



UPN
UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE LA TÉCNICA DE
BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS
MEDIANTE LODOS RESIDUALES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Adriana Giselle Gamarra Yanac de Vega

Asesor:

Mg. Ing. Iselli Josylin Nohely Murga Gonzalez

<https://orcid.org/0000-0002-1711-6144>

Lima - Perú

2022

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Carlos Alberto Alva Huapaya	06672420
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Margeo Javier Chuman Lopez	45997406
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Juan Carlos Flores Cerna	18898536
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi trabajo de investigación a Dios por permitirme contar con salud y darme la sabiduría y fortaleza para culminar satisfactoriamente mi carrera profesional. A mi esposo e hijos por su apoyo incondicional en todas y cada una de las etapas de mi vida, a mis padres, hermanos, familiares y amigos quienes siempre me apoyaron con su presencia y dándome las palabras que necesité en los momentos más álgidos de éste largo pero maravilloso camino, a mi querida universidad por la oportunidad brindada y a mi asesora por todo lo impartido, tiempo y comprensión .

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar especial agradecimiento a mi amado esposo Pavel; tu apoyo ha sido muy importante para mí, tenemos muchos años juntos y me acompañaste a lo largo de toda mi carrera con amor, me motivaste para seguir avanzando en este camino difícil pero que me llena de total satisfacción por lo logrado; te amo.

A mis hijos Rodrigo y Luciana por creer en mí, por su paciencia y tolerancia en permitirme llevar a cabo éste proyecto el cual se inició como una meta personal y ahora se ha convertido en un proyecto familiar basado en un emprendimiento; siéntanse orgullosos de mamá. A mi adorado padre por siempre estar pendiente de mí dándome palabras de aliento para no desistir, a mi madre por sus rezos y abrazos, a mis hermanos, familiares y amigos gracias por su apoyo incondicional para culminar con éxito mi carrera profesional. A mi casa de estudios UPN por darme la oportunidad de concluir mis estudios y en especial a mi asesora Iselli por acompañarme brindándome sus conocimientos y experiencia.

Gracias Dios mío por darme la vida, salud, fuerza, persistencia y sabiduría para alcanzar mis sueños.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	39
CAPÍTULO III: RESULTADOS	59
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	72
REFERENCIAS	79
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ámbito de aplicación de la biorremediación	21
Tabla 2 Principales grupos de hidrocarburos	29
Tabla 3 Principales industrias contaminantes del suelo con hidrocarburo.....	32
Tabla 4 Estándares de calidad ambiental para suelos	35
Tabla 5 Investigaciones seleccionadas según las palabras claves.....	42
Tabla 6 Investigaciones seleccionadas sobre biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.....	46
Tabla 7 Cuadro de Variables y su operacionalización.....	49
Tabla 8 Clasificación según el tipo de documentos de estudio.....	53
Tabla 9 Aplicación de los criterios de selección.....	54
Tabla 10 Selección de estudios analizados en la presente investigación.....	59
Tabla 11 Cuadro comparativo de parámetros de los contaminantes de hidrocarburos y su porcentaje de remoción.....	61
Tabla 12 Presupuesto del proyecto ambiental.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Oxidación de los Alcanos.....	30
Figura 2 Oxidación de los Alquenos	30
Figura 3 Biodegradación de hidrocarburos	33
Figura 4 Procedimiento de análisis de datos.....	52
Figura 5 Distribución según el tipo de documento.....	54
Figura 6 Criterios de selección en las investigaciones de estudio.....	58
Figura 7. Concentración inicial y final de hidrocarburos F3.....	64
Figura 8 Concentración inicial y final de hidrocarburos F2	64
Figura 9 Concentración de hidrocarburos y su porcentaje de remoción.....	65
Figura 10 Comparación de las concentraciones finales de F2 con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.....	65
Figura 11 Comparación de las concentraciones finales de F3 con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelos.....	66
Figura 12 Tiempo de reacción al tratamiento mediante lodos residuales	66
Figura 13 Condición de pH óptimo utilizados para aplicar lodos residuales.....	67
Figura 14 Temperatura utilizada al aplicar lodos residuales.....	67

RESUMEN

La contaminación de suelos por hidrocarburos es generada por actividades antropogénicas como producto del desarrollo y el crecimiento económico, en la presente investigación se analizó la eficiencia del tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales; para ello se seleccionaron 9 autores como muestra de una revisión sistemática mediante palabras claves para posteriormente utilizar los criterios de selección tomando en cuenta los resultados de las concentraciones y los porcentajes de remoción de hidrocarburos en la aplicación de dicho tratamiento.

Los resultados determinan que el autor Gutiérrez (2017) obtuvo el mayor porcentaje de remoción de hidrocarburo del 99% con un valor de pH de 8,5 aplicando una temperatura de 25°C en un tiempo de 105 días para remediar el suelo.

Se puede concluir que el tratamiento mediante lodos residuales resulta ser eficiente de aplicar en suelos contaminados por hidrocarburos de fracción media y pesada. Adicionalmente los autores Gutiérrez y Vergaray determinan que éste tratamiento puede alcanzar una remoción óptima si se utilizan lodos frescos e indican que el adicionar nutrientes, así como una adecuada humectación y oxigenación constante asegurarán un mayor porcentaje de remoción.

PALABRAS CLAVES: Biorremediación, lodos residuales, suelos, contaminación, hidrocarburos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad la contaminación de suelos es un tema de preocupación a nivel mundial. Por tal motivo se viene evaluando tal como lo menciona Oldeman (1991) en el Programa de las Naciones Unidas (PNUMA) que 22 millones de hectáreas se encuentran contaminadas a nivel global. En países desarrollados como China; el Ministerio de Protección Ambiental indica que, el 19% de sus suelos agrícolas se encuentran contaminados, en el caso de Europa se alcanzan los 3 millones de emplazamientos de suelos y sólo en Madrid el 19% de los suelos contaminados provienen de los hidrocarburos (Bayón y Sanz, 2015); así mismo sostiene que Estados Unidos posee 1300 emplazamientos de suelos según (FAO, 2019). Tarazona et al. (2020), sostiene que el petróleo considerado aún como materia prima se ha posicionado en los últimos años como base fundamental del crecimiento económico a nivel mundial ya que se viene utilizando masivamente como generadores de energía; sin embargo, éste crecimiento económico va de la mano con la contaminación de los suelos de manera considerable, como producto de las actividades antrópicas; en particular, de los derrames de petróleo los cuales se suscitan repetitivamente y que provienen en su mayoría de la zona de producción, explotación, exploración y muchas veces por falta de mantenimiento, afectando ya sea de manera indirecta o directa sobre el suelo, agua y aire así como a determinadas especies según (Velásquez, 2017). El suelo contaminado por hidrocarburo es uno de los principales contaminantes en el mundo, ocasionando daños en la salud de las personas, animales y del medio ambiente; las causas pueden ser diversos, cabe indicar que son producto de las actividades antropogénicas como la minería, quema de combustibles, en zonas residenciales, industriales entre otros (Reyes et al., 2016).

El suelo obtiene sustancias nocivas que influyen en su degradación y que se podrían dar a mediano y largo plazo (Reátegui y Reátegui, 2018) provocando una pérdida anual de 5 a 7 millones de hectáreas de suelos de cultivo en todos los continentes (Miren, 2015).

En América latina; como consecuencia de la necesidad de un crecimiento económico y poblacional, la industrialización y la elevación de la productividad han generado impactos negativos sobre el suelo como la degradación y la desertificación de las tierras, sin embargo, sólo se cuenta con el 16% de áreas degradadas a diferencia de otros países del mundo, de igual forma genera preocupación porque ésta cifra va en aumento (Bautista, 2010).

En México la contaminación de suelos por hidrocarburos procesados del petróleo abarca extensas áreas, que como consecuencia tienen suelos alterados en sus características fisicoquímicas y biológicas y se estima pérdidas de más de 50 mil millones de dólares en los últimos 20 años con mayor impacto en el aspecto ambiental y agrícola (Cavazos et al., 2014).

En Ecuador, las reservas petroleras se ubican en la región de la selva amazónica las cuales se vienen explotando desde los años 60 (Tansey et al., 2017); si bien es cierto esta actividad promueve el crecimiento económico del país, por otro lado, genera grandes desastres que impactan sobre el medio ambiente (Varela, 2017).

En Colombia se registran derrames anualmente; en algunos casos de manera fortuita y otras veces provocados, afectando directamente el suelo y el agua como data el derrame ocasionado por más de 3 millones de barriles de petróleo crudo provocado por una rotura en el Oleoducto Caño Limón Coveñas el cual trajo como consecuencia impactos negativos a las cuencas y ecosistemas tropicales (Velázquez, 2017).

En el Perú recientes estudios revelan que como consecuencia de las actividades económicas la principal fuente de contaminación que se ha originado es en la región de Amazonas (Oleoducto Norperuano) y los daños ambientales en principio se han dado por rupturas en sus diferentes tramos atravesando y afectando a los ecosistemas en la región Loreto; así mismo ésta afectación está relacionada con las actividades que se generan como la explotación y exploración lo que explica el impacto que se genera sobre el suelo y del nivel de riesgo en la salud y el ambiente (OEFA, 2018), gran parte de los derrames se han originado en la Amazonía como lo ocurrido hace una década en el oleoducto que transporta crudo desde la estación de Bombeo N°1 de Petroperú hasta Saramuro en el río Marañón éstas áreas son habitadas por indígenas que no cuentan con agua, desagüé ni con centros médicos que puedan dar tratamiento a un paciente con exposición al petróleo; considerando que se alimentan de sus propios cultivos y de sus peces (Frazer, 2022). En enero del presente año en las playas de Ventanilla, Callao se suscitó un derrame de 12000 barriles de petróleo vertidos en el mar el cual se extendió hasta la zona de Chancay reportándose decenas de muertes de diferentes especies marinas. Hasta el momento se siguen haciendo las investigaciones para conocer el real grado de afectación sobre la población y el medio así como de tomar acciones o medidas en el correcto manejo de remediación por los especialistas según (Vásquez et al., 2022).

Lo que conlleva, al interés por seguir investigando y proponer alternativas de solución con técnicas amigables con el medio ambiente para lograr remediar los sitios impactados ocasionados por ésta realidad problemática. Es decir utilizar técnicas beneficiosas para reducir, mitigar o menguar las concentraciones de los contaminantes mediante tecnologías de bajo costo y de fácil acceso (Buendía, 2016), como la

biorremediación de suelos mediante lodos residuales provenientes de las PTAR.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Loya (2013), en su tesis “Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por hidrocarburos” cuyo diseño fue descriptivo donde el autor analizó las diferentes técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos y de esa manera conoce su efectividad. El autor analiza dos medidas de remoción como la biorremediación y fitorremediación, estas aplicaciones obtienen como resultados valores en porcentaje de remoción entre el 75 y el 90% los cuales fueron obtenidos en un periodo de tratamiento de 25 a 90 días. Cabe resaltar que la mayor efectividad se produjo en la aplicación de técnica de fitorremediación en el que incluyen el uso de microorganismos y plantas.

Nápoles et al. (2015) en su investigación “Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos”, cuyo diseño es experimental, su realización de ensayos fue a nivel laboratorio utilizando en primera instancia a lodos y a la pleurotina la cual se comportó como un fertilizante logrando estabilizarlo en un periodo de 10 semanas, posterior a ello se trata el suelo contaminado con hidrocarburos mediante lodos de digestión anaeróbica y pleurotina de manera simultánea diseñando así un proceso de bio estimulación y bioaumentación para aprovechar de esa manera los nutrientes que otorgarían estos sustratos logrando la degradación del hidrocarburo. Según los autores reportan una remoción del 40% en tan solo 12 semanas por lo que se recomienda que se realice este experimento más meses debido a que es influenciado por factores como el tipo de suelo, temperatura, bióticos, abióticos e incluso transporte.

Islas et al. (2016) en su tesis “Biorremediación por bioestimulación y bioaumentación con microorganismos nativos de un suelo agrícola contaminado con hidrocarburos” los autores realizaron experimentos a nivel microcosmos cuyo propósito fue determinar la remoción de hidrocarburos (Diesel) en un suelo agrícola mediante la bio estimulación con introducción de nutrientes y la bioaumentación con adición de microorganismos. Se tomaron las muestras en frascos de vidrio para su respectivo análisis en 6 tratamientos y 2 controles con un contenido de suelo de 30 gr. Se obtuvieron como resultado la remoción del hidrocarburo diésel del 31% y 78 % para los bio aumentados como *Bacillus sp.* y *Meyerozima sp.* respectivamente y del 81% en los procesos de bio estimulación siendo ésta última la más efectiva.

Flores y Mendoza (2017) presenta su tesis titulada “Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de guarumales-celec” con un diseño experimental donde se propuso determinar cuál es el tratamiento más idóneo para alcanzar la mayor biorremediación del suelo contaminado por hidrocarburo. Se obtiene como resultado una disminución de HTP en porcentajes del 89% al finalizar la investigación, degradando así sustancias peligrosas en sustancias de menor toxicidad, demostrando de esta manera la eficiencia de la aplicación de técnicas de biorremediación. Cabe recalcar que los autores recomiendan realizar mayores repeticiones a fin de reducir los porcentajes de error en los resultados.

Gutiérrez (2017), en su investigación “Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes” con un diseño experimental, tiene como propósito evaluar al proceso anaeróbico de biorremediación mediante el uso de lodos residuales y obtener un porcentaje de remoción

en suelos contaminados con hidrocarburos en un periodo de 105 días. El resultado obtenido de remoción fue del 89 al 99 %, donde el tratamiento mediante biosólidos como fuente alterna de nutrientes fue el de mejores resultados en razón 1:0.5.

Álvaro (2017) su investigación titulada “Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia norte, Argentina” con un diseño experimental el cual tiene como propósito estudiar la velocidad de degradación de distintas fracciones del petróleo mediante la incorporación de biosólidos o lodos residuales. El muestreo se tomó entre los 0 y 30 cm de profundidad a temperatura ambiente, se colocaron sobre unas bandejas de metal por un periodo de 48 horas, se realizó la homogenización con un mortero y se tamizó con una malla de metal de 2 mm, se llevaron a laboratorio para ser analizados en microcosmos por 120 días mediante la técnica de biorremediación, en los cuales se realizaron dos tratamientos uno con biosólido y el otro sin biosólido sólo laboreo, aireación y agua en tres repeticiones cada uno, los recipientes eran de vidrio y seis kilos de suelo contaminado al 5% de crudo (p/p), el porcentaje de biosólidos ingresado era de 40 g/kg de suelo, en cuanto a los resultados en el estudio se establece que se presenta una reducción significativa de los contaminantes provenientes por el hidrocarburo tratados con biosólidos en la recuperación de suelos de uso agrícola, forestal entre otras, debido a que su composición se encuentra dentro de los límites A.1 permitidos.

Rivera et al. (2018) en su artículo científico titulado “Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos”, experimentaron con los métodos de biorremediación en celdas de 1.0 x 1.2x 0.4 m en un periodo de un año y bio estimulación de los microorganismos del suelo con N y P para la descomposición de los hidrocarburos con la finalidad de reducir su concentración en dos

tipos de suelos tanto agrícolas como naturales, logrando concentraciones óptimas de hidrocarburos totales de 3000 mg/kg los cuales están dentro de lo establecido por la normativa mexicana en suelos agrícolas, concluyen los autores en base a sus resultados obtenidos sobre la efectividad de la biorremediación en recortes de perforación.

Calderón et al. (2018) en su investigación científica “Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5 mediante microorganismos eficaces (EM) con un diseño experimental cuyo objetivo fue de evaluar la eficiencia de la biorremediación mediante la aplicación de los microorganismos eficaces EM en cuatro tipos de suelos como son el agrícola, costero, urbano y el ribereño. Se realizó la activación de dichos microorganismos en un periodo de 9 días para luego ser aplicado al suelo contaminado, posteriormente se ingresan por aspersión a los microorganismos activados en la cantidad de un litro de esta cada semana dentro de en un período de 28 días para todos los tipos de suelos en estudio. Los resultados fueron los esperados corroborando así la efectividad de este método; en suelo urbano del 41.60%, en suelo agrícola del 40.06%, suelo ribereño del 35.05% y el suelo costero del 15.29%.

