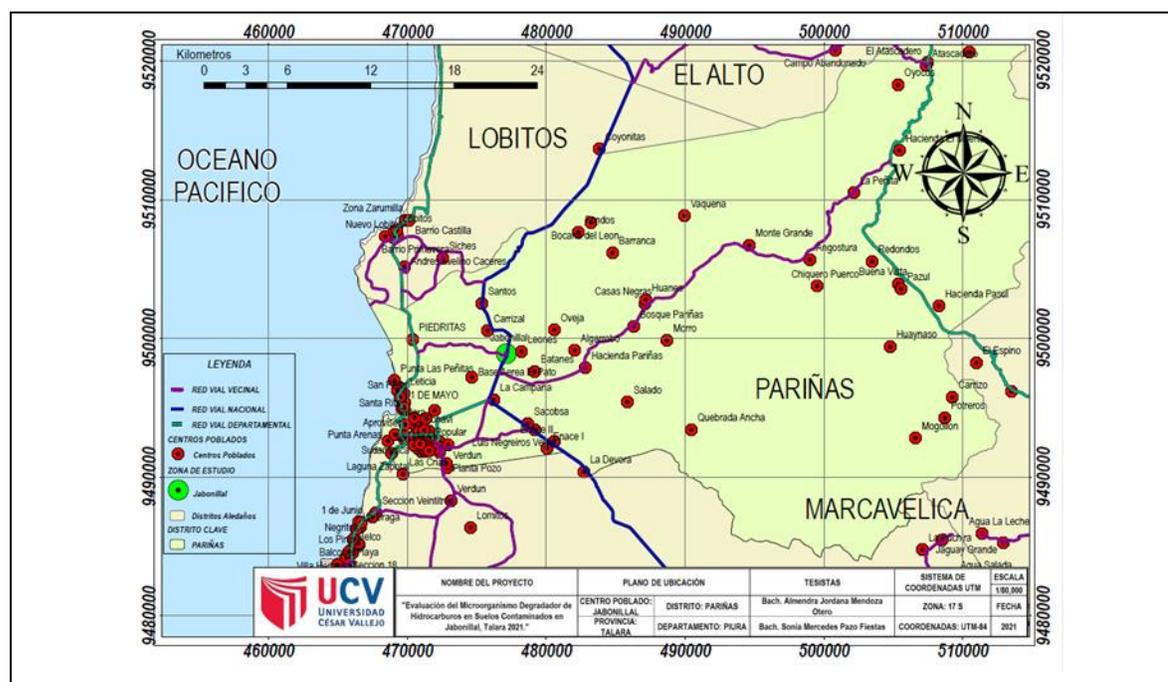
Tabla 4. Datos geográficos del Distrito de Pariñas

Aspecto	Detalle
Distrito	Pariñas
Coordenadas	4°34'52"S 81°16'29"O
Superficie	1116.99 km ²

Altitud	15 m.s.n.m.
Densidad poblacional	88,01 habitantes/km ²
Población censada	124 444 habitantes
Límites	Por el norte: con la Región de Tumbes
	Por el sur: con la Provincia de Paita
	Por el este: con la Provincia de Sullana
	Por el oeste: con el Océano Pacífico

Para desarrollar el proyecto, se realizó la ubicación del área de estudio mostrada en el mapeo correspondiente a la Figura 6.

Figura 6. Mapa de ubicación de área de estudio



Fuente. Elaboración propia

3.5.1.2. Trabajo de campo

Se realizaron visitas a la zona de estudio, con el fin de identificar y conocer a más profundidad la situación de la Zona de Jabonillal; realizándose la primera para buscar alguna área que cuente con las características específicas de un área contaminada por petróleo, y así poder considerarla como parte de estudio.

Se buscó presencia de manchas negras en el suelo en varias zonas y si las fuentes contaminantes eran filtros de aceites esparcidos por todo el lugar; se conversó con colaboradores de mantenimiento de una empresa petrolera cercana; y se identificó la zona de muestreo con posibles fuentes de contaminación.

Se realizó un recorrido por toda el área para determinar si había presencia de población en los alrededores; se buscó presencia de especies de flora o fauna por toda la zona de evaluación; y se buscó presencia de residuos sólidos en los alrededores de la zona

3.5.2. Muestreo de suelos para los análisis de laboratorio

3.5.2.1. Aspectos generales

Se tuvo en cuenta que la Zona de Jabonillal es una zona industrial que cuenta con la presencia de varias empresas petroleras que con su actividad diaria generan diversos impactos al ambiente, como lo es la extracción del crudo, es por ello que se ha tomado una solución alternativa para su conservación y preservación del ambiente.

3.5.2.2. Punto de muestreo

Se ubicó el punto de muestreo teniendo en cuenta las siguientes coordenadas UTM 4°31'2.12"S, 81°12'35.28"O, obteniendo una elevación de 8 m.s.n.m.; se realizó un análisis en este punto para establecer si era un área de considerable contaminación por hidrocarburos, el cual afecta al suelo y a otras formas de vida que se encuentran

en la zona de estudio; y se buscó presencia de cuerpos de agua contaminados por eutrofización a causa de la contaminación de crudo en el área de muestreo.

3.5.2.3. *Obtención de muestra*

Tal como se muestra en la Figura 7, para obtener la muestra del suelo a analizar, se utilizaron los siguientes materiales:

