

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“BIORREMEDIACIÓN DE SUELO
CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS DE
FRACCIÓN MEDIA MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE COMPOST A BASE DE
CÁSCARA DE *Citrus limon* (LIMON)”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Rocio Marizol Marin Sipiran

Tiara Vanessa Torres Solis

Asesor:

Mtr. Magda Rosa Velasquez Marin

<https://orcid.org/0000-0001-9802-7911>

Lima - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Irma Geralda Horna Hernandez
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Gladys Sandi Licapa Redolfo
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Magda Rosa Velasquez Marin
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 of 90 - Integrity Overview

Identificador de la entrega trn:oid::1:3254630586

17% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.




Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text

Exclusions

- ▶ 4 Excluded Sources
- ▶ 1 Excluded Match

Top Sources

- 17%  Internet sources
- 8%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Replaced Characters**
31 suspect characters on 11 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

A mis padres, Walter Marín Honorio y Betty Sipirán Zarate, quienes me apoyan de forma incondicional y son pilares fundamentales en mí vida personal y mí desarrollo académico. Gracias por la motivación y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mí hermana, Melissa Marín Sipirán, por ser mí inspiración en el ámbito personal y profesional. Admiro tu tenacidad y compromiso para afrontar los retos de la vida. Gracias por tu apoyo y ser mí ejemplo a seguir.

Rocio Marizol Marin Sipiran

A mis queridos padres Maria Julbia Solis Cueva y Rómulo Torres Nuñez que con su apoyo y amor incondicional me ayudaron a cumplir este importante logro en mi vida, a mi pequeño hijo Iktan Loan Torres Torres y mi pareja Renzo Torres Pérez que me motivan día tras día a seguir mis sueños.

A mis hermanos Javier, Alex, Cesar y Melissa que con su ejemplo de unión y amor me enseñaron a valorar lo importante que es la familia, a mis sobrinas Yadhira, Melissa y Guadalupe que cada día me demuestran su amor y cariño a mi persona.

Tiara Vanessa Torres Solis

Agradecimiento

A Dios por la salud y la sabiduría que nos brindó para poder culminar nuestro ciclo universitario, a nuestros padres por el sacrificio que hicieron por nosotras para poder lograr esta meta, a nuestra familia por su apoyo, a nuestra profesora Magda Velásquez Marin por sus conocimientos brindados y a nuestra casa estudiantil la Universidad Privada del Norte que siempre nos dio una educación de alta calidad.

INDICE

JURADO EVALUADOR.....	2
Informe de Similitud.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
INDICE.....	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	29
CAPÍTULO III: RESULTADOS	46
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	58
Referencias	64
Anexos	71

Índice de tablas

Tabla 1 Concentraciones máximas permitidas de las fracciones de hidrocarburos de petróleo según los usos del suelo.....	21
Tabla 2 Taxonomía del limón.....	23
Tabla 3 Propiedades del diésel.....	25
Tabla 4 Materiales e insumos empleados en la investigación	36
Tabla 5 Equipos empleados en la investigación	37
Tabla 6 Presentación de los tratamientos de estudio y sus dosificaciones	38
Tabla 7 Coordenadas UTM del muestreo por rejillas.....	41
Tabla 9 Eficiencia de biorremediación del diésel B5	47
Tabla 10 Prueba de normalidad	48
Tabla 11 Prueba ANOVA.....	49
Tabla 12 Dosis optima de compost.....	51
Tabla 13 Variación del pH.....	52
Tabla 14 Variación del porcentaje de humedad.....	53
Tabla 15 Variación de la materia orgánica	54
Tabla 16 Variación de la conductividad eléctrica.....	55
Tabla 17 Concentraciones máximas de las fracciones de hidrocarburos de petróleo según el ECA	56
Tabla 18 Comparación de resultados finales y ECA de uso de suelos	57

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación del lugar donde se desarrolló la parte experimental de la investigación.....	32
Figura 2 Aplicación del patrón de distribución uniforme - rejillas regulares sobre la población de estudio	41
Figura 3 Distribución de los tratamientos experimentales en los baldes de plástico	43
Figura 4 Análisis de la textura del suelo.....	46
Figura 5 Prueba post hoc	50

RESUMEN

La presente investigación buscó evaluar la eficiencia de aplicar compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) para la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción media. El alcance de la investigación es aplicado de enfoque cuantitativo y presenta diseño experimental. La población de estudio fue el suelo de uso industrial contaminado por una simulación de derrame. Se recolectó como muestra 29.7 kilos de suelo industrial contaminado, utilizando técnicas de observación experimental y revisión bibliográfica. Se realizaron dos tomas de muestra al inicio (día 0) y al final (día 60). Se aplicó el ECA de suelos para evaluar los niveles máximos de concentración permisibles de hidrocarburos de fracción media. En la investigación se obtuvo un 85.83% de eficiencia de biorremediación al aplicar compost de cáscara de limón en el suelo contaminado. La eficiencia de aplicar compost fue de 85.93% utilizando 500 gramos durante un periodo de 60 días. Los rangos fisicoquímicos del suelo se mantuvieron dentro de los rangos establecidos en los antecedentes. En conclusión, esta investigación ha demostrado la eficiencia de aplicar compost de cáscara de *Citrus limon* (Limón) para la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción media.

PALABRAS CLAVES: Biorremediación, suelo, compost, cáscara, hidrocarburo

ABSTRACT

The present research sought to evaluate the efficiency of applying compost made from *Citrus limon* (lemon) peel for the bioremediation of soil contaminated with medium-chain petroleum hydrocarbons. This is an applied research study with a quantitative approach and an experimental design. The study population consisted of industrial-use soil contaminated through a simulated diesel spill. A total of 29.7 kilograms of contaminated industrial soil was collected as the sample, using experimental observation and literature review techniques. Two sampling points were conducted, one at the beginning (day 0) and another at the end of the experiment (day 60). The Peruvian Environmental Quality Standards (ECA) for soil were applied to evaluate the maximum permissible concentrations of medium-chain hydrocarbons. The study achieved an 85.83% bioremediation efficiency through the application of lemon peel compost. The highest efficiency (85.93%) was obtained by applying 500 grams of compost over a 60-day period. The physicochemical parameters of the soil remained within acceptable ranges established by previous studies. In conclusion, this research demonstrated the effectiveness of using *Citrus limon* peel compost for the bioremediation of soil contaminated with medium-chain hydrocarbons.

KEYWORDS: Bioremediation, soil, compost, peel, hydrocarbon.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel global, la industria de hidrocarburos constituye un pilar fundamental para la economía de los países; sin embargo, el manejo de productos derivados del petróleo trae consigo contaminantes recalcitrantes, convirtiéndose en uno de los mayores problemas ambientales al afectar negativamente los ecosistemas y el bienestar poblacional (Chen et al., 2015a).

El uso excesivo de hidrocarburos provenientes de la extracción y refinación del crudo trae como consecuencia aumento de la producción de materiales contaminados, residuos de petróleo, fugas y derrames accidentales de dicho carburante, representando impactos ambientales significativos, ya que se impregnan y contaminan los recursos y ecosistemas acuáticos y el suelo (Song et al., 2021; Uddin et al., 2021; Ambaye et al., 2022).

En el Perú, la industria del petróleo se ha ido incrementando, para poder sustentar la demanda de recursos energéticos de la sociedad en los últimos años y seguir contribuyendo con el crecimiento económico del país. Actualmente, presenta siete refinерías de hidrocarburos: Talara, Iquitos, Conchán, El Milagro, La Pampilla, Shiviayacu y Pucallpa (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2024), las cuales aplican un sistema de gestión de residuos sólidos peligrosos, y en función de sus posibilidades técnicas y económicas deben incluir los lineamientos señalados en el artículo N° 14 de la Ley N° 27314, los cuales abarcan aspectos de minimización, segregación en la fuente, reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final; no obstante, la mayoría de residuos provenientes del petróleo, no son recuperados y/o reutilizados en su totalidad para un

nuevo proceso productivo. En consecuencia, estos desechos son finalmente dispuestos en rellenos de seguridad, gestionados por empresas especializadas en el manejo de residuos peligrosos. Cabe señalar que, según el Sistema Nacional de Información Ambiental (2019), en el país existen únicamente seis rellenos de seguridad autorizados para la gestión final de residuos industriales y peligrosos.

Los rellenos de seguridad brindan diversos tratamientos como la incineración o tratamiento térmico, encapsulamiento, inertización, entre otros, antes de pasar a la etapa de disposición final. Sin embargo, estos métodos presentan limitaciones. La incineración, requiere un alto contenido de humedad; además, provoca emisiones secundarias de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) de bajo peso molecular y la combustión inadecuada de hidrocarburo de petróleo (HP) puede causar contaminación por ozono. Por otro lado, tenemos la técnica de encapsulamiento, la cual emplea un material de cobertura que tarde o temprano se empapa con los residuos peligrosos, por lo que no es recomendable para periodos largos, y no es rentable económicamente (Haider et al., 2021). Asimismo, tampoco es rentable, a concentraciones altas de los contaminantes (Khan et al., 2004).

A partir de ello, se hace relevante conocer y aplicar alternativas seguras y ambientalmente sostenibles, como es la técnica de biorremediación, que consiste en la degradación de contaminantes mediante la acción de microorganismos, ya sea de forma natural o asistida mediante la adición de microorganismo, enmiendas y fertilizantes (Thapa et al., 2012). Dentro de la biorremediación destaca la técnica del compostaje, un proceso basado en la descomposición biológica de materia orgánica, generando una enmienda denominada compost. Para ello, se emplean microorganismos con condiciones contraladas de temperatura, oxígeno, humedad, proporción de mezcla (suelo/compost) y pH, asegurando una adecuada mineralización (Chen et al., 2015b). Además, la técnica en

mención se ha aplicado en los últimos años, resultando óptimo para biodegradar HP, HAP y compuestos de clorofenoles (Antizar-Ladislao et al., 2006).

A continuación, se detallan investigaciones relevantes que emplearon compost de origen orgánico y/o la técnica de compostaje para biorremediar el suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo o compuestos derivados de petróleo crudo.

A nivel internacional, Islas Olvera et al. (2019) en su artículo científico titulado *Composteo de un suelo contaminado con hidrocarburos fracción pesada con cascara de naranja y gallinaza como sustratos*. Evaluaron la eficiencia del compostaje como técnica de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de fracción pesada (HFP), utilizando cáscara de naranja y gallinaza como cosustratos. El estudio también analizó el efecto de la bioestimulación mediante la adición de nutrientes inorgánicos. Se utilizó suelo contaminado con concentración inicial de 11 698 mg HFP/kg, recolectado en un predio industrial de la Ciudad de México. Las combinaciones de suelo y cosustrato tuvieron una relación de 1:0,4, se compostaron durante dos meses bajo condiciones controladas de humedad al 60%, aireación y volteo manual. Se compararon tratamientos con y sin bioestimulación (ajuste de la relación C:N:P a 100:15:1). Se monitorearon parámetros como pH, humedad, conteo bacteriano y concentración de HFP. Los resultados indicaron una eficiencia de remoción de HFP del 57,63% con cáscara de naranja y 37,53% con gallinaza. La adición de nutrientes inorgánicos no mejoró significativamente el proceso. Se concluyó que la cáscara de naranja fue el cosustrato más eficaz, debido a su contenido de azúcares, ácidos orgánicos y humedad.

Lin et al. (2022) en su artículo titulado *Composting and its application in bioremediation of organic contaminants*, tiene como objetivo analizar los avances más recientes sobre la aplicación del compostaje como tecnología de biorremediación en suelos y sedimentos contaminados con compuestos orgánicos persistentes. La revisión abarcó 655

artículos publicados entre 1990 y 2021, con especial énfasis en investigaciones recientes sobre la degradación de hidrocarburos del petróleo, plastificantes, pesticidas y dioxinas mediante compostaje. Se destacó que esta técnica puede remover más del 90% de contaminantes como el diésel en solo 24 días, debido a la acción de comunidades microbianas diversas. Por otro lado, a diferencia de otros métodos tradicionales como la bioaumentación o la bioestimulación, el compostaje ofrece ventajas de bajo costo, se puede aplicar a diversas escalas y tiene la capacidad para degradar múltiples contaminantes simultáneamente. La eficiencia del proceso depende de factores claves como la proporción carbono/nitrógeno de 25 a 30, humedad entre el 55 al 65% y el contenido de oxígeno mayor a 10%. Los autores concluyen que el compostaje es una alternativa sostenible y prometedora para la remediación de suelos contaminados, recomendando más investigaciones sobre su integración con otras tecnologías y su aplicación a gran nivel.

Roldán Martín et al. (2007) en su investigación titulada *Effects of Mixing Low Amounts of Orange Peel (Citrus reticulata) with Hydrocarbon-Contaminated Soil in Solid Culture to Promote Remediation*, el objetivo fue evaluar el efecto de mezclar bajas cantidades de cáscara de naranja (*Citrus reticulata*) con suelo contaminado con hidrocarburos para promover la remediación del suelo en cultivo sólido. Para la metodología se estableció un diseño experimental en cultivo sólido con proporciones de suelo/cáscara de naranja de 100:0, 98:2, 96:4, 94:6 y 92:8. Asimismo, se mantuvo la humedad al 30% y la relación C:N:P de 100:10:1 durante 15, 60 y 90 días. Se analizó los HTP, conteo bacteriano, fúngico, y la actividad de respiración microbiana. Los resultados de la investigación demostraron que la adición de cáscara de naranja influyó en la remoción de hidrocarburos, siendo la proporción 92:8 (suelo: cáscara de naranja) la más efectiva a los 15 días con 69% de biorremediación. Este tratamiento no solo mostró una alta remoción de HP, sino también un incremento en la actividad microbiana. En

conclusión, la investigación sugiere que la utilización de bajas cantidades de cáscara de naranja representa una estrategia prometedora y eficiente ofreciendo una alternativa viable a los métodos tradicionales que emplean mayores cantidades de residuos orgánicos.

Arcos Freile (2010) desarrolló una investigación titulada *Remediación de lodos aceitosos de la Refinería Estatal de Esmeraldas mediante compostaje, empleando residuos domésticos en calidad de fuente de nutrientes*. El objetivo fue remediar lodos contaminados con hidrocarburos mediante compostaje con residuos biodegradables. El compost se elaboró con restos cítricos (como cáscaras de limón, naranja, mandarina), residuos de cocina, poda vegetal y estiércol, los cuales sirvieron como fuente de carbono y nutrientes. La metodología incluyó pruebas en laboratorio y campo durante 90 días, controlando variables como temperatura, humedad, pH, oxígeno y relación C/N. Se identificaron microorganismos responsables de la degradación, destacando hongos como *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.* y *Mucor sp.*, y bacterias como *Pseudomonas sp.*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus sp.* y *Rhodococcus sp.* Estos microorganismos, también presentes en restos cítricos, degradaron hidrocarburos recalcitrantes y redujeron significativamente la toxicidad del lodo. El compostaje se consolidó como una alternativa eficaz, económica y ambientalmente amigable para la biorremediación de residuos oleosos industriales.

