

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Análisis comparativo del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Samaniego Melendez, Stefanny Abigail

ASESOR: Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U
D
H

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación ambiental**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)****CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería ambiental**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76363013

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46378040

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-3013-8532

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Camara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Vasquez Baca, Yasser	Título oficial de máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental.	42108318	0000-0002-7136-697X
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Maestro en gestión pública para el desarrollo social	22520481	0009-0000-2063-4076



UNIVERSIDAD DE HUANUCO
Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:00 horas del día 09 del mes de abril del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** Integrado por los docentes:

- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 0712-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL VERMICOMPOSTAJE CON LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia fetida*) CON Y SIN ADICIÓN DE ESTIÉRCOL DE CUY PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS TIPO F2**", presentado por el (la) Bach. SAMANIEGO MELENDEZ, STEFANNY ABIGAIL, para optar el Titulo Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADA**... Por **UNANIMIDAD**... con el calificativo cuantitativo de... **15**... y cualitativo de... **BRAZO**..... (Art. 47)

Siendo las **19:05** horas del día **09** del mes de **ABRIL** del año **2024**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Mg. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Presidente

Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Secretario

Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

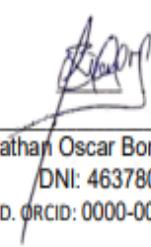
Yo, JONATHAN OSCAR BONIFACIO MUNGUA, asesor del PA de INGENIERIA AMBIENTAL y designado mediante documento: RESOLUCIÓN N°1019-2023-D-FI-UDH del Bachiller SAMANIEGO MELENDEZ, Stefanny Abigail, de la investigación titulada "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL VERMICOMPOSTAJE CON LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia fetida*) CON Y SIN ADICIÓN DE ESTIÉRCOL DE CUY PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS TIPO F2"

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del 23% verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Antiplagio Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 22 de abril de 2023


Ing. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía
DNI: 46378040
COD. ORCID: 0000-0002-3013-8532

PROYECTO DE TESIS_ABIGAIL SAMANIEGO

INFORME DE ORIGINALIDAD

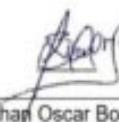
23%	22%	7%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe	5%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
3	www.minem.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	core.ac.uk	1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Universidad de Huanuco	1%
	Trabajo del estudiante	
6	repositorio.ucv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	www.coursehero.com	<1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.continental.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

NOMBRE: JONATHAN OSCAR BONIFACIO MUNGUA

COD. ORCID: 0000-0002-3013-8532


Ing. Jonathan Oscar Bonifacio Mungua
DNI: 46378040

DEDICATORIA

A Dios, por escuchar siempre mis oraciones, por ser leal conmigo en todo momento, por hablarme a través de personas tan increíbles de los cuales obtuve compresión, apoyo y fuerza, pero sobre todo por enseñarme que en Él todo es posible.

A mi padre Prudencio Samaniego quien en la medida que sea posible me ha dado su apoyo incondicional, por ser siempre mi sostén en cada momento de mi vida, por ser mi ejemplo de perseverancia, paciencia y valentía frente a todas las dificultades de la vida y por tu amor incalculable. Te amo inmensamente papá.

A mi madre Nela Melendez, por enseñarme el concepto de la disciplina en cada reto de mi vida, por ser la mujer que siempre cree en mí y por ese amor incondicional e inalcanzable. Te amo infinitamente mamá.

A mis hermanos Flor Samaniego, Sila Samaniego, Ivan Samaniego, Tonino Samaniego y Jimena Samaniego por su apoyo moral que siempre me brindaron.

A mis compañeros de trabajo, por los consejos que me dieron durante todo este proceso. Todo esto es posible gracias a ustedes.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi fuerza de cada día, quien me ayudo en cada paso de mi camino y por permitir que este sueño sea posible.

A la Universidad quien me brindo el aprendizaje necesario para mi vida profesional, quien me permitió conocer profesionales de gran admiración, a los ingenieros y maestro de la escuela profesional de ingeniería ambiental, a los docentes de la facultad de ingeniería, en especial a mi asesor el Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía, por su asesoría en la elaboración de mi proyecto de investigación. A mis jurados, Mg. Yasser Vásquez Baca, Mg. Frank Erick Cámara Llanos y el Mg. Jorge Antonio Romero Estacio, por sus conocimientos brindados que hicieron posible que esté presente trabajo se realice.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL	16
1.2.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS	16
1.3. OBJETIVOS GENERAL	16
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	17
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	22
2.2. BASE TEÓRICA	24

2.2.1. VERMICOMPOSTAJE	24
2.2.2. REMEDIACIÓN DE SUELOS.....	33
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	55
2.4. HIPÓTESIS.....	57
2.5. VARIABLES	57
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	57
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	57
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	58
CAPITULO III.....	59
METODOLOGÍA.....	59
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
3.1.1. ENFOQUE	59
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	59
3.1.3. DISEÑO	59
3.2. POBLACION Y MUESTRA	60
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....	61
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	66
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	66
CAPITULO IV	67
RESULTADOS	67
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	67
CAPITULO V	83
DISCUSION DE RESULTADOS.....	83
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	89

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación Taxonómica de la Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Fétida</i>)	26
Tabla 2 Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación de suelos	39
Tabla 3 Ámbito de aplicación en el proceso de remediación de suelos	41
Tabla 4 Índice de Retención de Humedad	43
Tabla 5 Índice Densidad Aparente y Porosidad	44
Tabla 6 Índice de Porosidad del Suelo.....	45
Tabla 7 Principales Fuentes de Contaminación de Suelo	53
Tabla 8 Coordenadas geográficas del Distrito de Paucartambo, Provincia Pasco, Departamento Pasco	60
Tabla 9 Distribución de componentes en el tratamiento número 1	64
Tabla 10 Distribución de componentes en el tratamiento número 2	64
Tabla 11 Parámetros físicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (<i>Eisenia fétida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy,(Ambiental Laboratorios SAC).....	67
Tabla 12 Parámetros químicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (<i>Eisenia fétida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy, (Ambiental Laboratorios SAC).	71
Tabla 13 Parámetros biológicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (<i>Eisenia fétida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy, (Ambiental Laboratorios SAC).	75
Tabla 14 Concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (<i>Eisenia fétida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy, (Laboratorio SGS Perú).....	76
Tabla 15 Prueba de normalidad de los datos con Shapiro-Wilk	77
Tabla 16 Prueba de hipótesis con la t de Student para muestras independientes	79

Tabla 17 Tabla interpretativa de la eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana con y sin adición de estiércol de cuy en el suelo contaminado con hidrocarburo tipo F2.....	80
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Técnicas de remediación de suelos	36
Figura 2 Demostración esquemática del tratamiento 1 y el tratamiento 2 ..	65
Figura 3 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la arena	68
Figura 4 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la arcilla	69
Figura 5 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el limo	69
Figura 6 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la densidad	70
Figura 7 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la porosidad	70
Figura 8 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el pH	72
Figura 9 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la materia orgánica	73
Figura 10 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la capacidad de intercambio catiónico	73
Figura 11 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la conductividad eléctrica	74
Figura 12 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el fósforo	74
Figura 13 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el potasio	75
Figura 14 Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la actividad microbiana	76
Figura 15 Comparación de los resultados antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (<i>Eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy en la concentración de hidrocarburos tipo F2..	77

RESUMEN

El estudio tuvo como **objetivo** comparar la eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2, Huánuco 2023. En la **metodología** del vermicompostaje se aplicaron 2 tipos de tratamiento, en donde se incorporaron los siguientes componentes; estiércol de cuy, lombrices californianas, compost y suelo contaminado. En la comparación del efecto de ambos tratamientos, se analizaron la concentración inicial y final de los parámetros físicosquímicos, biológicos y la concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo. Los **resultados** comparativos demuestran que tanto en el análisis inicial y final del suelo, la textura se clasifica como arenoso arcillosos limoso. Asimismo, la incorporación del estiércol de cuy en el tratamiento 2 presentó resultados más significativos en donde los resultados finales los indicadores fueron; la arena 74.14 %, arcilla 8.50 %, 17.37 %, densidad real 2.49 g/cm^3 , porosidad 46.94 %, el pH 7.07 unidad de pH, MO 4.35%, CIC 31.30 meq/100g , CE 1.44, 37.43 mg/kg y fósforo 17.70 mg/kg respectivamente, actividad microbiana 1.23 C-CO₂mg/g y por último la concentración final de hidrocarburos tipo F2 en el suelo fue de un - 87.3%. Finalmente se **concluye** que existe mayor eficacia en el tratamiento 2 para reducción de hidrocarburos tipo F2 en el suelo y la optimización de sus parámetros físicos, químicos y biológicos.

Palabras clave: Vermicompostaje, lombriz californiana, remediación de suelo, hidrocarburos tipo F2, estiércol de cuy.

ABSTRACT

The objective of the study was to compare the effectiveness of vermicomposting with the Californian red worm (*Eisenia fétida*) with and without the addition of guinea pig manure for the remediation of soils contaminated with type F2 hydrocarbons, Huánuco 2023. In the vermicomposting methodology, 2 types of treatment, where the following components were incorporated; guinea pig manure, California worms, compost and contaminated soil. In comparing the effect of both treatments, the initial and final concentration of the physicochemical and biological parameters and the concentration of F2 type hydrocarbons in the soil were analyzed. The comparative results demonstrate that in both the initial and final soil analysis, the texture is classified as sandy, clayey, silty. Likewise, the incorporation of guinea pig manure in treatment 2 presented more significant results where the final results and indicators were; sand 74.14%, clay 8.50%, 17.37%, real density 2.49 g/cm³, porosity 46.94%, pH 7.07 pH unit, MO 4.35%, CEC 31.30 meq/100g, EC 1.44, 37.43 mg/kg and phosphorus 17.70 mg/kg respectively, microbial activity 1.23 C-CO₂mg/g and finally the final concentration of type F2 hydrocarbons in the soil was - 87.3%. Finally, it is concluded that there is greater effectiveness in treatment 2 for the reduction of type F2 hydrocarbons in the soil and the optimization of its physical, chemical and biological parameters.

Keywords: Vermicomposting, Californian worm, soil remediation, type F2 hydrocarbons, guinea pig manure.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de contaminación de suelos por diversas actividades antropogénicas, a la actualidad, sigue siendo uno de los temas con mayor significancia, debido a la complejidad de descontaminación de los contaminantes introducidos en el suelo y a las grandes dimensiones de suelos afectados. En los centros de distribución de combustible y otros derivados de hidrocarburos, la contaminación de suelos son eventos que no pasan por desapercibido, el inadecuado manejo y almacenamiento de los recipientes de combustible, han ocasionado reiteradas veces el derrame de residuos de combustible u otros contaminantes, en ocasiones cantidades considerables de petróleo en superficies de suelo, siendo un problema que afecta la composición fisicoquímica y biológica del suelo. El vermicompostaje es una alternativa sostenible para estos problemas de contaminación de suelos, el grifo Uber es una distribuidora de combustible y otros derivados de petróleo en el distrito de Paucartambo, Provincia de Pasco, Departamento de Pasco, sin embargo, no cuenta con un sistema contención que podrían mitigar los derrames combustibles y mucho menos cuenta con un sistema de tratamiento de suelos, estos factores están sumando a la alteración de las propiedades fisicoquímicos y biológicos del suelo, y aumentando las concentraciones de hidrocarburos en el suelo, por lo cual, esta investigación busca remediar el suelo contaminado por hidrocarburos de tipo F2. La presente investigación tiene como objetivo aportar los efectos comparativos del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia Fétida*) con y sin estiércol de cuy sobre un suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2, provenientes del área de influencia en que se desarrolla actividades de comercialización de combus

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suelo es un recurso natural muy importante, es un cuerpo abiótico dividido en tres dimensiones, en las cuales, se desarrollan diferentes eventos que se conforman desde reacciones químicas a cambios físicos. El suelo es la capa superficial que cubre toda la tierra, su participación en el planeta tierra comprende desde proporcionar el equilibrio entre todos los demás ecosistemas, (Jimenez,2017) y su capacidad de sostener vida en ella, al ser el recurso que provee alimentos para todo ser vivo, función clave para el desarrollo del ciclo de vida.

En la actualidad a nivel mundial el incremento poblacional es uno de los mayores problemas ambientales, debido a que, si el índice de crecimiento poblacional va en ascenso, el consumo de recursos naturales renovables y no renovables se intensifica, situación corto o mediano plazo genera graves impactos negativos al suelo y a otros ecosistemas. Asimismo, como ya es conocido el suelo es el medio del cual se obtiene el mayor porcentaje de materia prima para el crecimiento de la industria alimentarias, maderera, ganadería, y sobre todo recursos no renovables para la generación de energía. En este caso, el petróleo es uno de los recursos con mayor porcentaje de demanda a nivel mundial, para generación de energía y la obtención de subproductos derivados de petróleo como; gasolina de motor, gasoil, diésel, solventes, lubricantes, gases, etc.

Las etapas de explotación de petróleo, desde el momento en que se extraen hasta su distribución, a la actualidad han generado gigantescos problemas ambientales como; derrames de crudo de petróleo en ecosistemas marítimos, derrames de crudo en biomasa terrestre y otros ecosistemas; contaminando de manera directa grandes áreas de suelos y los flujos de agua. Pulido et al (2022); en un informe realizado sobre la perspectiva de la población ante el derrame de petróleo ocasionado en la refinería de Pampilla, menciona que a la actualidad, un tercio del petróleo que se consumen a nivel

de todo el mundo es proveniente de más de 15 000 plataformas de petrolíferas marinas, ante un escenario de esta magnitud es totalmente predecible que los registros de derrames de petróleo son ocasionados por las refinerías, ya sea por fallas en los oleoductos o en las plataformas petrolíferas, generando a corto o mediano plazo problemas ambientales en los factores abióticos del ecosistema (suelo, agua y aire).

En Perú León y Zuñiga (2020), en una publicación “La sombra del petróleo” en la publicación de Oxfam y la Coordinadora Nacional de Derechos Humanos (CNDDHH), mencionan que a inicios del año 1997 hasta 2021 sucedieron 566 derrames de petróleo en la Amazonía, 404 en la costa y 5 en la sierra, que suman en total más de 87 mil barriles. El estudio realizado indica que el derrame fue ocasionado debido a que el 65% de los ductos estaban corroídos y errores operativos, en cuanto al 28% fue ocasionado por terceros (Meza, 2023).

Sin embargo, no solo podemos enfocarnos en los grandes derrames de petróleo que se generan a nivel mundial y a nivel nacional, dado que día a día se generan grandes problemas ambientales por el inadecuado manejo, almacenamiento y disposición de los residuos de combustible y otros derivados de petróleo, no serán catalogadas como desastres ambientales, pero, al ser reiterativas llegan acumular grandes cantidades de contaminantes orgánicos en el suelo, que a largo plazo ocasionan graves problemas ambientales menciona (Velásquez, 2016). Como es el caso de los aceites, combustibles y otros derivados de petróleo, productos que son manejados sin ningún tipo de control en las distribuidoras de combustible. Por lo cual, las técnicas de remediación cualquiera sea su tipo es un factor importante para la recuperación de la calidad los suelos afectados por estos contaminantes, mejorando los parámetros físicoquímicos y biológicos que fueron alterados por la composición química y física de los hidrocarburos, de tal modo, que con el empleo que métodos de remediación garantice la supervivencia humana y de todo ser vivo que en ella habite.

Las técnicas de remediación son alternativas que se emplean con el objetivo de recuperar la calidad de suelos u otros cuerpos abióticos

contaminados por diferentes agentes nocivos. Existen diferentes técnicas de remediación de suelos la fitorremediación, biorremediación, entre otros. En la presente investigación se empleará la técnica de remediación biológica o biorremediación, su empleo es considerado accesible en el contexto económico, investigaciones anteriores dan credibilidad de su eficacia en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y optimización de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo. Además, la biorremediación son alternativas que no comprometen al medio ambiente y a la salud de las personas, asíéndolo una biotecnología totalmente ecoamigable con el medio ambiente.

El ámbito de aplicación del presente proyecto de investigación se encuentra enfocado en remediar el suelo contaminado del Grifo Uber ubicado en el distrito de Paucartambo, Provincia de Pasco, Departamento de Pasco. El distrito de Paucartambo cuenta con cuatro grifos distribuidoras de combustible y otros derivados de petróleo, sin embargo, las medidas de control y corrección ante derrames de combustibles y otros derivados de petróleo no son adoptadas por los dueños de estas instalaciones, generando de ese modo impactos negativos a los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo. Es por ello que, teniendo en conocimiento estos eventos negativos, se toma la iniciativa en adoptar una alternativa de remediación para área afectada por sustancias de petróleo u otros derivados. El vermicompostaje es un tipo de remediación biológico, en el cual, el proceso se centra en aplicación de lombrices rojas californianas o lombrices de tierra conocidas comúnmente y excretas de cuy para el tratamiento de remediación y mejora de los parámetros químicos, biológicos y físicos del suelo un suelo que ha sido contaminado con hidrocarburos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL

¿Cuál es la eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2?

1.2.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS

¿Cuáles son los parámetros físicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy?

¿Cuáles son los parámetros químicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy?