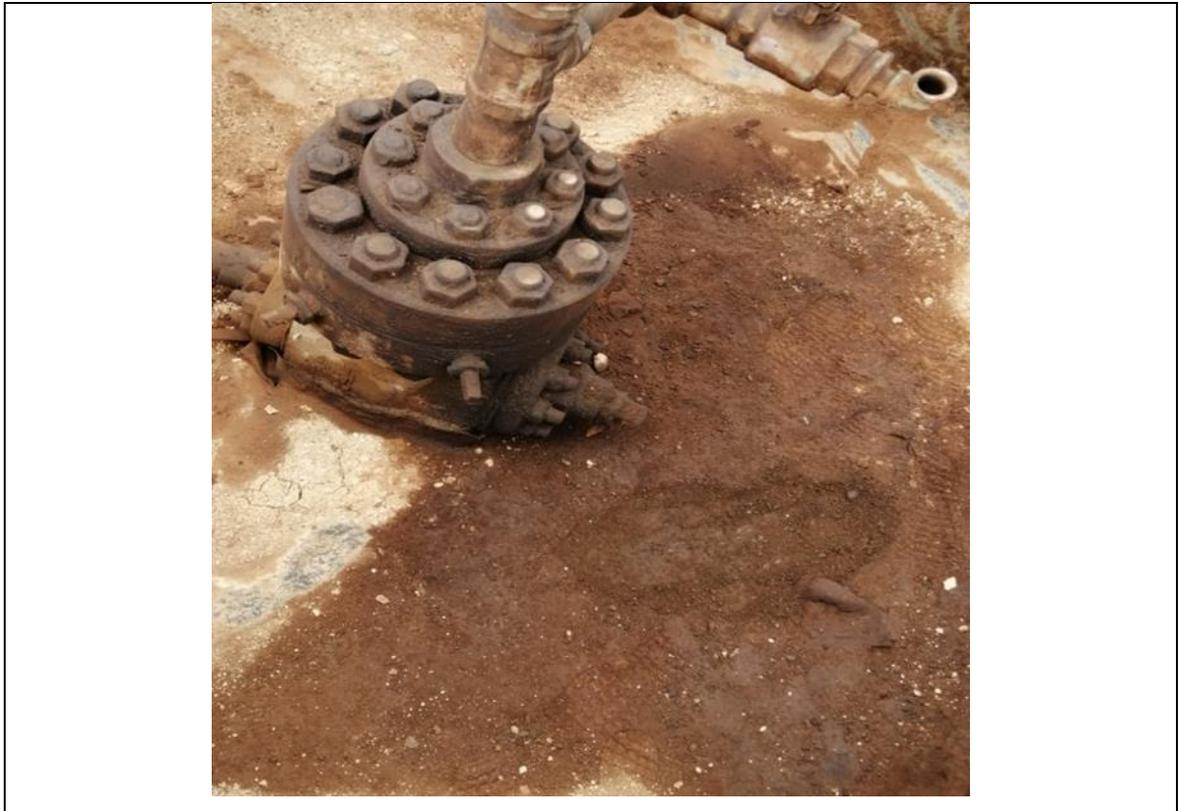
- Badilejo
- Bolsas herméticas
- Cooler
- Guantes
- Casco
- Tapa boca
- Guardapolvo.

Figura 7. *Materiales utilizados para obtener la muestra*



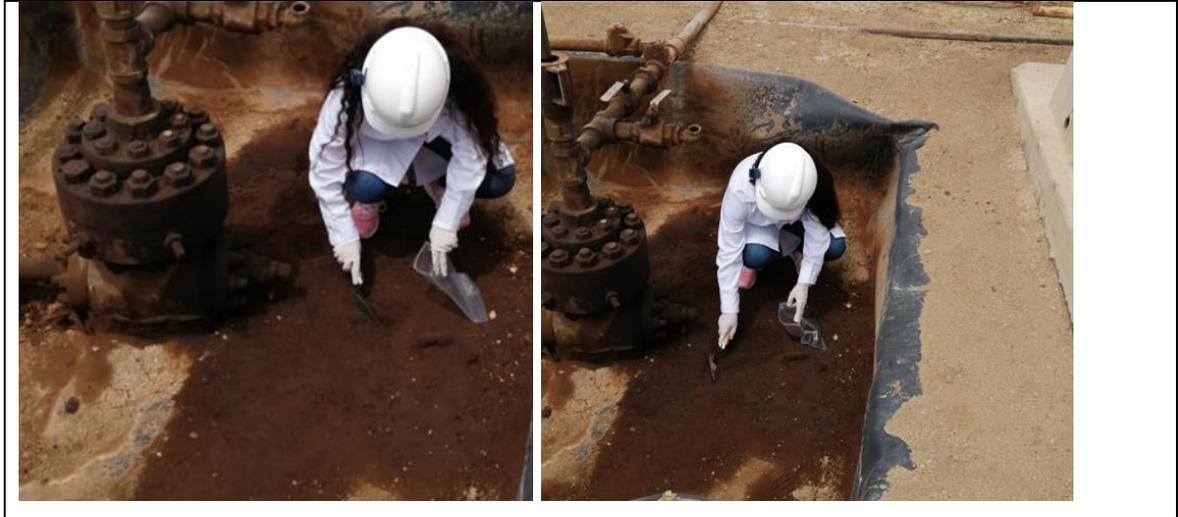
A continuación, se inició la toma de muestra del suelo contaminado, tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. *Suelo contaminado*



Luego, al tener identificada el área de muestreo, se inició con el barrido de suelo contaminado por crudo de petróleo; para lo cual, se utilizó un badilejo (tipo de material) que sirvió extraer la muestra a una profundidad de 10 cm, tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. *Barrido del suelo contaminado y recojo de la muestra*



Después, se depositó la muestra de suelo en una bolsa hermética; y posteriormente, se rotuló y depositó la muestra en un cooler bajo la temperatura de 4°C para conservarla (por refrigeración), de acuerdo a lo mostrado en la Figura 10.

Figura 10. *Rotulación y conservación de la muestra*



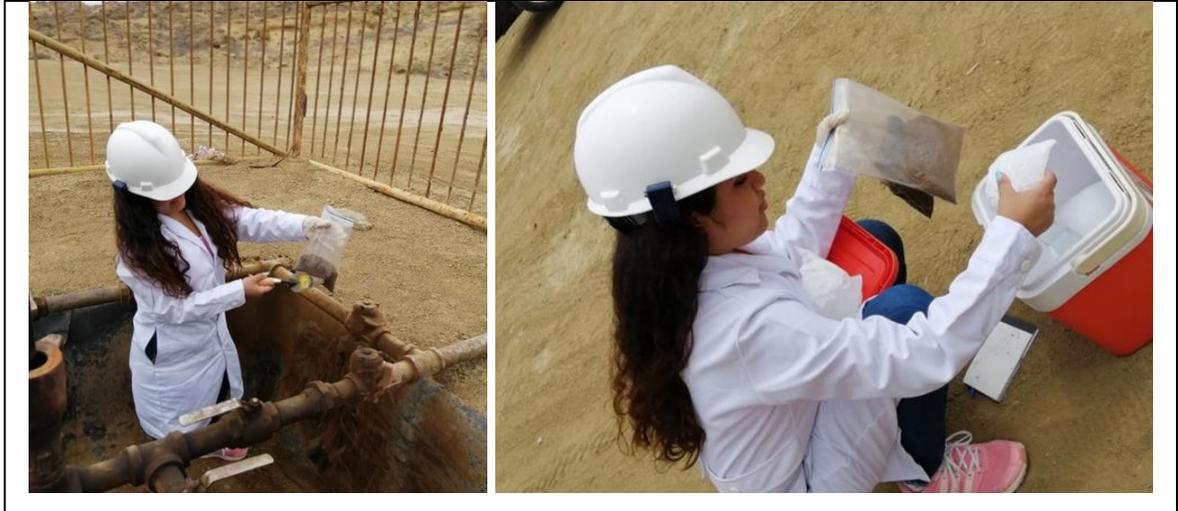
En un segundo momento, se tomó una segunda muestra en las paredes del lugar donde se localizó el muestreo debido a que por la presión a la que llega el crudo tiende a salpicar, iniciando con un raspado a las paredes y en la caída de la pared haciendo el mismo proceso que la muestra anterior, tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. *Obtención de la segunda muestra a partir del raspado de la pared*



Se realizó la recolección, rotulación y conservación de la segunda muestra, de forma similar como se hizo con la primera muestra, tal como se observa en la Figura 12.