Rodríguez (2018) en su investigación titulada *Biorremediación de los suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de la estación de secoya utilizando un consorcio bacteriano aeróbico a escala de laboratorio*, tiene como objetivo biorremediar suelos contaminados con hidrocarburos empleando comunidad bacteriana aeróbica a nivel de laboratorio. Se aplicó la técnica de bioaumentación, que implica agregar bacterias nativas degradadoras de hidrocarburos. El estudio incluyó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del suelo contaminado, la selección y obtención de cepas microbianas

puras. Se obtuvo un consorcio bacteriano aerobio de 10 cepas (8 bacilos y 2 cocos). Para la parte experimental, el suelo contaminado se dividió en tres tratamientos: A (500 ml de inóculo bacteriano), B (500 ml de inóculo bacteriano más 30% de materia orgánica) y C (control, sin inóculo ni materia orgánica). Se monitorearon parámetros como pH, humedad y conteo bacteriano. El tratamiento B que empleó una mezcla de 150 gramos de aserrín y 150 gramos de cáscara de limón como materia orgánica mostró la mayor remoción de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) con un 86% de eficiencia a los 52 días. Por último, se concluyó que la biorremediación con consorcios bacterianos aerobios es efectiva y la adición de cáscara de limón mejoró la eficiencia del proceso de biorremediación.

A nivel nacional, Tamayo Rodríguez (2016) en su investigación titulada *Efecto del compost de cáscara de Citrus limon sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara*. El objetivo fue evaluar la eficiencia del compost de cáscara de limón como agente biorremediador de suelos contaminados con HTP de la refinería Talara. Se empleó un diseño empírico unifactorial con 9 tratamientos, combinando tres cantidades de compost de 0, 100 y 200 gramos y tres tiempos de exposición a los 0, 25 y 50 días, con tres repeticiones cada uno. La muestra fue de 9 kilos de suelo contaminado y el análisis de HTP se realizó mediante el método Soxhlet y gravimetría. El compost fue elaborado artesanalmente con cáscara de limón y caracterizado microbiológicamente, identificándose géneros como *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Aspergillus* y *Penicillium*. Se obtuvo una reducción máxima del 45.74% en la concentración de HTP aplicando 200 g de compost durante 50 días. El ANOVA y las pruebas Post Hoc confirmaron diferencias significativas entre tratamientos. La investigación concluyó que el compost de limón es una alternativa efectiva, de bajo costo y respetuosa con el medio ambiente para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

Bustamante Cabrera y Silva Ora (2019), en su tesis *Efecto de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en establecimientos de servicios*, desarrollaron una investigación para evaluar la eficacia de la aplicación de materia orgánica en la biorremediación de suelos con hidrocarburos de petróleo, específicamente en talleres mecánicos de Lambayeque, Perú. Para ello, se empleó un diseño experimental con cinco tratamientos: Testigo absoluto, testigo abiótico, la adición de cachaza de caña de azúcar, compost y cascarilla de arroz. Estos materiales orgánicos se mezclaron en volúmenes iguales con suelo contaminado con aceite residual automotriz. El suelo contaminado al inicio presentó altos niveles de aceites y grasas (147.340 mg/kg) y un nivel severo de toxicidad. Se identificaron microorganismos hidrocarbonoclasticos, aunque la toxicidad era notable. La cachaza, el compost y la cascarilla de arroz aportaron nutrientes como materia orgánica, carbono, nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados mostraron que la cachaza de caña de azúcar y el compost aceleraron la biorremediación. La cachaza logró un nivel bajo de toxicidad a los 60 días, y el compost a los 90 días. La eficiencia de biorremediación con la cachaza fue del 70,48% a los 90 días. Se concluyó que la cachaza y el compost aceleran la biorremediación del suelo contaminado.

Alanya de la Cruz et al. (2023), en la investigación titulada *Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú*, desarrollaron un estudio cuyo objetivo general fue determinar el efecto del uso de estiércol vacuno (*Bos taurus*) y aserrín de queñual (*Polylepis*) en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, utilizando como bioindicador crecimiento, peso seco foliar y radicular de la cebada (*Hordeum vulgare* L). La metodología consistió en un diseño experimental con tratamientos aplicados a suelos contaminados, donde se evaluaron variables como el crecimiento vegetal, el peso seco, y la

respuesta de las plantas ante la aplicación de ambos materiales orgánicos. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en el desarrollo del cultivo de cebada en suelos tratados, lo que sugiere que los aditivos orgánicos redujeron la toxicidad del suelo contaminado. El tratamiento combinado de estiércol vacuno y aserrín de queñual resultó más efectivo, indicando una mayor capacidad de remediación. Se concluyó que esta estrategia constituye una opción viable y ecológica para recuperar suelos dañados por hidrocarburos, especialmente en zonas altoandinas como Huancavelica.

Las **bases teóricas** están constituidas por los principales conceptos que se emplearon en el presente trabajo. Donde se incluye, las variables de investigación y sus dimensiones, lo que permitió comprender y dar a conocer con mayor claridad el desarrollo del estudio.

La variable dependiente es **hidrocarburos de fracción media (F2)**, según el Ministerio del Ambiente (2014), es una composición de hidrocarburos cuyos compuestos contienen más de diez y hasta veintiocho átomos de carbono (C10 a C28). Además, pueden examinarse en productos petrolíferos desconocidos, gasóleo, diésel, nafta, petróleo crudo, gasolinas, queroseno, gasavión, etc.

Las dimensiones de la variable dependiente son 3, la primera es la **concentración de hidrocarburos de petróleo F2**, según Vergaray (2022, como se citó en Cornejo, 2014) menciona que los hidrocarburos son sustancias compuestas únicamente por átomos de carbono e hidrogeno. Además, el petróleo crudo se forma a partir de la combinación de distintos tipos de hidrocarburos. Como señala los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo es una combinación de hidrocarburos cuyas moléculas tienen entre más de diez y hasta veintiocho átomos de carbono, los hidrocarburos pertenecientes a la fracción media deben ser caracterizados en matrices tales como: mezclas compuestas de origen de petrolero no especificadas, crudo de petróleo, gasóleos, diésel, turbosina, queroseno,

mezclas de creosota, gasolventes, gasolina, nafta, entre otros (ECA, 2017).

La segunda dimensión es el **parámetro fisicoquímico del suelo**, donde evaluaremos los aspectos fisicoquímicos del suelo antes y después del tratamiento, en esta dimensión encontramos como indicadores al **pH, porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica, conductividad eléctrica**.

Rodríguez (2018) menciona que el **potencial de hidrogeno (pH)** debe mantenerse en valores entre 6 y 8 para que se produzca el aumento de microorganismos que degradan los hidrocarburos y así se genere la biorremediación.

Lizana (2019) indica que la **humedad** constituye un factor esencial para el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos edáficos; no obstante, niveles excesivos pueden comprometer la disponibilidad de oxígeno en el suelo. Durante las operaciones de biorremediación, la pérdida de humedad por evaporación es frecuente, por lo que se requiere la aplicación periódica de riego en las celdas de tratamiento para mantener condiciones óptimas. Se sugiere conservar la humedad del suelo entre el 40% y el 85% de su capacidad de campo (Lizana, 2019, como se cita en la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1995)

El porcentaje de **materia orgánica** según Lizana (2019) menciona que está constituida por dos tipos de materiales que son residuos orgánicos de origen animal y vegetal en diversas etapas de descomposición, y humus, producto de las reacciones químicas entre las sustancias generadas durante dicho proceso. Asimismo, la degradación de materiales orgánicos se lleva a cabo mediante los procesos de mineralización y humificación. (Lizana, 2019, como se citó en García et al.,2007)

La **conductividad eléctrica**, es un parámetro que cuantifica la concentración de sales solubles disueltas en el agua, cuyo transporte de corriente eléctrica en una solución está directamente relacionado con la concentración de iones disueltos; en consecuencia, a

medida que la concentración iónica incrementa, se incrementa también la conductividad eléctrica del medio (Espinoza, 2020, como se citó en Orozco et al., 2003)

La tercera dimensión de la variable dependiente es el **cumplimiento normativo ambiental**, según el Ministerio del Ambiente (2016), es fundamental para garantizar el derecho a un ambiente sano y se articula a través del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Este organismo busca un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección ambiental, promoviendo una fiscalización eficiente, efectiva y razonable. Dicha dimensión, presenta el indicador de **Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo**, que según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2017), representan concentraciones máximas permitidas de diversos elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo que, al ser un cuerpo receptor, no deben suponer un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente. En la investigación hemos comparado los resultados del análisis de HP de fracción media iniciales y finales con el ECA de suelo de uso industrial. A continuación,

Tabla 1

Concentraciones máximas permitidas de las fracciones de hidrocarburos de petróleo según los usos del suelo

Parámetros en mg/kg de hidrocarburos de petróleo	Usos del Suelo		
	Agrícola	Residencial y/o parques	Comercial, industrial y/o Extractivo
Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)	200 mg/kg	200 mg/kg	500 mg/kg
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28)	1 200 mg/kg	1 200 mg/kg	5 000 mg/kg
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40)	3 000 mg/kg	3 000 mg/kg	6 000 mg/kg

Nota. Se observa las concentraciones máximas permitidas de fracción ligera (F1), fracción media (F2), fracción pesada (F3). Fuente: MINAM – 2017

Según las investigaciones estudiadas nacionales e internacionales las bacterias que degradan hidrocarburos son las *pseudomonas* que según Rodríguez (2018, como se citó en Echevarri, 2010), son bacterias que pueden emplear el petróleo como fuente de energía y sustento, y que, gracias a su versatilidad metabólica, transforman compuestos normalmente resistentes a la degradación en metabolitos que pueden ser fácilmente asimilados o procesados mediante enzimas y las especies del género *Bacillus* que emplean compuestos orgánicos tanto simples como complejos como fuente de energía, y son capaces de

producir enzimas extracelulares, entre ellas la lipasa (Rodríguez, 2018).

La variable independiente es el **compost a base de la cáscara de *Citrus limon* (limón)**, según Bustamante y Silva (2019) el compost es una mejora orgánica que se usa para ayudar al suelo en sus propiedades físicas, químicas y biológicas como la retención de agua, porosidad, materia orgánica, intercambio catiónico, niveles de macro y micronutrientes, mesofauna, baja población de patógenos y microorganismos, y también ayuda a la remoción de hidrocarburos. El compost se considera un recurso valioso por que enriquece la calidad del suelo, contribuye al manejo de plagas y actúa como fertilizante natural, también contribuye a mejorar la estructura del suelo, aligerando aquellos de textura pesada y aumentando la capacidad de retención hídrica en suelos de carácter arenoso (Amaya, 2019)

El limón es una fruta cítrica que posee una gran cantidad de vitamina C, ayudando al ser humado en reforzar su sistema inmunológico, también actúa como antioxidante y bactericida. Posee minerales como el calcio, potasio, fósforo (hierro, sodio y flúor) y magnesio, combate las enfermedades infecciosas en especial de las vías respiratorias combatiendo las toxinas (Laura, 2018). Según Espinoza (2020, como se citó en Armijo et al., 2009) menciona que la cascara de los cítricos está compuesta por tres capas, la primera es el exocarpo, la segunda es el mesocarpo y la última el endocarpo. Además, se sabe que la piel de los cítricos es una fuente abundante de pectina, un polisacárido formado por entre 150 y 500 unidades de ácido galacturónico. Esta pectina posee en su estructura grupos oxidrilo, carboxilo y metoxi, que están presentes en frutas y verduras, y se utilizan para eliminar metales (Espinoza, 2020, como se citó en Ticona, 2018).

Tabla 2

Taxonomía del limón

REINO	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Clase	Dicotiledoneas
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Subfamilia	Citroideae
Género	Citrus
Especie	C.limon

Nota. Se puede observar la taxonomía del limón. Fuente: Laura (2018, como se citó en Villanueva, 2006)

La primera dimensión de la variable independiente es la **dosis aplicada de compost**, donde se evaluó los gramos de compost que se agregaría para determinar la eficiencia de la biorremediación del proyecto a ejecutar.

La segunda dimensión de la variable independiente es el **tiempo del tratamiento**, el cual evaluamos los días en el que el compost de cascara de limón actuara como biorremediador sobre el suelo contaminado con diésel B5, según Tamayo (2016, como se citó en Arcos, 2010) la biorremediación es un proceso que utiliza hongos, microorganismos o plantas para restaurar lugares que han sido contaminados y así disminuir el impacto generado por los hidrocarburos ya sea en el agua o en el suelo.

Vergaray (2022, como se citó en Iturbe,2010) menciona que los microorganismos que se encuentran en el proceso de biorremediación son muy importantes por que transforman los químicos tóxicos en compuestos que no dañan al medio, ayudando así a la restauración del ecosistema. La biorremediación se debe monitorear y controlar, y cuando se lleva a cabo en el mismo lugar es llamado biorremediación in situ y cuando se prepara en un área especial es llamado biorremediación ex situ (Delgado, 2022)

La biorremediación in situ comprende de cuatro métodos: primero la atenuación natural, que no depende de la intervención del hombre para disminuir los contaminantes y actúan los factores físicos, químicos y biológicos, segundo método el bioventeo, para que se produzca la oxidación del contaminante es necesario proveer aire y nutrientes así los microorganismos estimulan su metabolismo, tercero, la bioestimulación, en este método los suelos no cuentan con los nutrientes esenciales para degradar los contaminantes por eso que se requiere de agua, oxígeno, nutrientes o surfactantes, y por último, la bioaumentación, donde se infiltran microorganismos modificados para acelerar la biorremediación (Delgado, 2022, como se citó en Ruiz et al, 2019).

La biorremediación ex situ comprende de cuatro técnicas: la primera es landfarming, donde se prepara el área a trabajar extendiendo una geomembrana para evitar las filtraciones y las muestras que proceden de otro punto deben tener una profundidad entre 10 a 15 centímetros para su extracción y para que funcione la biorremediación se debe estimular las colonias bacterianas, la segunda técnica es el composteo, en este proceso los residuos orgánicos se degradan, en tercer lugar encontramos a las biopilas, esta técnica emplea parámetros controlados como pH, humedad, calor, aireación, oxígeno y nutrientes en la mezcla de dos suelos, uno es un suelo contaminado y otro ya preparado, depositándolos en el área de trabajo, y por último los biorreactores, esta técnica esa usada para biorremediar aguas contaminadas, suelos, lodos o sedimentos y también deben

controlarse con nutrientes en recipientes (Delgado, 2022, como se citó en Ruiz et al, 2019).

Según Delgado (2022, como se citó en Ron, 2012), el diésel es un combustible eficiente y más usado por el parque automotor ya que se aprovecha el 35% de la energía liberada que se genera por la combustión, este combustible hidrocarburado también conocido como fracción media tiene una cadena de carbono entre C10 y C22, y está conformado por compuestos naftalénicos, parafínicos y aromáticos, el diésel es considerado como el más limpio ya que tiene bajo contenido de azufre y es el menos contaminante Delgado (2022, como se citó en Antonio, 2014),

Tabla 3

Propiedades del diésel

Propiedades	Variables
Hidrogeno	13%
Carbono	86.50%
Punto de inflamación	60 – 80 °C
Punto de ebullición	188 – 343 °C

Nota: Se puede observar algunas propiedades del diésel y sus variables. Fuente:

Vergaray (2022, como se citó en Ávila, 2016)

La presente investigación tiene como **justificación por su conveniencia** al proponer una alternativa sostenible para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo de fracción media (F2), específicamente el diésel B5, utilizando compost elaborado a partir de cáscara de limón. Este residuo agroindustrial, poco valorizado, es aprovechado como fuente de microorganismos (bacterias y hongos) capaces de degradar compuestos recalcitrantes del petróleo. Así, promovemos el uso de residuos

orgánicos en soluciones ambientales, conforme a los principios de economía circular y aprovechamiento de recursos locales.