¿Cuáles son los parámetros biológicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy?

¿Cuál será la concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy?

1.3. OBJETIVOS GENERAL

Comparar la eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir los parámetros físicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy.

Describir los parámetros químicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy.

Describir los parámetros biológicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy.

Evaluar la concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy.

1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

En la localidad de Paucartambo, los grifos en función son instalaciones en donde los propietarios no adoptan las medidas preventivas y mucho menos correctivas para mitigar los derrames que se generan en el ejercicio de sus actividades. El Grifo Uber ubicado entre la localidad de Santa Cruz y Paucartambo, la mala disposición y el manejo inadecuado de los recipientes de combustible han generado constantes derrames de residuos de hidrocarburos en el suelo, siendo la causa más importante para la alteración de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo.

El estudio pretende remediar el suelo contaminado por compuestos de hidrocarburos tipo F2 del Grifo Uber, empleando como alternativa de remediación el vermicompostaje, el cual permitirá reducir la concentración de compuestos de hidrocarburos existentes en el suelo, recobrando de ese modo su actividad biológica y la mejora de los parámetros fisicoquímicos.

La alternativa de remediación a emplear, es una técnica de remediación sostenible, al darle un valor agregado a los restos orgánicos producidos en casa y restos orgánicos generados en la crianza de cuyes. Con su aplicación se estaría contribuyendo con la calidad de vida de las personas y la salud ambiental, reduciendo de los gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Paucartambo en la actualidad es un distrito en el cual el acceso a equipos de medición de los parámetros químicos, físicos y bilógicos del suelo son escasos. En el proyecto a ejecutar requiere un monitoreo constante de algunos indicadores, como es el caso de la humedad y la temperatura del suelo, la importancia de estos indicadores reside en que el proceso de vermicompostaje se emplearán microorganismos vivos (lombriz californiana), los cuales requieren mantener una temperatura y humedad estándar para ejercer su labor en el suelo. Como alternativa al siguiente problema, se en optó en adquirir por cuenta propia estos equipos y herramientas mediante la búsqueda por internet a empresas que certifiquen sus equipos.

Al no existir laboratorios certificados para el análisis de suelos en la ciudad Pasco, se realizará una búsqueda a nivel nacional de laboratorios que se encuentran certificados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), de este modo los resultados que se obtendrán serán fiables que permitirán desarrollo óptimo del proyecto de investigación.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio cuenta con información suficiente, siendo de gran utilidad como base para su realización, tales como; libros físicos, manuales para los procesos de vermicompostaje, revistas, artículos y videos en internet, etc.

El costo de los materiales, equipos y herramientas, son de fácil acceso y de bajo costo, el estiércol de cui no incluye ningún costo para su obtención, las lombrices californianas no superan los 100 soles y los recipientes de madera son de fácil elaboración.

También es viable ambientalmente ya que los recursos a utilizar son residuos que por lo general son descartados sin tipo de tratamiento previo, de modo que con el presente estudio se estaría dando un valor agregado a los residuos orgánicos, generando un impacto positivo a la calidad de vida de las personas y al medio ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Nobili (2022), “Biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos utilizando residuos orgánicos locales y lombrices de tierra”, tuvo como propósito valorizar la eficiencia del proceso de bioorremediación en suelos que fueron contaminados con diésel utilizando residuos orgánicos propios del lugar y lombrices de tierra, para recuperar la calidad microbiológica de un suelo que se encuentra contaminado. La metodología empleada se dio en dos etapas, la primera consistió en el proceso de pre compostaje con lombricompost y residuos orgánicos, además, 90kg de suelo fueron contaminados con 7320g de diésel y 10kg se reservaron como unidad e control. En la segunda etapa se separaron en 4 tratamientos con tres repeticiones cada una para poder evaluar el desempeño de cada especie de lombrices que fueron la *E. fétida* y *A. morrisi* por separado, posteriormente se evaluaron indicadores biológicos, químicos y físicos del suelo para poder tener un punto inicial, intermedio y final en los 75 días de evaluación del comportamiento de las lombrices con los compuestos orgánicos provenientes de los hidrocarburos. Con respecto a las conclusiones en el proyecto de investigación detalló lo siguiente: el pre composteo es necesario para la aceleración del proceso eliminación de contaminantes presentes en suelo, es necesario la adición de materia cada cierto tiempo para la supervivencia de las lombrices empleadas para ayudar a remediar un suelo contaminado por hidrocarburos.

Peña, et al (2019), “Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos”, su propósito fue estudiar la conducta de varios tratamientos de suelo con el objetivo de minimizar la acumulación de hidrocarburos totales. La metodología que se implantó fue tanto teórica y práctico, mediante la recolección de material de investigación para luego ser aplicada y poder obtener resultados propios

de las diferentes técnicas empleadas para la reducción de hidrocarburos en el suelo. Los tratamientos empleados fueron: tratamientos de remoción de hidrocarburo con empleo de cachaza, remoción de contaminantes mediante compost, remoción de contaminantes mediante fertilizantes, empleo de lombrices de tierra o vermirremediación y por último tratamientos con plantas para la reducción de contaminantes. De los 5 tratamientos empleados los tratamientos detallaron que reducción de THP al 45.11%, en cuanto a la vermirremediación reducción de TPH al 57.35-26.64%, intervalo de reducción de TPH 45-60% para fertilizantes, y con en los ensayos practicados con el compost para PAH se redujeron a un 70%, sin embargo, los resultados más óptimos fueron con el empleo de bagazo reduciendo de 60.01% a 51.4%. El autor su proyecto de investigación concluye que los tratamientos con mayor porcentaje en la remoción de contaminantes orgánicos como es el caso de los hidrocarburos son la cachaza, vermirremediación bagazo de caña, los cuales arrojan resultados más eficientes en la remediación del suelo.

Torres, et al (2021), “Biorremediación con vermicomposta en la contaminación del suelo producida por hidrocarburos”, tuvo como finalidad estudiar y analizar el sistema de tratamiento y el proceso de degradación de la turbosina empleando tratamientos de biorremediación, se empleó la lombriz roja californiana para la recomposición de los parámetros fisicoquímicos de suelos que fueron alterados por compuestos de hidrocarburos. Sus resultados detallaron, que con el presente tratamiento se lograron obtener un porcentaje considerable en la reducción de hidrocarburos (humedad valor máximo 69% y 66% valor mínimo), intensificándolo con germinación de plantas, quienes se desarrollaron eficientemente. Llegando a la conclusión que mediante la aplicación vermicompostaje en el restablecimiento de suelos contaminados por hidrocarburos son altamente efectivas y totalmente viables.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Espíritu y Guerrero (2022) “Efecto del vermicomposta en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), Daniel A. Carrión, Pasco – 2021”, tuvo como propósito determinar el resultado del vermicompostaje en suelos que fueron contaminados por hidrocarburos y desarrollo de rabanito en la provincia de Daniel Alcides Carrión en la Región Pasco-2021. La metodología que se empleó fue en el establecimiento de 5 tratamientos con 3%, 6%, 3% 6% de petróleo con un 20% de vermicompostaje y el quinto tratamiento fue de control. Obteniendo los siguientes resultados: reducción de 30.56% y 7.75% de TPH en los tratamientos con 3% y 6% de hidrocarburos, además, el sustrato orgánico redujo el grado de Ph, CC y la densidad del suelo, aumentó la MO, y la concentración de CIC, P y K., además participó favorablemente en el crecimiento del rabanito. En sus conclusiones detallaron que el vermicomposta presenta efectos favorables para la optimización de los indicadores físicos y químicos del suelo en estudio.

Espinoza (2019), “Efecto del vermicompost en la biomasa de *Hordeum vulgare L.* (cebada) cultivado en un suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico – Chilca”. Tuvo como propósito determinar el efecto del empleo del vermicomposta en los parámetros de la biomasa radicular y aérea del suelo y las propiedades fisicoquímicas de suelos que fueron contaminados por hidrocarburos totales de petróleo en un taller mecánico. Su metodología implantada fue a nivel de investigación explicativo al diseño experimental totalmente al azar, constituido por 3 tratamientos, con siembra de *Hordeum vulgare* en cada unidad de estudio. Los resultados que mostraron fueron los siguientes: incremento en la actividad microbiana; aumento en la CIC, incremento del K y P, además, se adicionó considerablemente el radicular de *Hordeum vulgare* y la materia seca vegetal aérea, con una cantidad de 70%.

Curasi y Luque (2019), “Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos

contaminados con aceite automotriz”, tuvo como propósito hacer una comparación en entre las tres técnicas de biorremediación (abono verde, lombricompost y compost) en suelos que habían sido contaminados por compuestos de aceite automotriz. Su metodología consistió en la instalación de biopílas con 20% y 80% de cada técnica de biorremediación y en cada unidad de estudio un 1L de aceite de automotriz. Sus resultados fueron los siguientes: incremento de los porcentajes de pH, aumento en la capacidad eléctrica del suelo, en cuanto a los porcentajes de humedad se mostraron la disminución de este parámetro en cada técnica de biorremediación. En cuanto, a la supresión de hidrocarburos, en el empleo de abono verde se evidencio un porcentaje mayor de eficiencia a diferencia de las otras alternativas de biorremediación. Concluyendo de ese modo que el abono verde es una técnica de remediación más eficaz para la supresión de compuestos de hidrocarburos.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Cáceres, et al (2019), “Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas”. El propósito del estudio fue apreciar la efectividad de la lombriz roja californiana en la evaluación de aguas residuales domésticas en Moquegua. Su metodología consistió en la recolección de una muestra significativa de aguas residuales originarias de viviendas, para luego ser analizadas, considerando los indicadores físicos, tales como; el STS y la temperatura, microbiológicos (coliformes termotolerantes) y químicos como el ph y el DBO, con el propósito de analizar su estado inicial. Los efluentes de cada unidad fueron analizados tomando en consideración los parámetros mencionados líneas arriba para el efluente, cada uno de ellos con dos repeticiones, asimismo, en la prueba estadística fue la prueba Tukey y el análisis de varianza. Los resultados mostraron que hubo mayor decrecimiento de los coliformes y temperatura temperatura en la A0-2 y mayor eliminación de STS en A1; a diferencia de A, que mostró una mayor eficiencia al ph y DBO, evidenciando el decremento

de medio de 0.82 °C, 61.11 de STS, 50,14% de DBO55, 99,71% de coliformes termotolerantes, y un pH final de 8,27.

Huata (2018), “Determinación de la relación cantidad de precompost empleado como fuente de alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) cantidad de humus de lombriz obtenido en el distrito provincia y región de Huánuco octubre-diciembre de 2017”. El objeto del presente estudio radicó en evaluar la relación que se tenía como resultado final en la dosis de pre compost, utilizado como fuente de alimentación a la lombriz roja californiana, con la dosis final de humos producida por las lombrices en el tiempolímite del proyecto. La metodología que se empleó en el presente estudio fue totalmente aleatoria, con tres unidades de estudio y tres repeticiones. La cantidad de las unidades de estudio se dieron 3 tres diferentes porciones de pre compost: 50 kg, 40 kg y 30kg. Se implantaron 500 lombrices por cada unidad de estudio. Los resultados obtenidos con respecto al tiempo en que las lombrices utilizaron el pre compost para convertirlo en humos, fue en 44 días en que produjeron 30 kg, lo cual evidencia, que las lombrices en el el tratamiento 1 consumieron 682 gr de compost por día. En los otros tratamientos les tomó cincuenta y ocho días a las lombrices para el consumo de 40 kg, llegaron a consumir 690 gr de compost por día, en 67 días para 50 kg, las lombrices consumieron 746 gr de compost por día. Llegando a la conclusión que el tiempo de conversión está relacionada con el peso de las lombrices, las cuales llegaron a pesar 1.4 gr, llegaron a convertir en aproximado 706 gr de pre compost por día.

Pantoja (2020), “Efecto de microorganismos eficientes y restos vegetales en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.) en Huacrachuco”, 2018. En el presente proyecto de investigación el propósito fue evaluar la eficiencia de los microrganismos y los residuos de vegetales en la disposición calidad química y reproductiva del humus producida por la lombriz roja californiana. En la parte experimental se constituyó con 4 tratamientos con 3 repeticiones y por cual dando un resultado de 12 unidades de estudio. El tratamiento 1 fue la mezcla de estiércol de vacuno con la incorporación de microorganismos eficientes

al 5%, en el tratamiento 2 restos de vegetales con la incorporación de estiércol de vacuno, el tratamiento 3 fue restos de vegetales frescos, estiércol de vacuno más la adición de microorganismos eficientes al 5%. Los resultados fueron que, el tratamiento dos tuvo mayor efecto en el crecimiento y la capacidad reproductiva de la lombriz, el tratamiento 1 tuvo mayor efecto en el peso de la lombriz y el tratamiento 3 tuvo mayor efecto en la mejor calidad química de humos de lombriz. Llegando a la conclusión que para el resultado de nutrientes en el té de humus los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento 2 y la calificación de una calidad de humus en el tratamiento 2.

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. VERMICOMPOSTAJE

Fernández (2011), considera el vermicompostaje alternativa biotecnológica, en el cual los residuos orgánicos realizan un proceso de putrefacción y se estabilizan bajo condiciones aerobias, mediante las actividades de la lombriz de tierra quienes ingieren los residuos orgánicos y descomponiéndolos mediante la acción de las enzimas digestivas. El mucus y excretas generados por las lombrices indirectamente ayuda al aumento de microorganismos, quienes también colaboran a la degradación de toda la materia orgánica del suelo en el proceso de vermicompostaje. Por otro lado, el desplazamiento continuo de las lombrices permite la aeración del suelo acelerando la biooxidación microbiana.

Domínguez & Pérez (2011), el vermicompostaje es una técnica en donde los microorganismo y lombrices interactúan para la descomposición de toda la materia orgánica presente en el suelo. Si bien es cierto los microrganismos son los verdaderos participantes en la descomposición bioquímica de los residuos orgánicos en el suelo. Sin embargo, las lombrices son decisivos en el proceso de triturar y distribuir el sustrato presente, obteniendo como resultado el aumento de la actividad biológica de manera resaltante.

Además, el proceso el desarrollo del proceso del vermicompostaje es considerado como una ecotecnología que se desarrolla sin impactos negativos al medio ambiente, los costos de su elaboración, energéticos y mantenimiento son considerablemente bajos y en cuanto a los beneficios más resaltantes del vermicompostaje es la eliminación o destrucción de residuos orgánicos tóxicos y elaboración de un producto más aprovechable.

2.2.1.1. ESPECIES DE LOMBRICES APTAS PARA EL DESARROLLO DEL VERMICOMPOSTAJE

Para el desarrollo del proceso de vermicompostaje, una de las especies optimas son las epigeas, ya que presentan cualidades idóneas para el vermicompostaje y la vermicultura. Además, para tomar en consideración una determinada especie de lombrices, es necesario considerar algunas características ecológicas y biológicas de la especie, como la alta tasa de consumo, la aptitud de colonizar restos orgánicos de manera natural, la suficiente capacidad de tolerar una cantidad de condiciones medioambientales, la digestión y la asimilación de compuestos orgánicos, el alto nivel de capacidad reproductiva en un periodo corto de incubación, así como también el rápido crecimiento y desarrollo de las crías; sin dejar de considerar de que deben de ser capaces de ser tolerantes a sobrevivir al constante manejo de los operadores de plantas.

2.2.1.2. EISENIA FÉTIDA (LOMBRIZ CALIFORNIANA)

Molares et al. (2014), Generalmente se le conoce como la lombriz roja californiana, esta lombriz es propia de suelos templados, ambientes con temperaturas medias o moderadas es por ello que la lombriz de tierra es comúnmente empleada en los proyectos de vermicompostaje, debido a su alto nivel de adaptación a cualquier medio. El origen de la lombriz es Euro-Asiático, pero posteriormente fue trasladada al continente americano. Es necesario mencionar que la liberación de las lombrices en

diferentes medios no representa ningún riesgo, por el mismo hecho que se puede encontrar naturalmente estas lombrices en diferentes ecosistemas.

2.2.1.3. TAXONOMÍA DE LA EISENIA FÉTIDA (LOMBRIZ CALIFORNIANA)

Gardiner (1978), categoriza a la lombriz roja californiana (*Eisenia Fétida*) del siguiente modo: Clasificación Taxonómica de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Fétida*)

Tabla 1

Clasificación Taxonómica de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia Fétida)

Reino	Animal
Clase	Oliquequeto
Orden	Opistopori
Phylum	Anélida
Familia	Lombricidae
Género	Eisenia
Especie	E.foetida

Nota. En la presente tabla se detalla brevemente la clasificación taxonómica de la lombriz roja Californiana.

2.2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FÉTIDA)

Las lombrices rojas californianas presentan las siguientes características, (Somarriba, et al, 2004).

- Para su alimentación de la lombriz roja presenta una boca, sin embargo, al no tener diente sus alimentos son succionados.