Gutiérrez et al. (2022), en su artículo publicado “Degradación de diésel por sustrato residual de *Agaricus bisporus* a nivel microcosmos” aplicado en un diseño experimental propone determinar la biodegradación de diésel en un suelo agrícola utilizando sustratos residuales *Agaricus bisporu*. En su experimento prepararon varias dosis de SR a una temperatura de 37°C con un período de incubación de 28 días produciendo así CO₂ de manera significativa lo cual indicaría la disminución de diésel con un porcentaje de remoción en el tratamiento T4 del 68.747% y las tasas de poblaciones de hongos tolerantes disminuyeron en todos los tratamientos aplicados. Los autores concluyen que los

tratamientos de bio estimulación y de bio aumentación son altamente eficaces para tratar suelos contaminados con diésel.

1.2.2 Antecedentes nacionales

Gerónimo et al. (2017), en su tesis “Determinación de la eficiencia de biorremediación con lodos activados en el suelo contaminado por hidrocarburos” bajo un diseño experimental, tiene el objetivo determinar la eficiencia de biorremediación al aplicar lodos activados en suelos contaminados por hidrocarburos. Los resultados obtenidos a nivel laboratorio demuestran que los hidrocarburos totales de petróleo TPH F2, y F3 fueron removidos en un 50% en un período de 90 días llegando a ser un proceso altamente eficiente y sostenible debidos al aprovechamiento de residuos altamente peligrosos como son los lodos residuales los cuales han sido tratados para su inocuidad.

Villena (2019) en su tesis titulada “Efecto de la aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diésel” realiza un diseño experimental teniendo como objetivo determinar el efecto de la adición de lodos de PTARD como bioestimulador microbiana en un proceso aerobio. A nivel de laboratorio realizó dos tratamientos T1, T2 y C (control), el suelo contaminado con diésel se encontraba en una concentración de 10000 mg/kg y fueron mezclados con lodos al 25% y 50% en los tratamientos mencionados; mientras C, no se le incluyó lodos residuales. Posterior al análisis que tuvo una duración de 6 semanas se obtuvieron resultados con mayor remediación en el T1; dichos resultados fueron comparadas con los ECA suelo para el parámetro de hidrocarburo de petróleo F2 (C10- C28) cumpliendo el límite para uso agrícola. El porcentaje de eficiencia del tratamiento fue de 66%, 87% y 79% para C, T1 y T2 respectivamente, por otro lado, las características fisicoquímicas, pH y

temperatura se mantuvieron constantes durante todo el proceso.

Fernández y Pariente (2020), en su artículo de investigación “Atenuación natural y biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú” realizan un diseño experimental cuyo objetivo de estudio es caracterizar la atenuación natural y biorremediación de suelos impactados con hidrocarburos producto de los derrames de petróleo, se analizaron los parámetros del suelo, así como las concentraciones de HTP, para ello se acondicionaron 12 cajones de madera en los cuales se añadieron 2.732 kg de suelo contaminado con hidrocarburo en cada uno en las que se consideraron las concentraciones de C, N y K (100:10:1), posteriormente se añade nitrógeno 248.21 kg necesario para nutrir a los microorganismos. Así mismo se hace una evaluación mediante conteo de bacterias en placas para poder identificar el número de colonias presentes en el suelo incubados por un periodo de 60 días. Luego del proceso se obtienen resultados de concentraciones de HTP disminuidos en un 95% con respecto a lo que tenía en un inicio. Sus estándares se comparan con la norma de calidad ambiental para suelos y se encuentran en concentraciones por debajo a los establecidos por la ley.

Díaz y Pérez (2021), en su tesis “Biochar del lodo de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021” con un diseño experimental con el objetivo de determinar el nivel de reducción de hidrocarburos utilizando biochar de lodos residuales en el suelo en Huachipa. Los autores realizaron ensayos mediante macetas de 2 kg de suelo en los que se adicionó biochar de lodos en proporciones del 5 %, 10% y 20% por triplicado. Como resultado luego de los 45 días de tratamiento en la proporción del 20% se obtuvo una remoción del 99.99%, 54,59%, 54.92% en fracciones de hidrocarburos ligera, mediana y pesada respectivamente; así mismo

se optimizaron las propiedades fisicoquímicas como MO, pH, CIC, N, P y su textura.

Vergaray (2022), en su investigación titulada “Aplicación de la técnica de microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados por hidrocarburos”, con un diseño experimental tiene como propósito aplicar la técnica de microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos. El autor utiliza lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento y suelo contaminado artificialmente con diésel, estableciendo unidades de microcosmos para su evaluación en un período de 100 días y cuyos resultados obtenidos fueron del 95.01% en un microcosmo M2 y del 88.33% en el microcosmo M1, concluyendo que la aplicación de esta tecnología genera un elevado porcentaje de biorremediación de hidrocarburos.

1.3 Bases Teóricas

Suelo

El suelo se encuentra entre el aire y la roca madre; puede alcanzar una profundidad aproximada de hasta 3 metros. Está conformada por estratos y posee componentes biológicos, físicos y químicos permitiendo así que sea dinámico (Barois et al., 2018). En tanto Medina (2016) sostiene que el suelo se encuentra presente en la naturaleza asociado a factores como el clima, temperatura, organismos, relieve, roca madre o material geológico o subsuelo, al tipo de vegetación y el tiempo. Una serie de eventos durante su evolución, le otorgan las características y propiedades dando origen a un tipo de suelo de tal manera que, proveen servicios ambientales asegurando así la alimentación, la biodiversidad y la regulación hídrica (Cotler, 2016). El suelo se define también como un material consolidado constituido por materia orgánica, agua, aire, organismos y por partículas inorgánicas el cual

abarca desde la parte superficial de la tierra hasta diferentes niveles de profundidad según el ECA para suelo (D.S. N°. 011-2017-MINAM).

Biorremediación de suelos

La Biorremediación según Cando (2011) es un proceso biológico y que pertenece al campo de la ingeniería ambiental, como lo detalla Gutiérrez (2017) consiste en el uso de bacterias, hongos entre otros; de tal manera que, aceleren la degradación de forma natural de contaminantes en sustancias no tóxicas; posee un amplio ámbito de aplicación.

Tabla 1:

Ámbito de aplicación de la biorremediación:

Sólido	Líquido	Gaseoso
Suelo	Aguas subterráneas	Emisiones industriales
Lodos	Aguas superficiales	etc.
Residuos	Aguas residuales	

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Gutiérrez (2017).

Existen dos formas de biorremediación del suelo: la bioaumentación y la bioestimulación, ambas sirven para mejorar el proceso (Vergaray, 2022).

- La Bioaumentación es utilizada para adicionar de manera externa microorganismos degradadores (Pino et al. 2012).
- La Bioestimulación es utilizada para aumentar los nutrientes necesarios en favor del crecimiento del microorganismo, de esa manera potenciar y acelerar la degradación (Pino et al. 2012).

Según Cando (2011) la aplicación de esta tecnología biológica se puede realizar de acuerdo con el lugar a tratar pudiendo ser in situ y ex situ.

- In situ: El tratamiento de suelo contaminado se realiza en el mismo sitio donde ocurrió .
- Ex situ: Se requiere realizar una excavación y otro proceso para remover el suelo contaminado antes del tratamiento. Cabe mencionar que para realizar una remediación in situ según Cando (2011) se debe considerar factores como el impacto en la zona, no afectar actividades industriales, dificultades de acceso para obtener oxígeno y nutrientes, así como la velocidad del proceso. El ex situ se usa en caso las sustancias no puedan ser degradadas in situ o por factores de tiempo en el tratamiento.

Biorremediación mediante lodos residuales

Consiste en usar microorganismos los cuales ayudan de manera natural a metabolizar y transformar de forma aeróbica los contaminantes que provienen de los hidrocarburos formando el CO₂, agua y fuentes de alimento (Silvana et al., 2014). Por su parte Gutiérrez (2017) afirma que puede trabajar con todo tipo de hidrocarburos, compuestos nitros aromáticos, metales pesados de éstos últimos sólo pueden ser inmovilizados para luego precipitar mas no son metabolizados por microorganismos. El uso de tecnologías como la biorremediación en suelos que se encuentren contaminados por hidrocarburos dependerá de las condiciones o factores que presente: pH, nitrógeno, fósforo, capacidad de agua disponible, materia orgánica, microorganismos, oxígeno, textura del suelo, temperatura entre otras.

- **El pH** sirve de fijación y disponibilidad de los nutrientes y de la actividad microbiana en el suelo (Díaz y Pérez, 2021). Gerónimo y Vásquez (2017) mencionan que el pH del

suelo se determina por su grado de su acidez o alcalinidad, su escala se encuentra contemplada en un rango de 0 a 14 donde el grado 7 es considerado como neutro, además si los valores son mayores a 7 son considerados alcalinos y si en caso son menores a 7 serán ácidos; en presencia de un derrame de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), el pH disminuirá como producto de la acumulación del carbono y de los ácidos orgánicos (Loya, 2013). El mayor crecimiento de los microorganismos se produce en un intervalo de 6 a 8 (Gerónimo y Vásquez, 2017), mientras que para los hongos será de 4 a 5, así mismo los valores adecuados para que se genere la biodegradación será neutro desde 7.4 a 7.8 (Gutiérrez, 2017).

- **El nitrógeno y fósforo** según Benimelli et al. (2019) citado en Díaz y Pérez (2021), señalan que son macronutrientes presentes en el organismo vegetal. En el suelo se fija a través del estiércol, restos de vegetación y microorganismos. El fósforo se encuentra en menor porcentaje que el potasio, calcio y nitrógeno; se encuentra presente en el suelo de forma orgánica como producto de los desechos de los animales y vegetales (Díaz y Pérez, 2021). La presencia de estos nutrientes en el suelo es limitada por lo que es necesario adicionarlos porque se incrementan los microorganismos y ello contribuye a la aceleración de la biodegradación de los contaminantes que provienen del hidrocarburo en concentraciones C: N: P; 100: 10: 1; sin embargo, su excesiva dosis podría lograr la inhibición de la biodegradación del suelo afectado (Gutiérrez, 2017).
- **La capacidad del agua disponible** indicará cuánta agua puede retener el suelo para disponerla en su uso vegetal (USDA, 2008) citada por (Gerónimo y Vásquez, 2017).
- **Materia orgánica (MO)** formada por la descomposición de la materia vegetal y animal, está compuesta a base de carbono, a mayor cantidad de materia orgánica mayor capacidad de intercambio catiónico (Díaz y Pérez, 2021).

- **Los Microorganismos** según Ponce (2014) poseen actividades de peroxidasas y oxigenasas permitiendo la oxidación de algunas de las fracciones del petróleo. Así mismo son capaces de adaptarse sin la intervención del hombre tomando en cuenta que es necesario para no limitar su actividad biológica que el suelo presente las condiciones adecuadas como la temperatura, el factor pH y la conductividad eléctrica (Gutiérrez, 2017). Por su parte López (2016) señala además que el crecimiento de los microorganismos se debe al incremento de la biomasa; dicho crecimiento se realiza en tres fases como son: la fase lag, fase exponencial, fase estacionaria y la de muerte. Como lo menciona Vergaray (2022) la fase lag es donde se produce el estado de adaptación de la bacteria al medio debido a que sintetiza las enzimas para el desarrollo de las actividades metabólica. Por otro lado, Sancho (2015) explica sobre la fase exponencial como la división y crecimiento de los microorganismos debido a la asimilación de los nutrientes. En tanto la fase estacionaria Varela y Grotiuz (2008) citado en Vergaray (2022) menciona que se da el cese del crecimiento de los microorganismos como producto de la pérdida de nutrientes y toxicidad en el medio. La fase de muerte se da en ausencia de nutrientes donde las células muertas son mayores a las que nacen.
- **La textura** del suelo o granulometría es importante para que se pueda efectuar de manera satisfactoria la biorremediación, el tamaño de los granos permitirá el ingreso o no del aire, agua, nutrientes y la movilidad del contaminante (Gutiérrez, 2017).
- **La presencia del oxígeno** permite que exista transformaciones bioquímicas de la materia orgánica en un proceso de biorremediación y como resultado de ello se obtiene el CO₂ y el agua (Gerónimo y Vásquez, 2017).
- **La temperatura** es uno de los factores determinantes y de mucha relevancia para que los microorganismos puedan metabolizar los contaminantes y lograr la biodegradación

de estos. Según Gutiérrez (2017) afirma que es posible en temperaturas de 20°C a 30°C incluso en casos extremos de 10°C en suelos su árticos y subalpinos y 5°C en suelos árticos.

- **El tiempo** es una variable que permite determinar a través del análisis pertinente las diferentes causas y sucesos que hayan ocurrido en el suelo, así como también si se formó en un ciclo o más, dentro del cual interviene el clima, el relieve, organismos, roca madre etc. (Universidad de Córdoba, 2017) citado por (Vergaray, 2022).

Vizuite (2010) en su artículo menciona a las bacterias como Rhizopus, Penicilium y Phanerochaete son mayormente utilizados para la recuperación de suelos contaminados, pero existen alrededor de 100 especies distribuidos en 30 géneros microbianos. Rioja et al. (2010) indican que las bacterias son el grupo más versátil en la biodegradación de hidrocarburos como son las Pseudomonas sp. gram negativa con gran cantidad de nutrientes y las gram positivas degradadoras de hidrocarburos, vegetales y humus como son Achromobacter, Acinetobacter, Rhodococcus, Alcaligenes, Bacillus, Norcadia, Flavobacterium ambos tipos de bacterias producen bio emulsificantes y bio surfactantes de tal manera que disminuyen la tensión entre el petróleo y el medio acuoso dando paso a los microorganismos hacia la fuente de C insoluble para ser degradado (Gerónimo y Vásquez, 2017).

Lodos Residuales

Según Gutiérrez (2017) los lodos residuales poseen una alta concentración de nitrógeno, fósforo y materia orgánica lo que permite la estimulación de la actividad de los microorganismos para degradar los contaminantes que afectan el suelo y obtener como resultado productos inocuos en el proceso de biorremediación. Los lodos residuales provienen de plantas de tratamiento de aguas (PTAR), poseen contaminantes en relación con

su procedencia ya sea doméstica o industrial (Amador et al. 2015), es necesario que se realice un proceso de estabilización antes de ser vertidos, para luego ser secado, sometidos a incineración o en su defecto puede reutilizarse como fertilizantes en el suelo (Díaz y Pérez, 2016). En cuanto a la estabilización de los lodos Pérez (2016) citado en Sabando y Zambrano (2020) hace referencia a un conjunto de procesos que permiten minimizar la presencia de microorganismos, olores fétidos como producto de la putrefacción de estos de esa manera, permitirá utilizarlo para su disposición final sin afectar la salud y el medio ambiente. Según Amador et al. (2015) sostiene que los lodos residuales obtenidos por tratamiento biológico pasan por una primera etapa donde solo se da por separación física y luego continúa con el tratamiento secundario con digestión por procedimientos físicos, químicos y biológicos para reducir microorganismos patógenos, parásitos, así como de compuestos carbonados (Amador et al., 2015). En tanto Vergaray (2022) sostiene que el lodo residual proveniente de una PTAR doméstica experimenta diversas etapas; una de ellas es la etapa 0 o de pretratamiento, aquí se depuran los sólidos de gran tamaño ya sea por medio físico o químico.

Lodo primario

Narváz (2018) afirma que se efectúa el proceso de sedimentación donde al reducir la velocidad de circulación de las aguas logra que las partículas decanten al fondo del sedimentador para luego por un conducto salir hacia el contenedor de lodo residual y en el proceso de flotación se separan los sólidos en suspensión debido a que poseen menor peso que el agua y suben hacia la superficie a fin de llevarlo al depósito residual.