Por **relevancia social, ambiental y económica**, la investigación aborda una problemática actual y prioritaria que es la contaminación de suelos industriales por hidrocarburos derivados del petróleo, lo cual es un peligro potencial para la salud humana y los ecosistemas del suelo. Además, el trabajo contribuye a reducir la generación de residuos peligrosos que deben ser confinados en rellenos de seguridad; y, al mismo tiempo, evita que residuos orgánicos biodegradables terminen en rellenos sanitarios, aumentando la vida útil. A nivel económico, la biorremediación con la aplicación del compost representa una opción más accesible y viable en comparación con métodos fisicoquímicos tradicionales, como el lavado de suelos, la incineración o los tratamientos de oxidación avanzada, los cuales suelen ser costosos y generan residuos igual de tóxicos.

Por **implicancia práctica**, el uso de compost como agente biorremediador tiene aplicación directa en el tratamiento in situ o ex situ de suelos contaminados, ofreciendo una técnica de bajo costo, fácil implementación y es adaptable a pequeña, mediana y gran escala. Esta propuesta es particularmente útil en contextos donde el acceso a tecnologías avanzadas es limitado, como en regiones rurales o zonas industriales medianas. Además, puede ser replicada por gobiernos regionales, locales, pequeñas empresas o comunidades organizadas interesadas en recuperar áreas degradadas.

En cuanto a su **implicancia teórica**, ya que la investigación aporta a la comprensión de los mecanismos de biodegradación de hidrocarburos mediante consorcios microbianos presentes en el residuo orgánico de la cascará de limón. Este enfoque integra conocimientos de microbiología, química ambiental y gestión de residuos, ampliando el marco teórico existente sobre la biorremediación de contaminantes orgánicos persistentes.

Finalmente, desde la **implicancia metodológica**, puesto el estudio es innovador porque combina un diseño experimental aplicado al suelo industrial franco arenosos contaminados con diésel B5 y se biorremedia con una técnica de tratamiento biológico de bajo costo al emplear los residuos orgánicos de cáscaras de limón. La metodología propuesta puede ser empelada como referencia para investigaciones futuras que busquen evaluar la efectividad de otros tipos de compost o residuos agroindustriales en la degradación de contaminantes orgánicos. Además, propone indicadores claros y medibles, como la reducción de hidrocarburos de fracción media (F2), para evaluar la eficiencia del tratamiento.

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Pregunta general

¿Cuál es la eficiencia de la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción media mediante la aplicación de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón)?

1.1.2. Preguntas específicas

¿Qué efecto tienen las dosis de 300, 400 y 500 gramos de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) en la reducción de hidrocarburos de fracción media en el suelo contaminado?

¿Cómo varía el pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica del suelo tratado con compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) después de 60 días de tratamiento con respecto a los valores iniciales?

¿Qué tratamiento con compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) permite reducir los niveles de hidrocarburos de fracción media por debajo de los valores establecidos en la normativa vigente D.S. N.º 001-2017-MINAM – ECA suelo?

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción media mediante la aplicación de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón).

1.1.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de las dosis de 300, 400 y 500 gramos de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) en la reducción de hidrocarburos de fracción media en el suelo contaminado.

Evaluar la variación del pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica del suelo tratado con compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) después de 60 días de tratamiento con respecto a los valores iniciales.

Identificar que tratamiento con compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) permite reducir los niveles de hidrocarburos de fracción media por debajo de los valores establecidos en la normativa vigente D.S. N.º 001-2017-MINAM – ECA suelo.

1.2. Hipótesis

H1: La aplicación de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) produce una reducción significativa de los hidrocarburos de fracción media en suelos contaminados.

H0: La aplicación de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (limón) no produce una reducción significativa de los hidrocarburos de fracción media en suelos contaminados.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación presenta un **enfoque** cuantitativo, el cual se caracteriza por la recolección y el análisis de datos numéricos que permiten medir con precisión los cambios ocurridos en el suelo contaminado tras la aplicación del compost elaborado a base de cáscara de *Citrus limon*. Dicho enfoque permite evaluar de forma objetiva la variación en los parámetros fisicoquímicos como el pH, la humedad, la materia orgánica, la conductividad eléctrica y, principalmente, en la concentración de HP de fracción media, antes y después de la aplicación del tratamiento. Asimismo, al seguir con precisión y cumplir con ciertas reglas lógicas (razonamiento deductivo), asegura la validez y confiabilidad de los datos obtenidos (Hernández y Mendoza, 2018).

La elección de este enfoque facilitó el manejo y control de los indicadores de estudio, definidos en función de las variables y dimensiones establecidas. En el presente estudio, se manipuló la variable independiente (compost a base de cáscara de limón) para observar su efecto sobre la variable dependiente (concentración de hidrocarburos de fracción media), utilizando mediciones directas y análisis estadísticos mediante el programa IBM SPSS BASE. Finalmente, el enfoque cuantitativo, ofrece las herramientas necesarias para validar la hipótesis de investigación y determinar si el uso del compost seleccionado representa una solución eficaz, ecológica y económica para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos F2 derivados del diésel B5.

El **diseño** es experimental, ya que permite establecer relaciones causales entre variables mediante la manipulación deliberada de una variable independiente y la observación de su efecto sobre una variable dependiente, bajo condiciones controladas. Según Hernández et al. (2014) y Sánchez et al. (2018), el diseño experimental implica tres elementos fundamentales: Manipulación intencional de variables, medición precisa del

efecto producido y control riguroso de los factores externos. En esta investigación para evaluar el efecto del tratamiento, se aplicaron tres concentraciones diferentes de compost sobre muestras de suelo contaminado, simulando un derrame, y se midieron parámetros fisicoquímicos clave antes y después del proceso de biorremediación. Asimismo, se mantuvieron condiciones constantes durante el tratamiento experimental, como el tiempo de exposición, temperatura ambiente, frecuencia de remoción o aireación del suelo, y cantidad de humedad, a fin de garantizar la validez interna del experimento. El diseño experimental permitió observar con objetividad si el compost propuesto tiene un efecto significativo en la reducción de HP de fracción media, proporcionando evidencia empírica confiable para comprobar la hipótesis planteada.

El **alcance** es aplicativo, ya que busca ofrecer una solución práctica para el problema de la contaminación de suelos por hidrocarburos de fracción media. Según Lozada (2014), al ser aplicativo tiene como finalidad transformar conocimientos teóricos en soluciones prácticas que respondan a necesidades específicas. En este caso, se propone el uso de un compost elaborado a base de cáscara de *Citrus limon* como agente biorremediador, con el fin de reducir la concentración de hidrocarburos de fracción media en suelos contaminados a niveles aceptables según los límites del ECA Suelo.

Asimismo, se fundamenta en la experiencia empírica del investigador, quien analiza los datos obtenidos en campo para llegar a conclusiones concretas (Vargas, 2009). En este estudio, se monitorearon parámetros como **pH, humedad, concentración de hidrocarburos de fracción media, materia orgánica y conductividad eléctrica**, tanto al inicio como al final de los tratamientos experimentales, para evaluar la eficacia del compost aplicado. Por ello, esta propuesta no solo valida científicamente una técnica de remediación natural y de bajo costo, sino que también puede ser replicada en contextos industriales similares, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

El **enfoque** aplicado según lo planteado por Castro et al. (2023), afirman que la investigación se orienta a resolver problemas reales del entorno mediante el uso práctico del conocimiento científico ya existente. La investigación presenta un **enfoque aplicado**, ya que aborda una problemática ambiental concreta que es la **contaminación de suelo con hidrocarburos de fracción media producto del derrame de diésel B5**. El estudio no se limita a comprender el fenómeno, sino que busca **validar experimentalmente una solución ecológica y accesible**, como es la aplicación de compost elaborado a partir de cáscara de *Citrus limon*, con el fin de reducir la concentración de hidrocarburos F2 en el suelo. Esta propuesta tiene una utilidad directa y potencial de aplicación en contextos industriales afectados por la contaminación, lo que evidencia el carácter práctico, útil, transferible y orientado a la mejora del entorno, propios de una investigación de tipo aplicado.

Para Sánchez et al. (2018), la **población** se define como el universo de estudio, conformado por todos los elementos que integran un conjunto y que tienen un mismo principio. En la investigación, la población está conformada por el total de suelo de uso industrial contaminado mediante una simulación controlada de derrame con diésel B5.

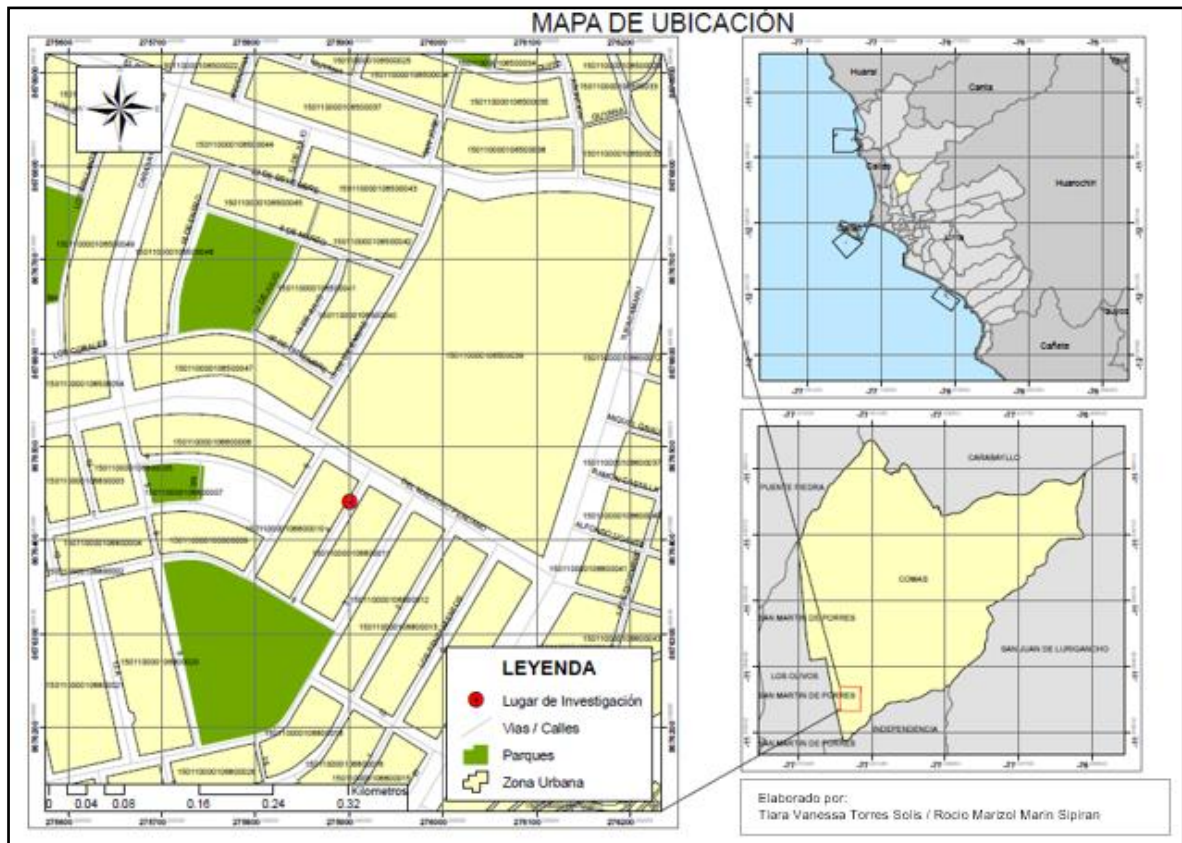
Para conformar dicha población, se recolectó suelo industrial en la intersección de la avenida Panamericana Norte con la avenida Universitaria, el cual se transportó en costales hasta el patio externo de la vivienda ubicada en la calle 4 #122 en el distrito de Comas, Lima, Perú. La población de suelo industrial presento 1,5 metros de largo, 1,5 metros de ancho y 0,1 metros de profundidad y se vertió sobre la superficie diésel B5, con el objetivo de replicar condiciones de contaminación reales en un entorno controlado. Las coordenadas geográficas de la ubicación de la población son las siguientes:

Metros Este: 275 900,405

Metros Norte: 8 676 440,423

Figura 1

Ubicación del lugar donde se desarrolló la parte experimental de la investigación



Nota. La figura muestra la ubicación del lugar que se acondicionó para establecer la población de estudio y obtener las muestras de suelo contaminado con diésel B5. Fuente: ARCGIS.

La **muestra**, según Hernández et al. (2014) se define como un subgrupo representativo de la población de estudio, y del cual se recopilarán datos relevantes. En este caso, la muestra está conformada por 29,7 kilogramos de suelo industrial contaminado con diésel B5, recolectados mediante un patrón de muestreo de distribución uniforme con rejillas regulares, conforme a los lineamientos de la Guía para Muestreo de Suelos en el

marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

Según Sánchez et al. (2018) las **técnicas** se conforman por medios e instrumentos, que permiten llevar a cabo la aplicación del método. En otras palabras, son los pasos específicos que se emplean en algunas áreas, con la finalidad de conseguir la información requerida. Las técnicas empleadas para recopilar los datos en la presente investigación son la **observación experimental**, que establece el grado de relación manipulando la variable independiente para observar el efecto en la variable dependiente y por último, **la revisión bibliográfica**, donde se obtuvo información relacionada a nuestro tema de estudio a partir de artículos científicos, revistas, tesis y libros que se encontraron en páginas webs de fuentes veraces como Sciencedirect, PubMed, Scopus, Concytec y repositorios de universidades nacionales e internacionales, con la finalidad de establecer pautas y características para el desarrollo de la investigación. También, se logró obtener conceptos primordiales para definir las variables de estudio.

Los **instrumentos**, son herramientas que forman parte de la técnica de recolección de datos (Sánchez Carlessi et al., 2018). En la investigación se emplearon los siguientes instrumentos:

La **ficha de registro** de suelo contaminado con diésel B5 (Anexo C), este instrumento permitió obtener información de campo al momento de realizar el muestreo del suelo de uso industrial contaminado por una simulación de derrame con diésel B5, en el cual, se detallan datos generales, como departamento, provincia, dirección del lugar de muestro y se obtuvo los datos de las coordenadas geográficas. Asimismo, datos del punto de muestreo, que incluye la técnica empleada. También, se detalla los datos de la muestra, precisando sus características organolépticas. Por último, se adjunta una breve descripción y el croquis del lugar de la muestra, toda esta información de obtuvo de la investigación de

Tamayo (2016) donde también realizo una ficha de muestreo.

La **cadena de custodia** donde se evalúa la característica inicial y final del suelo contaminado con diésel B5 (Anexo D y Anexo F), es un procedimiento documentado que permitió el control y vigilancia del muestreo de suelo no contaminado (T0) y contaminado con diésel B5, asegurando la correcta codificación, el óptimo transporte y la conservación de la muestra hasta entregarlo al laboratorio para el correspondiente análisis.

La **validez** de este estudio hace referencia a la validez de los métodos empleados para medir aquello que se desea evaluar: la eficiencia de la biorremediación de suelo contaminado con diésel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de la cáscara de *Citrus Limon* (Limón). Según Hernández (20283), la validez, de manera general, hace referencia al nivel en el que un instrumento realmente mide la variable que se supone debe medir. En este caso, se eligieron varios parámetros fisicoquímicos importantes como el pH, porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica y la conductividad eléctrica, las cuales son indicadores directos de la efectividad del proceso de biorremediación. Para garantizar la validez de las mediciones, se empleó un respaldo legal, que fue la Guía para muestro de suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-213-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, el cual se detalla en el Anexo C. Asimismo, las mediciones de hidrocarburo de petróleo F2 se llevaron a cabo empleando técnicas de laboratorio validadas, como la cromatografía de gases.