- No toleran los rayos ultravioletas, debido a que su exposición a al sol las puede matar en un periodo de poco tiempo.
- Su cuerpo presenta una forma circular, compuesto por anillos de 120 a 175 segmentos, en la adultez las lombrices pueden llegar a medir de 6 a 8 cm de largo con un ancho de 3 a 5 mm, el color que caracteriza a las lombrices rojas californianas asciende de un color que va de blanco rosa en la etapa de jóvenes y en la edad adulta color rojo oscuro.
- La respiración de las lombrices se da de manera cutánea a través de la epidermis, por lo cual se considera que la cutícula de las lombrices debe estar en constante humectación.
- La lombriz es considerado hermafrodita al poseer tanto testículos como ovarios, sin embargo, es incapaz de autofecundarse, lo cual hace necesario la participación de otra de su especie.
- Las glándulas Calcíferas son aquellos órganos que tienen la función de segregar carbonato de calcio y a la vez controlar el Ph, además, de impedir el ingreso de ciertas bacterias u hongos que se encuentran contenidas en los alimentos que consumen.
- La composición de la lombriz es 20% de materia seca, es 80% agua y 65% de proteína.

2.2.1.5. ESENIA FÉTIDA Y SU IMPORTANCIA EN LA DINÁMICA DEL SUELO

Hasta el año 2005 se tenía conocimiento sobre la cantidad de especies de lombrices que hasta la fecha se habían descrito, siendo 3700 especies de lombrices de tierra, sin embargo, la cifra podría ser considerada como menos de la mitad de la cantidad total de especies. Tal mención hacía referencia a que se desconocía el grupo total de tipos de suelos existentes en todo el mundo, sin dejar

de considerar las actividades antropogénicas que amenazaban la existencia de estos organismos propios del suelo, como es el caso de la agricultura extensiva, (García,2005).

En ese sentido, la importancia de las lombrices de tierra en el suelo resalta por su contribución en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. De modo que las lombrices intensifican el proceso de putrefacción de toda materia orgánica presente el suelo, incrementando la biomasa microbiana, pues ellos son encargados de mineralizar todos los nutrientes de los suelos, Las lombrices de tierra además de influenciar en el proceso de degradación de materia orgánica, pueden influir de gran manera en la densidad aparente del suelo y porosidad del suelo, debido al movimiento constante de las lombrices se crean galerías que permite la circulación del oxígeno. Las lombrices representan un gran porcentaje de las especies dominantes de la microbiota presente en el suelo, es por ello que ejercen funciones muy importantes en la constitución de la estructura y funciones ecosistémicos del suelo.

2.2.1.6. FACTORES ÓPTIMOS PARA EL DESARROLLO DE LA ESENIA FÉTIDA (LOMBRIZ CALIFORNIANA)

Los factores más resaltantes son los siguientes. (Somarriba y Guzmám, 2004)

- Ubicación: los canteros deberán de ser ubicados en lugares que sobrados ya sea debajo de un árbol o lugares que no se encuentran directamente expuestos a los rayos del sol o en lugares abiertos, siendo cubiertos por capas, evitando de ese modo la evaporación. Es importante mencionar que estos canteros o muestras deben de ser - ubicados en superficies planas, con una inclinación máxima de 20% y de fácil acceso para su óptima manipulación.

- Iluminación: Los lugares óptimos para el desarrollo de las lombrices son los lugares sombrados, ya que las lombrices son sensibles a los rayos ultravioletas, en un caso drástico provocando su muerte.
- Humedad: Se podría inferir que es uno de los factores más importantes, la escases o exceso de agua presente en el suelo podría ocasionar consecuencias desfavorables para el proceso de vermicompostaje. La humedad del suelo debe de oscilar entre 75% y 80% ya que, por dejado del 70% significa que el desarrollo de las lombrices no se dará con total naturalidad y debajo del 55% significa la muerte de ellas.
- Temperatura: lo conveniente en cuanto a este indicador es que la temperatura se encuentre entre 15-24% que es el valor aproximado al calor corporal de la lombriz, siendo 19%.
- pH: Es un indicador decisivo para la supervivencia de las lombrices, el ph debe ser entre 6.5 y 7.5 y siendo los niveles perfectos entre 6.8 y 7.2.
- Aeración: para su desarrollo las lombrices requieres aire, por lo cual, es necesario remover el sustrato cada 7 días.

2.2.1.7. LOMBRIZ CALIFORNIANA COMO BIORMEDIADORA DE SUELOS

La biorremediación de suelos en los últimos años ha sido un tema de mayor investigación, dado a las ventajas que proporciona en la remediación química y física del suelo, al bajo recursos económicos que se necesita para su ejecución y los impactos positivos que ocasionan al medio ambiente y a la sociedad. La remediación de suelos que fueron alterados sus propiedades fisicoquímicas empleando plantas y organismos benéficos como la lombriz de tierra, a la actualidad parece una de las alternativas más rentables por su impacto al medio ambiente. Los organismos benéficos como la lombriz de tierra, mejora el ciclo de los nutrientes

en el suelo, ayuda a la descomposición de los residuos orgánicos en el suelo, asimismo, se afirma que la presencia de las lombrices de tierra en el suelo incentiva los hongos, bacterias u otras especies que se encuentran relacionadas con la degradación del pentachlorofenol; compuestos orgánicos con altos niveles de toxicidad, indica (Zapata, et al, 2016).

Asimismo, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (2018), hace referencia a las lombrices de tierra que en el proceso de transformación de compuestos tóxicos lo hacen de una forma simbiótica, quiere decir que necesariamente requieren de otros organismos para descomponer la materia orgánica, estos organismos pueden ser microorganismo bacterias que se hallan al interior de su tubo digestivo. Además, señalo que se está analizando la interacción de la lombriz con los microorganismos en su capacidad de convertir un compuesto contaminado con metales pesados y petróleo, en una alternativa de remediación de suelos llamado vermicompostaje. La lombriz californiana realiza acciones muy relevantes en el ecosistema, no únicamente por la transformación de los restos orgánicos, a través de la interacción con su microflora, sino que también sus deslazamientos en el suelo forman galerías que permiten la filtración de gases, líquidos y la formación de microhabitats para otros microorganismos. En conceptos más claros, la lombriz es el microrganismo que colabora con la estructura y las condiciones fértiles del suelo. Es decir, mejoran la estructura del suelo y la calidad de vida que a su vez sirven como un indicador para la determinación de las características del suelo.

2.2.1.8. VENTAJAS DEL VERMICOMPOST

Díaz (2002), el vermicompostaje o humus de lombriz ejerce una participación muy importante en la corrección, remediación y en la mejora de los parámetros químicos, físicos y biológicos de los suelos, los cuales serán descritas líneas abajo:

a) Propiedades Químicas

El empleo del vermicompostaje en el suelo maximiza los cultivos al ser adicionado a la rizósfera nutrientes que pueden ser degradados con mucha facilidad.

- El vermicompostaje aumenta la disponibilidad fósforo, nitrógeno y Azufre en el suelo, pero sobre todo actúa favorablemente respecto al Nitrógeno.
- El vermicompostaje aumenta la facilidad de fertilización del suelo a través de la disponibilidad del nitrógeno en el suelo.
- Inhibe el crecimiento de bacterias patógenas y hongos.

b) Propiedades Físicas

El vermicompostaje presenta cualidades coloidales, esto debido que al aumentar la aeración y porosidad del suelo contribuyen al crecimiento de las raíces y a la impregnación del agua.

- Asimismo, el vermicompostaje ejerce una mejoría a la estructura del suelo, otorgándole menor densidad aparente a los suelos compactos y pesados, y contribuyendo con el aumento de la unión de todas las partículas en los suelos arenosos.
- También, proporciona una mejor aeración y permeabilidad al suelo.
- Decrece el proceso de erosión del suelo.
- Su incorporación al suelo, ayuda al incremento de la capacidad de retención de humedad del suelo. Además, otorga al suelo el color oscuro que lo caracteriza.

c) Propiedades Biológicas

El vermicompostaje incentiva la bioactividad, de modo que al acumular la mima especie de microorganismos, pero en una cantidad mayor, crea un ambiente contrario para algunos microorganismos patógenos ya existentes, además, equilibra las

sustancias tóxicas en el suelo; como los restos de insecticidas, herbicidas, etc. Asimismo, solubiliza los nutrientes para el mejor aprovechamiento de las plantas, gracias la existencia de las enzimas que adiciona al suelo, de tal modo, que sin ellas no sería posible ninguna reacción bioquímica.

El vermicompostaje equilibra el pH, manteniéndolo de modo que asegura el control del mal de almácigos al no ofrecer un ambiente adecuado para la proliferación de los hongos en el suelo. El vermicompostaje es una fuente de energía que estimula la actividad microbiana, su existencia proporciona condiciones óptimas de aeración del suelo, pH neutro, permeabilidad y otros.

2.2.1.9. RESIDUOS ORGÁNICOS

Jaramillo y Zapata (2008), indican que los residuos orgánicos son aquellos restos de origen orgánico, la gran mayoría de ellos presentan propiedades en que se pueden degradar naturalmente. Asimismo, su proceso de degradación es rápida convirtiéndose en otro tipo de material orgánico. Los restos orgánicos pueden ser: residuos de los restos de comida, cascas de las frutas y verduras, carnes, huevos, etc. Como también pueden ser aquellos residuos orgánicos con descomposición lenta como es el caso de los papeles y cartones.

Del mismo modo Garita (2015), define a los residuos orgánicos como aquellos residuos que se descomponen naturalmente empleando técnicas de compostaje. Estos residuos puedes ser originarios de la agricultura, plantas de tratamiento de agua, hogares, industrias, silvicultura, entre otros.

Los residuos orgánicos que son comúnmente utilizados para procesos de vermicompostaje y compostaje u otras biotecnologías de remediación de suelos se clasifican en:

a) Restos de comida

Los residuos de alimentos son conocidos también como bioresiduos también conocidos como son todos los restos sobrantes de comida, alimentos en mal estado. Estos residuos se pueden clasificar en residuos crudos o cocidos, debido a que presentan diferentes características físicas y químicas, como la húmedas y el pH. Lo cual lleva que para el tratamiento y manejo de cada sustrato se realice de manera independiente, considerando sus características químicas y físicas.

b) Excretas de animales

Las excretas representan al resto del proceso metabólico de los alimentos ingeridos por los animales, cada organismo selecciona y toma los nutrientes necesarios para su supervivencia, el resto de los alimentos no tomados en la digestión son eliminados como orina y heces.

c) Restos de podas y jardín

En el servicio de mantenimiento de jardines o parques, se desarrollan actividades de podas, en el cual, se generan grandes cantidades de residuos de podas como, por ejemplo: ramas, pastos, partes leñosas y follajes de los árboles u arbustos. La cantidad de materia orgánica acumulada en suelo puede estar acumulada de hojas y pastizales de diferentes tipos de árboles y arbustos.

2.2.2. REMEDIACIÓN DE SUELOS

En el año 1993, el estado peruano publicó el “Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos”, D.S.046-93-EM, fue la primera normativa que enmarcó específicamente las demandas ambientales en actividades petroleros. El Ministerio de Energía y Minas (MINEM) mediante la publicación de su “Guía Ambiental para la Restauración de Suelos en el Instalaciones y Refinación y Producción Petrolera” y su “Guía para el Manejo de Desechos de las

Refinerías de Petróleo” apoya e incentiva la aplicación de las diferentes técnicas de remediación y recuperación de suelos que fueron afectados por hidrocarburos, entre los cuales resalta la biorremediación.

Muy aparte de estas guías el Ministerio del Ambiente ha promulgado Protocolos de monitoreo como la “Guía para muestreo de suelos” Adjuntado al D.S 011-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, el cual especifica la concentración o nivel de hidrocarburos en el suelo.

El Ministerio del Ambiente define al término de remediación como la disminución o anulación, a niveles tolerables, que puedan ocasionar daños al bienestar de las personas y al medio donde desarrollan sus actividades asociados a la contaminación del lugar. Asimismo, integra al mismo tiempo a las actividades que facilitan al logro del empleo a futuro del mismo a un estado parecido previo a los impactos negativos generados. (D.S.-012-2017).

De la misma manera el Ministerio del Ambiente define al concepto de remediación como a la integración de varias actividades sistemáticos orientados a la reducción y eliminación de sustancias tóxicas existentes en el ecosistema (suelo. Agua y aire), con el objeto de garantizar el resguardo de la salud de las personas y la integridad de los diferentes ecosistemas involucrados. (Ministerio del Ambiente,2014).

Para comprender mejor Saval (2012), menciona que es la acción de limpiar y evidenciar que los cuerpos de suelos contaminados recobran su capacidad de sostener vida en ella. En modo de ejemplo, en un determinado terreno de suelo contaminado se logra reducir y eliminar los agentes contaminantes presentes en él o su transformación a sustancias menos tóxicas, hecho que en un futuro permitirá el desarrollo de organismos vivos (vegetales y animales).

2.2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

En el Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados (2005), describe de manera detallada a las técnicas

de remediación como un sistema de remediación que, en función a sus características y propósitos cumplen con los siguientes criterios: Primero: propósito de la remediación, Segundo: el medio en que se va aplicar la remediación y Tercero: el tipo de remediación a emplear.

Respecto al propósito de la remediación se puede diferenciar las técnicas de confinamiento, la cual es empleada para alterar las condiciones del medio contaminado para reducir el movimiento agente contaminante, las técnicas de descontaminación, son aquellas que están enfocadas a la reducción o eliminación de las sustancias toxinas presentes en el suelo, y las técnicas de contención, son alternativas que son utilizadas para aislar la sustancia tóxica del suelo.

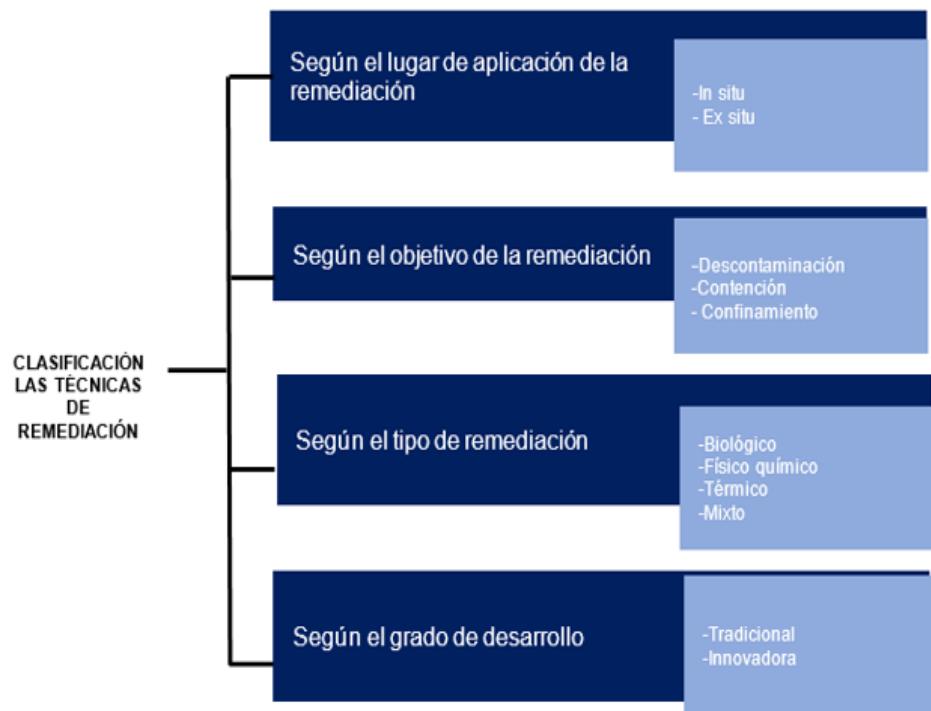
En cuanto al medio de aplicación de remediación, se puede diferenciar en dos tipos; los tratamientos Ex situ, cuando la remediación se realiza en instalaciones externas, para lo cual se extrae el material contaminado de su lugar de origen, el tratamiento In situ, es cuando la remediación se lleva a cabo en la misma área que fue contaminada. También se les puede denominar como On site, quiere decir “en el mismo lugar” y Off Site “en instalaciones externas”.

Para la clasificación de las diferentes alternativas de remediación, se pueden diferenciar los tratamientos químicos y físicos, que se emplean para la contención, eliminación y separación de las sustancias tóxicas del suelo, de modo que se benefician de los parámetros químicas y físicas del contaminante o del medio en si para llevarse a cabo este tipo de tratamiento, los tratamientos biológicos, son alternativas que son utilizadas para la transformación, remoción o degradación de las sustancias tóxicas mediante la ejercicio metabólico de ciertas plantas y microorganismos. Por último, se encuentra las tecnologías tradicionales, la cual está clasificada por su nivel de ejecución gran

escala, con efectividad comprobada, los cuales se pueden observar en la figura 1.

Figura 1

Técnicas de remediación de suelos



Nota. El presente esquema detalla los criterios para clasificación de las técnicas de remediación de suelos y aguas subterráneas.

2.2.2.2. PRINCIPALES TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN SEGÚN EL TIPO DE TRATAMIENTO

a) Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos son alternativas de biorremediación en el cual se emplean diferentes tipos de organismos vivos como: bacterias, plantas, hongos, microorganismos, entre otros, para el proceso de degradación, remoción o transformación de sustancias tóxicas, esto depende, de las actividades catabólicas de cada organismo y la disposición que tiene cada una de ellas en emplear las sustancias tóxicas como fuente de alimentación. Las técnicas de biorremediación pueden utilizar organismos que son propios del lugar a descontaminar o de

otros sitios, su aplicación se puede dar de manera in situ o ex situ, en condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

Principales tecnológicas biológicas de remediación utilizadas en los suelos y otros cuerpos receptores.