Lodo secundario

Etapa dos o tratamiento secundario mediante un proceso biológico se eliminan todo tipo de materia orgánica a través de microorganismos dentro de lagunas aireadas obteniendo ya en ésta etapa fango o lodos residuales; en la etapa tres o tratamiento terciario, se someten a procesos físicos, químicos y biológicos en el que se realiza una sedimentación forzada, se eliminan sólidos finos, orgánicos e inorgánicos, posteriormente se realiza la desinfección con cloro la estabilización de lodos y su deshidratación para luego ser vertido en un cuerpo receptor o disposición final (Vergaray, 2022).

Biosólidos

Los biosólidos son el resultado del proceso de estabilización por el que pasan los lodos que provienen de una Ptar., dicho proceso se realiza con la finalidad de reducir los microorganismos patógenos y puedan ser utilizados con fines agrícolas (Vargas et al. 2018).

Eficiencia de la Biorremediación de suelos mediante lodos residuales

Martínez (2011) menciona que la eficiencia de esta tecnología radica en el aumento de la densidad microbiana produciendo una aceleración significativa de la degradación de los hidrocarburos, por lo que destaca que la bioestimulación a través de nutrientes como una fuente alterna adicionando nitrógeno y concentraciones altas de carbono serviría para controlar dicho proceso. Además, Velasco (2003) reafirma que esta tecnología es usada con éxito en suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo (HTP), solventes, explosivos, clorofenoles, pesticidas e hidrocarburos aromáticos policíclico (HAP). Actualmente se vienen desarrollando estas técnicas por la viabilidad de su uso para la remediación de suelos debido a que son amigables con el medio ambiente, simples y los costos de su aplicación pueden reducirse en un 65 % a 80 % en comparación a otros métodos fisicoquímicos (Velasco, 2003). Ponce (2014) por su parte afirma que la biorremediación es

una técnica benéfica para el ambiente con costos reducidos y de una alta efectividad en cuanto a la remoción de contaminantes; sin embargo, acota que requiere de un mayor tiempo para su tratamiento.

Hidrocarburos

Los hidrocarburos son una mezcla de sólidos, líquidos y gas así también presenta en su composición hierro, níquel y otros metales. Su estructura está conformada por una cadena de átomos de carbono en una proporción de 76% a 86% y de hidrógeno de un 10% a 14% los cuales se encuentran presentes en cuencas sedimentarias y están ubicadas en su mayoría en la selva de nuestro país (Gerónimo, 2017), su composición dependerá del tipo de yacimiento de donde provenga, según MINEM (2014) el Lote 1-AB, el lote X, Lote 8, y Lote Z-2B ubicados en el norte del Perú existe la mayor producción de petróleo, Escalante (2002) citado en Velasco (2003) indica que se transportan hacia la refinerías Talara y La Pampilla conteniendo éste último 95.77% de hidrocarburos saturados alicíclicos. Villalobos (2018) citado en Vergaray (2022), menciona que los hidrocarburos presentan dos grupos como son los acíclicos representado por los alcanos, alquenos y alquinos y los cíclicos por alicíclicos y aromáticos. Según Loya (201) en su investigación menciona que el petróleo está compuesto por hidrocarburos agrupados en categorías como son: Alifáticos, Aromáticos, Polares y Asfáltenos.

El petróleo está constituido por diferentes tipos de hidrocarburos los cuales están formados por moléculas de hidrógeno y cadenas de átomos de carbono las cuales dependiendo de su tamaño tendrían diferentes estructuras, son de gran abundancia en la naturaleza; más del 70% de los hidrocarburos de petróleo pertenece a la categoría de los compuestos saturados y aromáticos entre ellos el hexano, octano, decano, ciclo alcano así

como el benceno, tolueno, xileno, naftaleno, poli aromáticos respectivamente; y el resto está representado por asfáltenos y resinas (Ponce, 2014).

Fracción de hidrocarburos F2: Es considerado como fracción media dado por la mezcla de hidrocarburos que contienen entre diez átomos de carbono (C10) y veintiocho (C28) (Gerónimo y Vásquez, 2017).

Fracción de hidrocarburos F3: Es un hidrocarburo de fracción pesada tiene esta denominación ya que contiene entre veintiocho átomos de carbono (C28) y cuarenta (C40) (Gerónimo y Vásquez, 2017).

Tabla 2:

Principales grupos de hidrocarburos:

Alifáticos	Aromáticos	Polares	Asfaltenos
Alcanos lineales	Benceno	Piridinas	Poliaromáticos
Alcanos ramificados	Tolueno	Quinoleinas	Ácidos nafténicos
Alcanos cíclicos	Xileno	Carbazoles	Sulfuros
	Naftenoaromáticos (hidrocarburo poliaromático)	Tiofenos	Fenoles polihídricos
Alquenos	Tiofeno (compuesto aromático de sulfuro)	Sulfóxidos	Ácidos grasos
Alquinos	Dibenzotiofeno (compuesto aromático de sulfuro)	Amidas	Metaloporfirinas

Benzopireno
(hidrocarburo aromático
policíclico)

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Loya (2013).

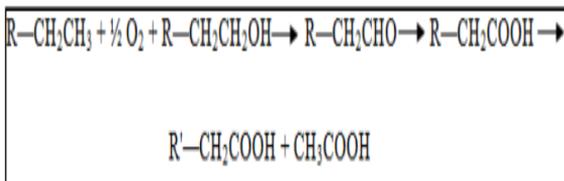


Figura 1. Oxidación de los Alcanos

Fuente: Cando (2011).

En cuanto a los alcanos o alifáticos Toscano (2017) citado por Vergaray (2022) sostiene que están formados por enlaces simples; lo que determina que son hidrocarburos saturados y de textura grasosa, Ponce (2014) menciona algunos como el hexano, octano, decano, hexadecano, isoalcanos, cicloalcanos y ciclohexano, así mismo poseen poca afinidad y no presentan reacciones químicas ante ácidos o bases fuertes. En cuanto a su biodegradación Cando (2011) afirma que son los hidrocarburos del petróleo más biodegradable debido a su simplicidad de su estructura molecular; sin embargo, si presentara altas concentraciones de alcanos C5 y C10 limitarían la degradación de hidrocarburos; por ser solventes, destruyen la membrana lipídica de los microorganismos, así mismo ocurriría en alcanos de C20 a C40 por poseer escasa capacidad soluble en el agua (Cando. 2011).

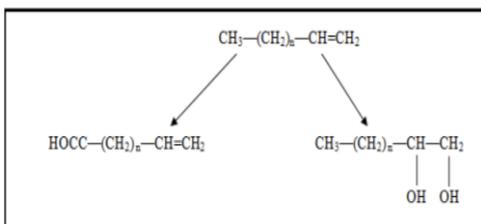


Figura 2. Oxidación de los Alquenos

Fuente: Cando (2011).

Los alquenos son de doble enlace de carbono y son insaturados como el benceno, tolueno, xileno y naftaleno (BTEX) y los polis aromáticos (Ponce, 2014), es por ello por lo que es poco conocida su degradación; sin embargo, son más degradables los alquenos con enlaces dobles en el primer carbono que las de doble enlace interno, generando dos rutas de metabolismo de estos (Cando, 2011).

Los alquinos según Vergaray (2022) son hidrocarburos insaturados con enlace triple entre dos átomos de carbono, es más reactivo posee una menor densidad que el agua, el punto de fusión y ebullición aumenta si el tamaño de la cadena es más grande.

Los polares o resinas contienen nitrógeno, azufre y oxígeno y los aftaltenos son considerados como moléculas de gran tamaño y son mucho más resistentes a la técnica de biodegradación.

Contaminación de suelo por hidrocarburos

Ponce (2014) sostiene que la contaminación del suelo se determina por la alteración físico-químico y biológico provocado por las actividades del hombre representado un riesgo sustancial para los seres humanos y el medio ambiente, sus componentes se separan en donde algunos se vuelven solubles producto de la polaridad de sus moléculas, los COVs se evaporan, otras por reacciones químicas se absorben en la superficie de la fase solida así como otras son degradadas por microorganismos (Ponce, 2014). Victoria y Salgado (2005) indican que el mayor contaminante a nivel mundial son los originados por hidrocarburos totales que impactan sobre el suelo por las actividades extractivas, fugas y derrames de tuberías, así como de desechos de aceite. El comportamiento o movilización del hidrocarburo dependerá de la textura, agua y porosidad que posea el suelo y en cuanto al contaminante influyen los factores como volumen y su composición; también juego un papel

muy importante los factores ambientales como humedad, intensidad del viento, temperatura, entre otros (Gerónimo y Vásquez, 2017).

Tabla 3

Principales industrias contaminantes del suelo con hidrocarburo

Tipo de industria	Principales contaminantes del suelo
Industria petrolera	Hidrocarburos aromáticos y alifáticos
Fábrica de gas	Alquitrán, benceno fenoles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, cianuros
Industria textil	Hidrocarburos y metales pesados
Estaciones de servicio	Hidrocarburos y derivados del petróleo
Centrales termoeléctricas	Hidrocarburos derivados del petróleo y metales pesados
Minería	Hidrocarburos aromáticos, metales pesados, cianuro
Industria agropecuaria	Hidrocarburos, pesticidas, plaguicidas
Floricultura	Pesticidas, plaguicidas e hidrocarburos
Lavadoras de vehículos	Hidrocarburos
Mecánicas automotrices	Hidrocarburos, aceites

Fuente: Ponce (2014)

Según Gerónimo y Vásquez (2017) en las actividades como extracción, transporte, almacenamiento y refinamiento del petróleo son los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) que por acciones del hombre provocan importantes problemas de contaminación tanto en el

suelo como en el agua. Los TPH que se encuentran en una muestra sirven como indicadores de contaminantes debido a que registran el grado de afectación generado por derrames o fugas el cual se encuentra normado en Perú (Gerónimo y Vásquez, 2017). El impacto que puedan generar los hidrocarburos totales de petróleo dependerá de las características del suelo, del hidrocarburo y de las condiciones ambientales. Loya (2013) afirma que existen determinados tipos de suelos los cuales se verían más afectados que otros como son los arenosos de grano grueso donde fácilmente penetraría el petróleo y con mucha facilidad hasta alcanzar la napa freática, por otro lado, los suelos arcillosos de grano fino los cuales no serían tan fáciles de penetrar es muy probable que su retiro se logre de manera rápida. Así mismo un suelo con alto contenido de materia orgánica por lo general en suelos pantanosos es fácil que el petróleo pueda permear sobre las partículas y la vegetación (Bernal et al., 2015).

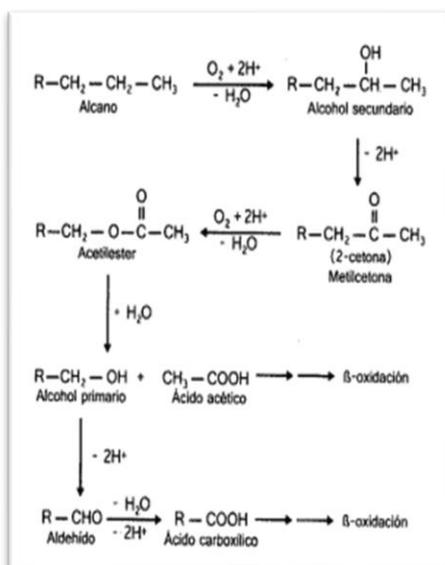


Figura 3. Biodegradación de hidrocarburos

Fuente: Gerónimo y Vásquez (2017).

Gerónimo y Vásquez (2017) mencionan que los microorganismos del suelo son activados ante la presencia de los lodos residuales y son capaces de degradar de manera a los hidrocarburos TPH F2 y F3. Cando (2011) sostiene que los hidrocarburos son degradados por las bacterias, los hongos y las levaduras y actúan oxidando los hidrocarburos de cadenas más largas como los alifáticos y aromáticos formando el CO₂; sin embargo, las fracciones volátiles se evaporan de manera más rápida. Cando (2011) refiere a que se debe al escaso grado de solubilidad del compuesto y a su lenta liberación desde los poros del suelo. Gerónimo y Vásquez (2017) explica sobre las reacciones oxido-reducción con el propósito de obtener energía a través de una cadena respiratoria de electrones de las células iniciada por el hidrocarburo siendo éste el sustrato orgánico y actuando como dador de electrones la célula lo metaboliza degradando dicho sustrato.

Según Flores y Mendoza (2017) existen efectos de carácter nocivo de los hidrocarburos sobre la especie humana y en su medio viéndose alterados los diferentes sistemas como el respiratorio, circulatorio, reproductivo, inmunológico, endocrino etc., debido a que sus componentes tóxicos son liberados al ambiente en el procesamiento de los hidrocarburos (Ponce, 2014).

Normativa vigente en el Perú:

- **Constitución Política del Perú**; artículo 2°, numeral 22 (2022) menciona que el ser humano debe gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.

- **Ley N°28611. Ley General del Ambiente**, art. I del derecho y deber fundamental (2006). Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente

la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

- **Ley N° 26221. Ley orgánica que norma las actividades de Hidrocarburos** en el territorio nacional art. 2° indica que se promueve el desarrollo de las actividades de hidrocarburos sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica con la finalidad de lograr el bienestar de la persona humana y el desarrollo nacional.

- **D. S. N° 039-2014-EM** del reglamento para la protección ambiental en las actividades mineras de hidrocarburos, establece que para la realización de las actividades de hidrocarburo en el país se debe considerar la protección al ambiente cercano al proyecto en ejecución, existiendo una supervisión y fiscalización ambiental para la presentación de los instrumentos de gestión ambiental.

- **Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)** para suelo según el decreto supremo N°011-2017-MINAM establece valores o niveles de concentración de hidrocarburos en el suelo en su condición de cuerpo receptor a fin de no afectar la salud humana ni del ambiente.

Tabla 4:

Estándares de calidad ambiental para suelo

Parámetro	Uso de suelo			Método de ensayo
	Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivo	
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS)	1200	1200	5000	EPA 8015

Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	3000	3000	6000	EPA 8015
---	------	------	------	-------------

Fuente: Elaboración propia basada en el D.S. N°011-2017- MINAM

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

De acuerdo con la problemática, es de vital importancia proponer e implementar una técnica o tipo de tratamiento para suelos contaminados con hidrocarburos que sea eficiente para la cual se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuán eficiente es la técnica de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburo mediante el uso de lodos residuales?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se realizará la comparación de los parámetros de hidrocarburos F2 y F3 en el pre y post tratamiento mediante lodos residuales obtenida por los autores?.

- ¿Cómo se realizará la comparación de las concentraciones de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados empleando la normativa vigente?

¿Cuál será la propuesta del tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales en el distrito de Parinarí provincia de Loreto?

1.5. Justificación

La presente investigación es realizada a partir de evidenciar una problemática ambiental muy conocida como la contaminación de suelos por hidrocarburos, los cuales, si no son tratados a tiempo, en el futuro pueden ocasionar problemas en la salud de las personas. Según la OMS éstos contaminantes en el cuerpo provocan trastornos respiratorios, neumonía, debilitamiento del sistema inmunológico, nervioso y endocrino entre otros (Organización Mundial de la Salud, 2013).

Cuenta con una justificación basado en los aportes teóricos de autores que estudian la diferentes variables y que hacen mención a los impactos que se generan a partir de la contaminación de suelos por hidrocarburos, a la alteración de la cantidad de nutrientes, a la pérdida de nitrógeno y fósforo los cuales ocasionan una disminución del crecimiento bacteriano y actividad microbiana. La utilización de técnicas de biorremediación como lodos residuales sobre suelos contaminados permitirá mejorar su calidad debido a que presentan un alto porcentaje de nutrientes en su composición, los cuales sirven de estimulantes para la actividad microbiana y de esa manera degradan los contaminantes que se encuentren en el suelo (Rivera et al., 2003). Cabe mencionar que la aplicación de lodos residuales en la recuperación de suelo contaminados por hidrocarburos son considerados benéficos, pero es necesario su estabilización obteniendo de esa manera biosólidos o lodos óptimos, llevando sus componentes a valores que cumplan con la normativa del ECA para suelo establecidos en el D.S. N°011-2017-MINAM.