La **confiabilidad** de esta investigación se asegura a través de la coherencia y permanencia de los resultados obtenidos con el paso del tiempo. En un estudio de biorremediación, resulta esencial realizar mediciones en distintos momentos del tiempo y bajo condiciones experimentales, con el fin de verificar la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos. De acuerdo con Hernández (201x), la confiabilidad es un instrumento de medición que hace referencia al nivel de consistencia con que este ofrece los mismos

resultados cuando se aplica repetidamente al mismo sujeto u objeto. En este caso, se tomaron muestras de suelo en el día 0 y después de 60 días para evaluar la biorremediación de los hidrocarburos. Las mediciones se llevaron a cabo en un entorno controlado, y el personal de laboratorio utilizó equipos de medición calibrados de acuerdo con las normativas.

A continuación, se especifican los **materiales, insumos y equipos** que se emplearon en el desarrollo de la investigación.

Tabla 4

Materiales e insumos empleados en la investigación

Materiales e insumos	Cantidades
Sacos de polipropileno	4 unidades
Pala para construcción	2 unidades
Plástico de polietileno	1 unidad
Bisel B5	310 ml
Malla de hilo de nylon de poliéster de 2 milímetros	1 unidad
Bolsas ziplock	21 unidades
Frascos de vidrio color ámbar con tapa de rosca de 1Litro	20 unidades
Guantes multiflex	2 pares
Guantes de nitrilo	2 pares
Guardapolvo	2 unidades
Wincha	1 unidad
Envase de plástico	1 unidad
Jarra medidora de plástico	1 unidad
Bateas de plástico	10 unidades
Compost de <i>cáscara de Citrus limon</i>	3,6 kilos
Suelo contaminado con diésel B5	36 kilos
Etiquetas para codificación de muestras	41 unidades
Plumón grueso indeleble	1 unidad
Plumón delgado indeleble	1 unidad
Cooler	1 unidad
Ice pack	2 bolsas
Termómetro	1 unidad

Tabla 5*Equipos empleados en la investigación*

Equipos	Cantidades
Celular smartphone	2 unidades
Balanza digital de 5 kg	1 unidad
Balanza digital de 100 kg	unidad

El **procedimiento** de la investigación, se dividió en 4 etapas, la primera etapa de pre-campo, donde se determinó el patrón de muestreo a emplear sobre el suelo contaminado por una simulación de derrame con diésel B5. Se seleccionó la distribución uniforme con rejillas regulares, detallado en la Guía para muestro de suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-213-MINAM. Luego, se procedió a buscar el laboratorio encargado de realizar los análisis fisicoquímicos para el suelo contaminado, optando por Environmental Testing Laboratory S.A.C (Envirotest S.A.C). Además, se diseñó la dosificación de los tratamientos experimentales, los cuales se muestran en tabla 4. Por último, se inició la elaboración del compost a base de cáscara de *Citrus limon*.

Tabla 6

Presentación de los tratamientos de estudio y sus dosificaciones

Tratamiento	Repeticiones	Dosificación de cada tratamiento
Testigo	T0	2 500 gr de Suelo industrial contaminado
T1	T1-A	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 300 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
	T1-B	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 300 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
	T1-C	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 300 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
T2	T2-A	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 400 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
	T2-B	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 400 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
	T2-C	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 400 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
T3	T3-A	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 500 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
	T3-B	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 500 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .
	T3-C	2 500 gr de Suelo industrial contaminado y 500 gr de compost de cáscara de <i>Citrus limon</i> .

Nota. Se observan los tratamientos experimentales con sus respectivas repeticiones.

Para la elaboración del compost a base de cáscara de *citrus limon* se empleó como compostero dos tinas de capacidad de 5 litros, las mismas que presentaban agujeros en las bases y fueron elaborados con un clavo caliente. Después, empleando un cuchillo y tabla de picar de cocina se procedió a cortar en pedazos pequeños 200 limones usados, los cuales

se distribuyeron de manera equitativa en las composteras y se dejó reposar en un lugar bajo sombra por 40 días, en dicho trascurso de tiempo, se observó la formación y crecimiento de consorcio microbiano en las cáscaras de los limones. Por último, al finalizar el proceso de elaboración se obtuvo 3 850 gramos de compost; sin embargo, para aplicación de todos los tratamientos experimentales solo se empleó 3 600 gramos de compost.

Por último, en esta etapa se establecieron las condiciones necesarias en el lugar que se mencionó en el párrafo precedente, ya que se limpió, delimitó y señaló el área, con la finalidad de poder llevar a cabo un muestreo exitoso del suelo contaminado con diésel B5.

La siguiente etapa es de campo, donde se consiguió la población de estudio, primero se extrajo en 4 sacos de polipropileno suelo sin presencia de contaminación de hidrocarburos de la zona industrial del distrito de Los Olivos, ubicado en cruce de panamericana norte con universitaria (Ver Anexo H). Después, se procedió a llevarlo al lugar que se acondicionó para el desarrollo experimental de la investigación. Luego, en el piso del patio externo de la casa se extendió un plástico azul de polietileno para vaciar encima el suelo industrial sin contaminante y agregarle poco a poco el diésel B5 que se compró en el grifo. Para saber la cantidad de diésel necesario se empleó la ecuación de Vergaray (2022), en esta investigación se utilizó 36 kg de suelo que se recolecto de la población de estudio, según la ficha de datos de seguridad del diésel B5 por la empresa Repsol, la densidad de diésel es de 870 mg/ml y se quería alcanzar una concentración de 7 500 mg de diésel por kg de suelo.

Ecuación 1: Determinación de la cantidad de diésel B5

$$\frac{7\,500\text{ mg de diesel}}{\text{kg de suelo}} \times 36\text{ kg de suelo} \times \frac{1\text{ mg de diesel}}{870\text{ mg de diesel}} = 310\text{ mg de diesel}$$

Posteriormente, ya conociendo la cantidad de diésel necesario se le fue agregando poco a poco al suelo industrial simulando un derrame de hidrocarburos, empleando una

pala se mezcló durante 5 minutos el suelo industrial con el combustible y se logró homogenizar todo por completo. Finalmente, se obtuvo una población de estudio con dimensiones de 1,5 metros de largo, 1,5 metros de ancho y 0,1 metros de profundidad de suelo industrial contaminado con diésel B5.

Para obtener la muestra de suelo contaminado se realizó el muestreo de suelo industrial contaminado con diésel B5 aplicando la distribución uniforme con patrón de rejillas regulares, establecido en la Guía para Muestreo de Suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Para ello, empleando una pala plana de construcción, una wincha, pabilo y cinta adhesiva se dividió la población de estudio en 12 celdas, cuyas medidas fueron de 0,5 metros largo por 0,375 metros de ancho y 0,1 metros de profundidad. Luego, de cada celda se procuró obtener una muestra representativa de suelo contaminado cuyo peso se encontraba entre 2 300 gramos y 2 600 gramos, según lo que se observa en la figura 2. Finalmente, se obtuvo una muestra de estudio de 29 700 gramos o 29,7 kilos de suelo contaminado con diésel B5.

Tabla 7

Coordenadas UTM del muestreo por rejillas

Coordenadas UTM			
Fila 1	X: 275 902,672	X:275 902,051	X:275 901,684
	Y: 8 676 440,186	Y: 8 676 440,145	Y: 8 676 440,432
	X: 275 902,885	X:275 902,339	X:275 901,937
Fila 2	Y:8 676 440,949	Y: 8 676 440,691	Y: 8 676 440,797
	X: 275 903,029	X: 275 902,482	X: 275 902,154
Fila 3	Y: 87 764 411,241	Y: 8 676 441,091	Y: 8 676 441,016
	X: 275 903,281	X:275 902,663	X: 275 902,731
Fila 4	Y: 8 676 441,751	Y: 8 676 441,383	Y: 8 676 441,964

Nota. Se observan las coordenadas UTM por cada fila de muestreo con un total de

Figura 2

Aplicación del patrón de distribución uniforme - rejillas regulares sobre la población de estudio



12 puntos.

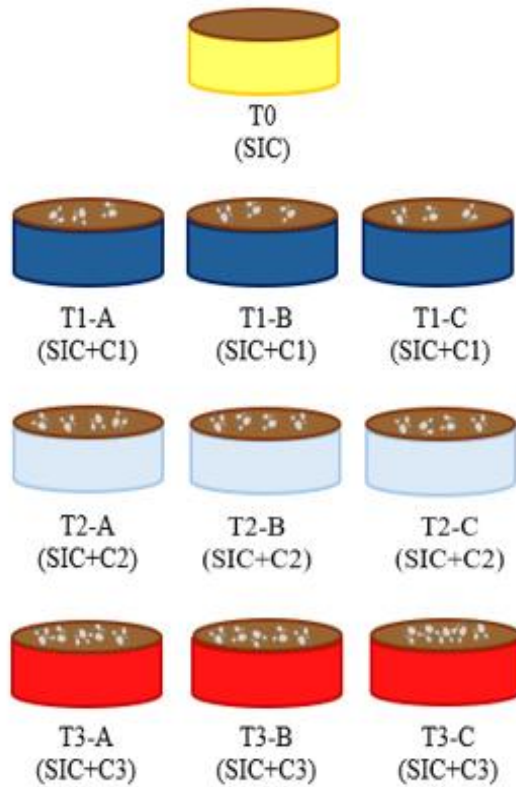
Nota. La figura muestra el procedimiento de patrón de rejillas regulares que se empleó para obtener la muestra de estudio. Fuente: Elaboración del autor.

La tercera etapa es la experimental, donde se realiza la caracterización inicial del suelo contaminado con diésel B5, una vez recolectada la muestra total de suelo contaminado según el procedimiento mencionado en la Guía para Muestreo de Suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, se determinó sus características fisicoquímicas como pH, porcentaje de humedad, materia orgánica, conductividad eléctrica y textura. Para ello, empleando una pala pequeña de jardinería y una balanza digital gramera se tomó una submuestra de 500 gramos de suelo contaminado, la cual se dispuso en una bolsa ziplock de polietileno transparente con cierre hermético y debidamente rotulado. Después, se envió al laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C para el respectivo análisis.

Se realizó la dosificación de los tratamientos en el suelo contaminado con diésel B5, en primer lugar, se tamizó la muestra de estudio de suelo contaminado con diésel B5, empleando una malla de hilo nylon poliéster de 2 milímetros de diámetro, la cual permitió separar y remover material rocoso y residuos inorgánicos de la muestra de suelo. Posteriormente, dicho suelo se dosificó según los tratamientos establecidos en la tabla 3. Para ello, se distribuyó 2 500 gramos de muestra de suelo contaminado en cada una de las 10 bateas de plástico, de las cuales se separa una batea para representar el tratamiento testigo (solo contenía suelo contaminado). En seguida, se pesó 3 porciones por separado de 300, 400 y 500 gramos de compost de cáscara de limón (el cual se tenía listó y se elaboró en 40 días), los cuales se agregaron y mezclaron por separado con 2 500 gramos de suelo cada uno, hasta homogenizar la muestra en cada batea de plástico. En otras palabras, se obtuvo tres tratamientos con tres repeticiones y un testigo, dando un total de 10 unidades experimentales que se muestra en la figura 3.

Figura 3

Distribución de los tratamientos experimentales en los baldes de plástico



Leyenda:

SIC: 2 500 gr Suelo industrial contaminado con diésel B5
 C1: 300 gr Compost de cáscara de *Citrus limon*
 C2: 400 gr Compost de cáscara de *Citrus limon*
 C3: 500 gr Compost de cáscara de *Citrus limon*

Nota. La figura muestra las 10 unidades experimentales con sus respectivas dosificaciones.

Es importante acotar que el tiempo de duración de los tratamientos experimentales fue de 60 días, además se realizó un riego interdiario con medio litro de agua de grifo a cada unidad experimental. Luego, se analizó los parámetros de control en el suelo al inicio (0 días) de la aplicación de los tratamientos y al finalizar (60 días) los mismos. Finalmente, el proceso de biorremediación se realizó en condiciones ambientales durante los meses de febrero a abril.

La última etapa es la de laboratorio, donde se lleva a cabo el análisis de los parámetros de control en las 10 unidades experimentales al inicio (día 0) y al final (60 días)

de la aplicación de los tratamientos, primero se recolecto con ayuda de una pala pequeña muestras de suelo de 100 gramos y 500 gramos por cada unidad experimental, las cuales se depositaron respectivamente en bolsas ziplock (para analizar parámetros de pH, % humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica) y en frascos de vidrio de boca ancha y con sello de teflón (para analizar hidrocarburos de fracción media). El traslado de las muestras de frascos de vidrio fue a una temperatura de preservación de 4°C, según lo indicado en la guía para muestreo de suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-213-MINAM, ya que se analizó el agente contaminante de hidrocarburos de fracción media. Finalmente, las muestras se enviaron debidamente rotuladas, etiquetadas y con sus respectivas cadenas de custodia al laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C.

Para realizar el **análisis de los datos** obtenido del procedimiento experimental, se utilizó los programas IBM SPSS Statistics, que se empleó para el procesamiento de los resultados obtenidos a través de la aplicación y análisis de pruebas estadísticas como la normalidad de los datos, la prueba ANOVA con la finalidad de aprobar o rechazar la hipótesis nula con un nivel de significancia de 0.05, la prueba Post hoc donde se evaluó la dosis optima ya que el tamaño de los grupos eran diferentes y por último, el coeficiente de Pearson ya que los resultados mostraron que nuestras variables presentaban una recta lineal de forma proporcional y el programa de Microsoft Excel donde se llevó a cabo la tabulación de los resultados obtenidos durante el tratamiento, para obtener el porcentaje de remoción.

En esta investigación sobre biorremediación de suelos contaminados con diésel B5 aplicando compost a base de cáscara de *Citrus Limon* (limón), se tomaron en cuenta diversos **aspectos éticos**. Se obtuvo el consentimiento informativo de los dueños del lugar donde se realizó la parte experimental, garantizando que recibieron información clara respecto a los objetivos y métodos del estudio. Asimismo, las practicas experimentales

fueron planificadas con el objetivo de reducir al mínimo posible su impacto ambiental, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. La información relacionada con las ubicaciones de los sitios de estudio y los resultados fue manejada con absoluta confidencialidad, asegurando la protección de la privacidad de los participantes. Finalmente, la investigación se llevó a cabo conforme los lineamientos de las autoridades ambientales y a la normativa local relacionada con el manejo de suelos contaminados.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

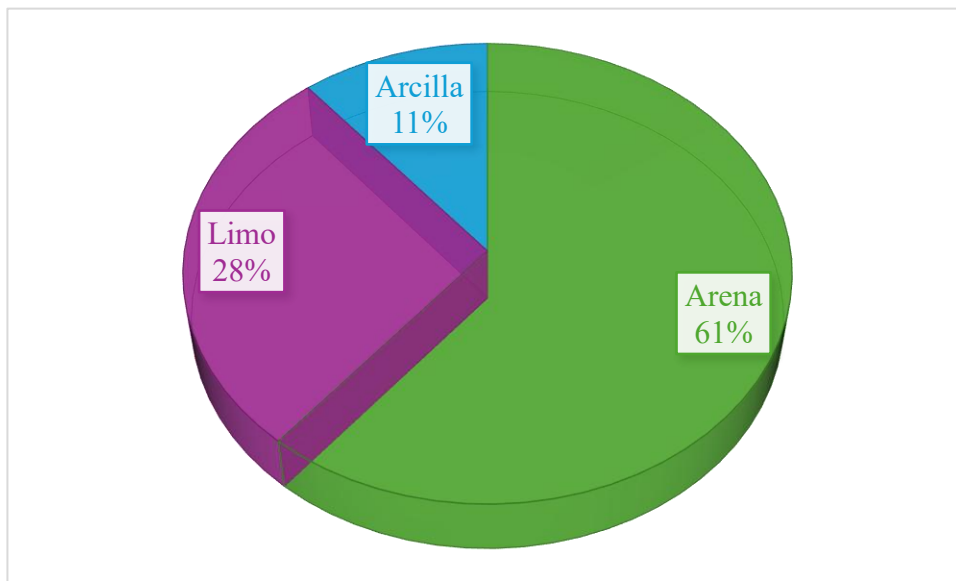
En el siguiente capítulo se presentan los resultados acordes con los objetivos de la presente investigación.