- Bioaumentación
 - Biodegradación asistida
 - Briotransformación de metales
 - Bioventing
 - Compostaje
 - Fitorremediación
 - Landfarming
 - Lodos biológicos
 - Pilas biológicas
- b) Tratamiento Físico - Químicos

Los tratamientos fisicoquímicos consisten en aprovechar las cualidades químicas y físicas tanto de las sustancias tóxicas o el medio en que se encuentran contenidas, con el propósito de destruir, contener o separar los contaminantes. Los tratamientos fisicoquímicos son alternativas que casi siempre son efectivas en períodos cortos de tiempo, sin embargo, en cuanto a los costos presenta la tendencia a incrementarse cuando se emplean alternativas de separación, en donde los contaminantes necesariamente requieren tratamiento el tratamiento y su disposición final de estos. Del mismo modo que los tratamientos biológicos, se pueden realizar de manera ex situ o in situ.

Principales tecnológicas físico químico de remediación utilizadas en los suelos y otros cuerpos receptores.

- Calentamiento por conducción térmica
- Calentamiento por radiofrecuencia
- Calentamiento por resistencia eléctrica
- Desorción térmica
- Incineración

- Inyección de agua caliente
 - Inyección de aire caliente
 - Inyección de vapor
 - Pirolisis
- c) Tratamientos térmicos

Al igual que las tecnologías físico-químicas y a diferencia de las biológicas, los tratamientos térmicos incluyen la separación, inmovilización y/o destrucción de los contaminantes. Las alternativas de separación producen vapores que requieren de tratamiento; las destructivas producen residuos sólidos y, en ocasiones, residuos líquidos, que requieren de tratamiento o disposición final. Los procesos térmicos ofrecen tiempos rápidos de limpieza, pero son generalmente de alto costo debido a la demanda de energía y equipos específicos, además de ser intensivos en mano de obra. La mayoría de las tecnologías térmicas pueden aplicarse In Situ y Ex Situ.

Principales tecnológicas físico químico de remediación utilizadas en los suelos y otros cuerpos receptores.

- Adicción de enmienda
- Barreras de suelo seco
- Barreras físicas
- Barreras hidráulicas
- Barreras permeables activas
- Electrocinética
- Estabilización físico química

2.2.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

Por otro lado, intervenir un suelo contaminado puede ocasionar beneficios ambientales, ya que se pueden llegar a destruir sustancias contaminantes que afectan al suelo y a otros cuerpos abióticos, pero al mismo tiempo, las aplicaciones de estas

técnicas de tratamiento podrían ocasionar algunas desventajas en su aplicación a un medio contaminado y costo de tratamiento.

Las siguientes ventajas y desventajas de cada tratamiento se han descrito en relación al tipo de tratamiento y su relación con el medio involucrado a tratar, (Sepúlveda y Velasco, 2022).

Tabla 2

Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación de suelos

	Ventajas	Desventajas
Tratamientos biológicos	<ul style="list-style-type: none">-Son de bajo costo-Son ecoamigables con el medioambiente-Generalmente se destruyen los contaminantes.-Por lo general no requiere de ningún posterior tratamiento.	<ul style="list-style-type: none">-Toman mayor tiempo de ejecución.-Requiere la necesidad de verificar la toxicidad de productos.-Si el suelo no proporciona el medio para el crecimiento microbiano no se puede emplear.
Tratamientos fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none">-Son viables en cuanto a costos.-Su ejecución se da en periodos costos de tiempo.-Los equipos son accesibles sin el requerimiento de mucha ingeniería y energía.	<ul style="list-style-type: none">-Los residuos que se genera requiere disposición final.-Aumento en costos y necesidad de permisos-En la extracción de contaminante los fluidos pueden incrementarse debido a su movilidad constante.
Tratamientos térmicos		<ul style="list-style-type: none">-Alto costo para su ejecución.

Nota. Descripción de las ventajas y desventajas de los tipos de tratamientos, aplicados en la remediación de suelos.

2.2.2.4. CLASIFICACIÓN DEL LUGAR DE REALIZACIÓN DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN

Los procesos de remediación de suelos se clasifican acorde a la intervención del área afectado o contaminado, se clasifican en dos tipos según (Sepúlveda y Velasco, 2022).

In situ

Es el método en que el medio contaminado es tratado o los contaminantes son removidos del suelo contaminado, sin necesidad de excavar el sitio. Es decir, el tratamiento a ejecutar para la remoción de contaminantes tóxicos (orgánicos e inorgánicos) generados por actividades antrópicas o naturales se realiza en el sitio en donde se encuentra la contaminación o lugar donde se produjo el incidente ambiental. Entre las técnicas de biorremediación *in situ* pueden destacar los siguientes:

- Atenuación natural
- Biorremediación mejorada
- Fitorremediación
- Remediación microbiana
- Bioventing

Ex situ

El empleo de esta manera de descontaminación de suelos contaminados por diferentes agentes tóxicos, es mucho más complicado al tratamiento de remediación *in situ*, debido que requiere la excavación, extracción o cualquier otro proceso para retirar el medio contaminado, para su posterior intervención con cualquier tipo de remediación que se considere adecuado.

- Biopilas
- Hileras
- Biorreactor
- Landfarming

Tabla 3*Ámbito de aplicación en el proceso de remediación de suelos*

	In situ	Ex situ
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar - Potencial disminución de costos 	<ul style="list-style-type: none"> - Su ejecución requiere menor tiempo - Proporciona mayor fiabilidad en cuanto a uniformidad.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores tiempos de tratamiento - Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo - Dificultad para verificar la eficacia del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere la extracción del área contaminada. - Incremento de costos en equipos e ingeniería. - Posibilidad a que el medio extraído se contamine con alguna otra sustancia

Nota. Descripción de las ventajas y desventajas de los dos tipos de tecnologías para la remediación de suelos.

2.2.2.5. SUELO

El estado peruano en el D.S. N°011 (2017), normativa que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, define al suelo como material no consolidado, constituido por materia orgánica, partículas inorgánicas, aire, agua y una gran de microorganismos, se encuentra comprendido desde la capa superficial de la tierra hasta distintos niveles de profundidad.

Del mismo modo Núñez (1981), Define al suelo como el mineral no consolidado en la tierra, el cual es ocupado como el medio natural para el desarrollo de la vida, asimismo, el suelo se ha encontrado influenciado por factores medioambientales tales como son: el clima diversos organismos, topografía y el material parental, manejándose dentro de un determinado de tiempo resultando como producto, el suelo, el cual se separa en muchas propiedades y características físicas, químicas y biológicas.

2.2.2.6. INDICADORES DEL SUELO

Hernández et al (2014), indica la existencia de diferentes tipos o indicadores del suelo que nos permitirán identificar la calidad o el nivel de degradación que ha sufrido un determinado terreno de suelo, estos parámetros serán evidenciados en las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo:

- Parámetros físicos: los indicadores más utilizados para poder reconocer el estado físico de un suelo son los siguientes: la capacidad de detención de agua, el tiempo de infiltración del agua, porosidad y la densidad.
 - Parámetros químicos: la concentración de materia orgánica (MO) en el suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica (CE) y disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo (P y K).
 - Parámetros biológicos: este parámetro está relacionado al desarrollo y la actividad de microorganismos presentes en el suelo.
- a) Parámetros físicos

Los siguientes parámetros físicos que determinan al suelo son los siguientes según, (Ramirez,1997).

Textura (T)

La textura, se refiere a la organización relativa de las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) que integran el suelo, las cuales se encuentran expresadas en porcentaje. Estas partículas se miden en mm, la distribución granulométrica se distribuye del siguiente modo: arena (2-0.02mm), la arcilla (0.002mm) y en el caso del limo es (0.02-0.002mm). Esta característica del suelo tiene influencia en el tiempo de infiltración del agua, la aeración del suelo y la facultad de cultivo, en la tabla 4 se detalla la clase textual de la textura del suelo.

Tabla 4*Índice de Retención de Humedad*

CLASE TEXTURAL	RETENCIÓN DE HUMEDAD	
	0.3 bars	15 bars
Arenosa	5-15	2-10
Franca arenosa	12-32	5-18
Franca	18-40	10-30
Franco arcillosa	20-50	12-35
Arcilla	25-75	15-45

Nota. Valores generales para el índice de retención de humedad a 0.3 y 15 bar, según el tipo de textura para los diferentes tipos de suelo

Densidad aparente (DA)

El concepto de densidad aparente es referido a la relación que se tiene entre la masa del suelo y volumen total que este ocupa, se debe indicar que en esta relación se excluye a los poros. La unidad de medida de la densidad aparente es en kg/m³ o también en g/cm³. Este parámetro físico del suelo es muy importante para poder entender la capacidad de retención de agua del suelo y su estructura, además, que mantener su equilibrio en el suelo permite el cultivo idóneo de las plantas. Existe dos tipos de densidad, aparente. La densidad alta aparente que hace referencia a un suelo compactado o la constitución elevada de partículas granulares, como, por ejemplo, la arena, la densidad aparente baja se refiere a las densidades aparentes que se encuentran por debajo de los 1.0 g/cm³, por lo cual se puede concluir que existe una mayor porosidad en el suelo. En cuanto a la densidad real, las partículas densas del suelo, se encuentran en constante variación en proporción a los elementos que constituyen el suelo que por lo general se encuentra alrededor de 2.65 g/cm³ (FAO,2023). La densidad es el indicador que detalla la condición en que se encuentra el suelo respecto a la porosidad, el porcentaje de agua en el suelo, el oxígeno presente y la compactación, entre otros. En la tabla 5 podemos observar la

relación que tiene la densidad aparente del suelo con la porosidad total.

Tabla 5

Índice Densidad Aparente y Porosidad

DENSIDAD APARENTE G/CC	POROSIDAD OTAL %
< 1.0	< 63
1.0 – 1.2	55 – 62
1.2 – 1.4	47 – 54
1.4 – 1.6	40 – 46
1.6 – 1.8	32 – 39
> 1.8	< 31

Nota. Descripción de relación entre densidad aparente y la porosidad total.

Porosidad

León (2011), define a la porosidad como el volumen de los poros contenidos o espacios vacíos que tiene una determinada superficie o estructura. En el caso del suelo, se define como al porcentaje de espacios vacíos (poros o microsporos) que el suelo cuenta, estos espacios contienen líquidos y diversos gases. La porosidad está relacionada con la densidad del suelo, la dimensión de los poros y por lo tanto la porosidad del suelo, depende del tamaño de las partículas del suelo. Se define 5 clases de porosidad en las que se considera los poros menores de 60um y % del volumen ocupado, tal como se muestra en la tabla 6.

La importancia de poder determinar porosidad en el suelo radica en su contribución a los servicios hidrológicos que presta al medio ambiente. Como la captación, la distribución y el almacenamiento disponible en la cuenca hidrológica.

Tabla 6*Índice de Porosidad del Suelo*

CLASE	% OCUPADO POR POROS
Muy débilmente poroso	< 5.0
Débilmente poroso	5.0 – 9.9
Moderadamente poroso	10.0 – 14.9
Muy poroso	15.0 – 20.0
Extremadamente poroso	> 20.0

Nota. En la siguiente tabla se describe el índice de clasificación de la porosidad del suelo.

b) Parámetros químicos

Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)

Para Ramírez (1997), dentro de los procesos químicos que se generan en el suelo. Se podría decir que es el intercambio iónico juntamente con la fotosíntesis, dos aspectos muy importantes para el desarrollo de las plantas. El cambio iónico es mayormente a la fracción de arcilla y la materia orgánica existente en el suelo. Este indicador químico del suelo es definido como cantidad de número de cargas negativas en el suelo expresado en unidades de meq/ 100g. El aumento de pH, ocasiona el aumento de cargas negativas en el suelo, debido a que el aluminio presente en el suelo se precipita, la acumulación de hidrógenos en el suelo decrece y por lo tanto este aumenta.

Asimismo, los niveles altos de la capacidad e intercambio catiónico (CIC) existe una gran cantidad de elementos disponibles en el suelo. Los valores menores a 10n meq/ 100g son determinados como bajos, los valores que oscilan entre 10-20 son considerados medios y por último los valores mayores a 30 meq/ 100g con considerados como muy altos.

pH

El mismo autor define al pH como uno de los indicadores importantes en la composición química del suelo, el nivel de pH es un determinante que determina la disponibilidad de nutrientes para las plantas en el suelo, dado que este indicador determina la actividad microbiología y la solubilidad, factores que mineralizan la materia orgánica. Además, el pH es un factor determinante para la acumulación de iones tóxicos y otras propiedades determinantes para la fertilidad del suelo.

Conductividad eléctrica (CE)

Garrido (1994), define a la conductividad eléctrica como un indicador que determina la concentración de sales en el suelo, sus unidades de medición se dan en dS/cm o micromhos/cm y también en milimhos/cm. Los suelos con altas concentraciones de sales en el suelo, no permiten el óptimo desarrollo de las plantas. Para las actividades de cultivo los niveles de conductividad eléctrica dependen de las características de las sales que el suelo tiene, las cuales se pueden dar en los siguientes generales: < 500 micromhos/cm se espera el buen desarrollo de las plantas; 500-1000 micromhos/cm es posible que en el desarrollo de las plantas se identifique algunos problemas en los cultivos; > 1000 micromhos/cm aparecen dificultades en el desarrollo de los cultivos.

Fósforo disponible (P)

La extracción de fosforo disponible en suelo, las plantas lo realizan utilizando la acción de los ácidos. En este caso, se utilizan los ácidos fuertes para obtención del fósforo total, y los ácidos débiles para obtención del fósforo activo; en teoría el fósforo activo es el fósforo que utilizan las plantas como nutrientes, el cual se encuentra en la solución del suelo y el intercambio. Y el fósforo de reserva se puede hallar en forma de fosfato insoluble.

De encontrarse en suelos básicos el fósforo se inactiva con mucha facilidad en formas insolubles, es por ello, que se encuentra muy poco el fósforo activo.

Andrades y Martínez (2001), menciona que la concentración adecuada de fósforo en el suelo es importante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos por invertir en funciones fundamentales, como son:

- Ayuda al óptimo el desarrollo de las raíces.
- Incentiva el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas.
- Ayuda en la etapa de florecimiento y fructificación de las plantas.
- Acelera el proceso de maduración de frutos.

Potasio disponible (K)

Al igual que el fósforo el potasio se encuentra adherido a las arcillas y a la materia orgánicas en sus sedes de intercambio del suelo, estas son extraídas por la actividad de los ácidos débiles. Muchos de los suelos son ricos en potasio de manera natural, por contener arcillas de tipo illita. También son ricos en potasio, aquellos suelos que son abonados constantemente con estiércol de animales.

Asimismo, Andrades y Martínez (2001), indica el porcentaje disponible de potasio en el suelo es esencial, para el ejercicio de sus diferentes funciones en las plantas:

- Ayudar con el establecimiento de hidratos de carbono.
- Aumentar la resistencia y solidez de los tejidos de la planta, otorgando mayores propiedades en resistencia a diversas enfermedades.
- Incrementa la resistencia de las plantas a circunstancias de heladas.
- Incrementa la capacidad resistencia de las plantas a los escases de agua (sequía).

Materia orgánica (MO)

Este indicador está relacionado con la mayoría de las actividades que se desarrollan en el suelo, siendo el factor clave e integrador que determina la salud del suelo. La materia orgánica se presenta en una pequeña parte de la masa mayor los horizontes del suelo, en general se encuentra entre 1 y 6% del horizonte A y presenta un descenso a modo que va incrementando la profundidad. La materia orgánica está constituida por elementos carbonadas orgánicas, mostrándose desde restos de vegetales frescos sin descomponer hasta cadenas muy trasformadas y estables, como es el caso de los ácidos húmicos. En numerosas investigaciones se ha demostrado tiene un efecto en la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la estabilidad e agregados, la capacidad de intercambio catiónico, pero sobre todo se centra en la concentración de nutrientes en el suelo, de ese modo determinando la calidad del suelo. (Ghisolfi,2011).

c) Parámetros biológicos

Actividad microbiana

Para Julca, et al (2006), la actividad microbiana, es el aquel indicador que señala la fertilidad natural del suelo, es decir, es aquel suelo en donde los organismos edáficos constantemente están liberando nutrientes inorgánicos, a partir de los compuestos orgánicos, con suficiente rapidez para sostener el crecimiento y desarrollo acelerado de las plantas. La presencia de la actividad biológica en el suelo es el resultado de las responsabilidades fisiológicas de los organismos, que, a su vez, otorga a las plantas de gran tamaño un ambiente idóneo para su desarrollo. Cabe resaltar que las necesidades de los microorganismos edáficos presentes en el suelo requieren la misma exigencia de las plantas, en cuanto a componentes nutritivos, temperaturas adecuadas, disposición de agua, energía, y ausencia de sustancias tóxicas en el suelo.