También presenta una justificación ambiental considerando que OEFA (2018) menciona en su informe del estudio de suelo en el distrito de Parinarí en el departamento de Loreto resultados de dos contaminantes de potencial interés cuyas concentraciones de los

contaminantes de hidrocarburos en el suelo de fracciones medias F2 poseen valores que van desde 2226 mg/kg hasta los 34470 mg /kg y fracciones pesadas F3 cuyos valores van desde los 3015 mg/kg hasta los 104965 mg/kg, los cuales exceden los estándares de calidad ambiental para suelos y cuyos valores no deberían estar por encima de los 1200 mg/kg para las fracciones medias F2 y 3000 mg/kg para fracciones pesadas F3, y todo ello como consecuencia de la existencia de un oleoducto que transporta crudo en esa localidad. Es por ello la importancia de éste estudio que sea considerado como una alternativa de solución para la remediación de suelos impactados negativamente.

Así mismo se justifica socialmente la aplicación del tratamiento de suelos contaminados mediante lodos residuales en el distrito de Parinarí provincia de Loreto debido a que ésta contaminación alcanzaría secciones del bosque de aguajales es decir de suelos de uso agrícola en donde se considera a las personas que viven en la zonas aledañas aproximadamente a 10 km como principales receptores de los contaminantes debido a la posible ingesta mediante los frutos del aguaje, además del uso medicinal que le dan a la palmera del aguajal. Éstas personas están clasificadas con un nivel de riesgo medio debido a que su calidad de vida se vé afectada (OEFA, 2018).

Presenta una justificación económica en base a una propuesta de la técnica de biorremediación mediante el tratamiento con lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos, el cual aportará de alguna manera con información que contribuya en la mejora de la calidad de los suelos.

Se debe considerar como una alternativa de solución a la biorremediación de suelos mediante lodos residuales por su efectividad, bajo costo y como medida de protección del medio ambiente y la salud humana.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Analizar la eficiencia de la técnica de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburo mediante el uso de lodos residuales.

1.6.2. Objetivos específicos

- Comparar los parámetros de hidrocarburos de fracción media F2 y de fracción pesada F3 pre y post tratamiento mediante lodos residuales obtenido por los autores.
- Comparar la concentración de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados empleando la normativa vigente.
- Proponer el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales en el distrito de Parinari provincia de Loreto.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

Se analizó en los estudios la eficiencia de la técnica de biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburo mediante el uso de lodos residuales como tratamiento cuyo porcentaje más alto de remoción fue del 99% .

1.7.2. Hipótesis específicas

- Se comparó el parámetro de hidrocarburo de fracción pesada F3 antes y después del tratamiento mediante lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos con valores

de 10358.67 mg/kg y 1129.67mg/kg respectivamente. Así mismo se comparó el parámetro de hidrocarburo de fracción media F2 antes y después del tratamiento cuyos valores fueron de 151766 mg/kg y 2597 mg/kg respectivamente donde se determina un declive en ambas concentraciones de los contaminante con porcentajes de remoción por encima del 90%.

- Se comparó la concentración de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos cuyos valores obtenidos por los autores cumplen con la normativa de nuestro país.

- Se generó una propuesta de tratamiento en suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales como un aporte de carácter ambiental para mejorar la calidad de los suelos en el distrito de Parinarí, Loreto.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Según Omonte (2022) define a la metodología como un proceso o conjunto de pasos, procedimientos y técnicas que tiene por finalidad obtener toda la información necesaria en la investigación para poder entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento y de esa manera generar una hipótesis.

2.1 Tipo de investigación :

La presente investigación es del tipo descriptivo el cual permite caracterizar el objeto de estudio, así mismo se realizarán comparaciones con los datos obtenidos y se entregará información importante para conocer las variables de la investigación.

2.2 Diseño de investigación

Arias (2021) indica que una investigación no experimental es una investigación sistemática y empírica donde la variable independiente no es manipulable debido a que ya ha sucedido, por lo que se observan tal y como se han dado en su contexto natural. La presente investigación plantea analizar la eficiencia de la biorremediación de suelos mediante lodos residuales para lo cual se emplea un diseño no experimental del tipo transversal debido a que la información se toma en un solo momento o un tiempo único. Así mismo se realizó un estudio descriptivo comparativo en cuanto a la eficiencia de la técnica de biorremediación de suelos mediante lodos residuales.

2.3 Población

Para hallar la población en la presente investigación se eligieron 24 estudios entre trabajos experimentales y descriptivos pertenecientes a tesis de postgrado, artículos científicos y revistas para ello se han tomado en consideración el nombre del autor, el título

de la investigación, año de publicación, país y el tipo de documento. Cabe mencionar que todos los artículos seleccionados proceden de la búsqueda en el Google Académico, Scielo, Redalyc, Dialnet cuyas palabras claves han sido biorremediación, suelos, contaminación, hidrocarburos, lodos residuales. Se aplicó el criterio de exclusión donde se descartaron documentos con una antigüedad mayor a 10 años y de estudios que no utilizaban lodos residuales en la técnica de biorremediación de suelos.

Tabla 5:

Investigaciones seleccionadas según las palabras claves

Fuente	Tipo de documento	País	Título
Álvaro et al.,2017	Artículo científico	México	Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina.
Acuña y Muñoz, 2021	Tesis	Perú	Reducción de hidrocarburos (Fracción C10- C28) de petróleo en suelo contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenía foetida</i>) en el distrito de Huancavelica.
Vera, 2016	Tesis	Ecuador	Composición de microorganismos eficientes autóctonos de un suelo contaminado por hidrocarburo.

Yoplac y Tuesta, 2018	Tesis	Perú	Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos
Melo et al., 2016	Artículo	Colombia	Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay.
Buendía, 2013	Artículo científico	Perú	Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol.
Trujillo y Ramírez, 2012	Artículo científico	Colombia	Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia.
Ramírez y Yarleque, 2021	Tesis	Perú	Técnicas de biorremediación y su aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos.
Díaz y Pérez, 2021	Tesis	Perú	Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021.

Gutierrez, 2017	Tesis	Chile	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes.
Gerónimo y Vasquez, 2017	Tesis	Perú	Determinación de la eficiencia de Biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos.
Valenzuela et al., 2021	Artículo científico	Colombia	Técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso en el municipio de Tibú, Norte de Santander.
Flores y Mendoza, 2017	Tesis	Ecuador	Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de Guarumales - Celec.
Albornoz, 2014	Tesis	Colombia	Evaluación de la biorremediación por biopilas para la descontaminación de suelos con hidrocarburos- Estudio de caso planta el recreo vereda La Patagonia municipio de san Carlos de Gusrda.
Barrios et al., 2015	Artículo científico	Colombia	Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de motor.
Calderón et al., 2018	Artículo científico	Perú	Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante microorganismo.

Vergaray, 2022	Tesis	Perú	Aplicación de la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.
Vizuite et al., 2020	Artículo científico	Ecuador	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos.
Rodríguez et al., 2012	Artículo científico	Colombia	Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel.
Castillo, 2022	Tesis doctoral	México	Producción y evaluación de un biosurfactante para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
Calderón, 2018	Tesis	Perú	Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de sedapal.
Chang, 2020	Tesis de Master	Perú	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por <i>Pseudomonas</i> spp. en biorreactores.
Gaete, 2019	Tesis	Chile	Bioremediación aerobia de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos de aguas residuales como fuente de nutrientes.

Villena, 2019	Tesis	Perú	Efecto de la Aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diesel.
---------------	-------	------	--

Fuente: Elaboración propia.

2.4 Muestra

Arias (2016) sostiene que las muestras no probabilísticas son un proceso de selección, no tienen la certeza de ser representativas, se basan en la característica y el contexto de la investigación (Hernández y Mendoza, 2018).

En la presente investigación se ha tomado este tipo de método donde se han seleccionado 9 estudios entre tesis y artículos los cuales han respondido a la pregunta de investigación atendiendo a las variables como eficiencia en la remoción de parámetros como hidrocarburos y la biorremediación mediante el uso de lodos residuales. Es necesario resaltar que se ha realizado una preselección en donde sólo se ha tomado en cuenta a los autores que utilizan la técnica de biorremediación de suelos, a continuación se seleccionan autores que poseen resultados en sus respectivas investigaciones sobre la descontaminación de hidrocarburos de los suelos, temperatura y tiempo de remoción siendo éstos los parámetros más importantes para éste estudio.

Tabla 6:

Investigaciones seleccionadas sobre biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos

Fuente	Tipo de documento	País	Título
Álvaro et al.,2017	Artículo Científico	México	Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. Técnicas de biorremediación y su aplicación en suelos
Ramírez y Yarleque, 2021	Tesis	Perú	contaminados con hidrocarburos. Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos
Díaz y Pérez, 2021	Tesis	Perú	contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021. Biorremediación de suelos
Gutiérrez, 2017	Tesis	Chile	contaminados con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. Determinaciónn de la eficiencia de biorremediación
Gerónimo y Vasquez, 2017	Tesis	Perú	con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos.

Calderón et al.,2018	Artículo Científico	Perú	Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante microorganismo. Aplicación de la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.
Vergaray, 2022	Tesis	Perú	Bioremediación aerobia de suelos contaminados con hidrocarburos.
Gaete, 2019	Tesis	Chile	utilizando lodos de aguas residuales como fuente de nutrientes.
Villena, 2019	Tesis	Perú	Efecto de la Aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diesel.

Fuente: Elaboración propia.

2.5 Variables

Tabla 7:

Cuadro de Variables y su operacionalización

Variable	Tipo de Variable	Operacionalización	Categorías	Definición
Eficiencia	Cuantitativa	Remoción del parámetro	calidad	Es la capacidad de utilizar todos los medios en el menor tiempo posible y con pocos recursos.
Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	índice	Valor
El indicador es el porcentaje de la eficiencia	Eficiencia del tratamiento	(%) Porcentaje	Índice de eficiencia	Porcentaje de eficiencia del tratamiento
Variable	Tipo de Variable	Operacionalización	Categorías	Definición
Biorremediación mediante lodos residuales	Cuantitativa	Aplicación de la técnica de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos	Tratamiento de suelos contaminados	Consiste en utilizar microorganismos que provienen de los lodos residuales de las PTAR con la finalidad de metabolizar los contaminantes y transformarlos en CO ₂ , en agua y fuentes de alimento.
Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor
Se indica mediante la concentración de los contaminantes tratados	Se miden los parámetros	(%) Porcentaje	Se refiere a los procesos que utilizan los autores	Viene a ser la concentración de los parámetros de los suelos tratados.

Fuente: Elaboración propia

2.6 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.6.1 Técnicas

El presente estudio aplicará en función a la recolección, organización y análisis de datos como resultado de una investigación documentada, recopilada de investigaciones, tesis, libros, revistas y artículos científicos como fuente de información, los cuales responden a la pregunta de investigación sobre la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

2.6.2 Instrumentos

En la presente investigación se utilizará como instrumento de recolección de información a una base de datos utilizando el programa Microsoft Excel (2016), dicha información se ha obtenido por medio de una búsqueda en internet de autores que hayan utilizado ésta técnica considerando el nombre del autor, el tipo de la fuente, el año de publicación y el título de la investigación. Dicha data deberá guardar relación con las variables del presente estudio; es decir, la concentración de los parámetros de los suelos tratados y del porcentaje de remoción, los cuales provienen de los resultados obtenidos por los autores.

Dentro de los datos numéricos extraídos de las investigaciones tenemos a las concentraciones de hidrocarburo tanto de la fracción media F2 como de la fracción pesada F3 en mg/kg antes y después de la aplicación de la técnica mediante lodos residuales así como el porcentaje de remoción de las investigaciones, se consideraron a su vez otros parámetros físicos y químicos como son el valor del pH, la temperatura, conductividad eléctrica, el porcentaje de nitrógeno, fosforo, carbono y de materia orgánica.

En consecuencia estos datos numéricos formaran parte de la presente investigación.

2.6.3 Procedimiento de análisis de datos

En cuanto al procedimiento se hará uso del programa Microsoft Excel (2016) para detallar los resultados, analizar los datos complejos y con ello crear gráficas y tablas, para lo cual ha sido necesario utilizar inicialmente criterios de selección tanto inclusivos como exclusivos.

El criterio de inclusión se desarrolla seleccionando todas las investigaciones experimentales que contengan las palabras claves como biorremediación, lodos residuales, suelos, contaminación e hidrocarburos las cuales provienen de fuentes confiables como Dialnet, Scielo, Redalyc. Así mismo se aplican criterios de exclusión donde se descartaron documentos con una antigüedad mayor a 10 años, luego se clasifican los estudios de acuerdo al tipo de fuente como artículos científicos, tesis y revistas la cual se determinan con un porcentaje de distribución mediante una gráfica.

Posteriormente se aplican ambos criterios a fin de evaluar las investigaciones que presenten o no las dos variables contenidas en la investigación y se seleccionan únicamente los trabajos que contengan ambas variables como la biorremediación mediante lodos residuales y el porcentaje de remoción; así mismo, estos hallazgos son comparados y plasmados mediante gráficas y tablas.

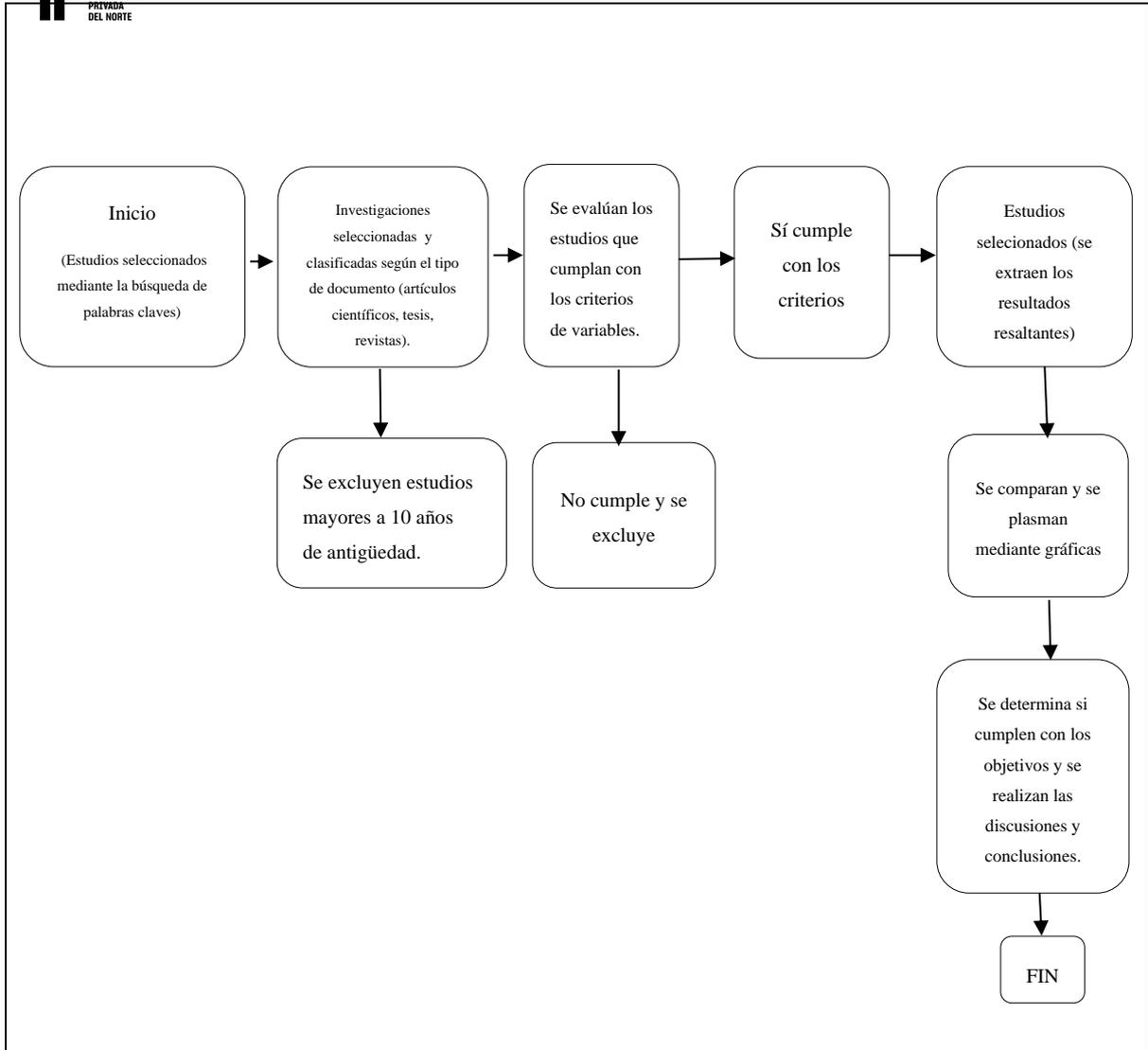


Figura 4. Procedimiento de análisis de datos mediante diagrama de bloques.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

Clasificación según el tipo de documentos de estudio:

Tipos de documentos	Autores	Porcentajes (%)
Artículos Científicos (10)	Melo et al., 2016	42%
	Buendía, 2013	
	Trujillo y Ramírez, 2012	
	Valenzuela et al., 2021	
	Barrios et al., 2015	
	Calderón, 2018	
	Vizúete et al., 2020	
	Rodríguez et al., 2012	
	Acuña y Muñoz, 2021	
	Vera, 2016	
Tesis (12)	Yoplac y Tuesta, 2018	50%
	Ramírez y Yarleque, 2021	
	Díaz y Pérez, 2021	
	Gutierrez, 2017	
	Gerónimo y Vasquez, 2017	
	Flores y Mendoza, 2017	
	Albornoz, 2014	
	Vergaray, 2022	
	Castillo, 2022	
	Calderón, 2018	
Chang, 2020		
Gaete, 2019		
Revistas (2)	Álvaro et al., 2017	8%
	Durán y Ladera, 2016	
		100%

Fuente: Elaboración propia.