Figura 12. *Recolección, rotulación y conservación de la segunda muestra*



En un tercer momento, se tomó una última muestra en el exterior del área contaminada y se hizo el mismo procedimiento de las dos primeras muestras y se recolectaron datos, como se aprecia en la Figura 13.

Figura 13. *Recolección, rotulación y conservación de la tercera muestra*



Finalmente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio para determinar el tipo de microorganismo que degradara este hidrocarburo.

3.5.3. Pruebas de laboratorio: determinación de la biodegradación

Primero, se realizó la cuantificación de la población microbiana biodegradadora de hidrocarburos, a través de la técnica del número más probable (NMP) en placas de microtitulación en medio BMTM enriquecido, durante 10 días a 25°C en oscuridad.

Luego, se determinó los microorganismos biodegradadores, según las condiciones de incubación, realizando la biodegradación en medio BMTM con 5% de crudo de petróleo esterilizado como única fuente de carbono y energía, durante 10 días en agitación a 200 rpm y en oscuridad, utilizándose controles.

Después, se determinó la eficiencia de biodegradación del microorganismo, mediante el proceso de degradación, inoculándose el microorganismo degradador en 200 ml del sustrato sobre 500 g de suelo, incubándolo hasta 16 días en agitación de 120 rpm a temperatura 25°C, después de la cual se paralizó el proceso y se procedió a cuantificar el THP degradado.

Finalmente, se determinó el extracto orgánico total (EOT) residual de hidrocarburos totales de petróleo, según el método ASTM D 5134.1998; luego se determinó la eficiencia de la degradación, comparándola con un control abiótico.

IV. RESULTADOS

Con respecto a la situación de la Zona de Jabonillal, en las visitas realizadas a la con el fin de identificar y conocer a más profundidad la problemática, el día 08 de febrero de 2020, se encontró un área contaminada por petróleo, tal como se observa en la Figura 14.

Figura 14. *Primera visita a la Zona de Jabonillal*



Asimismo, se encontró manchas negras en el suelo en varias zonas, cuyas fuentes contaminantes eran filtros de aceites esparcidos por todo el lugar y producto del mantenimiento de una empresa petrolera cercana, tal como se aprecia en la Figura 15.

Figura 15. *Fuentes de contaminación de la Zona de Jabonillal*



También, se evidenció ausencia de población en los alrededores de la Zona de Jabonillal, tal como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. *Ausencia de población en la Zona de Jabonillal*



De la misma manera, se observó presencia de especies de flora o fauna por toda la zona de evaluación, como se aprecia en la Figura 17.

Figura 17. *Presencia de la planta del género Rudbeckia*



También, se encontró residuos sólidos en los alrededores de la Zona de Jabonillal, tal como se observa en la Figura 18.

Figura 18. *Presencia de residuos sólidos en la zona*



Teniendo en cuenta que la investigación busca evaluar el microorganismo degradador de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en suelos contaminados en la Zona de Jabonillal, se obtuvieron resultados de la zona, los microorganismos degradadores y la eficiencia de degradación.

Con respecto a la elaboración del diagnóstico de la situación actual de Jabonillal, se determinó la concentración de hidrocarburos totales de petróleo en el suelo de Jabonillal, tal como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. *Concentración de hidrocarburos en las muestras de suelo de la Zona de Jabonillal*

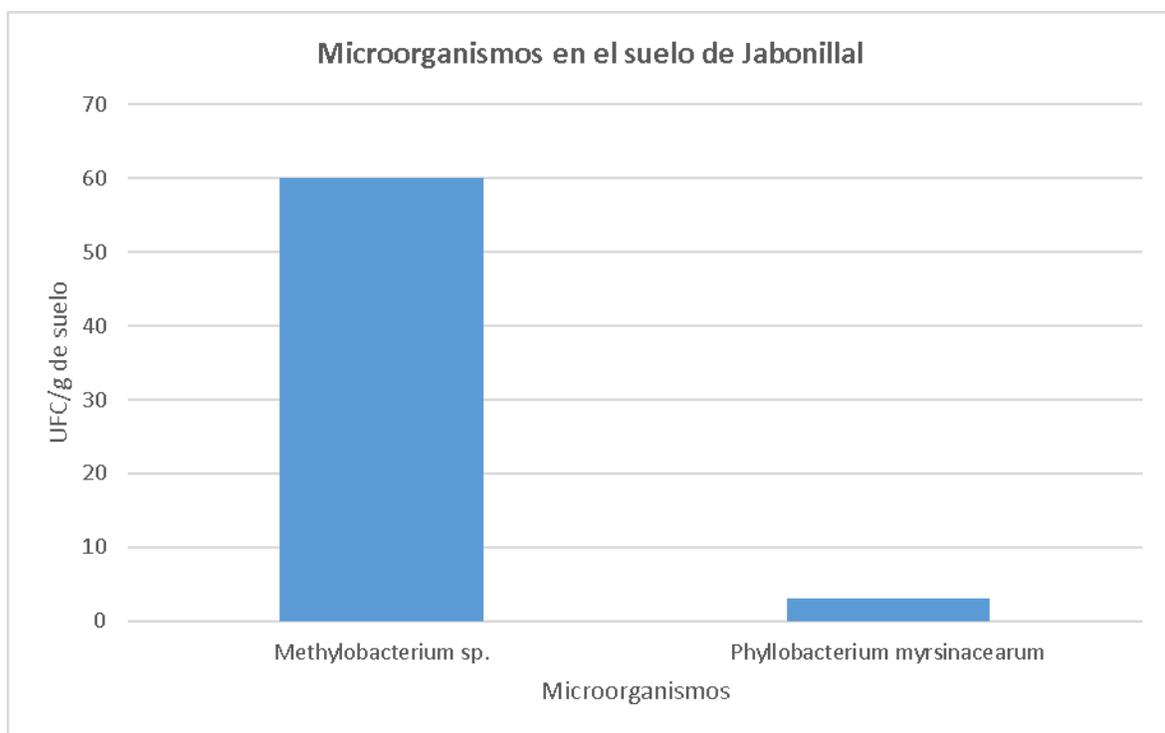
Muestras	Ubicación	Concentración promedio de hidrocarburos en suelo
Muestra 1	UTM 4°31'2.12"S, 81°12'35.28"O	2596 mg/kg de suelo