2.2.2.7. FUNCIONES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL SUELO

Para Porta et al (2019), los suelos son cuerpos naturales, dinámicos, vivos que desempeñan múltiples funciones y prestan múltiples servicios ecosistémicos, por lo que son un componente crítico de la biosfera. Entre las diversas funciones del suelo se destacan los siguientes:

- Favorecer el desarrollo de la biomasa: forrajes, alimentos, grandes dimensiones de masas forestales, biocombustibles, recursos que deben ser adquiridos sin poner en riesgo la perdida de las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo.
- Equilibrar y aumentar la calidad de las aguas subterráneas: el equilibrar la filtración del agua, la acumulación y transferencia a otros medios y los intercambios iónicos.
- Mitigar las sustancias tóxicas ambientales y patógenos.
- Propiedades de autobiorremediador.
- Fijar gases de efecto invernadero.
- Equilibrar el microclima en diferentes espacios.
- Constituir un habitat biológico y reserva genética
- Ser una fuente de materias primas: grava, arcilla, yeso, grava, turba, hierro entre otros, ya que el suelo es un medio de concentraciones monominerales.

2.2.2.8. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El término “contaminación del suelo” está referido a la existencia en el suelo a un componente químico o una sustancia fuera de sitio, el cual, se encuentra en concentraciones elevadas fuera de lo normal, presentando efectos negativos en cualquier cuerpo u organismo al que no se encuentra designado. Algunos contaminantes en su mayoría pueden ser de origen antropogénico, sin embargo, no se puede descartar que estas sustancias pueden ocurrir de manera natural, como los minerales, que, en

concentraciones elevadas pueden ser nocivas. Muchas veces, la contaminación de suelos es difícil de ser percibida visualmente, transformándola en un peligro oculto. (Rodriguez, McLaughlin y Pennock, 2019).

Encontrar un concepto exacto acerca de la contaminación de suelos, se podría decir que es complejo, debido a las diversas funciones que el suelo ejerce y la complejidad de su estructura. Sin embargo, lo podemos entender como una variación no deseable de las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo, que en un periodo determinado termina afectando a la salud del hombre, plantas, animales y general al medio ambiente. Con respecto a la calidad del suelo, se podría decir que es el evento que decrece la posibilidad de uso del suelo. Asimismo, podemos definir al concepto de “contaminación de suelo”, como un proceso o un conjunto de eventos que disminuyen la capacidad y potencia del suelo de producir bienes. (Jiménez, 2017).

2.2.2.9. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR HIDROCARBUROS

En el proceso de las operaciones de explotación, extracción y transporte de los hidrocarburos, se presenta una tendencia a poder contaminar el medio ambiente circundante a través filtraciones por fallas o accidentes deliberados. Cuevas, et al. (2012), indica que el evento de contaminación de suelos con petróleo, y de manera general por hidrocarburos, afectan de gran manera las diferentes funciones del suelo, dependiendo de las características del producto y la cantidad derramada. Los efectos negativos más comunes en el suelo se pueden dar en las alteraciones de sus propiedades físicas, como, por ejemplo, la formación de un manto impermeable reduciendo el intercambio de gases y la filtración del agua; en las propiedades químicas, la variación de las reacciones de óxido-reducción; las propiedades biológicas, el impedimento de la actividad microbiológica en el suelo o daños a los animales,

plantas que viven fuera o dentro del suelo, incluyendo a sus depredadores o consumidores.

Algunas de las propiedades químicas y físicas del suelo, contaminados por derrames de hidrocarburos son los siguientes:

- En cuanto al carbono orgánico presenta un incremento debido a que el 75% de carbono del petróleo es oxidable.
- El pH del suelo presenta un decremento debido a la acumulación de carbono orgánico.
- El hidrocarburo presente en el suelo evita el crecimiento vegetativo.
- Alteración de composición atmosférica debido a la combustión, sublimación y evaporación del viento.
- Contaminación del aire: por evaporación, combustión, sublimación y/o acarreo del viento.
- Contaminación de la cadena alimentaria por la presencia de sustancias toxicas.

2.2.2.10. TIPOS DE HIDROCARBUROS SEGÚN EL DECRETO N° 11-2017 MIMAN SUPREMO ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

- a) Fracción de hidrocarburos F1 o fracción ligera

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C6 a C10). Los hidrocarburos de fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, solventes, gasolinas, gas nafta, entre otros.

- b) Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono (>C10 a C28). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolente, gasolinas, gas nafta, entre otros.

c) Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada

Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono (>C28 a C40). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrolatos, aceites del petróleo, entre otros

2.2.2.11. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE SUELO

a) Fuentes naturales

En las fuentes de contaminación natural están considerados, aquellos eventos que se generan de manera natural o factores naturales tales como: los incendios forestales y erupciones volcánicas ya que muchas sustancias tóxicas son liberados al medio ambiente, estas sustancias toxicas están compuestos de tipos hidrocarburos aromáticos policíclicos y dioxinas.

b) Fuentes antrópicas

Las contaminaciones antropogénicas se dan a raíz del empleo de productos químicos o producidos como subproductos de las actividades industriales, aguas residuales, empleo de agroquímicos derivados de petróleo y desechos domésticos y municipales. Estos productos pueden ser libreados accidentalmente o deliberadamente, por ejemplo, los derrames que se vierten deliberadamente en cuerpos de agua y suelo.

2.2.2.12. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

En La tabla 7 menciona las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos.

Tabla 7*Principales Fuentes de Contaminación de Suelo*

ORIGEN	CONTAMINANTE
Fábrica de gas	Benceno, alquitrán, fenoles, cianuros, hidrocarburos aromáticos policíclicos.
Industria textil	Metales pesados e hidrocarburos
Centrales termoeléctricas	Hidrocarburos, metales pesados y otros derivados de petróleo
Floricultura	Plaguicidas, hidrocarburos y pesticidas
Lavado de vehículos	Hidrocarburos
Mecánica de automotores	Aceites, hidrocarburos.
Minería	Hidrocarburos, plaguicidas y pesticidas
Industrias petroleras	Hidrocarburos aromáticos y alifáticos
Estación de servicios	Hidrocarburos y otros derivados del petróleo

Nota. En el presente cuadro se enumera a las principales fuentes de contaminación de suelo según sea la actividad económica.

2.2.2.13. EFECTO DE LOS HIDROCARBUROS EN EL SUELO

Los hidrocarburos son sustancias orgánicas de difícil degradación, su permanencia en el suelo genera grandes problemas ambientales.

Desde el momento en que se descubrieron las propiedades cancerígenas de los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), estos contaminantes han sido estudiados con gran interés en diferentes puntos de vista. Estas sustancias tóxicas se encuentran presentes en el suelo, agua y aire en diferentes proporciones; en algunos casos pueden ser contaminantes de gran persistencia, sobre todo en la matriz del suelo y sedimentos. (Romaniuk, et al, 2019).

Además, Hernández (2019), menciona que las consecuencias que ocasiona los derrames de hidrocarburo el suelo, generan variaciones negativas en las propiedades físicas del suelo, afectando la estructura original del suelo, disminuyendo el porcentaje de porosidad del suelo, reduciendo su capacidad de retención hídrica y la deficiente aeración del suelo, decremento en la disponibilidad de nutrientes en la tierra y variaciones en la densidad aparente. Con respecto las propiedades químicas del suelo, el pH se altera debido a la presencia excesiva de hidrógenos en el suelo, de modo que altera la actividad microbiología del suelo reduciendo su capacidad de la degradación y transformación de la materia orgánica. Altera las concentraciones de la conductividad eléctrica incrementando los niveles de toxicidad en el suelo, como los compuestos aromáticos y alifáticos, los cuales requieren un periodo extenso para que el suelo pueda degradarlos. Asimismo, genera consecuencias negativas a las condiciones de óxido reducción, impidiendo el desarrollo correcto de las reacciones biogeoquímicas que son importantes para el ecosistema.

2.2.2.14. MICROBIOLOGÍA DE LOS HIDROCARBUROS

López y Fuentes (2015), menciona que la estructura química del petróleo es una constitución compleja de compuestos orgánicos, considerando también a algunos organometalicos. Las biodegradaciones de los hidrocarburos por ciertos microorganismos en algunos casos pueden ser benéficos en otros casos perjudiciales. En muchos estudios se han investigado sobre la biotransformación, biosaneamiento y la biodegradación de los hidrocarburos de petróleo. Muchos de estos estudios están enfocados en el cultivo de estas especies microbianas de manera independiente para el poder entender de una manera mejor el comportamiento de estas especies involucradas en estos procesos. Una cantidad de estudios han evidenciado la existencia de una gran cantidad de especies con facultades fermentadoras, acetogénicas, reductoras de nitrato, reductoras de sulfato,

reductoras de yacimientos de petróleo y habitas relacionados en todo el planeta.

Asimismo, Ocampo, et al, (2002), especifica químicamente que, el petróleo es un compuesto complejo de hidrocarburos, quiere decir, con un alto porcentaje en compuestos de carbono e hidrogeno, sin dejar de considerar otros elementos como el azufre, nitrógeno y oxígeno y en cantidades minoritarios compuestos de metales. Además, es complejo debido a la capacidad de formación de cuatro enlaces de átomos de carbono dan a lugar la constitución ciclos o cadenas.

Ciertos microorganismos tienen la capacidad de degradar de forma natural los compuestos orgánicos, de manera que esta cualidad viene siendo explotada para contribuir y mejorar los métodos de degradación de sustancias toxicas y para sistemas de descontaminación in situ. En un ensayo de monitoreo sencillo y de alta resolución se ha logrado identificar algunas de estas especies, sin embargo, a través del empleo de sondas génicas se ha logrado identificar en abundancia la existencia de estos microorganismos.

El empleo de novedosas técnicas de remediación ha contribuido con el rápido desarrollo de esta área; como es el caso de la biorremediación, que a la actualidad sigue desmostando ser una alternativa de bajo costo y eficaz en combinación con el composteo, para el tratamiento de desechos y la remediación del ecosistema.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Compostaje

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2009), define al compostaje como una técnica mediante el cual los organismos encargados de la descomposición y transformación de los residuos orgánicos generen un resultado de abono de buena calidad. Asimismo, La Real Academia Española, conceptualiza al proceso compostaje como un sistema de transformación

biológica aeróbica y termófila de los restos orgánicos con propiedades briodegradables que tienen como resultado a los diferentes tipos de abonos o también conocidos como enmiendas orgánicas.

Compost

El compost es la composición de restos orgánico que en forma sistemática y natural se han descompuesto, gracias a la intervención de organismos presentes en el suelo y a la acción de del oxígeno teniendo como resultado el humus, compuesto que incrementa la fertilidad química del suelo y su estructura grumosa al suelo, los residuos orgánicos pueden ser provenientes de los residuos orgánicos en casa, o como también residuos generados en las podas de los jardines o áreas verdes de una población, (Garita,2015).

Vermicompostaje

El vermicompostaje es un conjunto de procesos de biooxidación, descomposición y estabilización de la materia orgánica por intermedio de la intervención de los microrganismos benéficos del suelo, quienes bajo condiciones aérobicas y mesófilas, logran un producto estabilizado, (Villegas, 2017).

Calidad de suelos

Se conceptualiza como a la capacidad de operatividad de un suelo en el ámbito de un agroecosistema o ecosistema con fines a una productividad sostenible de plantas y animales, a fin de soportar la salud y vida de la especie humana”. (Orjuela, 2016).

Humus

Compuestos semi-degradados compuesto por raíces, ramitas, pedazos de madera, corteza, fragmentado o no, con diferentes cantidades de granos y retos de materia orgánica o mineral, en su gran mayoría excrementos de animales en diferentes tañamos, conforman la capa superficial del suelo, (Garita,2015).

Estándares de Calidad Ambiental para suelo

Se define como la medida que establece el nivel o grado de concentración de sustancias, elementos o parámetros químicos, físicos y biológicos, en el suelo en su condición de cuerpo receptor, que no represente un riesgo significativo para la salud de las personas ni al medio ambiente. (D.S. N°. 011-2017-MINAM).

2.4. HIPÓTESIS

H_1 : La eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fetida*) es diferente con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2

H_0 : La eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) es diferente con y sin condición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Vermicompostaje

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Remediación de suelos

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Análisis comparativo del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy para remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2

Variable de calibración	Indicadores	Valor final	Tipo de Variable
Vermicompostaje	Tipos de vermicompostaje	E1: Vermicompostaje con lombriz californiana (<i>Eisenia foetida</i>) con adición de estiércol de cuy E2: Vermicompostaje con lombriz californiana (<i>Eisenia foetida</i>) sin estiércol de cuy	Nominal-dicotómica
Variable evaluativa	Indicadores	Valor final	Tipo de Variable
Remediación de suelos	Físicos - Textura - Porosidad - Densidad Químicos - Materia orgánica (C/N) - Conductividad eléctrica (CIC) - pH - Fósforo y Potasio disponible (K, P) - Capacidad de intercambio catiónico (CIC) Biológicas - Actividad microbiana Hidrocarburos - Concentración de hidrocarburos tipo F2.	Valores físicos - mm - g/cm ³ - g/cm ³ Valores químicos - % - dS/cm Valores biológicos - mm/L - meq/100gr	Numérica-Continua

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio contó con la siguiente tipología.

Según la planificación de las mediciones, la investigación fue *prospectivo*, ya que se usó datos primarios. Según el número de variables, el estudio fue *analítico*. Según la intervención del investigador, el estudio fue una investigación *con intervención*. Según el número de mediciones, el estudio *fue longitudinal*, ya que se considera más de una medición de una variable en estudio (Supo & Zácaras, 2020).

3.1.1. ENFOQUE

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo porque se hace uso de la estadística para el análisis de los datos (Supo & Zácaras, 2020).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El estudio corresponde al nivel explicativo debido a que explica el comportamiento de una variable en función de otra (Supo & Zácaras, 2020). La utilización del vermicompostaje al usarlo como metodología o alternativa para la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos.

3.1.3. DISEÑO

El estudio sigue un diseño prospectivo, analítico longitudinal y con intervención (Supo y Zácaras, 2020).

El siguiente esquema ilustra el diseño cuasiexperimental considerando en el estudio.

GE₁ O₁ – X₁ – O₂

GE₂ O₂ – X₂ – O₂

Descripción de las variables

- GE1: Grupo de estudio
- GE2: Grupo de estudio
- O1: Observación inicial
- O2: Observación final
- X1: Intervención con vermicompostaje
- X2: Intervención con vermicompostaje + estiércol de cuy

3.2. POBLACION Y MUESTRA

En la investigación, se ha considerado como población de estudio el suelo contaminado por hidrocarburos tipo F2 del establecimiento identificado como Grifo Uber en la población de Paucartambo, el lugar es un centro de distribución y almacenamiento de combustible y otros derivados de petróleo, en donde, los problemas de contaminación de suelos por derrames de hidrocarburos son eventos consecutivos y el resultado de sus actividades.

El lugar está ubicado en el Departamento de Pasco, Provincia de Pasco, Distrito de Paucartambo, C.P de Simón Bolívar.

Tabla 8

Coordenadas geográficas del Distrito de Paucartambo, Provincia Pasco, Departamento Pasco

Coordenadas geográficas de Paucartambo	
Latitud	-10.768804
Longitud	-75.806216
Sur	10° 46' 07"
Oeste	75° 48" 23"

Nota. Coordenadas geográficas del área de intervención en el sistema georreferencial WGS84.

Muestra

La cantidad de muestra recolectada para la ejecución del proyecto fue un total de fue un total de 70 kg de tierra contaminada, La misma que fue recolectada en la excavación de 14 puntos de muestreo en distribuidos en el

establecimiento del grifo Uber. El tipo de muestreo que se empleó en la siguiente investigación fue el muestreo de identificación

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

En el proyecto de investigación para la toma de muestras del área afectada, se empleó la Guía de Muestreo de Suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, teniendo como resultado una sola muestra compuesta, del cual se extrajo para el establecimiento de los tratamientos propuestos.

Desarrollo del proyecto de investigación

1. Recolección de muestra

la actividad consistió en retirar la tierra contaminada de las áreas en donde se depositaban los recipientes de petróleo u otro tipo de combustible, para lo cual se excavaron 14 puntos de muestreo con dimensiones de 30 cm de ancho x 30 cm de largo x 10 cm de profundidad, de cada punto se extrajo 5 kg de tierra contaminada con el fin de obtener una muestra compuesta, el total de muestra recolectada fue 70 kg. El tipo de muestreo de suelo que se aplicó en el presente estudio según la Guía de muestreo para suelos, fue el Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC). Los materiales y herramientas que se usaron para la recolección de muestras fueron los siguientes:

- Marcadores
- Libretas
- Pico
- Pala
- Bolsas de polietileno
- Equipo telefónico para tomar las coordenadas UTM

2. Secado de muestra

La actividad consistió distribuir la tierra en un plástico de polietileno de 2m de ancho x 3 m de largo, durante una semana la tierra fue removida diariamente con el fin acelerar el secado de manera natural y homogenizar la tierra para obtener una muestra compuesta. Además, la actividad de remoción de la tierra tuvo el fin de homogenizar la tierra y obtener una muestra compuesta. Las herramientas y materiales que utilizaron en la actividad fueron los siguientes:

- Pico
- Pala
- plásticos de polietileno de 2m de ancho x 3m

3. Recolección de muestra superficial (Pre-test)

La toma de muestras para el análisis fisicoquímico, biológico y la concentración de hidrocarburos tipo F2 presentes en el suelo, se llevaron a cabo una vez logrado el secado total de la tierra, se aplicaron sondeos manuales, se tomó varias muestras de sondeos para obtener los datos provenientes de las calicatas. Los materiales para la recolección y traslado de muestras fueron proporcionados por los laboratorios SGS Perú y Ambiental Laboratorios SAC. Para la caracterización fisicoquímica y biológico del suelo se retiró 1 kg de tierra y para el análisis de concentración de hidrocarburo se utilizó un envase de vidrio con capacidad 210 ml.