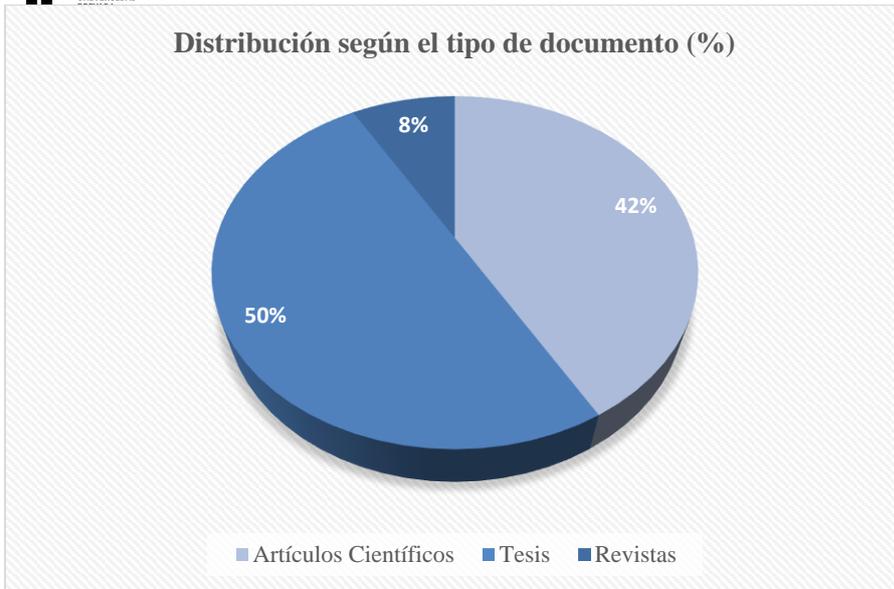


Figura 5. Distribución según el tipo de documento

Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 4 se puede evidenciar que el mayor porcentaje de estudios provienen de las tesis de investigación con un 50% seguidamente de los artículos con 42% y finalmente de revistas científicas con un 8%. Siguiendo con la selección de criterios de las investigaciones se toma en cuenta si presenta el uso de la técnica de biorremediación y el porcentaje de remoción de los parámetros como los contaminantes de hidrocarburo.

Tabla 9:

Aplicación de los criterios de selección

Biorremediación mediante lodos residuales	Porcentaje de Eficiencia	Fuente	Título
Si	Si	Álvaro et al.,2017	Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina.
No	Si	Acuña y Muñoz, 2021	Reducción de hidrocarburos (Fracción C10- C28) de petróleo en suelo contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en el distrito de Huancavelica.

No	Si	Vera, 2016	Composición de microorganismos eficientes autóctonos de un suelo contaminado por hidrocarburo.
No	Si	Yoplac y Tuesta, 2018	Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos
No	No	Melo et al., 2016	Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay.
No	Si	Buendía, 2013	Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol.
Si	No	Trujillo y Ramírez, 2012	Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia.
Si	Si	Ramírez y Yarleque, 2021	Técnicas de biorremediación y su aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos.
Si	Si	Díaz y Pérez, 2021	Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021.
Si	Si	Gutierrez, 2017	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes.

Si	Si	Gerónimo y Vasquez, 2017	Determinación de la eficiencia de Biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos.
Si	No	Valenzuela et al., 2021	Técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso en el municipio de Tibú, Norte de Santander.
No	Si	Flores y Mendoza, 2017	Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de Guarumales - Celec.
No	No	Albornoz, 2014	Evaluación de la biorremediación por biopilas para la descontaminación de suelos con hidrocarburos- Estudio de caso planta el recreo vereda La Patagonia municipio de san Carlos de Gusrda.
Si	No	Barrios et al., 2015	Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de motor.
Si	Si	Calderón et al., 2018	Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante microorganismo.
Si	Si	Vergaray, 2022	Aplicación de la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.

No	Si	Vizuite et al., 2020	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos.
No	Si	Rodríguez et al., 2012	Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel.
No	Si	Castillo, 2022	Producción y evaluación de un biosurfactante para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
Si	No	Calderón, 2018	Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de sedapal.
No	Si	Chang, 2020	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por <i>Pseudomonas</i> spp. en biorreactores.
Si	Si	Villena, 2019	Efecto de la Aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diesel.
Si	Si	Gaete, 2019	Bioremediación aerobia de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos de aguas residuales como fuente de nutrientes.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Criterios de selección en las investigaciones de estudio.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se evidencia que el 63% pertenece a los estudios que sólo presentan 1 o no presentan los criterios de selección a diferencia de los estudios que presentan el 37% con ambos criterios; dichos porcentajes representan a 15 y 9 estudios respectivamente.

Tabla 10:

Selección de estudios analizados en la presente investigación con ambos criterios.

Autores	Documento	Origen	Título
Álvaro et al.,2017	Artículo Científico	México	Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina.

Ramírez y Yarleque, 2021	Tesis	Perú	Técnicas de biorremediación y su aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos.
Díaz y Pérez, 2021	Tesis	Perú	Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021.
Gutiérrez, 2017	Tesis	Chile	Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes.
Gerónimo y Vasquez, 2017	Tesis	Perú	Determinación de la eficiencia de biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos.
Calderón et al., 2018	Artículo Científico	Perú	Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante microorganismo.
Vergaray, 2022	Tesis	Perú	Aplicación de la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos.

Gaete, 2019	Tesis	Chile	Bioremediación aerobia de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos de aguas residuales como fuente de nutrientes.
Villena, 2019	Tesis	Perú	Efecto de la Aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diesel.

Fuente: Elaboración propia.

2.7 Aspectos éticos

El presente trabajo considera a los aspectos éticos fundamentados en la data que se ha ido recabando de manera transparente, genuina y se presenta de manera confiable, las cuales han sido obtenidas a través de buscadores verídicos como Google Académico, Scielo, Redalyc, Dialnet. La información vertida en la presente investigación está debidamente citada cumpliendo de manera estricta con las normas APA establecidas por la Universidad Privada del Norte, así mismo se consideró en la presente la aplicación de la norma del D.S. N°011-2017- MINAM

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1 Comparación de parámetros de hidrocarburos F2 y F3 en el pre y post tratamiento mediante lodos residuales y el porcentaje de remoción.

Se analizaron los parámetros que utilizaron los autores en el tratamiento con lodos residuales.

Tabla 11

Cuadro comparativo de parámetros de los contaminantes de hidrocarburos y su porcentaje de remoción

Parámetros	Condiciones	Pre-T	Post - T	Eficiencia %	Autores
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS)	pH = 8.45, T= 24°C, Tiempo= 120 días, MO= 0,15%, N= 0,01%, P= 13,8%, Baja CIC=11,6 mEq/100 g., CE= 0,60 dS/m.	4800	1900	89.2%	(Álvaro et al.,2017)
Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	pH = 8.64, T= 24°C, Tiempo= 125 días. 96000 UFC.	151766	2597	93%	(Ramírez y Yarleque, 2021)
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS)	pH = 7,17, T= 25°C,	7096	3873.7	54.59%	(Díaz y Pérez, 2021)

	Tiempo= 45días. MO: 5.1%				
(C10-C28) (mg/KgMS) Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	N: 73.9 F:207.9	8980	4931.82	54,92%	
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS) Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	pH = 8.5 T= 25°C, Tiempo= 105 días. Densidad 1,45 gr/m3 Capacidad de campo: 37%	1732	19.2	99%	(Gutiérrez, 2017)
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS) Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	pH = 5,9, T= 21°C, Tiempo= 90 días	20823	12658	46%	(Gerónimo y Vasquez, 2017)
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS) Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	pH = 7.15, T= 25°C, Tiempo= 90 días MO: 2.12%	35674	21383	64.92%	(Calderón et al.,2018)
Fracción de hidrocarburo	pH = 7.53, T= 27°C,	22450.768	1121	95.01%	(Vergaray, 2022)

	Tiempo= 100 días				
(C10-C28) (mg/KgMS) Fracción de hidrocarburo F3	MO: 7.06 g/100g CE: 2963 uS/cm.				
(C28-C40) (mg/KgMS)					
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS) Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	pH = 8 , T= 22°C, Tiempo= 120 días Humedad 65+-10%	548.5	57,0	90%	(Gaete, 2019)
Fracción de hidrocarburo F2 (C10-C28) (mg/KgMS)	pH = 8, T= 22°C, Tiempo= 120 días, CE= 423.8(u s/cm)	10468.67	1075,00	87%	(Villena, 2019)
Fracción de hidrocarburo F3 (C28-C40) (mg/KgMS)	Humedad 25%	10358.67	1129.67	79%	

Fuente: Elaboración propia.

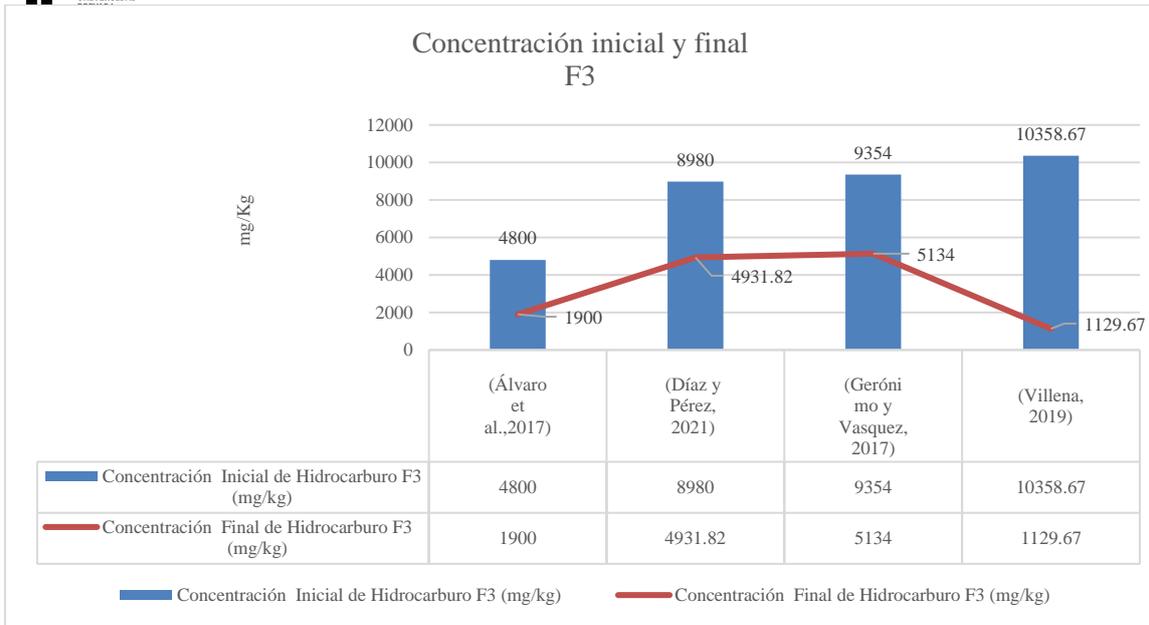


Figura 7. Concentración inicial y final de hidrocarburos F3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se evidencia la diferencia en la concentración inicial y final de hidrocarburo de fracción F3. El autor que presenta mayor declive en sus resultados es Villena (2019) cuyo valor inicial fue de 10358.67 mg/kg y su concentración final fue de 1129.67 mg/kg.

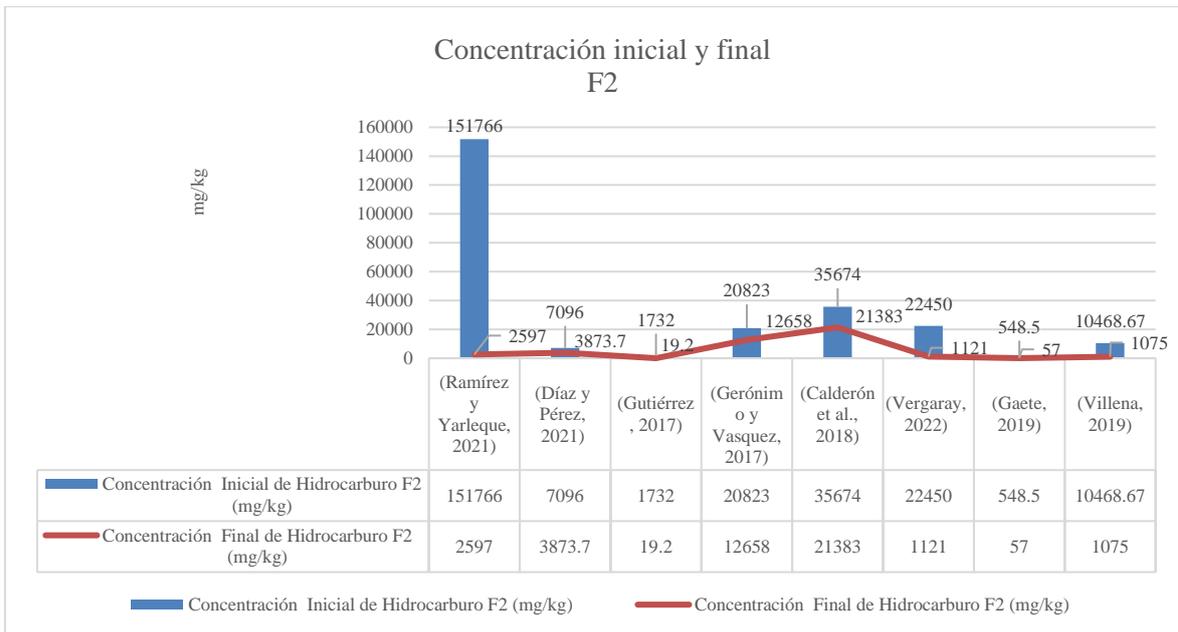


Figura 8. Concentración inicial y final de hidrocarburos F2

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se evidencia la diferencia en la concentración inicial y final de hidrocarburo de fracción F2. El autor que presenta mayor declive en sus resultados es Ramírez y Yarleque (2021) cuyo valor inicial fue de 151766 mg/kg y su concentración final fue de 2597 mg/kg.