Muestra 2

Muestra 3

De acuerdo al análisis de laboratorio para determinar los microorganismos degradadores de hidrocarburos, se identificó a los microorganismos (bacterias) aislados de la muestra de suelo contaminado con hidrocarburos de la Zona de Jabonillal, tal como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. *Microorganismos (bacterias) aislados de la muestra de suelo contaminado con hidrocarburos de la Zona de Jabonillal*

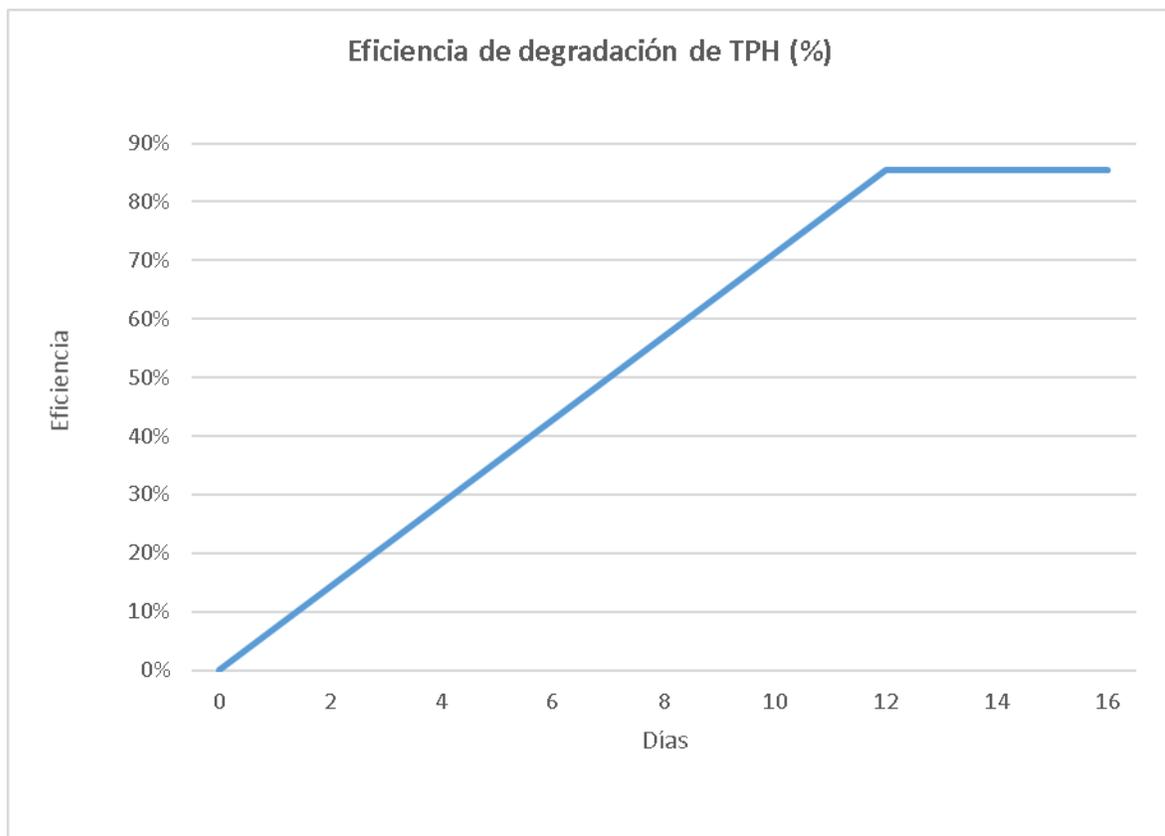


Fuente. UFC (unidades formadoras de colonia)

En el caso de la determinación de la eficiencia de degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) del microorganismo más abundante en el suelo, es decir

de *Methylobacterium sp.*, se calculó la eficiencia de degradación en diferentes días, observándose una alta eficiencia, tal como se detalla en la Figura 20.

Figura 20. Eficiencia degradadora de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) de *Methylobacterium sp.*



Fuente. La concentración inicial de TPH fue de 2596 mg/kg de suelo.

Formula:

$$\text{Eficiencia de la degradación de TPH (\%)} = (\text{TPH total} - \text{TPH residual}) \times 100\% / \text{TPH total}$$

V. DISCUSIÓN

Es evidente que la actividad productiva de la Zona de Jabonillal, la extracción del petróleo, está causando acumulación o contaminación de residuos de petróleo en el suelo, donde interactúa con elementos bióticos y abióticos, entre ellos, los microorganismos; teniendo en cuenta que los derrames impactan significativamente sobre el ambiente (suelo, agua y aire) generando severos daños sobre la naturaleza, la cual se ve alterada.

Teniendo en cuenta el estudio de Figueroa (2017) que sostiene que *Methylobacterium sp.* y *Phyllobacterium myrsinacearum* tienen individualmente la capacidad de degradar parcialmente el petróleo, pero pueden degradar conjuntamente con otros microorganismos totalmente el petróleo; entonces se puede afirmar que la presencia de estas dos bacterias en los suelos de la Zona de Jabonillal se debe a que están formando un consorcio microbiano para degradar el contaminante de esta zona, lo cual implica que su capacidad de adaptación al medio es alta.

Asimismo, en los estudios realizados por Harumain (2012) sobre *Methylobacterium sp.* que aisló de diversas refinerías de petróleo demostró su alta capacidad para degradar el petróleo, tal como se ha demostrado en los resultados de la investigación, donde la eficiencia de degradación de hidrocarburos totales de petróleo fue mayor a 85.34% en 16 días.

Por lo tanto, la probabilidad de encontrar *Methylobacterium sp.* y *Phyllobacterium myrsinacearum* en el suelo de la Zona de Jabonillal es alta; asimismo, la capacidad y eficiencia degradadora de hidrocarburos totales de petróleo debe ser alta debido a su adaptación en el medio donde se encuentra.

VI. CONCLUSIONES

La investigación para evaluar el microorganismo degradador de hidrocarburos en suelos contaminados en Jabonillal 2020 permitió llegar a algunas conclusiones con respecto a la zona, los microorganismos degradadores y la eficiencia de degradación.

El suelo de la Zona de Jabonillal está contaminado con hidrocarburos totales de petróleo por la actividad productiva que se realiza en la zona.