- Para el análisis fisicoquímico-biológico del suelo
1 muestra de un kilogramo
- Para el análisis de hidrocarburo tipo F2
1 muestra.

4. Instalación del laboratorio

En la instalación y acondicionamiento de lugar se llevó las siguientes actividades:

- Elaboración de las bandejas contenedoras: las bandejas fueron elaboradas de madera con las siguientes dimensiones: Ancho: 25 cm, Largo: 30 cm, Alto: 25 cm.
- Adquisición de compost y lombrices californianas: el sustrato o compost juntamente con las lombrices rojas californianas fueron adquiridas en el centro de venta de la Universidad Nacional Agraria de la Molina; compost 24kg y lombrices rojas californianas 2kg.
- Adquisición de estiércol de cuy: fue recolectado de uno de los pobladores del distrito de Paucartambo, quien se dedica actualmente a la crianza de cuyes.

Recolectado los componentes a utilizar en el proceso de vermicompostaje, se procedió a pesar de cada uno de ellos para luego ser distribuidos en cada tratamiento según lo establecido.

- Tierra contaminada 8 unidades de 6kg.
- Compost 8 unidades de 3kg.
- Estiércol de cuy 4 unidades de 1kg.
- Lombrices rojas californianas 8 unidades de 250 gr.

Distribución de los componentes para cada tratamiento.

Tratamiento N°1

El tratamiento 1, contó con cuatro repeticiones y una unidad de estudio control, en las cuatro unidades llevaron a cabo el mismo tratamiento durante los 90 días de evaluación como fecha límite.

- Para la unidad de estudio 1 (UE1) se mezclaron 6kg de suelo contaminado, 3kg de compost, se homogenizó todos los componentes y se humectó a un porcentaje de 70% a 80% de humedad para proseguir con la colocación de los 250 gr de lombrices.
- En la UE2, UE3, UE4 se realizó el mismo proceso de la UE1.

Tabla 9*Distribución de componentes en el tratamiento número 1*

Tratamiento	UE_c	UE₁	UE₂	UE₃	UE₄
Sustrato	-	3kg	3kg	3kg	3kg
Lombrices	-	250g	250g	250g	250g
Suelo contaminado	6kg	6kg	6kg	6kg	6kg

Nota. En el siguiente cuadro se detalla la concentración de cada elemento que se empleará en el tratamiento número 1.

Tratamiento N° 2

Al igual que el tratamiento 1, el tratamiento 2 contó con cuatro repeticiones y unidad de estudio control.

- En la unidad de estudio 5 (UE5) se mezclaron 6kg de suelo contaminado, 3kg de compost y 1kg de estiércol de cuy, se homogenizaron todos los componentes y se humecto a un porcentaje de 70% a 80% de humedad para proseguir con la colocación de los 250 gr de lombrices.
- Para la UE6, UE7, UE8 se realizó el mismo proceso de la UE₅.

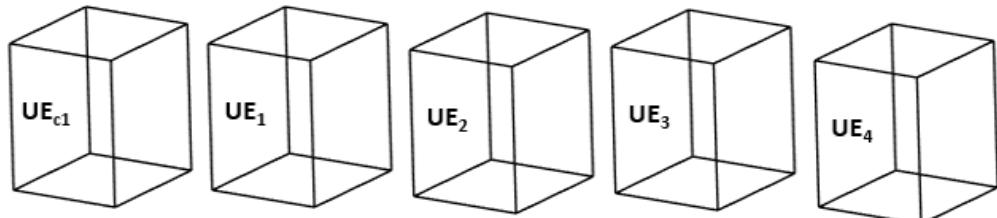
Tabla 10*Distribución de componentes en el tratamiento número 2*

Tratamiento	UE_{c2}	UE₅	UE₆	UE₇	UE₈
Sustrato		3kg	3kg	3kg	3kg
Lombrices		250g	250g	250g	250g
Estiércol de cuy *		1kg	1kg	1kg	1kg
Suelo contaminado	6kg	6kg	6kg	6kg	6kg

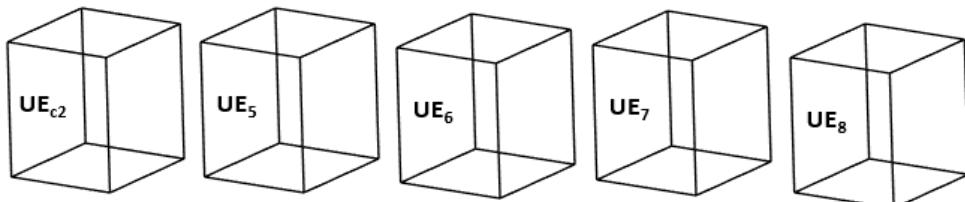
Nota. En el siguiente cuadro se detalla la concentración de cada elemento que se empleará en el tratamiento número 2.

Figura 2

Demostración esquemática del tratamiento 1 y el tratamiento 2



Nota: Tratamiento N° 1: sustrato + lombriz californiana + suelo contaminado



Nota: Tratamiento N° 2: sustrato + lombriz californiana + suelo contaminado + estiércol de cuy

El tratamiento 1 y el tratamiento 2 fueron evaluados durante 90 días como fecha límite. Se realizó el monitoreo del porcentaje de humedad de la tierra cada dos días, con el propósito de mantener un estándar de humedad, dicha medición se realizó a través de mediciones manuales, bajo las indicaciones que detalla el manual de Guía de lombricultura (Somarriba,2004) y por medio del empleo de un peachimetro, adquirido por cuenta propia, Asimismo, se realizó la colocación sistemática de los residuos orgánicos como suministro de alimento para las lombrices.

5. Recolección de muestra superficial (Post-test)

Cumplidos los 90 días de evaluación, se procedió con la toma de muestra de cada unidad de estudio (UE), (4 muestras de del tratamiento 1 y 4 muestras del tratamiento 2), fueron 8 muestras para la evaluación final de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, y 1 muestra de cada tratamiento para la evaluación final de la concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo. Los materiales para la toma de muestras, fueron proporcionados por los laboratorios en donde se iban a realizar los análisis mencionados líneas arriba. El traslado y entrega de las muestras de suelo se realizaron personalmente a los laboratorios de SGS Perú y Ambiental Laboratorios S.A.C.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se llevó a cabo la interpretación de los datos estadísticos, a través de empleo de programas de computación como Microsoft Excel 2016, etc.; en los que se consideraron tablas dinámicas y diversos gráficos según sea la necesidad. Del mismo modo, el empleo de estos programas contribuyó para contrastar la hipótesis, el cual es la intención del presente estudio de investigación.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se presentan las técnicas de procesamiento y presentación de datos considerados en el presente estudio.

Etapas	Técnicas
Procesamiento	Recolección Ordenamiento y codificación de datos
Análisis	Sistematización de datos Presentación de tablas y gráficos Redacción científica

Nota : Etapas de procesamiento y análisis de información mediante técnicas.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 11

*Parámetros físicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) con y sin adición de estiércol de cuy,(Ambiental Laboratorios SAC)*

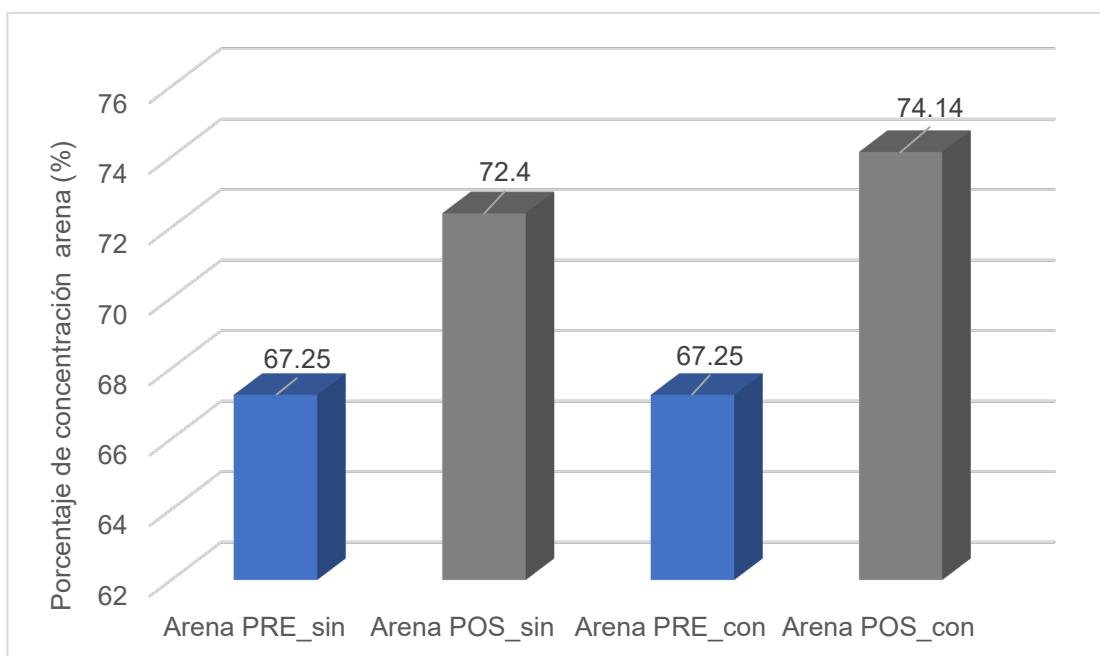
		N	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Variación
					Límite inferior	Límite superior	
Arena_PRE	Sin estiércol de cuy	4	67.25	0.00	67.25	67.25	Arena_sin estiércol = 5.15
	Con estiércol de cuy	4	67.25	0.00	67.25	67.25	
Arena_POS	Sin estiércol de cuy	4	72.40	1.09	68.94	75.86	Arena_con estiércol = 6.89
	Con estiércol de cuy	4	74.14	0.36	73.00	75.27	
Arcilla_PRE	Sin estiércol de cuy	4	11.30	0.00	11.30	11.30	Arcilla_sin estiércol = - 2.37
	Con estiércol de cuy	4	11.30	0.00	11.30	11.30	
Arcilla_POS	Sin estiércol de cuy	4	8.93	0.09	8.62	9.23	Arcilla_con estiércol = -2.8
	Con estiércol de cuy	4	8.50	0.08	8.24	8.76	
Limo_PRE	Sin estiércol de cuy	4	21.45	0.00	21.45	21.45	Limo_sin estércol = - 2.02
	Con estiércol de cuy	4	21.45	0.00	21.45	21.45	
Limo_POS	Sin estiércol de cuy	4	19.43	0.34	18.34	20.51	Limo_con estércol = - 4.08
	Con estiércol de cuy	4	17.37	0.32	16.35	18.38	
Densidad_PRE	Sin estiércol de cuy	4	2.28	0.00	2.28	2.28	Densidad_sin estiércol = 0.15

	Con estiércol de cuy	4	2.28	0.00	2.28	2.28	
Densidad_POS	Sin estiércol de cuy	4	2.43	0.01	2.39	2.46	Densidad_con estiércol = 0.21
	Con estiércol de cuy	4	2.49	0.01	2.46	2.51	
Porosidad_PRE	Sin estiércol de cuy	4	35.45	0.00	35.45	35.45	Porosidad_sin estiércol = 11.01
	Con estiércol de cuy	4	35.45	0.00	35.45	35.45	
Porosidad_POS	Sin estiércol de cuy	4	46.46	0.12	46.08	46.84	Porosidad_con estiércol = 11.49
	Con estiércol de cuy	4	46.94	0.06	46.74	47.13	

Nota: Esta tabla muestra las medidas de resumen de los datos analizados respecto a los parámetros físicos, los datos resaltados de color azul indican el incremento de las medidas en cada indicador y los datos de color rojo el decremento o reducción de las medidas, después de la intervención del suelo con el vermicompostaje más la adición del estiércol de cuy.

Figura 3

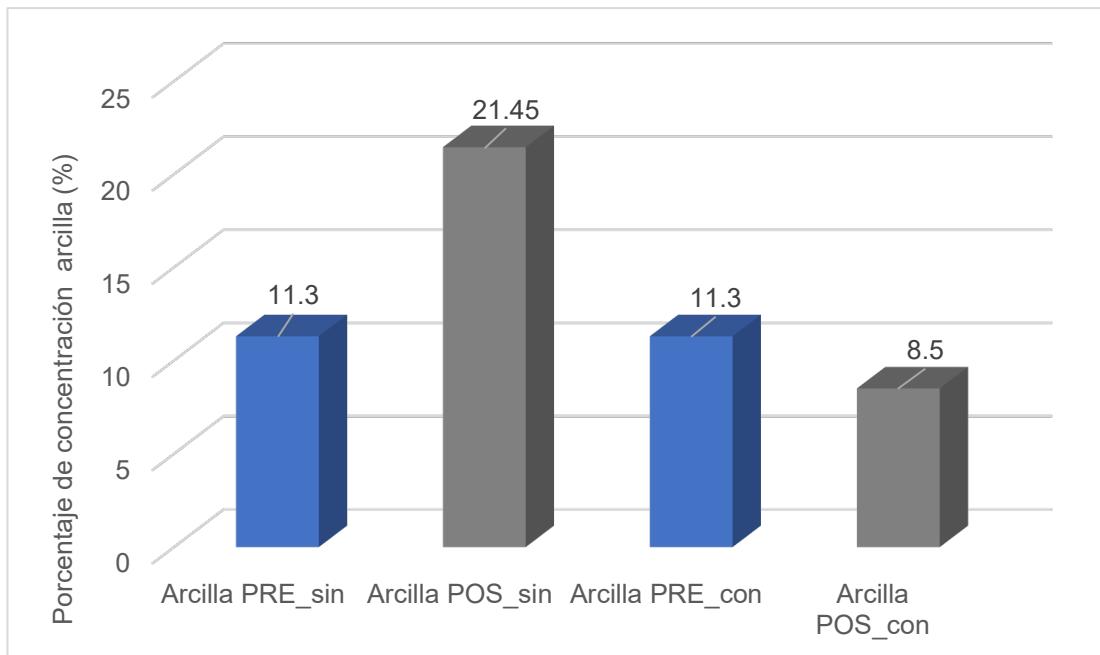
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la arena



Nota: En la figura 3 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la arena.

Figura 4

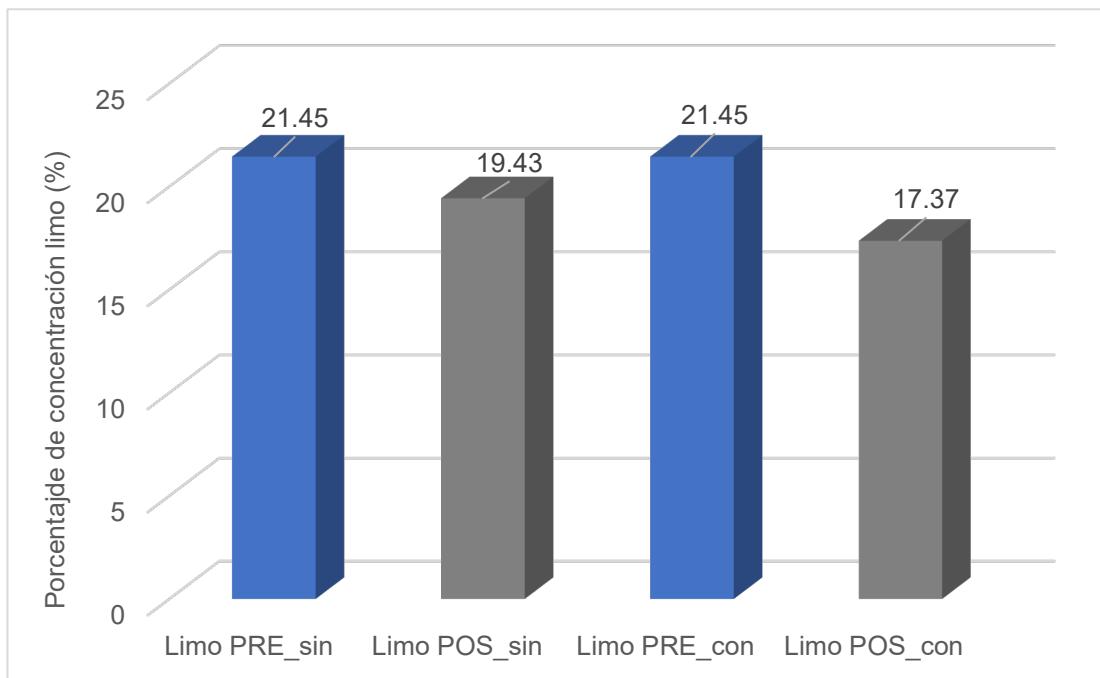
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la arcilla



Nota: En la figura 4 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la arcilla.