1. Evaluación de la eficiencia al aplicar compost en suelos contaminados con diésel B5

En primer lugar, se realizó un análisis de la textura del suelo de la muestra control (T0) que contenía 2 500 gramos de suelo contaminado con diésel B5, como lo muestra el Grafico 1

Figura 4

Análisis de la textura del suelo



Nota. El gráfico representa el porcentaje de los componentes del suelo. Tomado del programa Excel.

Para determinar el porcentaje de biorremediación de diésel B5 se empleó la Ecuación 2 que utilizó el autor Vergaray (2022)

Ecuación 2

Porcentaje de biorremediación de diésel B5

$$\frac{\text{Concentracion inicial de diésel B5} - \text{Concentracion final de diésel B5}}{\text{Concentracion inicial de diésel B5}} \times 100$$

= Biorremediacion de diésel B5 (%)

La **Tabla 9** muestra la cantidad inicial y final de diésel B5 (mg/kg) aplicando compostaje a base de cascara de *Citrus Limon* (limón) al suelo contaminado y el porcentaje de biorremediación durante un periodo de 60 días.

Tabla 8

Eficiencia de biorremediación del diésel B5

Tratamiento		Concentración de diésel B5 (mg/kg)		
Compost gr.	Muestra	Día 0	Día 60	Biorremediación (%)
0	T0	7 458	7 396	0,83
	T1A	7 295	4 490	38,45
300	T1B	7 346	3 813	48,09
	T1C	7 254	3 691	49,12
	T2A	7 191	2 193	69,50
400	T2B	7 003	2 473	64,69
	T2C	7 394	1 974	73,30
	T3A	7 421	1 121	84,89
500	T3B	7 482	1 053	85,93
	T3C	7 303	1 266	82,66

Nota. La tabla indica la eficiencia de biorremediación después de aplicar compost.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el tratamiento control presenta un porcentaje de biorremediación de 0.83%, además, las concentraciones de compost 300, 400 y 500 gramos su mayor eficiencia de biorremediación es de 49,12, 73,30 y 85,93 respectivamente, los resultados

fueron en un tiempo de 60 días y tratados con compost de cascara de *Citrus Limon* (limón).

El primer paso para validar la hipótesis general planteada en la investigación, consistió en realizar la prueba de normalidad en el programa estadístico IBM SPSS. En la Tabla 10, se puede observar que elegimos la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, ya que el autor Novales como se citó en (Tapia y Cevallos, 2021) lo recomienda para muestras menores a 50. Asimismo, la significancia para las variables es mayor a cero. Es decir, el p-valor es mayor a 0,05 y se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_a).

Tabla 9

Prueba de normalidad

	<i>Compost a base de cáscara de Citrus Limon (limón)</i>	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
		<i>Estadístico</i>	<i>gl</i>	<i>Sig</i>	<i>Estadístico</i>	<i>gl</i>	<i>Sig</i>
<i>Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos fracción media</i>	300	354	3		822	3	167
	400	198	3		995	3	871
	500	266	3		952	3	579

Nota. A. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos fracción media es constante cuando compost a base de cáscara de *Citrus Limon* (limón) = 0 gramos. Se ha omitido. B. Corrección de significación de Liliefors. La figura muestra el nivel de significancia según Shapiro-Wilk que en todos sus datos es mayor a 0,005.

Posteriormente, empleamos la prueba estadística paramétrica de ANOVA que se aplica a varias muestras independientes. En la Tabla 5 se observa que p es menor a 0,05, entonces rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, significa que por lo

menos un tratamiento es diferente a los demás. Por lo tanto, concluimos que el compost a base de cascara de limón de compostaje es eficiente para la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5.

Tabla 10

Prueba ANOVA

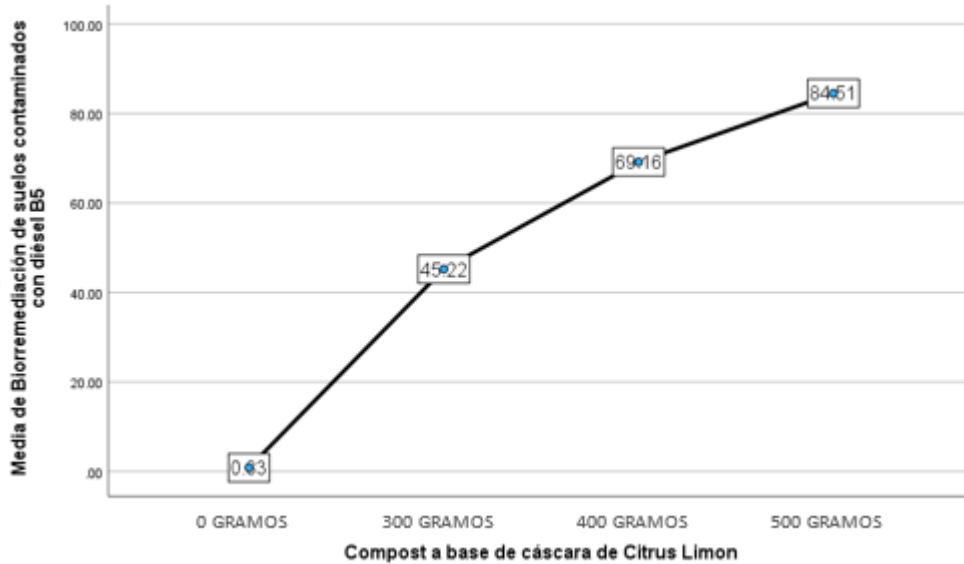
Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de fracción media					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6209.439	3	2069.813	110.753	<.001
Dentro de grupos	112.131	6	18.689		
Total	6321.570	9			

Nota. La figura muestra el nivel de significancia según la prueba ANOVA que es menor a 0.05.

Por último, analizamos la prueba de Post hoc – dosis optima. En la Figura 6 podemos ver una diferencia significativa en el cuarto tratamiento con 500 gramos de compost a base de cascara de limón con una eficiencia de biorremediación del 84,51%.

Figura 5

Prueba post hoc



Nota. En la figura podemos observar que según la prueba de Post hoc – dosis optima se obtiene un 84,51% de biorremediación utilizando 500 gramos de compost de cascara de limón. Tomado del programa IBM SPSS

2. Determinación de la dosis optima al aplicar compost

En la Tabla 11 podemos observar que a mayor cantidad de compost a base de cascara de limón que se le agrego al suelo contaminado con diésel B5, mayor es el porcentaje de eficiencia biorremediación, demostrado en cada muestra con sus respectivas repeticiones.

Tabla 11

Dosis optima de compost

Tratamiento		Biorremediación (%)
Compost – gr	Muestra	
0	T0	0,83
	T1A	38,45
300	T1B	48,09
	T1C	49,12
	T2A	69,50
400	T2B	64,69
	T2C	73,30
	T3A	84,89
500	T3B	85,93
	T3C	82,66

Nota. Esta tabla muestra el porcentaje de biorremediación al aplicar compost.

Se obtuvo un 85,93% de eficiencia de biorremediación utilizando una dosis de 500 gramos de compost a base de cascara de *Citrus Limon* (limón), 73,30% empleando 400 gramos y por último 49,12% utilizando 300 gramos de compost, en un periodo de 60 días que duró la investigación.

3. Análisis de los parámetros de control

A continuación, se analizaron los valores de los parámetros de control (pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica) al inicio y al final de la aplicación de compost a base de la cascara de *Citrus Limon* (limón) en la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5.

Se analizó el pH de las muestras de suelo contaminado con diésel B5 como lo muestra la Tabla 12, a diferentes concentraciones de compost de cascara de limón que

fueron 300, 400 y 500 gramos con 3 repeticiones cada uno y una muestra control, en un periodo de 60 días.

Tabla 12

Variación del pH

Tratamiento		Potencial de hidrogeno (pH)	
Compost – gr	Muestra	Día 0	Día 60
0	T0	6,15	6,21
	T1A	6,15	6,28
300	T1B	6,14	6,25
	T1C	6,16	6,25
	T2A	6,16	6,29
400	T2B	6,15	6,28
	T2C	6,17	6,3
	T3A	6,15	6,3
500	T3B	6,14	6,29
	T3C	6,15	6,31

Nota. La tabla 13 muestra el pH en el día 0 y después de 60 días de tratamiento.

Se Observa que el potencial de hidrogeno, incrementó a los 60 días que estuvo expuesto a diésel B5 y compost en diferentes concentraciones, se analizó el mayor pH en los días 0 y 60 que fueron 6,17 y 6,31 respectivamente y se obtuvo una variación del 0,14 de incremento, en los dos análisis se obtuvo un pH neutro.

Se determinó el porcentaje de humedad en cada tratamiento T1, T2 y T3 con sus respectivas repeticiones aplicando diésel B5 y compost de cascara de *Citrus Limon* (limón) como lo muestra la Tabla 13, en dos tiempos al día 0 y 60 que duro la investigación.

Tabla 13

Variación del porcentaje de humedad

Tratamiento		Porcentaje de Humedad	
Compost – gr	Muestra	Día 0	Día 60
0	T0	27,96	52,45
	T1A	27,53	51,23
300	T1B	27,93	52,54
	T1C	28,43	52,74
	T2A	27,74	51,32
400	T2B	28,87	51,42
	T2C	27,53	51,46
	T3A	27,49	52,43
500	T3B	28,34	51,86
	T3C	28,21	51,64

Nota. Esta tabla muestra el porcentaje de humedad inicial y final de la investigación.

El porcentaje de humedad presento sus mayores valores en la muestra T2B con 28,87% en el día 0 y en la muestra T1C con 52,74% en el día 60, este aumento es producto del riego interdiario que se realizó en el transcurso de la investigación.

Se realizó el análisis de la materia orgánica realizando un promedio de las muestras T1, T2 y T3 con sus respectivas repeticiones como lo muestra la Tabla 14, en el día 0 y 60, demostrando el aumento de la materia orgánica dependiendo de la cantidad de compost agregado al suelo contaminado con diésel B5.

Tabla 14

Variación de la materia orgánica

Tratamiento		Materia orgánica (%)			
Compost – gr	Muestra	Día 0	Promedio día 0	Día 60	Promedio día 60
0	T0	1,69	1,69	2,54	2,54
	T1A	1,66		17,43	
300	T1B	1,69	1,67	18,21	17,87
	T1C	1,67		17,98	
	T2A	1,69		20,96	
400	T2B	1,68	1,68	19,98	20,24
	T2C	1,68		19,77	
	T3A	1,69		22,41	
500	T3B	1,67	1,68	22,47	22,43
	T3C	1,68		22,42	

Nota. En la tabla se puede apreciar el promedio de materia orgánica por tratamiento de compost.

En la Tabla 14 de puede observar, que la materia orgánica aumento desde el día 0 hasta el último día de la investigación, en el primer día la mayor cantidad de materia orgánica fue en la muestra T0 con 1,69% y en el último día, en la muestra T3B con 22,47%, este aumento es porque en la muestra T3 se agregó la mayor cantidad de compost que fue de 500 gramos.

Se analizó la conductividad eléctrica en todos los tratamientos como lo muestra la Tabla 15, realizando un promedio en el primer y último día del estudio, apreciando que la conductividad eléctrica varia con el tiempo.

Tabla 15

Variación de la conductividad eléctrica

Tratamiento		Conductividad eléctrica (uS/cm)	
		Día 0	Día 60
0	T0	210	220
	T1A	200	200
300	T1B	210	190
	T1C	240	210
	T2A	210	220
400	T2B	210	250
	T2C	230	230
	T3A	240	290
500	T3B	220	290
	T3C	210	270
Promedio		218	237

Nota. Esta tabla muestra el promedio inicial y final de la conductividad eléctrica de nuestra investigación.

En la Tabla 15 se puede apreciar, que en el día 0 la mayor cantidad de conductividad eléctrica se presenta en las muestras T1C y T3A con 240 uS/cm cada una y después de 60 días observamos que las muestras T3A y T3B presenta una conductividad de 290 uS/cm cada una.

4. Determinación de la concentración de diésel B5 comparado con el ECA

Según los estándares de calidad ambiental para suelo, aprueban el D.S N°011-2017-MINAM donde establecen los niveles máximos de concentración de los parámetros que están presentes en el suelo y así no poner en riesgo a la salud, el ambiente o el mismo

cuerpo receptor (suelo), como lo muestra la tabla 16.

Tabla 16

Concentraciones máximas de las fracciones de hidrocarburos de petróleo según el ECA

Parámetros en mg/kg de hidrocarburos de petróleo	Usos de Suelo		
	Agrícola	Residencial y/o parques	Comercial, industrial y/o parques
Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)	200	200	500
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28)	1 200	1 200	5 000
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40)	3 000	3 000	6 000

Nota. Se observa las concentraciones máximas de cada fracción de hidrocarburos de petróleo. Fuente: ECA – 2017

Tabla 17

Comparación de resultados finales y ECA de uso de suelos

Tratamiento		Concentración de fracción media (mg/kg)		Uso de suelo según el ECA
Compost – gr	Muestra	Día 0	Día 60	Comercial, industrial y/o parques
0	T0	7 458	7 396	5 000 mg/kg
	T1A	7 295	4 490	
300	T1B	7 346	3 813	
	T1C	7 254	3 691	
	T2A	7 191	2 193	
400	T2B	7 003	2 473	
	T2C	7 394	1 974	
	T3A	7 421	1 121	
500	T3B	7 482	1 053	
	T3C	7 303	1 266	

Nota. Esta tabla muestra cómo cambia la concentración de hidrocarburos de fracción media desde el día 0 al 60 comparándolo con el ECA de suelos.

Se observa que en la Tabla 17, la primera toma de muestras en el día 0 todos los valores sobrepasan los estándares de calidad ambiental, que son mayores a 5 000 mg/kg de fracción de hidrocarburo F2, como lo indica la Tabla 16, en comparación de las muestras que se tomaron en el día 60, todos los valores son menores a lo que el ECA establece, excepto de la muestra T0, ya que no recibió ningún tratamiento.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1. Discusión

Se analizó la eficiencia de aplicar compost a base de cascara de *Citrus limon* (limón) para la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5.

En el desarrollo de la investigación se observa que el mayor porcentaje de eficiencia fue en la muestra T3B que pertenece al tratamiento T3, con un 85,93% de biorremediación aplicando 500 gramos de compost a un suelo franco arenoso que se contamina con diésel B5, correspondientemente en las muestras T1 y T2 se obtuvo un promedio de biorremediación del 45,22 y 69,16%, los tratamientos T1 y T2 se le agregó 300 y 400 gramos de compost respectivamente, estos tres tratamientos se llevaron a cabo en un periodo de 60 días, lo que nos indica que a mayor cantidad de compost a base de la cascara de limón es mayor la biorremediación. El desarrollo del objetivo general tiene semejanza con la investigación de Tamayo (2016) titulado: "Efecto del compost de cáscara de *Citrus limon* sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara" donde evalúa el efecto del compost sobre un suelo arenoso contaminado con hidrocarburos, en un periodo de 50 días, indicando que obtuvo un promedio de 45,26% de biorremediación aplicando 200 gramos de compost. Por lo tanto, se puede apreciar que el aprovechamiento de la cascara de limón para formar compost es muy importante para biorremediar suelos arenosos o franco arenosos contaminados con hidrocarburos.