Las bacterias *Methylobacterium* sp. y *Phyllobacterium myrsinacearum* son los microorganismos más abundantes presentes en el suelo de la Zona de Jabonillal, siendo el primero en mayor abundancia que el segundo.

La bacteria *Methylobacterium* sp. tiene una alta capacidad de degradación de hidrocarburos totales de petróleo en el suelo llegando a una eficiencia de 85.34% en los 12 primeros días, subiendo un 0.02% a los 14 y 16 días.

VII. RECOMENDACIONES

Como parte de la investigación, se recomienda realizar ensayos adicionales con *Methylobacterium sp.*, *Phyllobacterium myrsinacearum* y otros microorganismos para comparar su eficiencia degradadora de hidrocarburos totales de petróleo en el tiempo, tanto aisladamente como simbióticamente en grupos.

Asimismo, dentro de los ensayos en laboratorio, se podrían realizar evaluaciones sobre degradación de hidrocarburos totales de petróleo por los microorganismos estudiados, teniendo en cuenta las variables temperatura del medio de cultivo, pH de la muestra de suelo y concentración del contaminante (hidrocarburo) para determinar las condiciones óptimas para una degradación eficiente.

Otra recomendación sería realizar pruebas de campo al inocular los microorganismos aislados e identificados en áreas de suelo contaminado por hidrocarburos totales de petróleo, teniendo presente que las condiciones ambientales (temperatura del ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, etc.) varían en la biorremediación en campo y son diferentes a las condiciones en los ensayos de laboratorio.

También, se recomienda realizar la caracterización de los suelos donde se realizarán pruebas de biorremediación para determinar la eficiencia de los microorganismos degradadores de hidrocarburos, teniendo en cuenta que hay suelos arcillosos, suelos arenosos y suelos mixtos que podrían influir en la disponibilidad del contaminante para el microorganismo degradador de hidrocarburos aplicado.

REFERENCIAS

- Arcila, L. (2016). Análisis comparativo de la eficiencia de productos para la biorremediación de suelos contaminados con diesel (UN 1202) utilizando métodos de bioestimulación y bioaumentación a escala piloto. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/21
- Arzata, S. (2012). *El mundo del petróleo: Origen, usos y escenarios*. S.I.: Fondo de Cultura Económica. ISBN 978-607-16-0367-8
- Baca, K. (2019). *Eficiencia de la bioaumentación y bioestimulación en la biodegradación de petróleo por bacterias nativas, Provincia de Talara, Región Piura* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo].
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14308>
- Barbosa, E. (2016). *Aislamiento, caracterización y aplicación de consorcios bacterianos hidrocarbonoclastas para la degradación de hidrocarburos totales en suelos contaminados* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/13996/>
- Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., De Deyn, G., De Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., Van Groenigen, J. y Brussaard, L. (2018). Soil quality - a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(September 2017), 105-125. DOI 10.1016/j.soilbio.2018.01.030
- Cai, J., Zhang, L., Zhang, Y., Zhang, M., Li, H., Xia, H., Kong, W. y Yu, F. (2020). Remediation of cadmium-contaminated coastal saline-alkaline soil by *Spartina alterniflora* derived biochar. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205(July), 111172. DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.111172
- Calderón-Medina, C., Bautista-Mantilla, G. y Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. DOI 10.22579/20112629.524

- Castillo, R., More, F., Cornejo, M., Fernández, J., Mialhe, E., Castillo, R., More, F., Cornejo, M., Fernández, J. y Mialhe, E. (2020). Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui - Amazonas - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 215-225. DOI 10.18271/ria.2020.656
- CHANG, I. (2020). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por Pseudomonas spp. en biorreactores* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1818>
- Ciancaglini, N. (2017). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. Prosap.
- Das, N. y Chandran, P. (2010). Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: An Overview. *Biotechnology Research International*, 2016, e941810. DOI 10.4061/2011/941810
- De La Torre (6 de noviembre de 2019). *Perú: los derrames de petróleo crónicos e incalculables de la Costa Norte*. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2019/11/peru-derrames-de-petroleo-en-el-mar/>
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A. y Grêt-Regamey, A. (2018). Soil quality indicators - from soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators*, 94(June), 151-169. DOI 10.1016/j.ecolind.2018.06.052
- Figueroa, C. (2017). Evaluación de la capacidad degradadora de hidrocarburos (HC) de petróleo de hongos y bacterias aislados del borde costero de la Región del Bío-Bío para la aplicación en suelos contaminados [Tesis de maestría, Universidad del Bío-Bío]. <http://repopib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2496>
- Girsowicz, R., Koryachenko, O., Sherman, C., Mayzlish-Gati, E., Doniger, T. y Steinberger, Y. (2018). Impact of oil-spill contamination on a soil bacterial community: a 40-year history of rehabilitation in the Arava Valley. *Soil and*

- Sediment Contamination: An International Journal*, 27(3), 175-185. DOI 10.1080/15320383.2018.1443427
- Gobierno de Columbia Británica (2017). Analysis of cyanide (total, weak acid dissociable, and free) - PBM. *Inorganics (DRAFT)*, 2017.
- Harumain, Z. (2012). *Biodegradation of petroleum sludge by Methylobacterium sp.* [Tesis doctoral, Universiti Putra Malaysia]. <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/31580/1/FBSB%202012%204R.pdf>
- Hendrikse, J., Grutters, M. y Schäfer, F. (2016). Chapter 3 - General Production Processes of Ignitable Liquid Products. En J. Hendrikse, M. Grutters y F. Schäfer (Eds.), *Identifying Ignitable Liquids in Fire Debris* Academic Press (pp. 7-16). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128043165000034>
- Horel, A. y Schiewer, S. (2020). Microbial Degradation of Different Hydrocarbon Fuels with Mycoremediation of Volatiles. *Microorganisms*, 8(2). 163. DOI 10.3390/microorganisms8020163
- Hovalyg, N. y Toropova, E. (2017). Nuclide structure and their content in fruits of Hippophae rhamnoides L. *European journal of natural history*, 105-114. DOI 10.1007/978-3-319-92606-3_8.
- Inglezakis, V., Pouloupoulos, S., Arkhangelsky, E., Zorpas, A. y Menegaki, A. (2016). Chapter 3 - Aquatic Environment. En S. Pouloupoulos y V. Inglezakis (Eds.), *Environment and Development* (pp. 137-212). Amsterdam: Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444627339000034>
- Jensen, J., Schjøning, P., Watts, C., Christensen, B. y Munkholm, L. (2017). Soil texture analysis revisited: Removal of organic matter matters more than ever. *PLOS ONE*, 12(5), 1-10. DOI 10.1371/journal.pone.0178039
- Kalev, S. y Toor, G. (2018). Chapter 3.9 - The composition of soils and sediments. En B. Török y T. Dransfield (Eds.), *Green Chemistry* (pp. 339-357). Elsevier. ISBN 978-0-12-809270-5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128092705000145>