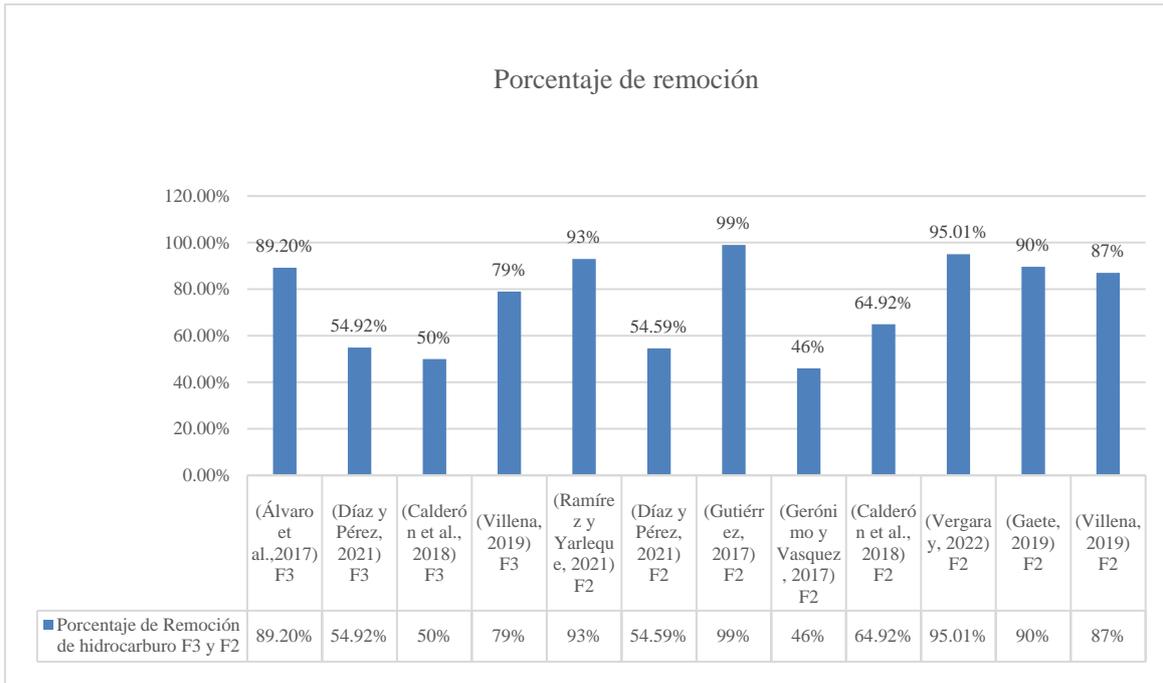


Figura 9. Porcentaje de remoción obtenida por los autores.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se evidencia una concentración final de hidrocarburo presente en F3 de 1900 mg/kg con un al 89.20% de eficiencia (Álvaro et al., 2017) en comparación a los resultados obtenidos por Calderón et al., 2018) quienes determinan una concentración final de 5134 con 50% de eficiencia. Así mismo las concentraciones de hidrocarburos F2 tiene un valor de 19.2 con un eficiencia del 99% para el autor (Gutiérrez, 2017) en comparación con los resultados obtenidos por (Gerónimo y Vásquez, 2017) quienes demuestran en su investigación una concentración de hidrocarburo F2 con un valor de 12658 al 46%.

3.2 Comparación de la concentración de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados empleando la normativa vigente.

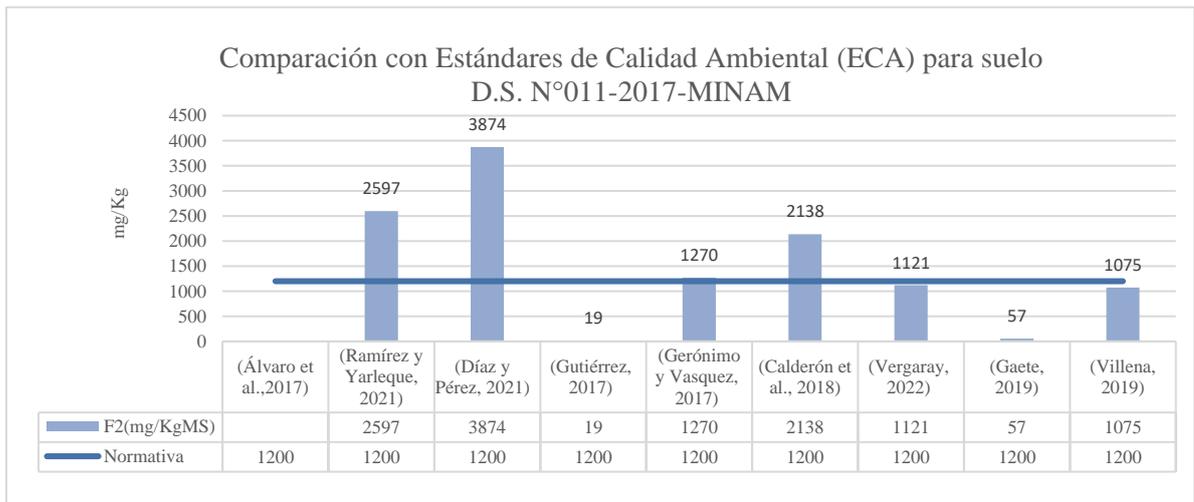


Figura 10. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Valor referencial de la normativa del ECA para suelo de uso agrícola.

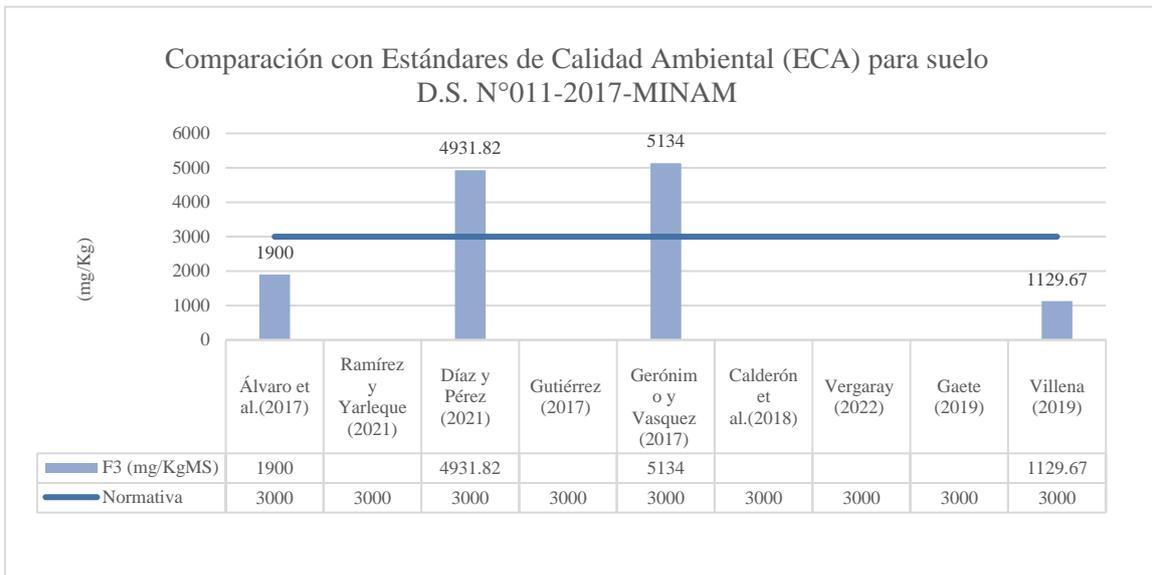


Figura 11. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos.
Fuente: Elaboración propia

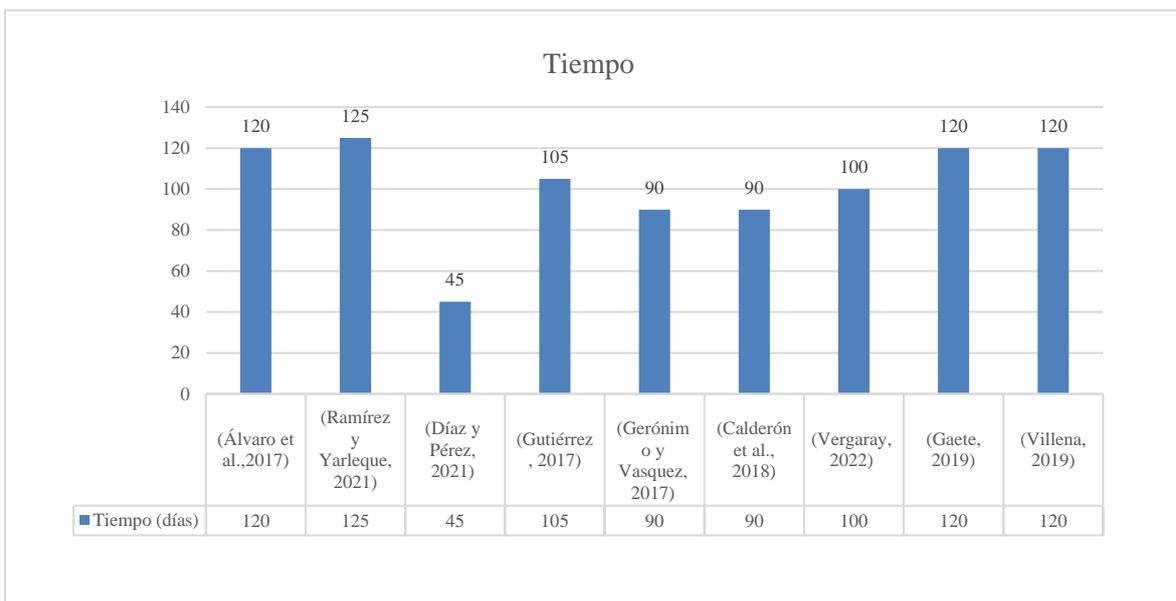


Figura 12. Tiempo de reacción al tratamiento mediante lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Se evidenciaron reacciones en éstos períodos de tiempo al aplicar el tratamiento, siendo el de 125 días el de mayor valor.

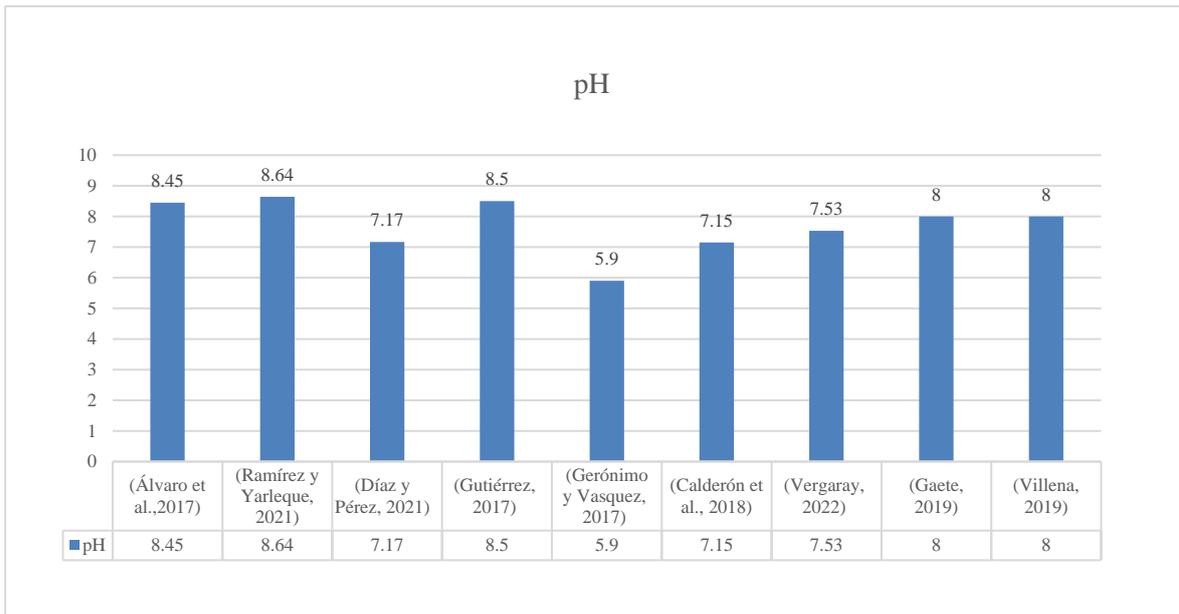


Figura 13. Condición de pH óptimo utilizados para aplicar lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los autores obtuvieron éstos valores de pH con el tratamiento de suelo contaminado por hidrocarburo mediante lodos residuales siendo 8.64 el valor más alto.

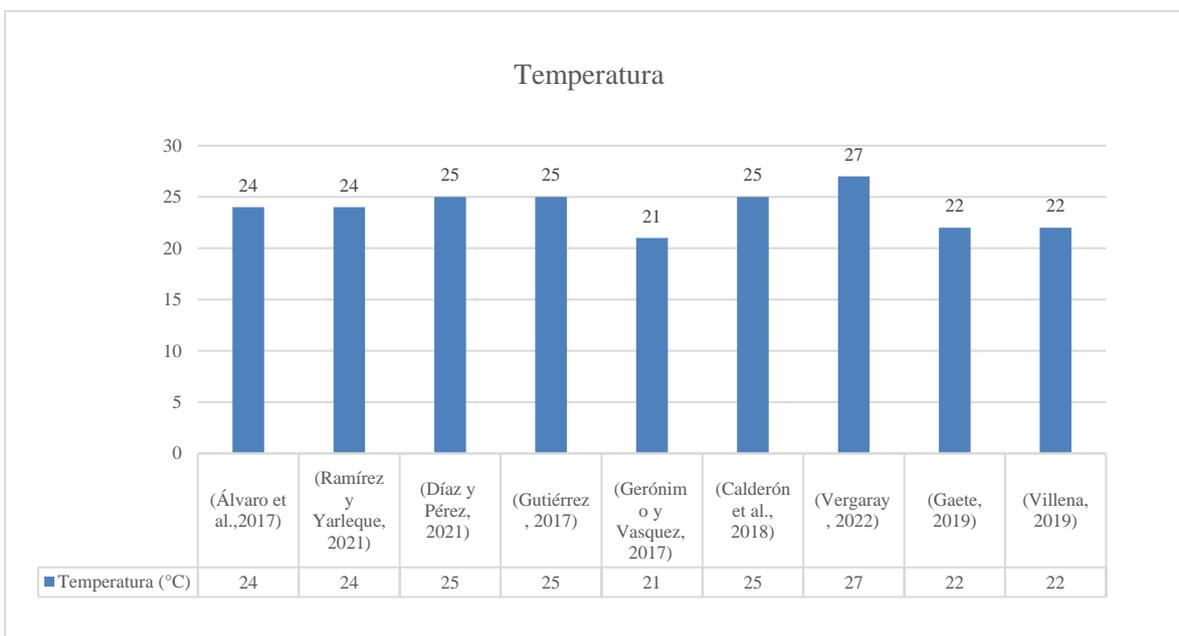


Figura 14. Temperatura utilizada al aplicar lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Valores de temperatura para el tratamiento de suelo contaminado por hidrocarburo mediante lodos residuales siendo el de mayor valor 27 °C.

3.3 Propuesta ambiental

1. Título

Propuesta ambiental empleando la técnica de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales en base a todos los estudios revisados en el distrito de Parinarí provincia de Loreto.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Recuperar la calidad de suelo contaminado por hidrocarburo en base a la técnica de la biorremediación.

2.2. Objetivo específico

2.2.1. Analizar los parámetros de hidrocarburo de fracción media F2 y de fracción pesada F3 y de las condiciones del suelo al inicio y al final del tratamiento y compararlo con la normativa vigente para suelos.

2.2.2. Implementar la técnica de biorremediación para suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Parinarí.

3. Alcance

El alcance de la presente es recuperar los suelos impactados de las zonas vulnerables de San Jose de Saramuro y Saramurillo en el distrito de Parinarí Lote 8, departamento de Loreto mediante lodos residuales de manera significativa.