Figura 5

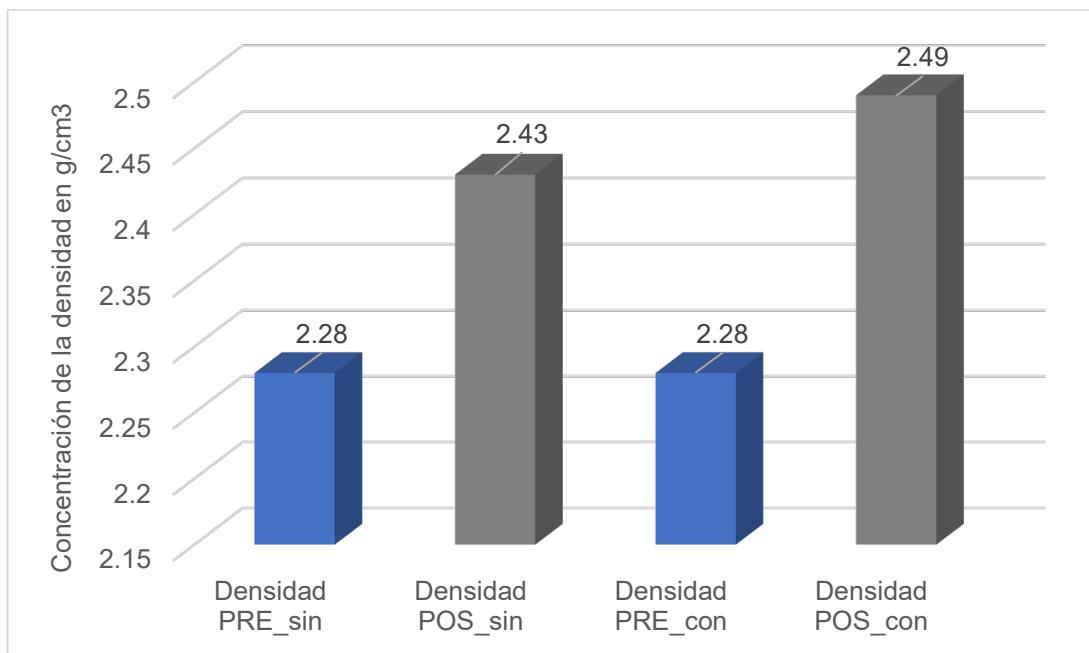
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el limo



Nota: En la figura 5 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto al limo.

Figura 6

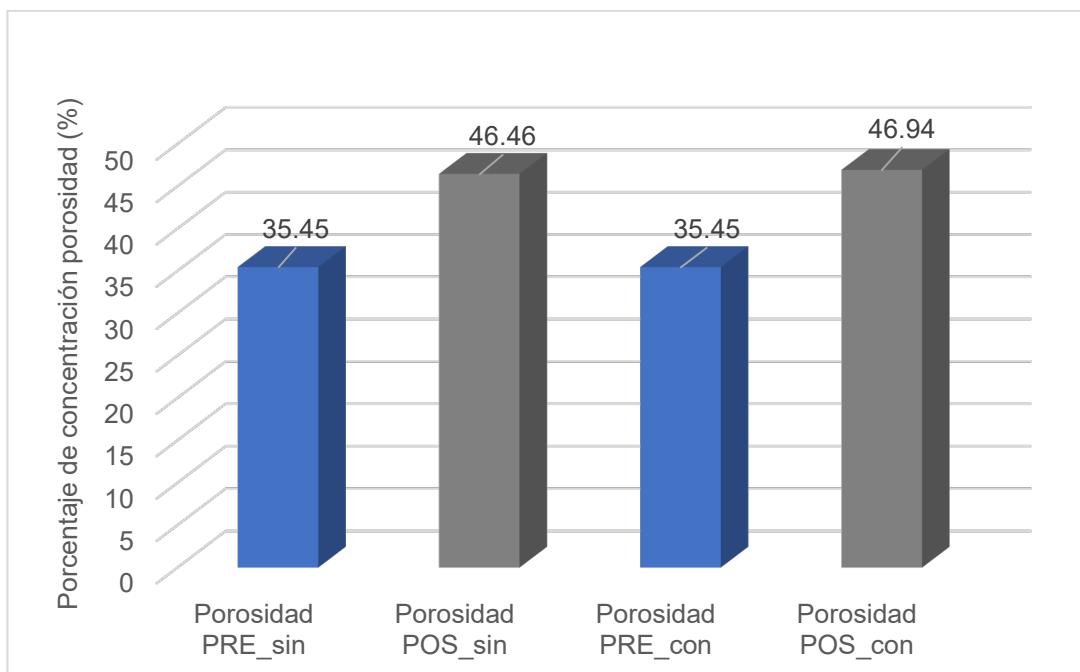
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la densidad



Nota: En la figura 6 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la densidad.

Figura 7

Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la porosidad



Nota: En la figura 7 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la porosidad.

Los resultados indican que, con el estiércol de cuy, en el suelo estudiado, se ha incrementado los valores de la arena (+10.2%), la densidad (+9.2%) y la porosidad (+32.4%). Por otro lado, con la incorporación del estiércol de cuy, se ha dado un mayor decremento en el suelo estudiado, en los valores de la arcilla (-24.8%) y el limo (-19.0%).

Tabla 12

*Parámetros químicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) con y sin adición de estiércol de cuy, (Ambiental Laboratorios SAC)*

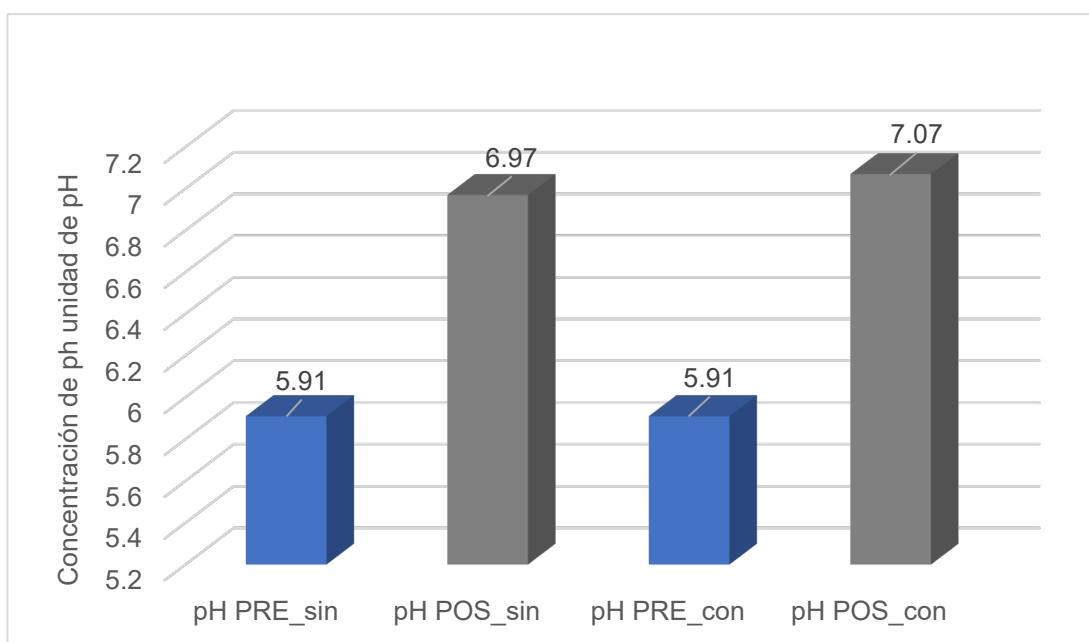
		N	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Variación
					Límite inferior	Límite superior	
pH_PRE	Sin estiércol de cuy	4	5.91	0.00	5.91	5.91	pH_sin estiércol = 1.06
	Con estiércol de cuy	4	5.91	0.00	5.91	5.91	
pH_POS	Sin estiércol de cuy	4	6.97	0.06	6.79	7.16	pH_con estiércol = 1.16
	Con estiércol de cuy	4	7.07	0.02	7.00	7.13	
MO_PRE	Sin estiércol de cuy	4	0.60	0.00	0.60	0.60	MO_sin estiércol = 3.74
	Con estiércol de cuy	4	0.60	0.00	0.60	0.60	
MO_POS	Sin estiércol de cuy	4	4.34	0.04	4.23	4.47	MO_con estiércol = 3.75
	Con estiércol de cuy	4	4.35	0.03	4.25	4.45	
CIC_PRE	Sin estiércol de cuy	4	12.90	0.00	12.90	12.90	CIC_sin estiércol = 6.58
	Con estiércol de cuy	4	12.90	0.00	12.90	12.90	
CIC_POS	Sin estiércol de cuy	4	19.48	0.34	18.38	20.57	CIC_con estiércol = 8.4
	Con estiércol de cuy	4	21.30	0.55	19.56	23.04	
Conductividad_PRE	Sin estiércol de cuy	4	0.14	0.00	0.14	0.14	Conductivid ad_sin estiércol = 0.49
	Con estiércol de cuy	4	0.14	0.00	0.14	0.14	
Conductividad_POS	Sin estiércol de cuy	4	0.63	0.11	0.27	0.98	Conductivid ad_con estiércol = 1.3
	Con estiércol de cuy	4	1.44	0.14	0.98	1.89	
Fósforo_PRE	Sin estiércol de cuy	4	5.44	0.00	5.44	5.44	Fósforo_sin estiércol = 10.98
	Con estiércol de cuy	4	5.44	0.00	5.44	5.44	
Fósforo_POS	Sin estiércol de cuy	4	16.42	0.27	15.57	17.28	

	Con estiércol de cuy	4	17.70	0.11	17.35	18.04	Fósforo_con estiércol = 12.26
Potasio_PRE	Sin estiércol de cuy	4	19.30	0.00	19.30	19.30	Potasio_sin estiércol = 12.24
	Con estiércol de cuy	4	19.30	0.00	19.30	19.30	
Potasio_POS	Sin estiércol de cuy	4	31.54	0.43	30.16	32.92	Potasio_con estiércol = 18.1
	Con estiércol de cuy	4	37.43	0.27	36.58	38.27	

Nota: Esta tabla muestra las medidas de resumen de los datos analizados respecto a los parámetros químicos, los datos que resaltados de color azul indican el incremento de las medidas de cada indicador posterior a la intervención del suelo con el vermicompostaje más la adición del estiércol de cuy.

Figura 8

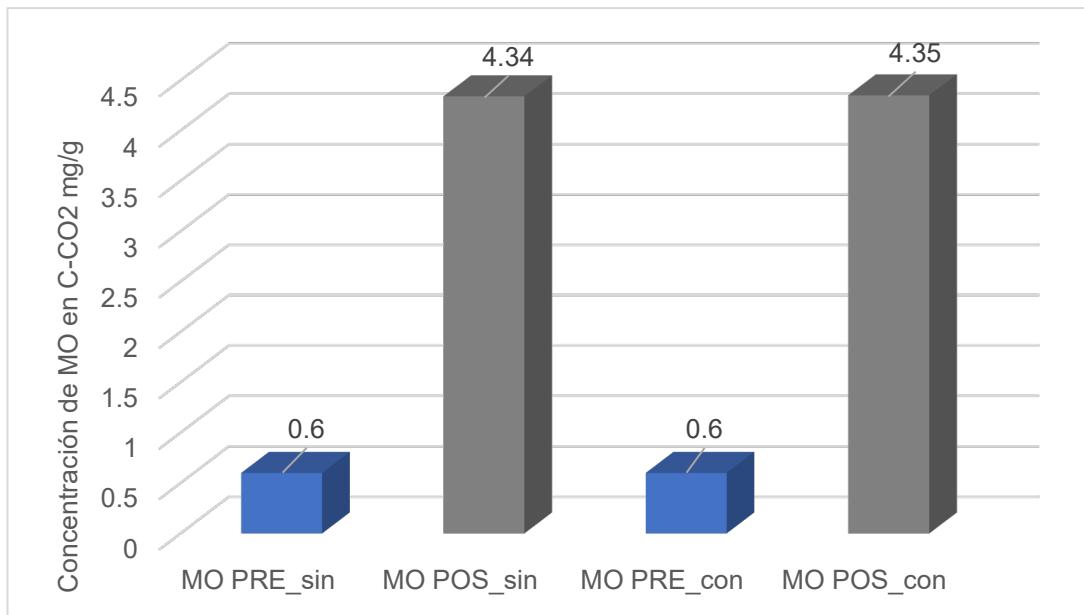
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el pH



Nota: En la figura 8 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto al pH.

Figura 9

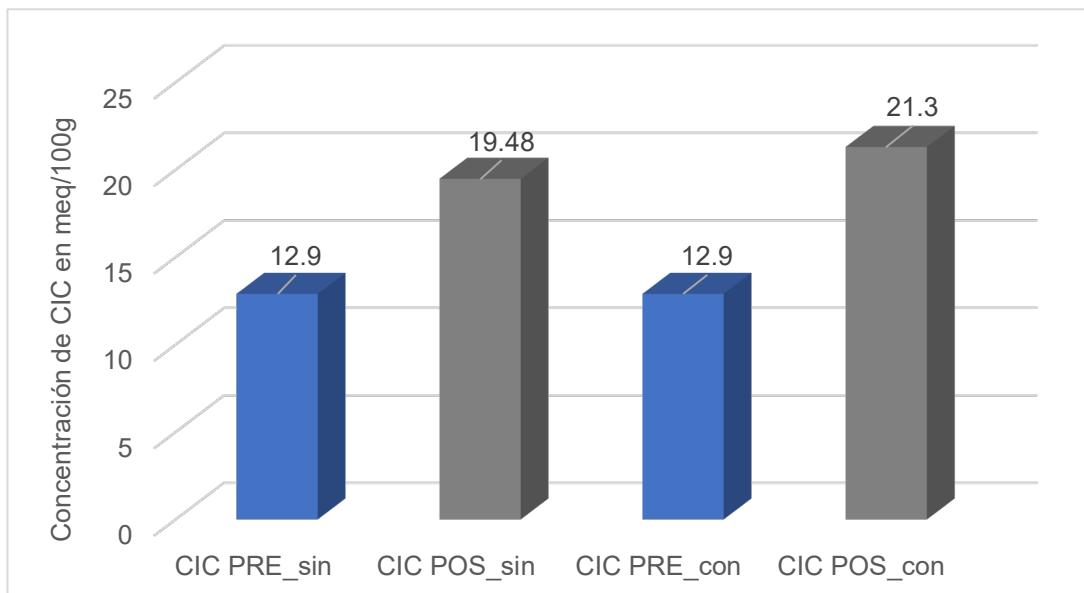
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la materia orgánica



Nota: En la figura 9 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la materia orgánica.

Figura 10

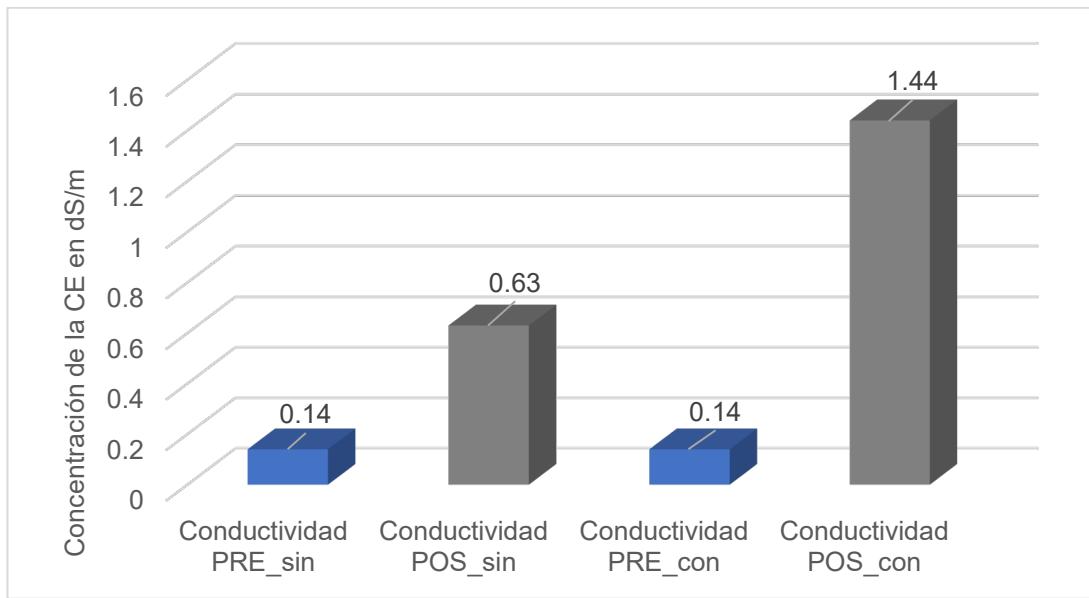
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la capacidad de intercambio catiónico



Nota: En la figura 10 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la capacidad de intercambio catiónico.