- Khudur, L., Shahsavari, E., Webster, G., Nuggeoda, D. y Ball, A. (2019). The impact of lead co-contamination on ecotoxicity and the bacterial community during the bioremediation of total petroleum hydrocarbon-contaminated soils. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 253, 939-948. DOI 10.1016/j.envpol.2019.07.107
- Klamerus-Iwan, A., Błońska, E., Lasota, J., Kalandyk, A. y Waligórski, P. (2015). Influence of oil contamination on physical and biological properties of forest soil after chainsaw use. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(11), 389. DOI 10.1007/s11270-015-2649-2
- Kumar, V. (2021). Chapter 14 - Phytoremediation of distillery effluent: current progress, challenges, and future opportunities. En G. Saxena, V. Kumar y M. Shah (Eds.), *Bioremediation for Environmental Sustainability* (pp. 349-374). Elsevier. ISBN 978-0-12-820524-2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128205242000146>
- Lago, M. (2018). *Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados* [Tesis doctoral, Universidad de Vigo]. <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/1123>
- Li, X., Li, H. y Qu, C. (2019). A review of the mechanism of microbial degradation of petroleum pollution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 484, 012060. DOI 10.1088/1757-899X/484/1/012060
- Lima, S., Oliveira, A., Golin, R., Lopes, V., Caixeta, D. Lima, Z. y Morais, E. (2019). Isolation and characterization of hydrocarbon-degrading bacteria from gas station leaking-contaminated groundwater in the Southern Amazon, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 80, 354-361. DOI 10.1590/1519-6984.208611
- Liu, Q., Tang, J., Gao, K., Gurav, R. y Giesy, J. (2017). Aerobic degradation of crude oil by microorganisms in soils from four geographic regions of China. *Scientific Reports*, 7(1), pp. 14856. DOI 10.1038/s41598-017-14032-5
- Lladó, S. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos pesados y caracterización de comunidades microbianas implicadas* [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona]. <http://www.tdx.cat/handle/10803/98247>.

- Loayza, P. (2016). *Tratamiento químico del petróleo crudo que se transporta a través del Oleoducto Norperuano* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5240>
- Louvado, A., Coelho, F., Oliveira, V., Gomes, H., Cleary, D., Simões, M., Cunha, A. y Gomes, N. (2019). Microcosm evaluation of the impact of oil contamination and chemical dispersant addition on bacterial communities and sediment remediation of an estuarine port environment. *Journal of Applied Microbiology*, 127(1), 134-149. DOI 10.1111/jam.14261
- Lustosa, M., López, J., Santos, K., Padilha, F., Hernández-Macedo, M. y Cabrera-Padilla, R. (2018). Petroleum hydrocarbon degradation by isolated mangrove bacteria. *Revista Peruana de Biología*, 25(4), 453-456. DOI 10.15381/rpb.v25i4.15537
- Maldonado, R. (2018). Contaminación de aguas subterráneas por efluentes generados en el campus universitario de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de la Ciudad de Juliaca en el año 2018. *Revista Científica Investigación Andina*, 19(2), 1-20. DOI 10.35306/rev.%20cien.%20univ..v19i2.794
- Mcclellan, T. (2021). Soil Texture and Soil Structure. *Universidad de Hawai'i*. https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a_factor_ts.aspx
- Medina, R. y Lazo, R. (2018). Metodología para determinar la calidad de agua del río Rímac para uso en amasado y curado de concreto. *Ingeniería Industrial*, 36, 123-135. DOI 10.26439/ing.ind2018.n036.2451
- Michilot, C. (2019). Análisis y medidas de mitigación de los impactos ambientales sobre la contaminación de suelos por el derramamiento de hidrocarburos en el lote VIII [Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2719>
- Ministerio del Ambiente (2018). Identificación y caracterización de suelos. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/CAP%204_%20Identificacion%20Caract_de%20suelos.pdf

- Monger, A. y Wangdi, K. (2020). Lead and mercury exposure and related health problems in metal artisan workplaces and high-risk household contacts in Thimphu, Bhutan. *The Scientific World Journal*, 2020, e9267181. DOI 10.1155/2020/9267181
- Muñoz-Silva, L., Olivera-Gonzales, P., Santillán, M. y Tamariz-Ángeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista Peruana de Biología*, 26(1), 109-118. DOI 10.15381/rpb.v26i1.15912
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(3). 1-9. DOI 10.1155/2019/5794869.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). *Estudio de suelos*. Portal de Suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/en/>
- Pacheco, M. (2017). *Colonias bacterianas presentes en el estiércol de gallina blanca de la cepa Leghorn responsables de la biodegradación de petróleo en suelos contaminados* [Tesis de grado, Universidad Privada Norbert Wiener]. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/564>
- Petrescu-Mag, R., Petrescu, D. y Azadi, H. (2020). A social perspective on soil functions and quality improvement: Romanian farmers' perceptions. *Geoderma*, 380(June), pp. 114573. DOI 10.1016/j.geoderma.2020.114573
- Powlson, D., (2020). Soil health-useful terminology for communication or meaningless concept? Or both? *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 7(3), 246-250. DOI 10.15302/J-FASE-2020326.
- Quispe, J. (2020). *Determinación de los tiempos de la biodegradación del hidrocarburo (Diésel B5) a diferentes concentraciones en biorreactores de polietileno con un inóculo de bacterias nativas de suelo contaminado con hidrocarburos* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11299>
- Rahayu, Y. (2019). Isolation and Identification of Hydrocarbon Degradation Bacteria and Phosphate Solubilizing Bacteria in Oil Contaminated Soil in Bojonegoro,