Por otro lado, en relación a la eficiencia de biorremediación, se puede conocer cuál es la dosis óptima al aplicar compost a base de cascara de *Citrus limon* (limón). Se realizó un promedio de los resultados del porcentaje de biorremediación de cada tratamiento, el T3 mostro un 84.50% utilizando 500 gramos de compost, T2 obtuvo 69.16% con 400 gramos

de compost de cascara de limón y por último el T1 con 45.22% empleando 300 gramos de compost, con estos resultados se puede apreciar que la dosis optima de aplicar compost fue de 300 gramos. Esta percepción tiene una relación con la investigación de los autores Roldán Martín et al. (2007) titulada: *Effects of Mixing Low Amounts of Orange Peel (Citrus reticulata) with Hydrocarbon-Contaminated Soil in Solid Culture to Promote Remediation*, en donde parte de sus resultados muestran los porcentajes de remoción de los hidrocarburos empleando diferentes cantidades de compost de cáscara de naranja (*Citrus reticulata*), en proporciones de suelo/cáscara de naranja de 100:0, 98:2, 96:4, 94:6 y 92:8 y se encontró que en el tratamiento de 92:8 se obtuvo el mayor porcentaje de remoción del 69%. Con nuestra investigación considero que a mayor cantidad de compost empleado en un suelo contaminado con hidrocarburos es mayor el porcentaje de biorremediación ya que logramos un 84.50% en cambio en la investigación de los autores Roldán Martín et al. (2020), no lograron llegar ni un 70% de remoción ya que tenían porcentajes de compost de naranja en bajas cantidades.

De acuerdo a los resultados del análisis de los parámetros de control al inicio y al final de la aplicación de compost, se realizó un promedio de las 10 muestras de estudio donde el pH inicial es de 6,15 y el final es de 6,28, la humedad inicial es de 28% y la final de 51,91%, el promedio de la materia orgánica inicial es de 1,68% y el final es de 18,42% y la conductividad eléctrica inicial es de 218 uS/cm y el final de 237 uS/cm, las tomas de las muestras se realizaron en el día 0 (inicio) y a los 60 días (final). Estos datos obtenidos tienen semejanza con las siguientes investigaciones: Arcos Freile (2010) en su estudio titulado: *Remediación de lodos aceitosos de la Refinería Estatal de Esmeraldas mediante compostaje, empleando residuos domésticos en calidad de fuente de nutrientes* en donde menciona que el pH interviene en el proceso mediante su acción moduladora sobre la actividad microbiana y debe estar entre 6 y 7,5, quiere decir que al inicio y al final de

nuestra investigación nos encontramos con un potencial de hidrogeno neutro, además resalta que la humedad debe estar un rango entre 50 y 70% como lo obtuvo en sus resultado, resaltando que si hay exceso de humedad impide el crecimiento bacteriano y si los resultados bajan esto quiere decir que se están perdiendo los microorganismos, en la primera toma de muestra de nuestra investigación nos encontramos con un porcentaje de humedad mínimo que fue aumentando en el transcurso de los días por que cada dos días lo regábamos, también en su investigación obtiene una conductividad eléctrica entre 290 y 1004 uS/cm mencionando que para un suelo de uso industrial el límite máximo permitido es de 4000 uS/cm. Los autores Bustamante y Silva (2019) en su investigación titulada *Efecto de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en establecimientos de servicios* presento en sus resultados que al aplicar compost por un periodo de 90 días obtuvo entre 25,97 y 29,35 porciento de materia orgánica, en nuestra muestra de suelo inicial obtuvimos un promedio de 1.68% de materia orgánica ya que era el primer día de investigación y después de aplicar compost por un tiempo de 60 días obtuvimos un promedio de 20.18%. En ambas investigaciones se obtuvo resultados similares a nuestro proyecto, empleando compost a sus tratamientos, como el pH, porcentaje de humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica, eso nos indica que estos parámetros son importantes cuando se quiere emplear biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Por último, en relación de la calidad inicial y final del suelo contaminado con diésel B5, se encontró en los resultados iniciales que al analizar el parámetro de fracción dos (F2) en las 10 esta última muestra solo por degradación natural se redujo en un 0.83%. Esta percepción se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del suelo según la normativa vigente del DS N° 011-2017-MINAM., que nos menciona que para un suelo de uso comercial, industrial o extractivo no debe superar los 5000 mg/kg de hidrocarburos

fracción media (F2) de los cuales nuestro proyecto sobrepaso en sus resultados iniciales, después del tratamiento aplicado al suelo contaminado con diésel B5 en un periodo de 60 días que duró la investigación se volvió a tomar muestras y se obtuvo un gran porcentaje de biorremediación, donde no se superó los límites de los estándares de calidad ambiental para suelo. Considero que al aplicar compost de cascara de *Citrus limon* a un suelo contaminado con diésel B5 se puede obtener una gran eficiencia de biorremediación al compararlo con el ECA de suelos, también que, al aplicar 500 gramos de compost a 2500 gramos de suelo contaminado, como en las muestras T3A y T3B, se puede lograr una eficiencia de biorremediación para un suelo de uso agrícola, residencial o parques ya que el ECA menciona que para estos tipos de suelo no debe superar los 1200 mg/kg de hidrocarburos fracción media.

Desde una perspectiva **teórica**, nuestros resultados obtenidos validan el concepto que el sector hidrocarburo trae consigo contaminantes recalcitrantes que generan residuos de petróleo, fugas y derrames accidentales al ambiente, la mayoría de residuos no son recuperados y/o reutilizados en su totalidad es por ello que se disponen de rellenos de seguridad. Estos rellenos brindan diversos tratamientos antes de pasar a la etapa de disposición final, pero afectan negativamente los ecosistemas y la salud de la población. **Prácticamente**, los resultados demuestran la necesidad de implementar más tecnologías sostenibles y que sean respetuosas con el ambiente, como es la técnica de biorremediación, que consiste en la limpieza de ambientes contaminados, la cual puede llevarse a cabo de manera natural o mediante la incorporación de microorganismos, enmiendas y fertilizantes para acelerar el proceso. **Metodológicamente**, este estudio presenta la importancia de un enfoque cuantitativo para evaluar eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5 mediante la aplicación de compost a base de la cascara de *Citrus Limon* (limón), que combine lo experimental y lo aplicado. Los métodos utilizados en esta

investigación son los datos numéricos y estadísticos, que brindan datos fundamentales para saber cómo afecta la contaminación de suelos por hidrocarburos. A futuro, sería ventajoso llevar a cabo investigaciones para analizar nuevas alternativas en los rellenos de seguridad para sus diferentes y nuevos tratamientos.

Las **limitaciones** de nuestra investigación fue que el análisis se centró en dos resultados de concentración de hidrocarburos de fracción media y no considero mas muestras en el tiempo de biorremediación. Además, no se evaluaron otros parámetros fisicoquímicos que podrían estar en la mezcla de compost y diésel B5.

Futuros estudios podrían aumentar el tiempo de investigación para verificar si se lograría un 100% de biorremediación de diésel B5 empleando compost a base de cascara de *Citrus Limon* (limón), así como evaluar más parámetros fisicoquímicos si aumentan o disminuyen en el tiempo de biorremediación.

2. Conclusiones

En este estudio se evaluó a eficiencia de aplicar compost a base de cáscara de *Citrus limon* (Limón) para la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5. Al respecto, se obtuvo como coeficiente de correlación de Pearson $r=1$, evidenciando una correlación lineal. De lo cual se puede decir que a medida que una variable aumenta la otra también lo hace de forma proporcional, eso quiere decir que si aumentamos el compost también aumentara el porcentaje de biorremediación.

Con relación al primer objetivo específico, se determinó si la dosis de 300, 400 o 500 gramos de compost a base de cáscara de *Citrus limon* (Limón) son eficientes para biorremediar suelos contaminados con diésel B5. Al respecto, los resultados mostraron que al aplicar 500 gramos de compost en las muestras T3A, T3B y T3C se obtuvo un 84.89, 85.93 y 82.66% respectivamente de biorremediación, lo cual indica que al aplicar más

compost se obtiene un mayor porcentaje de biorremediación.

En cuanto al segundo objetivo específico, se analizó los valores de los parámetros de control (pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica) al inicio y al final de la aplicación del compost a base de la cáscara de *Citrus limon* (Limón) en la biorremediación de suelos contaminados con diésel B5. Referente a los resultados iniciales se obtuvo un promedio de pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica que fueron 6,15, 28%, 168% y 218 Us/cm respectivamente y los finales con 6,28, 51,91%, 18,42% y 237 Us/cm correspondientemente. De lo anterior, se evidencia que el suelo debe estar y permanecer en buenas condiciones sus parámetros de control.

De conformidad con el tercer objetivo específico, se determinó la calidad inicial y final del suelo contaminado con diésel B5 al compararlo con el parámetro de hidrocarburo de petróleo (fracción media) presente en la normativa vigente DS N° 011-2017-MINAM, Al respecto, la calidad inicial supero al límite máximo permisible del ECA para hidrocarburos fracción media con un promedio de las 10 muestras de 7 314,7 mg/kg y la calidad final en promedio de las 9 muestras (T1, T2 y T3) fue de 2 452,67 mg/kg, ninguna muestra supero el ECA para hidrocarburos fracción media pero la muestra T0 se mantuvo con resultados altos ya que no contenía ningún tratamiento (compost).

Referencias

- Alanya de la Cruz, V., Clemente Huaman, O., Castañeda Campos, C., & Ancasi Esteban, C. E. (2023). Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 785–801. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4430
- Alvaro, C. E. S., Arocena, L. A., Martínez, M. Á., & Nudelman, N. E. S. (2017). Biodegradación aerobia de fracciones de hidrocarburos provenientes de la actividad petrolera en un suelo de la región Patagonia Norte, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 247-257. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.06>
- Ambaye, T. G., Chebbi, A., Formicola, F., Prasad, S., Gomez, F. H., Franzetti, A., & Vaccari, M. (2022). Remediation of soil polluted with petroleum hydrocarbons and its reuse for agriculture: Recent progress, challenges, and perspectives. *Chemosphere*, 293, 133572. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133572>
- Antizar-Ladislao, B., Lopez-Real, J., & Beck, A. J. (2006). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an aged coal tar contaminated soil under in-vessel composting conditions. *Environmental Pollution*, 141(3), 459-468. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.066>
- Bustamante Cabrera, J. A., & Silva Ora, A. A. (2019). Efecto de la materia orgánica en la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en establecimientos de reparación de vehículos terrestres. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/464>

Cabezas Oruna, J. (2012). La industria de refinación de petróleo en el Perú. *Paradigmas*, 4(1), 37-47.

Castro-Maldonado, J. J., Gómez-Macho, L. K., & Camargo-Casallas, E. (2023). *La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI*. *Revista Tecnura*, 27(75), 140–174.
<https://doi.org/10.14483/22487638.19171>

Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (2015a). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, 33(6, Part 1), 745-755.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>

Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (2015b). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, 33(6, Part 1), 745-755.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>

Colca Rodríguez, J. L. (2017). Eficiencia en el cultivo de microorganismos eficaces para reducir hidrocarburos totales de petróleo contenidos en fuentes de grifo, Huarochirí – 2017. Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/21774>

Delgado Paredes, C. L. (2022). Biorremediación de suelos contaminados por diésel mediante el aprovechamiento de los biosólidos compostados por la empresa Ecothani S. A. C., Cusco - 2021 [Tesis de Título, Universidad Continental] Repositorio Institucional - Universidad Continental.

- Dos Santos, E. V., Sáez, C., Cañizares, P., da Silva, D. R., Martínez-Huitle, C. A., & Rodrigo, M. A. (2017). Treatment of ex-situ soil-washing fluids polluted with petroleum by anodic oxidation, photolysis, sonolysis and combined approaches. *Chemical Engineering Journal*, 310, 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.015>
- Espinoza Velasco, D. M. P. (2020). Reducción de la concentración de plomo (II) en una solución acuosa por el método de bioadsorción mediante el uso del zuro de *Zea mays* y cáscara de *Citrus limon* [Tesis de título, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/27850>
- Haider, F. U., Ejaz, M., Cheema, S. A., Khan, M. I., Zhao, B., Liqun, C., Salim, M. A., Naveed, M., Khan, N., Núñez-Delgado, A., & Mustafa, A. (2021). Phytotoxicity of petroleum hydrocarbons: Sources, impacts and remediation strategies. *Environmental Research*, 197, 111031. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111031>
- Haritash, A. K., & Kaushik, C. P. (2009). Biodegradation aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.137>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. McGraw Hill España. <https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta. Mc Graw Hill educación. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

- Imam, A., Suman, S. K., Ghosh, D., & Kanaujia, P. K. (2019). Analytical approaches used in monitoring the bioremediation of hydrocarbons in petroleum-contaminated soil and sludge. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 118, 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.023>
- Islas Olvera, J., Vaca Mier, M., Tavera Mejía, W., Lizardi Ramos, A., López Callejas, R., & Terres Peña, H. (2019). Composteo de un suelo contaminado con hidrocarburos fracción pesada con cáscara de naranja y gallinaza como cosustratos.
- Kaewlaoyoong, A., Cheng, C.-Y., Lin, C., Chen, J.-R., Huang, W.-Y., & Sriprom, P. (2020). White rot fungus *Pleurotus pulmonarius* enhanced bioremediation of highly PCDD/F-contaminated field soil via solid state fermentation. *Science of The Total Environment*, 738, 139670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139670>
- Lin, C., Cheruiyot, N. K., Bui, X.-T., & Ngo, H. H. (2022). Composting and its application in bioremediation of organic contaminants. *Bioengineered*, 13(1), 1073-1089. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.2017624>
- López Bautista, E., & Gonzáles Ramírez, B. (2014). Diseño y análisis de experimentos fundamentos y aplicaciones en agronomía. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-la-tercera-edad/diseño-de-experimentos/diseño-y-analisis-de-experimentos-pdfdrive/26837553>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). Guía para la elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelos. (Serie Guías Técnicas N.º 09) Lima, Perú.

Ministerio del Ambiente. (2016). La fiscalización ambiental en el Perú (2011-2015): Fortaleciendo los cimientos del derecho a un ambiente sano. Informes Sectoriales Ambiente.

Ministerio del Ambiente. (2017, 2 de diciembre). *Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Diario Oficial El Peruano.

Ministerio del Ambiente. (2021). Listado de rellenos sanitarios. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279709-listado-de-rellenos-sanitarios-a-nivel-nacional>

Moreno, C. M., Becerra, A. E. G., & Santos, M. J. B. (2004). Tratamientos biológicos de suelos contaminados: Contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación.

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Ron, E. Z., & Rosenberg, E. (2014). Enhanced bioremediation of oil spills in the sea. *Current Opinion in Biotechnology*, 27, 191-194. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.02.004>

Rodriguez Berna, P. G. (2018). Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo. Ucayali, Perú. [Tesis de título, Universidad Nacional de Ucayali]

Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., & Mejía Sáenz, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Universidad Ricardo Palma.

<https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

Song, X., Wu, X., Song, X., Shi, C., & Zhang, Z. (2021). Sorption and desorption of petroleum hydrocarbons on biodegradable and nondegradable microplastics. *Chemosphere*, 273, 128553. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128553>

Tamayo Rodríguez, L. N. (2016). “Efecto del compost de cáscara de Citrus limon sobre la degradación de hidrocarburos totales de petróleo en suelos contaminados provenientes de Refinería Talara”. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/7592>

Thapa, B., Kc, A. K., & Ghimire, A. (2012). A Review On Bioremediation Of Petroleum Hydrocarbon Contaminants In Soil. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.3126/kuset.v8i1.6056>

Uddin, S., Fowler, S. W., Saeed, T., Jupp, B., & Faizuddin, M. (2021). *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112913. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112913>

Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación Aplicada: Una Forma De Conocer Las Realidades Con Evidencia Científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.