4. Introducción

La contaminación de los suelos por hidrocarburos son un problema recurrente en la Amazonía de nuestro país, dañando zonas que poseen suelos de uso agrícolas. Los contaminantes de hidrocarburos si no son gestionados de manera oportuna logran

permanecer por un tiempo prolongado llegando a adherirse a los poros del suelo provocando la disminución del O₂ y su permeabilidad, ésto generaría un grado de toxicidad alterando la composición natural del suelo y en consecuencia la pérdida de sus nutrientes y de su actividad microbiana reduciendo el crecimiento vegetativo y poniendo en riesgo la fertilidad de los suelos. OEFA (2018) presentó un informe N° 326-2018- OEFA/DEAM-SSIM donde se registran sitios impactados por hidrocarburos en las comunidades de San José de Saramuro y Saramurillo en el distrito de Parinarí departamento de Loreto cuyos contaminantes exceden el ECA para suelos de uso agrícola de F2 en 6 muestras y de F3 en las 22 muestras analizadas, cabe resaltar que el sitio impactado se encuentra a 10 km del pueblo indígena Kukama Kukamiria con 603 habitantes y presentan zonas de plantaciones de aguajal las cuales son parte de la actividad económica de la zona; los evaluadores, evidencian mediante el color y olor una afectación organoléptica en el suelo por presencia de hidrocarburos abarcando 80 ha de terreno como producto de las actividades de exploración y explotación; Yusta et al. (2015) mencionan además que el evento pudo suceder en la infraestructura del oleoducto batería 3 de Pluspetrol Norte S.A que pasa cercano a la población . Es por ello que se considera que aplicar ésta técnica de remediación de suelos mediante lodos residuales puede ser benéfico produciendo una degradación natural y significativa de las fracciones de petróleo que se encuentran en el suelo y llevarlos hasta niveles que puedan cumplir con los estándares de calidad ambiental.

5. Área de estudio

Ubicado en la cuenca del río Marañón, comunidad Saramuro distrito de Parinarí departamento de Loreto.

6. Duración

Debido al análisis de los estudios previos se considera un período de tratamiento de 120 días para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

7. Planificación

- El sitio contaminado por hidrocarburo está ubicado en la comunidad de Samamuro, distrito de Parinarí, departamento de Loreto.
- El tipo de contaminante el cual se va a estudiar es de hidrocarburos de fracción media F2 y de fracción pesada F3 en el suelo de la zona.
- Los lodos residuales son aplicados para la remediación de los suelos y puede considerarse como un fertilizante por su contenido de nutrientes como nitrógeno y fósforo y de microorganismos capaces de degradar contaminantes como los hidrocarburos de fracción media y pesada; su aplicación, resultará favorable para mejorar la calidad de los suelos de uso agrícola. Son generados dentro de las PTAR provenientes de las aguas residuales urbanas, éste tipo de planta producen una mayor cantidad de lodos anualmente, la nueva planta de tratamiento en Nauta en la Región de Loreto sería un punto estratégico para obtener lodos residuales cerca a la zona impactada (SUNASS, 2015).
- Realizar un seguimiento luego de la aplicación de lodos para verificar la degradación de los contaminantes.

8. Procedimiento

Se establece la muestra de suelo contaminado y se evalúan mediante el método de cromatografía para identificar los el valor de los contaminantes de hidrocarburos de fracción media F2 y de fracción pesada F3 en el instituto nacional de calidad a fin de garantizar los

de resultados de los análisis, así mismo se determinan los parámetros fisicoquímicos y biológicos los lodos residuales que serán utilizados para la remoción de suelos contaminados.

Medición de los valores adecuados para el suelo

El valor de pH de los suelos es una condición relevante para un proceso efectivo de remediación, los valores entre 6 a 8 de pH permiten el crecimiento y el desarrollo de los microorganismos y es adecuado para tratar los suelos debido a que se garantizaría la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, recomienda adicionar azufre en caso se requiera el cual debe ser monitoreado durante los 120 días que dura todo el procedimiento (Villena, 2019). La conductividad eléctrica del suelo como lo detalla Vergaray (2022) se debe evaluar con una muestra de tierra de 20 gr con 100 ml de agua en un recipiente tapado agitándola por un periodo de 30 min. para luego proceder a medirlo con un conductímetro, éste proceso debe realizarse antes y después del tratamiento de suelo con lodos residuales, es importante ya que permite conocer el grado de salinidad de la tierra y la facilidad de absorción del agua en los cultivos. La temperatura se evalúa de manera directa sobre el suelo tratado mediante un termómetro que viene a ser el instrumento de medición y se determinará a los 9 cm de introducida la varilla, la temperatura adecuada según Álvaro et al. (2017) es de 25°C. Ramírez y Yarleque (2021) determinan valores de los macronutrientes de C:N que van de 10:1 a 30:1, considerando que son los que controlan el desarrollo de la microbiología y del contenido de la materia orgánica en los suelos.

Higienización del lodo y mezcla con el suelo contaminado

Los lodos residuales que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales deshidratados deben ser higienizados es decir que deben pasar por un proceso de

estabilización antes de ser utilizados en los suelos, el cual es realizado por medio de la cal (CaO) donde se adicionan por kilo de lodo, medio kg de CaO, se mezclan y se deja a temperaturas superiores a 75°C por un período de 24h, posteriormente es tamizado (Vergaray, 2022). El suelo contaminado es mezclado con los lodos residuales en proporción de 50:50 respectivamente los cuales serán evaluados en 3 frascos de vidrio de 2 litros de capacidad cada uno donde se depositará 1 kg de suelo contaminado mezclado y se le colocará una tapa de gasa para permitir el ingreso del oxígeno también se debe humedecer con agua cada 3 días para asegurar con ello la actividad microbiana; se hace el seguimiento durante un periodo de 120 días considerando las condiciones óptimas para la degradación con una temperatura de 25°C, un valor de pH de 7.53 y una humedad relativa del 70%, finalmente se debe realizar los análisis de los parámetros de fracción F2 y F3 así como la CE, pH y nutrientes al termino del tratamiento y compararlos con la normativa vigente.

9. Presupuesto del proyecto ambiental

Tabla 12

Presupuesto del proyecto ambiental

Presupuesto del Proyecto	1 Mes	2 Mes	3 Mes	4 Mes	Total
Trabajadores:					
Ingeniero Ambiental (1)	3500	3500	3500	3500	14000
Practicante(1)					
Monitoristas (24)	1200	1200	1200	1200	4800
Ayudantes (2)	1800	1800	1800	1800	7200
Análisis Laboratorio:					
Parámetros de HC	1080	1080	1080	1080	4320
Parámetros fisicoquímicos y biológicos	1500	1500	1500	1500	6000
Medios:					

LR/ Kg	5000	5000	5000	5000	20000
Transporte	200	200	200	200	800
Agua /L	3000	3000	3000	3000	12000
				Costo total de inversión (S/.)	69120

Figura 14. Presupuesto del proyecto ambiental

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SUNASS (2021).

Cabe mencionar que todos los estudios analizados han sido elaborados a nivel de laboratorio y se ha considerado el valor de lodo de S/ 0.11 por kilogramo según SUNASS (2020).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Respecto a los parámetros evaluados en los estudios se observa que los hidrocarburos de fracción media F2 y de fracción pesada F3 son de mayor relevancia y deben ser analizados debido a que la afectación sobre el suelo provienen de productos derivados del petróleo, diésel, petróleo crudo, aceites de petróleo; entre otros, según D.S. N° 011- 2017-MINAM. Es por ello que los autores en sus investigaciones se centran en la normativa haciendo referencia a éstos dos tipos de contaminantes.

La biorremediación de suelos mediante lodos residuales es una técnica efectiva como se observa en la Tabla 12, Gutiérrez (2017) consideró el uso de lodo fresco para una remoción altamente efectiva, por otro lado menciona que las muestras de suelo deben tener una buena cantidad de nutrientes y un porcentaje de humedad adecuado con la finalidad de mantener la actividad microbiana; sin embargo, Gerónimo y Vásquez (2017) obtienen un porcentaje de remoción de hidrocarburo de fracción media del 46%, consideran que éste resultado bajo de remoción se origina por el valor que utilizaron de pH de 5.9 y sostienen que los valores neutros entre 7.4 a 7.8 son los adecuados para que se genere la biodegradación de contaminantes.

En cuanto a la concentración de hidrocarburo de F3 como se muestra en la figura 7 la diferencia entre la concentración inicial y final, el autor que presenta mayor declive en sus resultados es Villena (2019) corroborando la efectividad del proceso y menciona que la adición de lodos en las muestras aceleró la actividad metabólica por su alto contenido de N disponible y de humedad dentro de los 28 primeros días; sin embargo considera que si esto no es monitoreado en algunos casos puede generar un excesivo incremento de bacterias

capaces de degradar pero también de consumirse los nutrientes Así mismo en la figura 8 se puede evidenciar la diferencia entre la concentración inicial de hidrocarburo de fracción media F2 y la final en donde se visualiza el porcentaje de remoción del contaminante por ende la efectividad del uso de lodos residuales. El autor que presenta mayor cambio en sus resultados es Ramírez y Yarleque (2021) quien guarda similitud con Villena (2019) en cuanto a la actividad microbiana el cual se acelera en presencia de lodos aumentando la cantidad de las bacterias heterótrofas capaces de remover los contaminantes.

En la comparación de resultados de los parámetros de hidrocarburos y la normativa vigente en la figura 9, se observan los contaminantes de F2 en los autores como Gutierrez (2017), Vergaray (2022), Gaete (2019) y Villena (2019) quienes si concuerdan con la efectividad de uso de lodos residuales ya que sus resultados sí cumplen con la normativa logrando la degradación de los contaminantes hasta alcanzar los estándares de calidad, hacen mención que éste proceso radicaría en tres factores importantes como son la presencia de nutrientes, la humedad y la densidad, debido a que estimulan la microbiota para aumentar la degradación de los contaminantes (Vergaray,2022). En tanto Dáz y Pérez (2021), Ramírez y Yarleque (2021), Calderón et al. (2018) y Gerónimo y Vásquez (2017) no alcanzan el estándar de calidad debido a que sus concentraciones iniciales fueron muy elevadas y mencionan que se requiere un mayor control de los parámetros fisicoquímicos como el pH, el tiempo y de la temperatura. Según Gutiérrez (2017) y Vergaray (2022) sostienen que el adicionar nutrientes, humectación adecuada, oxigenación constante así como valores de pH superiores a 7.5, temperatura promedio de 25°C, un tiempo no menor a 120 días y el monitoreo constante asegurarían un mayor porcentaje de remoción de los contaminantes y de esa manera alcanzar los estándares de calidad ambiental ideales para suelo.

La comparación entre los resultados de los parámetros de hidrocarburos F3 con la normativa vigente en la figura 10, Álvaro et al.(2017) concuerda con la eficiencia de la aplicación de lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos debido a la reducción significativa de las fracciones de petróleo como producto del metabolismo microbiano. encontrándose sus concentraciones dentro de los estándares de calidad. En tanto Villena (2019) sostiene que la adición de lodos genera una estimulación de la degradación microbiana de los contaminantes reconociendo la eficiencia del tratamiento. Sin embargo algunos resultados superan los estándares de calidad para suelo D.S. N° 011- 2017- MINAM como Díaz y Pérez (2021) quienes sostienen que las fracciones media y pesada de petróleo son mas difíciles de degradar por su elevado peso molecular y baja solubilidad en el agua, así mismo Gerónimo y Vasquez (2017) considera que la aplicación de lodos llega a ser un proceso eficiente y sostenible debido a que las propiedades físicoquímicas como son el olor,color temperatura población microbiana y pH tuvieron una mejoría en relación a las muestras iniciales; sin embargo, los resultados que obtuvieron no cumplieron con los estándares y se presume que se debió a la dosis de lodo que aplicaron en su experimento y al monitoreo inadecuado.

Se considera al pH como una condición relevante para un proceso efectivo de remediación como lo indica Villena (2019) quien sostiene que los valores van de 7 a 8 de pH el cuál permite el crecimiento y el desarrollo de los microorganismos así mismo indica que esos valores garantizarían la disponibilidad de los nutrientes en el suelo ; en consecuencia los autores en su mayoría utilizaron valores entre los 7.15 y 8.64 a diferencia de Gerónimo y Vázquez (2017) con el menor valor equivalente a 5.9 como se muestra en la figura 12. Por su parte Gutiérrez (2017) considera que el pH óptimo para bacterias heterótrofas debe ser

neutro con valores entre 6 y 8, sin embargo para los hongos el rango deben ser de 4 a 5; así mismo, en un tratamiento de biodegradación se obtendrán resultados adecuados si el pH posee valores desde 7,4 a 7,8 por su parte menciona también que el azufre cumple una función de regulador del pH en caso se requiera.

En cuanto al tiempo, Díaz y Pérez (2021) emplean un menor tiempo de reacción y realizan una comparación en cuanto al porcentaje de remoción primero en 20 días y luego en 45 días obteniendo como resultado 34.89% y 54.92% respectivamente, y menciona que los resultados son óptimos aún sabiendo que los hidrocarburos de fracción media y pesada son de difícil degradación, considerando que poseen un peso molecular elevado y baja solubilidad en agua; sin embargo, menciona también que requiere de un mayor tiempo de tratamiento para que se genere la biodegradación de los contaminantes del suelo. Por otro lado los autores como se muestra en la figura 11 estiman para el tratamiento de suelos mediante lodos residuales se requieren tiempos con valores superiores a los 90 días, en el caso de Vergaray (2022) obtuvo cambios a los 100 días de tratamiento; así mismo, Álvaro et al. (2021), Gaete (2019) y Villena (2019) obtuvieron cambios en un período de 3 meses donde realizaron análisis progresivos durante ese período logrando remociones superiores al 90%.

En cuanto a la temperatura, la figura 13 muestra que el menor valor es el propuesto por Gerórigo y Vásquez (2018) con 21°C a diferencia de Vergaray (2022) con un valor de temperatura de 27°C quien considera que necesitó una mayor temperatura para obtener un mejor porcentaje de degradación en 100 días de proceso sin embargo Gutiérrez (2017) utilizó una temperatura de 25°C y pudo obtener mejores resultados con un periodo de tratamiento de 105 días, obtuvo mejor resultado porque consideró un mayor valor del pH de 8.5, Gaete

(2019) menciona que la temperatura adecuada se encuentra entre los 20 y 30°C para el crecimiento bacteriano y su actividad metabólica o biodegradación de los contaminantes.

La humedad también ha sido una de las condiciones tomadas de importancia por los autores. Según Gaete (2019) menciona que los microorganismos para crecer requieren de ésta condición necesaria para que los nutrientes como N y P mediante el agua sean transportados hacia el interior de las células, así mismo excederse de la humedad alteraría minimizando el crecimiento de las bacterias encargadas de remediar el suelo debido a la reducción del oxígeno existente en él, por otro lado los lodos residuales contienen abundantes concentraciones de nitrógeno y fósforo así como de materia orgánica los cuales permitirán optimizar el metabolismo microbiano.

Según OEFA (2018) indica que el grado de remoción en los suelos en el distrito de Parinarí, Loreto se relaciona con el tiempo de degradación y el oxígeno en su composición ya que son factores importantes para determinar la velocidad de la descomposición de los contaminantes de hidrocarburo, quien concuerda a ésta afirmación es Gaete (2019) quien menciona que el oxígeno presente es determinante para un proceso aerobio donde los microorganismos aceptan el O₂ el cual puede ser proporcionado manualmente a través del arado en suelos de cultivo.

La propuesta ambiental mediante lodos residuales se presenta como alternativa de solución a fin de minimizar los contaminantes en suelos impactados por hidrocarburos, y se plantea a partir de los estudios revisados y estudiados de diferentes autores que nos dan evidencia sobre la efectividad considerándola su aplicación en los suelos de la zona de San José de Saramuro y Saramurillo en el distrito de Parinarí departamento de Loreto.