- East Java, Indonesia. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), pp. 134-147. DOI 10.17509/ijost.v4i1.14923
- Rangel, A. (2020). *Caracterización de sitios contaminados por hidrocarburos en Perú* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/2079>
- Sánchez, M. (2018). Eficiencia energética en refinerías de petróleo. *ENERLAC. Revista de energía de Latinoamérica y el Caribe*, 2(2), pp. 72-105. ISSN 2631-2522. América Latina.
- Singh, S. y Shikha (2019). Treatment and recycling of wastewater from oil refinery/petroleum industry. En R. SINGH y R. SINGH (Eds.), *Advances in biological treatment of industrial waste water and their recycling for a sustainable future* (pp. 303-332). Singapore: Springer, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1468-1_10
- Tchounwou, P., Vedjou, C., Patlolla, A. y Sutton, D. (2016). Heavy metals toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133-164. DOI 10.1007/978-3-7643-8340-4_6.
- Tian, X., Wang, X., Peng, S., Wang, Z., Zhou, R. y Tian, H. (2019). Isolation, screening, and crude oil degradation characteristics of hydrocarbons-degrading bacteria for treatment of oily wastewater. *Water Science and Technology*, 78(12), 2626-2638. DOI 10.2166/wst.2019.025
- Torres, R. (2018). *A propósito del principio de gradualidad: análisis del proceso de adecuación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA - agua) en la actividad de la gran y mediana minería en curso, desde el año 2008 al 2016*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9874>
- Truskewycz, A., Gundry, T., Khudur, I., Kolobaric, A., Taha, M., Aburto-Medina, A., Ball, A. y Shahsavari, E. (2019). Petroleum Hydrocarbon Contamination in Terrestrial Ecosystems-Fate and Microbial Responses. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(18), E3400. DOI 10.3390/molecules24183400.

- Ttito, C. (2019). *Evaluación de las propiedades del suelo por Incorporación de Nutrientes y Materia Organica proveniente de los Residuos Sólidos Orgánicos Agrícolas del mercado Metropolitano - I Etapa Andrés Avelino Cáceres y su efecto en el cultivo del Raphanus sativus (Rabanito) - Majes Pedregal, 2017* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8472>.
- Wei, Y. y Li, G. (2018). Effect of Oil Pollution on Water Characteristics of Loessial Soil. 170, 032154. DOI 10.1088/1755-1315/170/3/032154
- Yang, P., Luo, Y., Gao, Y., Gao, X., Gao, J., Wang, P. y Feng, B. (2020). Soil properties, bacterial and fungal community compositions and the key factors after 5-year continuous monocropping of three minor crops. *PLOS ONE*, 15(8), e0237164. DOI 10.1371/journal.pone.0237164
- Zhang, B., Zhang, L. y Zhang, X. (2019). Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar. *RSC Advances*, 9(60), 35304-35311. DOI 10.1039/C9RA06726D
- Zhang, Y., Wu, W. y Liu, H. (2019). Factors affecting variations of soil pH in different horizons in hilly regions. *PLOS ONE*, 14(6), 1-13. DOI 10.1371/journal.pone.0218563

ANEXOS

Anexo N°1: Matriz de operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: microorganismo degradador.	Microorganismo con capacidad para degradar productos químicos.	Microorganismo degradador de hidrocarburos totales de petróleo (THP) con capacidad para crecer en BMTM conteniendo una mezcla de fenantreno (0,5 g/l), fluoreno, antraceno y dibenzotiofeno (cada uno de ellos a la concentración final de 0,05 g) incubados en placas de microtitulación por 10 días a 25°C en oscuridad.	Crecimiento de microorganismos en medio de cultivo que contienen hidrocarburos.	Presencia de unidades formadoras de colonia (UFC) en medio BMTM enriquecido y que tienen la capacidad para degradar hidrocarburos totales de petróleo (THP).
Variable dependiente: suelo contaminado con hidrocarburos.	Suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo (THP).	Muestra de suelo de 500 g extraída a 20 cm de profundidad de la superficie del suelo de la Zona de Jabonillal y	Suelo procedente de zonas donde extraen hidrocarburos.	Medición de hidrocarburos totales de petróleo (THP) por el Método de Ensayo Referencial

		analizada para determinar la contaminación con hidrocarburos totales de petróleo (THP) por el Método de Ensayo Referencial ASTM D 5134.1998.		ASTM D 5134.1998.
--	--	---	--	----------------------

Anexo N° 2: Límites máximos permisibles de parámetros químicos

Parámetro Regulado	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l) (Concentraciones en Cualquier momento)
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	20
Cloruro	500 (a ríos, lagos y embalses) 2000 (estuarios)
Cromo Hexavalente	0,1
Cromo Total	0,5
Mercurio	0,02
Cadmio	0,1
Arsénico	0,2
Fenoles para efluentes de refinerías FCC	0,5
Sulfuros para efluentes de refinerías FCC	1,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250
Cloro residual	0,2
Nitrógeno amoniacal	40
Coliformes totales (NMP/100 mL)	< 1000
Coliformes Fecales NMP/100 mL)	< 400
Fósforo	2,0
Bario	5,0
pH	6,0 - 9,0
Aceites y grasas	20
Plomo	0,1
Incremento de Temperatura ^a	<3°C

Fuente: D.S. 037-2008-PCM

Anexo 3: Estándares de calidad ambiental para suelo

Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	Usos del Suelo ⁽²⁾			Métodos de ensayo ^{(3) (4)}
	Suelo Agrícola ⁽⁵⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁶⁾	Suelo Comercial ⁽⁷⁾ Industrial/ Extractivo ⁽⁸⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fración de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y ó ISO 17890.2015

Fuente. D.S. 011-2017-MINAM

Anexo 4: Sustrato para el microorganismo biodegradador (BMTM)

SUSTRATO PARA EL MICROORGANISMO BIODEGRADADOR	
Reactivos	Gramos/litro
K_2HPO_4	1.2 g
KH_2PO_4	0.62 g
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	0.05 g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.20 g
NaCl	0.10 g
$FeCl_3$	1.0 mg
$(NH_4)_2SO_4$	0.16 g
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	5 μ g
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	10 μ g
$Na_2MoO_4 \cdot H_2O$	10 μ g
H_3BO_3	10 μ g
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	70 μ g
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	5 μ g
Cofactor	
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	30 μ M
$CeCl_3 \cdot 7H_2O$	30 μ M
Agar bacteriológico	13 g
Metanol	5 ml
pH	7

Anexo N°5: Resultados de los microorganismos encontrados



Universidad Nacional de Piura
CENTRO PRODUCTIVO DE BIENES Y SERVICIOS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME DE ANÁLISIS N°95-CP-D.A.I.Q.-UNP

SOLICITADO POR : ALMENDRA JORDANA MENDOZA OTERO
MUESTRA : SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DE PETRÓLEO
CÓDIGO DE MUESTRA : M1
COORDENADAS : S-4.516991 E-81.209788
PROCEDENCIA : JABONILLAL
CANTIDAD DE MUESTRA : 1 KG
ANÁLISIS SOLICITADOS : DETERMINACION DE MICROORGANISMOS DEGRADADOR
PROYECTO DE TESIS : EVALUACION DEL MICROORGANISMO DEGRADADOR DE
HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS EN JABONILLAL-
TALARA 2020.