Vargas Linares, P. A. (2021). Efecto de tres extractos humicos en la remoción del zinc, cobre, plomo y cadmio en suelos franco arenosos contaminados, Huaraz 2016. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. UNASAM-Institucional. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4902>

Velasco, J. A., & Volke Sepúlveda, T. L. (2003). El composteo: Una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. 2003, 14.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906604>

Velásquez, T. M. (2017). Extracto hidroalcohólico de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) como bioestimulador en un suelo de sabana contaminado con petróleo. *Ingeniería*, 21(2), 1-10.

Vergaray Ruiz, V. M. (2022). Aplicación de la Técnica del Microcosmo para Evaluar la Capacidad de los Lodos Residuales como Biorremediadores de Suelos Contaminados con Hidrocarburos [Tesis de título, Universidad Privada del Norte].
<https://hdl.handle.net/11537/31244>

Anexos

Anexo A. Matriz de consistencia

TÍTULO	BIORREMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS DE FRACCIÓN MEDIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPOST A BASE DE CÁSCARA DE <i>CITRUS limon</i> (Limón)			
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES $y = f(x)$	METODOLOGÍA
<p>Pregunta general</p> <p>¿Cuál es la eficiencia de la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción media mediante la aplicación de compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón)?</p> <p>Preguntas específicas</p> <p>¿Qué efecto tienen las dosis de 300, 400 y 500 gramos de compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) en la reducción de hidrocarburos de fracción media en el suelo contaminado?</p> <p>¿Cómo varía el pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica del suelo tratado con compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) después de 60 días de tratamiento con respecto a los valores iniciales?</p> <p>¿Qué tratamiento con compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) permite reducir los niveles de hidrocarburos de fracción media por debajo de los valores establecidos en la</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar la eficiencia de la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de fracción media mediante la aplicación de compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón).</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar el efecto de las dosis de 300, 400 y 500 gramos de compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) en la reducción de hidrocarburos de fracción media en el suelo contaminado.</p> <p>Evaluar la variación del pH, humedad, materia orgánica y conductividad eléctrica del suelo tratado con compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) después de 60 días de tratamiento con respecto a los valores iniciales.</p> <p>Identificar que tratamiento con compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) permite reducir los niveles de hidrocarburos de fracción media por debajo de los valores</p>	<p>Hipótesis</p> <p>Hipótesis alterna HI: La aplicación de compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) produce una reducción significativa de los hidrocarburos de fracción media en suelos contaminados.</p> <p>Hipótesis nula H0: La aplicación de compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón) no produce una reducción significativa de los hidrocarburos de fracción media en suelos contaminados.</p>	<p>Variable dependiente Y</p> <p>Y1: Hidrocarburos de fracción media</p> <p>Dimensiones: -Concentración de hidrocarburos de fracción media -Parámetros fisicoquímicos del suelo -Cumplimiento normativo ambiental</p> <p>Variable independiente X</p> <p>X1: Compost a base de la cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón)</p> <p>Dimensiones: -Dosis aplicada de compost -Tiempo del tratamiento</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Alcance: Aplicativo</p> <p>Población: Suelo de uso industrial contaminado por una simulación de derrame con diésel B5.</p> <p>Muestra: 29.7 kilos de suelo de uso industrial contaminado por una simulación de derrame con diésel B5.</p> <p>Técnicas: Observación experimental y Revisión bibliográfica.</p> <p>Instrumentos: Ficha de registro y Cadena de custodia.</p>

normativa vigente D.S. N.º 001-2017-MINAM – ECA suelo?	establecidos en la normativa vigente D.S. N.º 001-2017-MINAM – ECA suelo.			
--	---	--	--	--

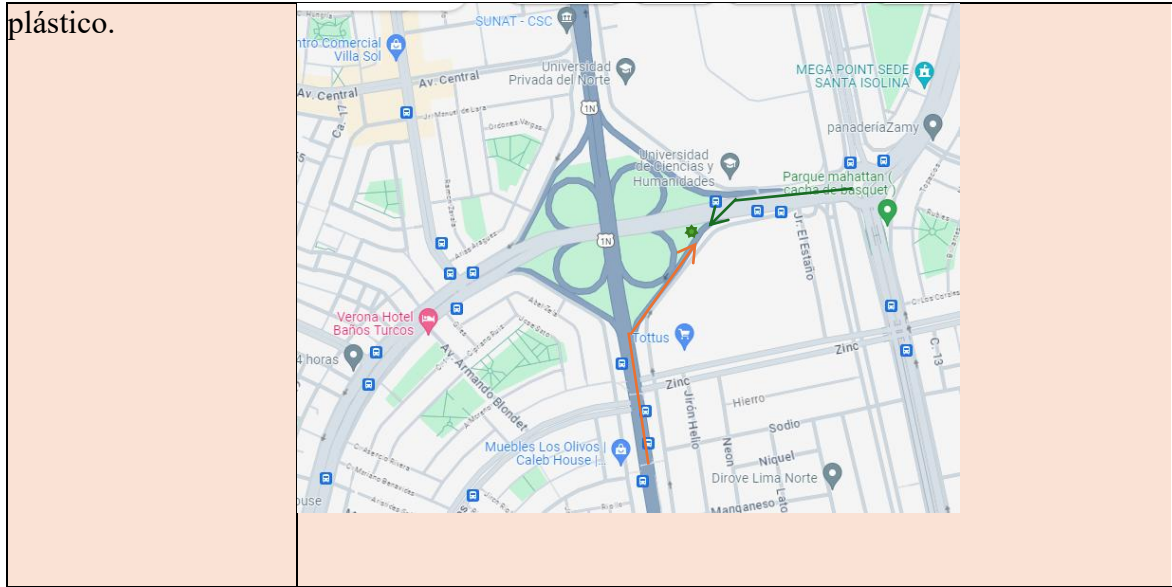
Anexo B. Matriz de operacionalización de variables

TÍTULO	BIORREMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS DE FRACCIÓN MEDIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE COMPOST A BASE DE CÁSCARA DE <i>CITRUS limon</i> (Limón)			
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Variable dependiente</p> <p>Y1: Hidrocarburos de fracción media (F2)</p>	<p>La fracción de hidrocarburos F2 es una composición de hidrocarburos cuyos compuestos contienen más de diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10-C28). Además, pueden analizarse en productos desconocidos derivados del petróleo, gasóleo, diésel, petróleo crudo, queroseno, gasolinas, gas nafta, etc. (MINAM, 2014).</p>	<p>La concentración de hidrocarburos de fracción media (F2) en el suelo se medirá en miligramos por kilogramo (mg/kg) antes y después del tratamiento con compost. La determinación se realizará mediante técnicas analíticas como la cromatografía de gases, siguiendo el protocolo establecido por laboratorio certificado. Los resultados se compararán con los estándares establecidos en la normativa peruana D.S. N.º 001-2017-MINAM – ECA Suelo, que establece un límite máximo permisible de 1000 mg/kg para esta fracción.</p>	<p>Concentración de hidrocarburos de fracción media (F2)</p>	<p>Concentración de (F2) mg/Kg antes y después del tratamiento.</p>
			<p>Parámetros fisicoquímicos del suelo</p>	<p>Unidad de pH</p>
				<p>Porcentaje de humedad (%)</p>
				<p>Porcentaje de materia orgánica (%)</p>
<p>Cumplimiento normativo ambiental</p>	<p>Conductividad eléctrica (dS/m)</p> <p>Revisión de informe de laboratorio comparado con</p>			

				normativa del ECA suelo según D.S. N.º 001-2017-MINAM
Variable independiente X1: Compost a base de cáscara de <i>Citrus limon</i> (limón)	El compost es un producto obtenido a partir de la descomposición controlada de materiales orgánicos, en este caso, cáscaras de limón (<i>Citrus limon</i>), mediante procesos biológicos aeróbicos. Este proceso transforma los residuos orgánicos en un material estable, rico en nutrientes, que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).	Se elaboró compost con cáscaras de <i>Citrus limon</i> (limón) sometidas a un proceso aeróbico controlado; se aplicó dosis de 300 g, 400 g y 500 gramos de compost por cada tratamiento en el suelo contaminado durante 60 días. (Román et al., 2013).	Dosis aplicada de compost	Dosis de compost 300, 400 y 500 gramos.
			Tiempo del tratamiento	60 días de biorremediación

Anexo C. Ficha de registro de suelo contaminado hidrocarburo de fracción media

FICHA DE REGISTRO			
Datos Generales			
Nombre del sitio en estudio:	Extracción de suelo		
Departamento:	Lima	Provincia:	Lima
Uso Principal:	suelo industrial	Dirección del Predio:	Panamericana norte con universitaria
Datos del punto de Muestreo			
Nombre del Punto de Muestreo:	P1	Persona responsable del muestreo:	Rocio Marin y Tiara Torres
Coordenadas: (UTM, WGS84)	x: 274965.526 y: 8676741.676	Descripción de la superficie:	Suelo franco arenoso
Temperatura (°C):	28 °C	Precipitación:	no
Técnica de muestreo:	Sondeo manual	Instrumentos usados:	Guantes, guardapolvo, pala de construcción, sacos de polipropileno
Profundidad Final:	30 cm	Napa Freática:	No
Instalación de un pozo en el agujero:	No	Relleno del agujero después del muestreo:	No
Datos de la muestra			
Clave de la muestra:	P1		
Fecha:	23/02/2024		
Hora:	7:40 am		
Profundidad desde:	0 cm		
Profundidad hasta:	30 cm		
Características organolépticas			
Color:	Crema medio oscuro		
Olor:	Tierra		
Textura:	Franco		
Componentes Antropogénicos:	Ninguno		
Tipo de muestra	Simple		
El lugar tenía presencia de piedras, raíces de plantas y	Croquis:		



Anexo D. Codificación de la cadena de custodia inicial

Nº 081304

CADENA DE CUSTODIA

Agua M.S. C.A. S.O. Emi. Otro I.E. N°(al): 241627 Pág. 1 de 2

envirotest
Environmental Testing Laboratory S.A.C.

DATOS DEL CLIENTE							Envase		Envase	
ENVIAR INFORME DE ENSAYO A							Envase	Envase		
RAZÓN SOCIAL: <u>Tiara Vanessa Torres Solís</u>										
DIRECCIÓN: <u>Av. Maestro Plutarco #325 - Comas</u>										
TELÉFONO: <u>087667688</u>		E-MAIL: <u>Tiara08475@gmail.com</u>								
CONTACTO: <u>Tiara Torres</u>										
PLAN DE MUESTREO N°		ORGANIZACIÓN N°								
		<u>00720-24RD1</u>								
OTRA REFERENCIA: <u>Proyecto Biotecnológico</u>										
ENVIAR FACTURA A										
RAZÓN SOCIAL: <u>Tiara Vanessa Torres Solís</u>										
RUC										
DIRECCIÓN: <u>Av. Maestro Plutarco #325 - Comas</u>										
NOMBRE DEL PROYECTO: <u>Bioremediación de suelo contaminado con diesel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de cáscara de citrus limón (limón)</u>										
PROCEDENCIA: <u>Calle 4 # 122 - Comas</u>										
							ANÁLISIS REQUERIDOS			
							Indicar con una (X) en los recuadros inferiores, los análisis requeridos por cada muestra			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			
							pH			
							Temperatura			
							Materia Orgánica			
							F2			
							Textura de Suelo			
							Conductividad Eléctrica			

CADENA DE CUSTODIA

Agua M.S. C.A. S.O. Emi. Otro

I.E. N°(R): 21/1677

Pág. 2 de 2

DATOS DEL CLIENTE							ANÁLISIS REQUERIDOS													
ENVIAR INFORME DE ENSAYO A																				
RAZÓN SOCIAL: Tiara Unessa Tones Solis																				
DIRECCIÓN: Av. Maestro Pizarro # 325 - Comas																				
TELÉFONO: 781607698 EMAIL: tiara@unessa.com																				
CONTACTO: Tiara Tones																				
PLAN DE MUESTREO: 00720 - 24201																				
OTRA REFERENCIA: Proyecto Politécnico																				
ENVIAR FACTURA A																				
RAZÓN SOCIAL: Tiara Unessa Tones Solis																				
RUC:																				
DIRECCIÓN: Av. Maestro Pizarro # 325																				
NOMBRE DEL PROYECTO: Biorremediación de suelo contaminado con diesel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de Inocuo de 9 hrs limón (Limon)																				
PROCEDENCIA: Calle 4 # 722 - Comas																				
Nº de muestra	Código de Cliente	Muestra		Producto (R)	Tipo de Producto (R)	Ubicación UTM	Número de ítems por punto de muestreo													
		Fecha (d-m-a)	Hora (24:00)				pH	Humedad	Materia orgánica	F2	Técnica de Suelo	Conductividad Eléctrica								
	T3B	20/02/24	15:34	Suelo	Suelo		X	X	X	X	X									
	T3C	20/02/24	15:37	Suelo	Suelo		X	X	X	X	X									


ENVIROTEST S.A.C.
23 FEB 2024
RECIBIDO
LA RECEPCIÓN IMPLICA CONFORMIDAD

(E: Información basada por Recepción de Muestras. (R) MATRIZ O PRODUCTO: Aire en Intercambio (Respirable) (Rac), Inhalable (Inh), Polvo (Pol), PVC, MCE, Calidad de Aire (CA), (PM-10, PM-2.5 (PM-2.5), PTS, Sed. Dep), Otros
Agua (A) (Agua Natural (AN), A. Subterránea, A. de Mar, A. de Superficie (Río, Laguna/Lago), A. de Depósito Atmosférico (Suelo o plátano); Agua Residual (AR), A.S. Clorada, A.R. Industrial, J.R. Municipal; Agua de Uso y Consumo Humano (AUH); A. de piscina, A. de baño (A. Potable/A. Empleado/A. de mesa), A. de laguna artificial; Agua Salina (AS) A. de Mar, A. Salina, Saltrona, Agua de Proceso (AP) A. de Minería y Recuperación, A. de Circulación y Enfriamiento, A. de Alimentación para Cálidos, A. de Cálidos, A. de Lavadura, A. Purificada, Residuos (Res) (Pesticidas (P), SO), Muestra Sólida (MS) (Suelo (Sul), Lodo (Lod), Sedimento (Sed))


MUESTREO REALIZADO POR		PLAN/PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		CÓDIGO DE EQUIPOS UTILIZADOS		OBSERVACIONES		SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE	
Empresa:								Nombre:	
Responsable:	Tiara Tones							Cargo:	
Firma:	<i>[Firma]</i>							Firma:	

LABORATORIO - RECEPCIÓN DE MUESTRAS			
Entregado por:	Tiara Tones	Recibido por:	David Rodríguez
Fecha (d-m-a):	23-02-24	Fecha (d-m-a):	23-02-24
Hora (24:00):	15:50	Hora (24:00):	18:00
Firma:	<i>[Firma]</i>	Firma:	<i>[Firma]</i>

Anexo E. Informe de ensaño inicial



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-459



INFORME DE ENSAYO N° 241677 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente
Dirección
Solicitado Por
Referencia
Proyecto
Procedencia
Muestreo Realizado Por
Cantidad de Muestra
Producto
Fecha de Recepción
Fecha de Ensayo
Fecha de Emisión

TIARA VANESSA TORRES SOLIS
Av. Maestro Peruano # 525 - Comas
Tiara Vanessa Torres Solis
Colización 00720-24R01
Biorremediación de suelo contaminado con diesel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de cáscara de cítricos
Limon (LIMON)
Calle 4 # 122 - Comas
El cliente
10
Suelo
2024/02/23
2024/02/23
2024/03/09

al 2024/03/07

I. Resultados

Código de Laboratorio	241677-01	241677-02	241677-03	241677-04	241677-05	241677-06
Código de Cliente	T0	T1A	T1B	T1C	T2A	T2B
Fecha de Muestreo	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024
Hora de Muestreo (h)	15:01	15:07	15:11	15:15	15:18	15:22
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Fiticoquímicos								
Organic Matter	%	0.11	1.65	1.66	1.69	1.67	1.69	1.68
Organicos								
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)	mg/Kg PS	0.3	7458	7295	7346	7254	7181	7003
Range F2								

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado.