4.2 Limitaciones

Los estudios encontrados sobre remediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales son muy escasos aún; debido a la situación actual se ha hecho un análisis de diversos estudios que cumplan con las variables basados en la eficiencia y remoción de suelos mediante lodos residuales. Así mismo se consideró como limitación el aplicar los criterios de selección de las investigaciones tomando de referencia estudios con una antigüedad como máximo de 10 años debido a que se encontraron muy poco estudios que permitan evaluar los parámetros establecidos para la presente investigación.

4.3 Implicancias

El presente trabajo de investigación procura dejar un aporte en información sobre la recuperación de suelos que son dañados por derrames de hidrocarburos mediante técnicas ambientales como es la aplicación de lodos residuales para reducir o minimizar los impactos, puesto que en su mayoría son vertidos a los rellenos sanitarios sin previo tratamiento. Se plantea una propuesta ambiental sobre el tratamiento de suelos mediante lodos residuales.

4.4 Conclusiones

- Se analizaron las diferentes investigaciones de la técnica de bioremediación mediante lodos residuales y se concluye que los autores obtienen una reducción de los contaminantes de hidrocarburos de fracción media F2 siendo la mas alta de (Gutiérrez, 2017) de un 99% y el 89.20% en fracción pesada de F3 de (Álvaro et al, 2017) corroborando la efectividad del uso de lodos residuales, los autores sostienen que éste resultado se dará siempre que el suelo permanezca en condiciones óptimas para su reacción, es decir que tenga valores adecuados de pH, un tiempo determinado, una temperatura y un porcentaje de humedad apropiado. En

cuanto a la procedencia de los lodos residuales se han considerado en las investigaciones seleccionadas a las de origen de aguas residuales de uso doméstico debido a que no contienen altos niveles de metales pesados y toxicidad lo cual favorecería el tratamiento.

- Se comparó los parámetros de influencia como el de fracción media F2 y fracción pesada F3 en el pre y post tratamiento mediante la aplicación de lodos residuales en suelos contaminados por hidrocarburos. Entre los resultados se destacó a Ramírez y Yarleque (2021), con una disminución notable de la concentración de la fracción media F2 así mismo se hallaron los resultados de Villena (2019) con una alta reducción del contaminante de fracción pesada F3.

- Se comparó la concentración de fracción media F2 y fracción pesada F3 obtenida como respuesta a la aplicación de la técnica de remediación mediante lodos residuales con la normativa ambiental vigente D.S. N° 011-2017-MINAM y se puede evidenciar que los autores alcanzaron niveles de estándares de calidad para suelo quienes consideraron condiciones adecuadas como un mayor tiempo de reacción del tratamiento así como valores de pH superiores a 8 y con temperatura no menor a 24 °C.

- Se generó una propuesta de tratamiento en suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales como un aporte de carácter ambiental, considerando a los diversos estudios donde se ha evidenciado resultados que han sido favorables y que corroboran la efectividad del su uso de ésta técnica con lo cual se pretende con ello mejorar la calidad de los suelos en el distrito de Parinarí, Loreto.

REFERENCIAS

- Abren, J. (2012) Hipótesis, método & diseño de investigación. *En Revista Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.
- Acuña & Muñoz (2021) Reducción de hidrocarburos (Fracción C10- C28) de petróleo en suelo contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica, Perú. Recuperado de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e6d70981-ee89-4c83-afbe-7475814b8098/content>
- Albornoz, L., (2014). Evaluación de la biorremediación por biopilas para la descontaminación de suelos con hidrocarburos- Estudio de caso planta el recreo vereda La Patagonia. Colombia. Recuperado de: https://www.academia.edu/36642249/Evaluaci%C3%B3n_de_la_biorremediaci%C3%B3n
- Alvaro, C., Arocena, L., Martínez, M.& Nudelman, N.(2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000200247
- Barrios, L., Robayo, J., Prieto, S. & Cardona, S. (2015). Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de motor. Medellín, Colombia. Recuperado de: <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-cintex/articulo/biorremediacion-de-suelos-contaminados-con-aceites-usados-de-motor>
- Buendía, H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. Lima, Perú. Recuperado de: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101>
- Calderón, F., Gomez, W., Jaco, E., Reynaga, C., Guiño, M., Gamarra, J., Díaz, F., Huaman, N., Rafael, P., Mayte J., Moran, M. & Carhuancho, L., (2018). Eficiencia de

- la biorremediación de suelos contaminados con Diesel B5 mediante microorganismo. Lima, Perú. Recuperado de: <https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/view/278/257>
- Calderón, M. (2018), Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de sedapal. Lima. Recuperado de: <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2708>
- Castillo, E. (2022). Producción y evaluación de un biosurfactante para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. México. Recuperado de: <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/9061>
- Chang, I.(2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por *Pseudomonas spp.* en biorreactores. Tingo María, Perú. Recuperado de: https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1818/TS_IWCH_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Diario Oficial El Peruano (2017). Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-condiciones-minimas-de-manejo-de-lodos-y-las-insta-resolucion-ministerial-no-128-2017-vivienda-1506028-3>
- Díaz & Pérez (2021). Biochar de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en Huachipa, 2021. Lima, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72584>
- Espinoza, J. & Santos, G. (2021). Innovación en la gestión de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico en Lima Perú. Recuperado de: [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/75726%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/75726%20(2).pdf)
- Flores, C. & Mendoza, J.(2017). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de Guarumales - Celec. Cuenca, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27211>
- Gaete, H.,(2019). Bioremediación aerobia de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lodos de aguas residuales como fuente

- de nutrientes. Concepción, Chile. Recuperado de:
http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3354/1/Gaete_Mora_H%C3%A9ctor_Alfredo.pdf
- Gutiérrez, C. (2017). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando lodos de aguas residuales como fuente alterna de nutrientes. Concepción, Chile. Recuperado de:
http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3096/1/Gutierrez_Ramirez_Claudio_Andres.pdf
- Gerónimo, A., & Vásquez, C. (2017). Determinación de la eficiencia de Biorremediación con lodos activados en suelo contaminado por hidrocarburos. Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3255>
- Huanqui, A. (2018). Aprovechamiento de biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual en una unidad minera- 2019. (Tesis de Título). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú. Recuperado de:
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/8126/4G.0004.IA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Loose, D. (2015). Elaboración de contenidos. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) 1.ª Edición. Lima, Perú. Recuperado de:
<https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Llano, B., Cardona, J., Ocampo, D. & Ríos, L. (2014). Physical-Chemical Treatment of Wastewater from the Benefit Process of Clays and Alternative uses of the Sludge Generated by the Process. En *Revista Información Tecnológica*, 25(3), 73-82.
- Melo, A., Rodríguez, A. & González, J. (2016). Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay. Bogotá, Colombia. Recuperado de:
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1851>
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental OEFA (2018). Evaluación ambiental para la identificación del sitio impactado con código S00019, ubicado en el ámbito de la cuenca del río Marañón, distrito de Parinarí, provincia y departamento de Loreto. Perú. Recuperado de:
<https://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/124>

- Pino, N., Carbabal, S. & Gallo, A., Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel. Caldas, Colombia. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552012000100010&lng=e&nrm=iso&tlng=es
- Ramírez & Yarleque (2021). Técnicas de biorremediación y su aplicación en suelos contaminados con hidrocarburos. Lima, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30432/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento SUNASS (2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento. Recuperado de <https://www.sunass.gob.pe/sunass-termina/publicaciones/aguas-residuales/>
- Trujillo, Ramírez (2012). Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. Medellín. Recuperado de :file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Dialnet-BiorremediacionEnSuelosContaminadosConHidrocarburo-5344956%20(1).pdf
- Valenzuela, I., Galindo, L., Mantilla, D., Moncada, D., Orijuela, E., Romano, K. & Rincón, J. Técnicas de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con fines de uso en el municipio de Tibú, Norte de Santander. Cúcuta, Colombia. Recuperado: file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Dialnet-TECNICASDEBIORREMEDIACIONDESUELOSCONTAMINADOSPORHI-8234914%20(1).pdf
- Vera, D., (2016). Composición de microorganismos eficientes autóctonos de un suelo contaminado por hidrocarburos. Tesis, Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.espm.edu.ec/handle/42000/279>
- Vergaray, M.(2022). Aplicación de la técnica del microcosmo para evaluar la capacidad de los lodos residuales como biorremediadores de suelos contaminados con hidrocarburos. Lima, Perú. Recuperado de: file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Tesis%20(6).pdf

Villena, J.(2019). Efecto de la Aplicación de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el proceso de biorremediación de un suelo contaminado por combustible diesel. Lima, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/827/TL-Villena%20Jorge.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vizuite, R., Pascual, A., Taco, C.& Morales, M. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. Ecuador. Recuperado de; http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492020000100177

Yóplac & Tuesta (2020). Prospección de especies arbóreas para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, Amazonas, Perú. Recuperado de: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1474>

ANEXOS

ANEXO N° 1 Matriz de consistencia.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable	Metodología
¿Cuán eficiente es la técnica de biorremediación en suelo contaminado por hidrocarburo mediante el uso de lodos residuales?	Analizar la eficiencia de la técnica de biorremediación mediante el uso de lodos residuales como tratamiento de suelo contaminado por hidrocarburo.	Se analizó en los estudios la eficiencia de la técnica de biorremediación mediante el uso de lodos residuales como tratamiento de suelo contaminado por hidrocarburo cuyo porcentaje más alto de remoción fue del 99% .	Biorremediación mediante lodos residuales	Diseño de investigación: No experimental Tipo de investigación: descriptiva comparativa Enfoque de investigación Cualitativa Instrumento de recolección de datos: Revisión sistemática
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable	Población y Muestra
<p>1. ¿Cómo se realizará la comparación de los parámetros de hidrocarburos F2 y F3 en el pre y post tratamiento con el porcentaje de remoción mediante lodos residuales?.</p> <p>2. ¿Cómo se realizará la comparación de los porcentajes de remoción obtenidos por los autores?</p> <p>3. ¿Cómo se realizará la comparación de las concentraciones de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados empleando la normativa vigente?</p> <p>4. ¿Cuál será la propuesta del tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales en el distrito de Parinarí provincia de Loreto?</p>	<p>1. Comparar los parámetros de hidrocarburos F2 y F3 en el pre y post tratamiento mediante lodos residuales y el porcentaje de remoción.</p> <p>2. Comparar el porcentaje de remoción obtenidos por los autores.</p> <p>3. Comparar la concentración de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados empleando la normativa vigente.</p> <p>4. Proponer el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales en el distrito de Parinarí provincia de Loreto.</p>	<p>1. Se comparó el parámetro de hidrocarburo de fracción pesada F3 antes y después del tratamiento mediante lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos con valores de 10358.67 mg/kg y 1129.67mg/kg respectivamente. Así mismo se comparó el parámetro de hidrocarburo de fracción media F2 antes y después del tratamiento cuyos valores fueron de 151766 mg/kg y 2597 mg/kg respectivamente donde se determina un declive en ambas concentraciones de los contaminante.</p> <p>2. Se comparó el porcentaje de remoción de hidrocarburo luego de tratamiento mediante lodos en suelos contaminados con hidrocarburos en base a los resultados obtenidos por los autores y se determinó que el porcentajes de remoción se encuentra por encima del 90% .</p> <p>3. Se comparó la concentración de hidrocarburos obtenidas posterior a la aplicación de la técnica de biorremediación mediante lodos residuales en suelos contaminados con hidrocarburos cuyos valores obtenidos por los autores cumplen con la normativa de nuestro país.</p> <p>4. Se generó una propuesta de tratamiento en suelos contaminados por hidrocarburos mediante lodos residuales como un aporte de carácter ambiental para mejorar la calidad de los suelos en el distrito de Parinarí, Loreto.</p>	Eficiencia	Población: 24 estudios de tesis, artículos científicos y revistas Muestra: 9 estudios aplicando criterios de selección.

ANEXO N° 2. Propuesta ambiental

TÍTULO:				
Propuesta ambiental mediante lodos residuales como tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos en el distrito de Parinarí provincia de Loreto.				
Ámbito	Propósito	Ubicación	Alcance del proyecto	Medio ambiente
Suelos contaminados con hidrocarburos.	Tratar suelos contaminados con hidrocarburos mediante lodos residuales.	Distrito de Parinarí, provincia y departamento de Loreto.	Remediar los suelos impactados en el distrito de Parinarí mediante lodos residuales de manera significativa.	Los suelos en la región de Loreto L-8, vienen siendo contaminados por derrames de hidrocarburos, como lo indica (OEFA, 2018) cuyo registro data de una afectación de 80 ha. generando daños y alteración en la composición de los suelos agrícolas; es por ello, que se propone tratarlos mediante lodos residuales como una alternativa a fin de disminuir los impactos ambientales y llevarlos hasta niveles que puedan cumplir con el ECA.
TÉCNICA APLICADA		APORTE		
<p>Utilizar lodos residuales de las plantas de tratamientos para la degradación de los contaminantes provenientes de los hidrocarburos. Para lo cual se seguirá el siguiente procedimiento:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Localización del área a tratar. 2.- Realizar análisis para identificación de los contaminantes de hidrocarburos. 3.- Aplicar lodos residuales estabilizados provenientes de las ptar de aguas residuales urbanas debido a su alta producción como menciona SUNASS (2015) diariamente se generan 2537.85 Tn/ día y son comercializadas a muy bajo costo entre 0,11 a 0.25 soles por Kilo de lodo . 4.- Seguimiento luego de la aplicación de lodos para verificar la degradación o cambios de los contaminantes F2 y F3 y de parámetros como el valor del pH, temperatura adecuada en un período de 4 meses. 		<p>Se pretende dar a conocer la efectividad de ésta técnica en la remoción de contaminantes por hidrocarburos aplicando lodos residuales en suelos impactados como una alternativa de solución; de tal forma que se logre mejorar la calidad de los suelos en las comunidades de San José de Saramuro y Saramurillo en el distrito de Parinarí departamento de Loreto cuyos contaminantes exceden el ECA para suelos de uso agrícola de F2 y de F3 dadas a conocer en un informe N° 326-2018- OEFA/DEAM-SSIM por OEFA(2018) donde se registran sitios impactados por hidrocarburos.</p>		

ANEXO N° 3. . Cronograma de la propuesta

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	M 1				M 2				M 3				M 4			
	S-1	S-2	S-3	S-4												
Problema de investigación																
Revisión y recolección de datos																
Título de la investigación																
Introducción, problema de investigación y Objetivos																
Desarrollo y análisis																
Técnica y procedimiento del proyecto																
Presupuesto																

ANEXO N° 4 Resultados de las muestras obtenidas en el distrito de Parinarí, Loreto (OEFA, 2018)

Código de muestra	Parámetros	
	FH F2 (>C ₁₀ -C ₂₈) mg/kg	FH F3 (>C ₂₈ -C ₄₀) mg/kg
S0019-SU-001	248,8	3 465
S0019-SU-002	182,7	3 430
S0019-SU-002-prof	239,6	3 613
S0019-SU-003	992,8	5 646
S0019-SU-004	218,1	3 015
S0019-SU-005	5 821	18 197
S0019-SU-006	4 072	12 823
S0019-SU-007	34 470	104 965
S0019-SU-008	408,9	6 060
S0019-SU-009	4 216	14 131
S0019-SU-009-prof	3 490	13 344
S0019-SU-010	755,1	6 442
S0019-SU-011	321,3	4 808
S0019-SU-012	490,3	3 989
S0019-SU-013	1 152	6 189
S0019-SU-014	18 617	50 097
S0019-SU-015	400,0	4 970
S0019-SU-016	353,7	4 897
S0019-SU-016-prof	186,5	3 670
S0019-SU-017	352,5	4 804
S0019-SU-018	388,1	6 414
D.S. N.° 011-2017-MINAM Uso de Suelo Agrícola	1 200	3 000

FH F2: Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media
 FH F3: Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada
 ■ : Supera el Estándar de Calidad Ambiental para Suelo

ANEXO N° 5 Registro de selección de las investigaciones de los autores

Fuentes	Tipo de documento	País	Título de la investigación