FECHA MUESTREO : 10 DE FEBRERO DEL 2020 HORA: 02:15 PM
FECHA DE RECEPCIÓN : 10 DE FEBRERO DEL 2020
FECHA DE ANÁLISIS : DEL 10 AL 17 DE FEBRERO DEL 2020

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

MICROORGANISMO BACTERIA	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO REFERENCIAL
Methylobacterium sp.	UFC/ml a 35°C	60	ASTM D5730-95a
Phyllobacterium Myrsinacearum	UFC/ml a 35°C	3	ASTM D5730-95a

Muestra Proporcionado por el Cliente



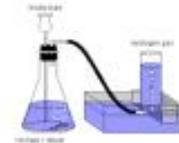
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Hernán Dávila Fernández
Mg. **Hernán Dávila Fernández**
PRESIDENTE
DIRECTORIO CENTRO PRODUCTIVO
DE BIENES Y SERVICIOS D.A.I.Q.

PIURA, 17 DE FEBRERO DEL 2020

Anexo N°6: Resultado de la muestra THP



Universidad Nacional de Piura
CENTRO PRODUCTIVO DE BIENES Y SERVICIOS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME DE ANÁLISIS N°130-CP-D.A.I.Q.-UNP

SOLICITADO POR : ALMENDRA JORDANA MENDOZA OTERO
MUESTRA : SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DE PETRÓLEO
CÓDIGO DE MUESTRA : M1
COORDENADAS : S-4.516991 E-81.209788
PROCEDENCIA : JABONILLAL
CANTIDAD DE MUESTRA : 1 KG
ANÁLISIS SOLICITADOS : DETERMINACION DE TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo)
PROYECTO DE TESIS : EVALUACION DEL MICROORGANISMO DEGRADADOR DE
HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS EN JABONILLAL-
TALARA 2020.
FECHA MUESTREO : 10 DE FEBRERO DEL 2020 HORA: 02:15 PM
FECHA DE ANÁLISIS : DEL 22 DE FEBRERO AL 9 DE MARZO DEL 2020.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO (DIA CERO)	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO REFERENCIAL
TPH	mg/Kg	2596	ASTM D 5134.1998

Muestra Proporcionado por el Cliente antes de la inoculación del microorganismo.

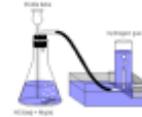
PIURA, 12 DE MARZO DEL 2020



Anexo N°7: Resultado de la muestra a los 12 días



Universidad Nacional de Piura
CENTRO PRODUCTIVO DE BIENES Y SERVICIOS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME DE ANÁLISIS N°140-CP-D.A.I.Q.-UNP

SOLICITADO POR : ALMENDRA JORDANA MENDOZA OTERO
MUESTRA : SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DE PETRÓLEO
CÓDIGO DE MUESTRA : M1
COORDENADAS : S-4,516991 E-81,209788
PROCEDENCIA : JABONILLAL
CANTIDAD DE MUESTRA : 1 KG
ANÁLISIS SOLICITADOS : DETERMINACION DE TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo)
PROYECTO DE TESIS : EVALUACION DEL MICROORGANISMO DEGRADADOR DE
HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS EN JABONILLAL-
TALARA 2020.
FECHA MUESTREO : 10 DE FEBRERO DEL 2020
FECHA DE ANÁLISIS : DEL 22 DE FEBRERO AL 9 DE MARZO DEL 2020.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO (DÍA 12)	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO REFERENCIAL
TPH	mg/Kg	380.6	ASTM D 5134-1998

Muestra Proporcionado por el Cliente después de la degradación del suelo por el microorganismo *Methylobacterium* sp. Por 12 días.



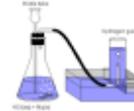
PIURA, 12 DE MARZO DEL 2020

Anexo N°8: Resultado de la muestra a los 14 días



2020

Universidad Nacional de Piura
CENTRO PRODUCTIVO DE BIENES Y SERVICIOS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME DE ANÁLISIS N°145-CP-D.A.I.Q.-UNP

SOLICITADO POR : ALMENDRA JORDANA MENDOZA OTERO
MUESTRA : SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DE PETRÓLEO
CÓDIGO DE MUESTRA : M1
COORDENADAS : S-4,516991 E-81.209788
PROCEDENCIA : JABONILLAL
CANTIDAD DE MUESTRA : 1 KG
ANÁLISIS SOLICITADOS : DETERMINACION DE TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo)
PROYECTO DE TESIS : EVALUACION DEL MICROORGANISMO DEGRADADOR DE
HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS EN JABONILLAL-
TALARA 2020.
FECHA MUESTREO : 10 DE FEBRERO DEL 2020
FECHA DE ANÁLISIS : DEL 22 DE FEBRERO AL 9 DE MARZO DEL 2020.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO (DÍA 14)	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO REFERENCIAL
TPH	mg/Kg	380.1	ASTM D 5134.1998

Muestra Proporcionado por el Cliente después de la degradación del suelo por el microorganismo
Methylobacterium sp. Por 14 días.

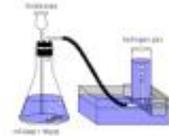
PIURA, 12 DE MARZO DEL 2020



Anexo N°9: Resultado de la muestra a los 16 días



Universidad Nacional de Piura
CENTRO PRODUCTIVO DE BIENES Y SERVICIOS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME DE ANÁLISIS N°150-CP-D.A.I.Q.-UNP

SOLICITADO POR : ALMENDRA JORDANA MENDOZA OTERO
MUESTRA : SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBURO DE PETRÓLEO
CÓDIGO DE MUESTRA : M1
COORDENADAS : S-4.516991 E-81.209788
PROCEDENCIA : JABONILLAL
CANTIDAD DE MUESTRA : 1 KG
ANÁLISIS SOLICITADOS : DETERMINACION DE TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo)
PROYECTO DE TESIS : EVALUACION DEL MICROORGANISMO DEGRADADOR DE
HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS EN JABONILLAL-
TALARA 2020.

FECHA MUESTREO : 10 DE FEBRERO DEL 2020 HORA: 02:15 PM
FECHA DE ANÁLISIS : DEL 22 DE FEBRERO AL 9 DE MARZO DEL 2020.

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO (DÍA 16)	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO REFERENCIAL
TPH	mg/Kg	380	ASTM D 5134.1998

Muestra Proporcionado por el Cliente después de la degradación del suelo por el microorganismo *Methylobacterium* sp. Por 16 días.



PIURA, 12 DE MARZO DEL 2020