Código de Laboratorio	241677-07	241677-08	241677-09	241677-10
Código de Cliente	T2C	T3A	T3B	T3C
Fecha de Muestreo	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024
Hora de Muestreo (h)	15:26	15:30	15:36	15:41
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados			
Fiticoquímicos						
Organic Matter	%	0.11	1.65	1.69	1.67	1.68
Organicos						
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)	mg/Kg PS	0.3	7394	7421	7482	7303
Range F2						

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado.
* No acreditado

Calle B. Vía Cíete 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú. Central Telefónica (51 1) 622-3768 / 623-1828 560-025666
info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC., -IAS
CON REGISTRO TL-639



**INFORME DE ENSAYO Nº 241677
CON VALOR OFICIAL**


II - Métodos

Tipo Ensayo	Norma Referencia
Falcoquinínicos	
Organic Matter	Determination of organic matter by Walkley and Black Titration with ferrous sulfate.
Organicos	
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) Range F2	Nonhalogenated Organics By Gas Chromatography. EPA Method 8015C revision 3, February 2007

Firmado digitalmente por:
Oca, Sandra Flavia A.
C.D.F. 1544
Supervisora del Laboratorio
Instrumental


El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestras.
Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

**** FIN DEL INFORME ****



Environmental Testes & Laboratory S.A.L

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-096



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE-096

INFORME DE ENSAYO N° 241677 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : TIARA VANESSA TORRES SOLIS
Dirección : Av. Maestro Perruano #325 - Comas
Solicitado Por : Tiara Vanessa Torres Solis
Referencia : Cotización 00720-24R01
Proyecto : Biorremediación de suelo contaminado con diesel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de cáscara de cítricos
Procedencia : Limón (Limón)
Muestreo Realizado Por : Calle 4 # 122 - Comas
Cantidad de Muestra : El cliente
Producto : 10
Fecha de Recepción : Suelo
Fecha de Emisión : 2024/02/23
Fecha de Ensayo : 2024/02/23 al 2024/03/07
Fecha de Emisión : 2024/03/09

Código de Laboratorio	241677-01	241677-02	241677-03	241677-04	241677-05	241677-06
Código de Cliente	T0	T1A	T1B	T1C	T2A	T2B
Fecha de Muestreo	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024
Hora de Muestreo (h)	15:05	15:07	15:11	15:15	15:18	15:22
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

L Resultados

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Reloquímica								
pH	Unidad de pH	0.010	6.15	6.15	6.14	6.16	6.16	6.15
Conductividad *	µs/cm	1	210	200	210	240	210	210
Humedad *	%	0.050	27.96	27.53	27.83	28.43	27.74	28.87
Textura *								
Arena	%	0.000	61	-	-	-	-	-
Arcilla	%	0.000	28	-	-	-	-	-
Limo	%	0.000	11	-	-	-	-	-

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "--" = No Analizado.

* No acreditado

Código de Laboratorio	241677-07	241677-08	241677-09	241677-10
Código de Cliente	T2C	T3A	T3B	T3C
Fecha de Muestreo	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024	23/02/2024
Hora de Muestreo (h)	15:26	15:30	15:36	15:41
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados			
Reloquímica						
pH	Unidad de pH	0.010	6.17	6.15	6.14	6.15
Conductividad *	µs/cm	1	230	240	220	210
Humedad *	%	0.050	27.53	27.49	28.14	28.21
Textura *						
Arena	%	0.000	-	-	-	-
Arcilla	%	0.050	-	-	-	-
Limo	%	0.000	-	-	-	-

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "--" = No Analizado.

* No acreditado

Calle B Mz C lote 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú - Central Telefónica (511) 522-3758 / 523-5826. RPC: 888 114 648
info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO (POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - SA CON REGISTRO N° LE-096



**INFORME DE ENSAYO N° 241677
CON VALOR OFICIAL**

II- Métodos

Tipo Ensayo	Norma Referencia
Fisicoquímicos	
pH	Soil and Waste pH, EPA Method 9045 D, Rev. 4, 2024
Conductividad	Metodos Analíticos para suelos ácidos y plantas, Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Agosto 1997
Humedad	NOM-021-RECNAT-200-AS-05/Análisis de Humedad
Textura	NOM-021-RECNAT-200-AS-09/TEXTU

Empleado digitalizado por
DCA, Santos Rivas A.
E.G.P. 1994
Supervisor del Laboratorio
Internacional

El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.
Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

**** FIN DEL INFORME ****

Anexo F. Codificación de la cadena de custodia final

N° 081306

envirotest
Environmental Testing Laboratory S.A.C.

CADENA DE CUSTODIA

Agua M.S. C.A. S.O. Emi. Otro I.E. N°(a): 244040 Pág. 1 de 2

DATOS DEL CLIENTE						Envase	Uso / Intención de Uso	Oligo									
ENVIAR INFORME DE ENSAYO A																	
RAZÓN SOCIAL: Enca Marisol Marin Sipron																	
DIRECCIÓN: Calle 2, Manzana A, Lote 5B, Tercera Etapa, Urbanización Primavera Los Olivos																	
TEL.FONO: 531 442 920 E-MAIL: marin-sipron@envirotest.com																	
CONTACTO: Enca Marin																	
PLAN DE MUESTREO N°: COFIZACIÓN 00720-24E03																	
OTRA REFERENCIA:																	
ENVIAR FACTURA A						ANÁLISIS REQUERIDOS											
RAZÓN SOCIAL: Enca Marisol Marin Sipron						Número de Ingreso por punto de muestreo	pH	Humedad									
RUC:									Materia Orgánica	F ₂							
DIRECCIÓN: Calle 2, Manzana A, Lote 5B - Los Olivos											Textura de Suelo	Conductividad Eléctrica					
NOMBRE DEL PROYECTO: Bioremediación de suelo contaminado con diésel SS mediante la aplicación de compostaje a base de cáscara de citrus (Amarillo Lulo)																	
PRECEDENCIA: Calle 4 # 122 - Lima						Indicar con una (X) en los recuadros inferiores, los análisis requeridos por cada muestra											
N° de muestra	Código de Cliente	Muestreo		Producto	Tipo de Producto	Ubicación UTM											
		Fecha (d-m-a)	Hora (24:00)														
	T0	23/04/24	14:23	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 1 A	23/04/24	14:25	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 1 B	23/04/24	14:24	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 1 C	23/04/24	14:24	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 2 A	23/04/24	14:43	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 2 B	23/04/24	14:46	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 2 C	23/04/24	14:52	Suelo	Suelo			X	X	X	X						
	T 3 A	23/04/24	14:55	Suelo	Suelo			X	X	X	X						

ENVIROTEST S.A.C.

23 ABR 2024

RECIBIDO

LA RECEPCIÓN NO IMPLICA CONFORMIDAD

(*) Información basada por Recopio de Muestra. (X) MATRIZ O PRODUCTO: Aire sin interés (Respirable (Res)), Volátiles (VOC), Plomo (Pb), PVC, MCL, Calidad de Aire (C.A.) (PM-10, PM-2.5 (HYLV), PTS, SO₂, CO₂), Otros

Agua (A): [Agua Natural (A.N.)], A. Subterránea, A. de Manantial, A. Turbia, A. Superficial: Rio, Laguna(s), A. de Depósito Atmosférica (Nieva o pluvia), Agua Residual (A.R.), A.R. Doméstico, A.R. Industrial, A.P. Municipal, Agua de Uso y Consumo Humano (A.U.H.): A. de piscina, A. de botella (A. Plástico), A. Empleado (A. de resaca), A. de laguna artificial, Agua Salada (A.S.): A. de Mar, A. Salobre, Salmuera, Agua de Proceso (A.P.): A. de Inyección y Refrigeración, A. de Crecimiento o Enchufado, A. de Alimentación para Cárnicos, A. de Cáctulos, A. de Lirioden, A. Purificada, Emulsiones (Em.), [Pesticidas (P.P.)], Muestra Sólida (M.S.): Suelo (Suelo), Lodo (Lod.), Sedimento (Sed.)

Muebles por: [] Envase (E) [] Bata (Bata)

Los siguientes metales:

MUESTREO REALIZADO POR		PLAN/PROCEDIMIENTO DE MUESTREO		CÓDIGO DE EQUIPOS UTILIZADOS		OBSERVACIONES		SUPERVISOR / REPRESENTANTE DEL CLIENTE	
Empresa:								Nombre:	
Responsable:	Enca Marin							Cargo:	
Firma:	<i>[Firma]</i>							Firma:	

LABORATORIO - RECEPCIÓN DE MUESTRAS			
Entregado por:	Enca Marin	Recibido por:	Enca Marin
Fecha (d-m-a):	23-04-24	Fecha (d-m-a):	23-04-24
	Hora (24:00): 14:50		Hora (24:00): 18:00
Firma: <i>[Firma]</i>		Firma: <i>[Firma]</i>	
		Origen de los envases de las muestras: Cliente	
		Condiciones de la Muestra: Envirotest	

Envirotest S.A.C., RUC 20523205936. Calle B Mz C lote 40 Urb. Panamericana-Lima 31-Perú, Central Telefónica (511) 522-3758 / 533-1828. E-mail: info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe
Codigo: F01-PA-DPE-01, Rev: 18 Fecha: 23-03-2022

CLIENTE

Anexo G. Informe de ensaño final



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 659



INFORME DE ENSAYO Nº 244040 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ROCIO MARZOL MARRIN SPIRAN
 Dirección : Calle 2 Mz A lote 56, tercera etapa Urbanización Proxima, Los Olivos
 Solicitado Por : Rocio Marzol Marie Spiran
 Referencia : Cotización 00730-24901
 Proyecto : Biorremediación de suelo contaminado con diesel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de cáscara de cítricos
 (lote LIMON)
 Procedencia : Calle 4 # 122 - Comas
 Muestra Realizado Por : El cliente
 Cantidad de Muestra : 10
 Producto : Suelo
 Fecha de Recepción : 2024/04/23
 Fecha de Ensayo : 2024/04/23 al 2024/05/09
 Fecha de Emisión : 2024/05/09

I. Resultados

Código de Laboratorio	244040-01	244040-02	244040-03	244040-04	244040-05	244040-06
Código de Cliente	T0	T1A	T1B	T1C	T2A	T2B
Fecha de Muestreo	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024
Hora de Muestreo (h)	14:23	14:28	14:34	14:37	14:41	14:46
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo


Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Fisicoquímicos								
Organic Matter	%	0.11	2.54	17.43	18.21	17.98	20.96	19.98
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) Range F2	mg/Kg PS	0.3	7396	4490	3812	3691	2193	2473

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, * No acreditado

Código de Laboratorio	244040-07	244040-08	244040-09	244040-10
Código de Cliente	T2C	T3A	T3B	T3C
Fecha de Muestreo	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024
Hora de Muestreo (h)	14:52	14:55	15:00	15:06
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo


Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados			
Fisicoquímicos						
Organic Matter	%	0.11	19.77	22.41	22.47	22.42
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) Range F2	mg/Kg PS	0.3	1974	1121	1053	1266

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "—" = No Analizado, * No acreditado



Environmental Testing Laboratory S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 659



INFORME DE ENSAYO N° 244040 CON VALOR OFICIAL

II - Métodos

Tipo Ensayo	Norma Referencia
Químicos	
Organic Matter	Determination of organic matter by Wa
Organicos	
Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) Range F2	Nonhalogenated Organics By Gas Chromatography. EPA Method 8015C-revision 3, February 2007

Empleado autorizado por
Ocs. Jandro Rivas A.
C.P. 1544
Superintendencia de Laboratorios
Instrumentales

El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al laboratorio.
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.
Está prohibida la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

**** FIN DEL INFORME ****

Calle B N° C lote 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú , Central Telefónica (511) 522-3758 / 523-1828
info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe

INFORME DE ENSAYO N° 244040 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ROCIO MARIZOL MARIN SIPRIAN
 Dirección : Calle 2 Mc A lote 58, tercera etapa Urbanización Proxima, Los Olivos
 Solicitado Por : Rocio Marizol Marin Siprian
 Referencia : Cotización 00720-24801
 Proyecto : Biorremediación de suelo contaminado con diesel B5 mediante la aplicación de compostaje a base de cáscara de citrus
 Imón (LIMON)
 Procedencia : Calle 4 # 122 - Comas
 Muestreo Realizado Por : D cliente
 Cantidad de Muestra : 30
 Producto : Suelo
 Fecha de Recepción : 2024/04/23
 Fecha de Ensayo : 2024/04/23 al 2024/05/09
 Fecha de Emisión : 2024/05/09

I. Resultados

Código de Laboratorio	244040-01	244040-02	244040-03	244040-04	244040-05	244040-06
Código de Cliente	T0	T1A	T1B	T1C	T2A	T2B
Fecha de Muestreo	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024
Hora de Muestreo (h)	14:23	14:28	14:34	14:37	14:41	14:46
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Risicoquímicos								
pH	Unidad de pH	0.010	6.21	6.28	6.25	6.25	6.29	6.28
Conductividad *	µs/cm	1	220	200	190	210	220	250
Humedad *	%	0.000	52.45	51.23	52.54	52.74	51.92	51.42

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, * = No Analizado,


* No acreditado

Código de Laboratorio	244040-07	244040-08	244040-09	244040-10
Código de Cliente	T2C	T3A	T3B	T3C
Fecha de Muestreo	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024	23/04/2024
Hora de Muestreo (h)	14:52	14:55	15:00	15:06
Tipo de Producto	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo

Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados			
Risicoquímicos						
pH	Unidad de pH	0.010	6.3	6.3	6.29	6.31
Conductividad *	µs/cm	1	230	290	290	270
Humedad *	%	0.000	51.46	52.43	51.86	51.64


Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, * = No Analizado,

* No acreditado



envirotest
Environmental Testing Laboratory S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACION INACAL - SA
CON REGISTRO N° 18-056



INACAL
ES - Perú
Instituto de Normas
Acreditadas


Registro N° LE-056

INFORME DE ENSAYO N° 244040 CON VALOR OFICIAL

II - Métodos

Tipo Ensayo	Norma Referencial
Físicoquímicos	
pH	Soil and Waste pH, EPA Method 9045 D, I
Conductividad	Métodos Analíticos para suelos ácidos y plantas, Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Agosto 1997
Humedad	NOM-021-RECNAT-200-AG-05/Resulta de

Firmado digitalmente por:
Gloria Soriano Páez A.
C.I.P. 1844
Suplenete del Laboratorio
Intelectual



Tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.
 Tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.
 Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

== FIN DEL INFORME ==

Calle B Mz C lote 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú . Central Telefónica (511) 522-3758 / 523-1528. RPC: 885 114 549
 info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe

ANEXO H. MAPA DE LA EXTRACCION DE LA MUESTRA DE SUELO