Figura 11

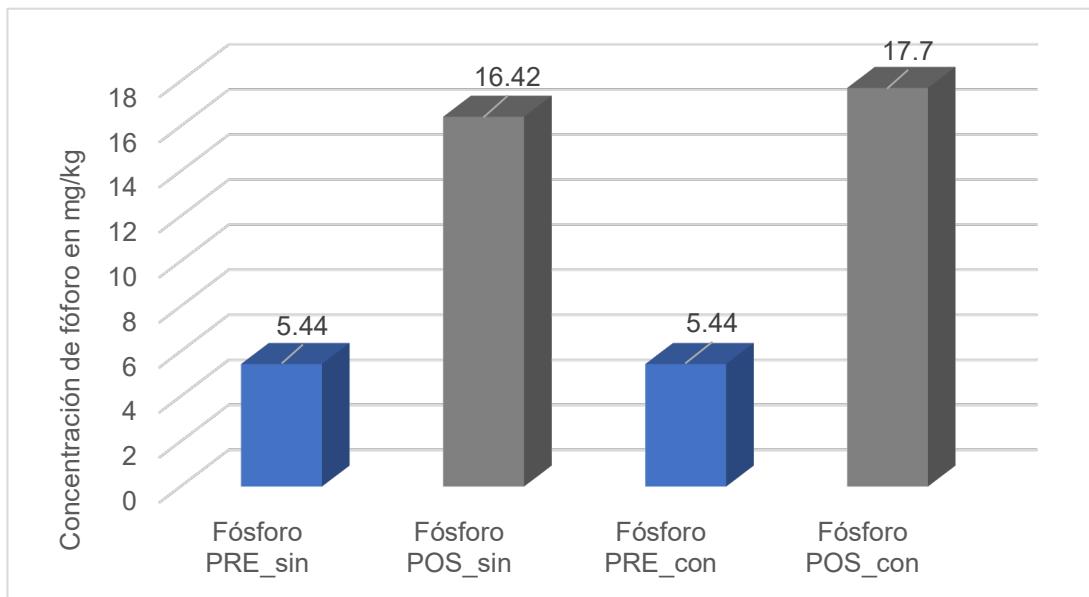
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la conductividad eléctrica



Nota: En la figura 11 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la conductividad eléctrica.

Figura 12

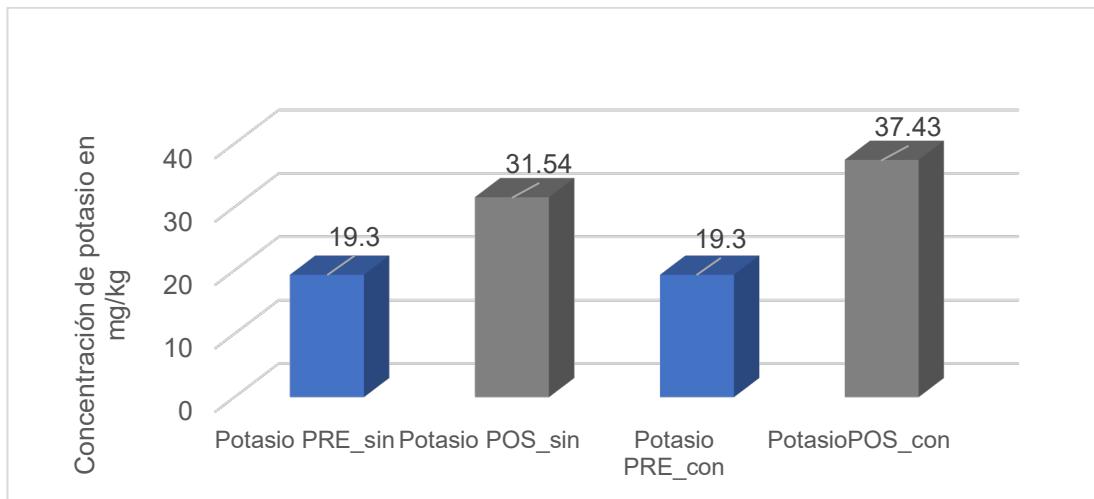
Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el fósforo



Nota: En la figura 12 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la concentración de fósforo en el suelo.

Figura 13

Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en el potasio



Nota: En la figura 12 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin estiércol de cuy respecto a la concentración de potasio en el suelo.

Los resultados indican que, con el estiércol de cuy, en el suelo estudiado, se ha incrementado todos los valores de los indicadores químicos evaluados, tales como: pH (+19.6%), Materia orgánica (+625.0%) CIC (+65.1%), Fósforo (+225.4%) y Potasio (+93.9%).

Tabla 13

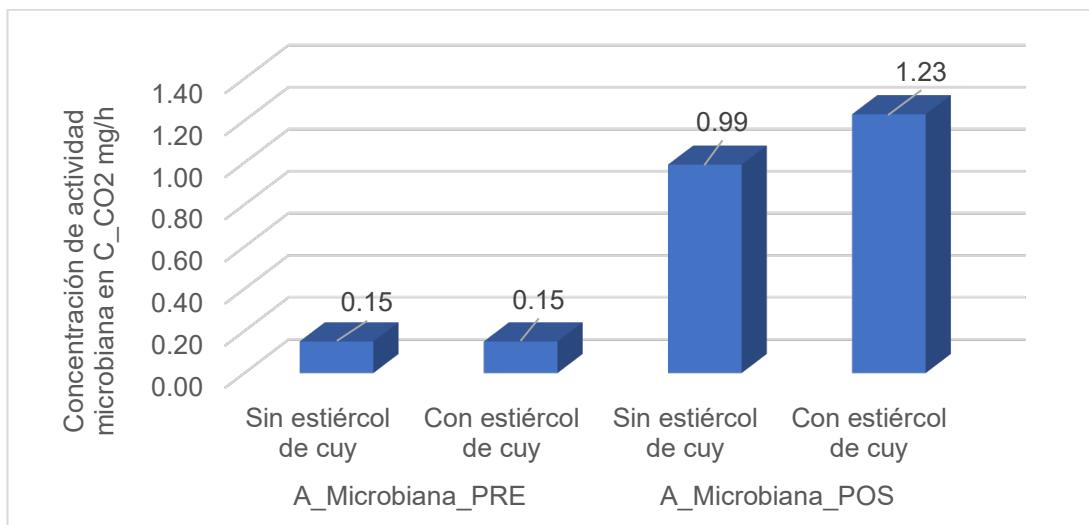
*Parámetros biológicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) con y sin adición de estiércol de cuy, (Ambiental Laboratorios SAC)*

		N	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Variación
					Límite inferior	Límite superior	
A_Microbiana_PRE	Sin estiércol de cuy	4	0.15	0.00	0.15	0.15	A_Microbiana_sin estiércol = 0.84
	Con estiércol de cuy	4	0.15	0.00	0.15	0.15	
A_Microbiana_POS	Sin estiércol de cuy	4	0.99	0.10	0.68	1.30	A_Microbiana_con estiércol = 1.08
	Con estiércol de cuy	4	1.23	0.05	1.07	1.39	

Nota: Esta tabla muestra las medidas de resumen de los datos analizados respecto a los parámetros biológicos, los datos de color azul indica el incremento de las medidas posterior a la intervención del suelo con el vermicompostaje más la adición del estiércol de cuy.

Figura 14

Comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy en la actividad microbiana



Nota: En la figura 14 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy.

En la tabla y en la ilustración se aprecia que, con el estiércol de cuy, la actividad microbiana tuvo un incremento considerable en sus valores, desde 0.15 hasta 1.23 (C-CO₂ mg/g), es decir, un incremento de 469.

Tabla 14

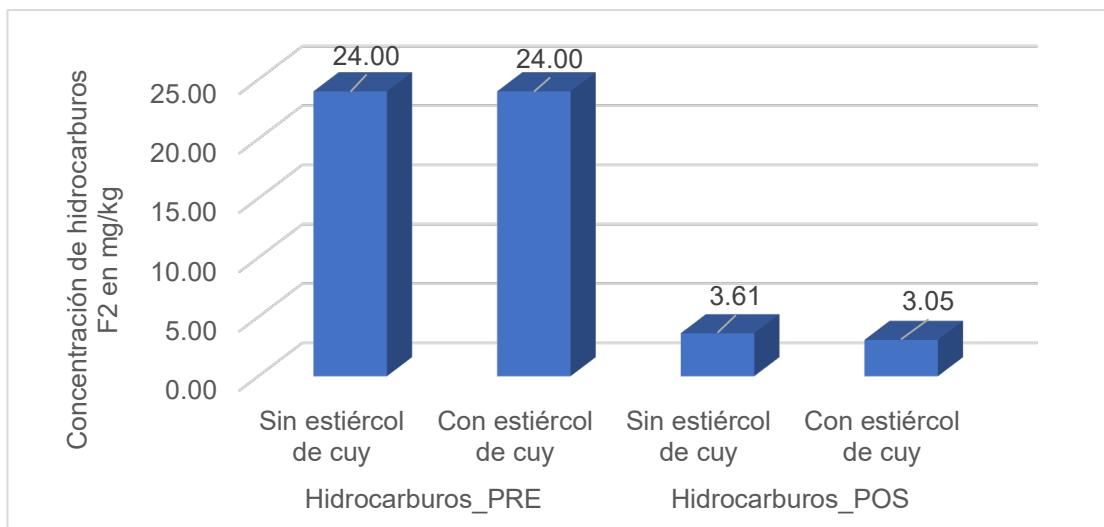
Concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) con y sin adición de estiércol de cuy, (Laboratorio SGS Perú)

		N	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Variación	
				Error estándar	Límite inferior		
Hidrocarburos_PRE	Sin estiércol de cuy	4	24.0000	0.00000	24.0000	24.0000	Hidrocarburos_sin estiércol = -20.386
	Con estiércol de cuy	4	24.0000	0.00000	24.0000	24.0000	
Hidrocarburos_POS	Sin estiércol de cuy	4	3.6140	0.00000	3.6140	3.6140	Hidrocarburos_con estiércol = -20.948
	Con estiércol de cuy	4	3.0520	0.00000	3.0520	3.0520	

Nota: Esta tabla muestra las medidas de resumen de los datos analizados, respecto a la concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo, los datos que se encuentran resaltados de color rojo indican el decremento de las concentraciones de hidrocarburos tipo F2 posterior a la intervención del suelo con el vermicompostaje más la adición del estiércol de cuy

Figura 15

Comparación de los resultados antes y después del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) con y sin adición de estiércol de cuy en la concentración de hidrocarburos tipo F2



Nota: En la figura 15 se observa en el gráfico de barras la comparación de los resultados con y sin el estiércol del cuy respecto a la reducción de hidrocarburos tipo F2 en el suelo.

Con el estiércol de cuy se tuvo un mayor decrecimiento en la concentración de hidrocarburos tipo F2 (-87.3%) al emplear el vermicompostaje con lombriz roja californiana en el suelo contaminado

Tabla 15

Prueba de normalidad de los datos con Shapiro-Wilk

		Shapiro-Wilk		
Grupo		Estadístico	gl	Sig.
Arena_DIF	Sin estiércol de cuy	0.862	4	0.267
	Con estiércol de cuy	0.887	4	0.371
Arcilla_DIF	Sin estiércol de cuy	0.791	4	0.086
	Con estiércol de cuy	0.945	4	0.683
Limo_DIF	Sin estiércol de cuy	0.994	4	0.978
	Con estiércol de cuy	0.918	4	0.526
Densidad_DIF	Sin estiércol de cuy	0.926	4	0.572
	Con estiércol de cuy	0.849	4	0.224
Porosidad_DIF	Sin estiércol de cuy	0.919	4	0.529
	Con estiércol de cuy	0.884	4	0.355
pH_DIF	Sin estiércol de cuy	0.941	4	0.658
	Con estiércol de cuy	0.926	4	0.572
MO_DIF	Sin estiércol de cuy	0.819	4	0.142
	Con estiércol de cuy	0.990	4	0.957

CIC_DIF	Sin estiércol de cuy	0.980	4	0.902
Conductividad_DIF	Con estiércol de cuy	0.902	4	0.441
	Sin estiércol de cuy	0.841	4	0.199
Fósforo_DIF	Con estiércol de cuy	0.950	4	0.717
	Sin estiércol de cuy	0.817	4	0.137
Potasio_DIF	Con estiércol de cuy	0.888	4	0.373
	Sin estiércol de cuy	0.837	4	0.186
A_Microbiana_DIF	Con estiércol de cuy	0.942	4	0.666
	Sin estiércol de cuy	0.852	4	0.231
	Con estiércol de cuy	0.915	4	0.507

Nota: Prueba realizada con el test de Shapiro-Wilk, debido al tamaño de muestra

Los resultados obtenidos en la significancia de la prueba estadística superan al 5% (0.05), que es el valor convencional para las pruebas de normalidad, por lo que concluimos que los datos se aproximan a una distribución normal, por lo que es pertinente el empleo de una prueba estadística paramétrica tal como la t de Student para muestras independientes.

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

El presente estudio plantea la contrastación de la siguiente hipótesis (H_1):

H_1 : La eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) es diferente con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2.

Por otra parte, se tiene la hipótesis nula (H_0), que rechaza dicha afirmación:

H_0 : La eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) es diferente con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2.

El nivel de significancia que se establece es el convencional, es decir, **5%**.

Prueba estadística: t de Student para muestras independientes.

Cálculo del p-valor mediante la prueba estadística.

La prueba estadística permite determinar las diferencias existentes entre los resultados al emplearse y no emplearse el estiércol de cuy

Tabla 16

Prueba de hipótesis con la t de Student para muestras independientes

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas	prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Arena_DIF	Se asumen varianzas iguales	2.762	0.148	-1.514	6	0.181
Arcilla_DIF	Se asumen varianzas iguales	0.235	0.645	3.400	6	0.014
Limo_DIF	Se asumen varianzas iguales	0.000	1.000	4.399	6	0.005
Densidad_DIF	Se asumen varianzas iguales	0.033	0.862	-4.707	6	0.003
Porosidad_DIF	Se asumen varianzas iguales	1.831	0.225	-3.538	6	0.012
pH_DIF	Se asumen varianzas iguales	3.815	0.099	-1.511	6	0.182
MO_DIF	Se asumen varianzas iguales	0.100	0.763	-0.051	6	0.961
CIC_DIF	Se asumen varianzas iguales	2.538	0.162	-2.825	6	0.030
Conductividad_DIF	Se asumen varianzas iguales	0.023	0.885	-4.478	6	0.004
Fósforo_DIF	Se asumen varianzas iguales	2.028	0.204	-4.395	6	0.005
Potasio_DIF	Se asumen varianzas iguales	0.983	0.360	-11.578	6	0.000
A_Microbiana_DIF	Se asumen varianzas iguales	7.673	0.032	-2.177	6	0.072

Nota: Prueba de hipótesis realizada asumiendo varianzas iguales

Los resultados de la contrastación de la hipótesis refieren que, con la incorporación de estiércol de cuy en el suelo contaminado se ha obtenido diferencias en los resultados en los indicadores de la arcilla, limo, densidad, porosidad, CIC, Conductividad, Fósforo y Potasio, esto debido a que se tiene una significancia o p-valor inferior a 5% (0.05). En los indicadores de la arena, pH, Materia orgánica y Actividad microbiana, no se tuvo diferencia significativa entre los grupos estudiados (con y sin la aplicación de estiércol de cuy).

Tras la intervención, se aprecia en el cuadro que sigue a continuación, en el que se comparan los valores obtenidos en la pre y post prueba, respecto al Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo aprobado por el

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, los datos de los indicadores biológicos, químicos y físicos han sido comparados con tablas referenciales, obtenidos de las siguientes referencias bibliográficas; Manual de estudio de suelos - SDepartamento de Agricultura de Estados Unidos, 1993, Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor – Ministerio de Desarrollo Agrario y riego, 2022, Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, 2022 y Fertilidad física de suelo y agricultura orgánica en el trópico, 1995.

Tabla 17

Tabla interpretativa de la eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana con y sin adición de estiércol de cuy en el suelo contaminado con hidrocarburo tipo F2

Parámetros	Indicador	Parámetros						Interpretación	Interpretación	
		del Suelo		Pre test		Post test				
		Agrícola	Valor Recomendado	Rango estiéndido	Sin estiércol	Con estiércol	Sin estiércol	Con estiércol		
Físicos	Arena	40	-	67.2 5	67.2 5	No cumple con el estándar	72.4 0	74.14	No cumple con el estándar	
	Arcilla	20	-	11.3 0	11.3 0	No cumple con el estándar	8.93	8.50	No cumple con el estándar	
	Limo	40	-	21.4 5	21.4 5	No cumple con el estándar	19.4 3	17.37	No cumple con el estándar	
Densidad	-	2.60 - 2.80	2.28	2.28	No cumple	2.43	2.49	No cumple		

									e con el estándar
Poro sidad	-	40 - 55	35.4 5	35.4 5	No cumple con el estándar	45.4 6	46.94	Cumpl e con el estánd ar	
pH	-	6.6 - 7.3	5.91	5.91	No cumple con el estándar	6.97	7.07	Cumpl e con el estánd ar	
MO	-	> 4	0.60	0.60	No cumple con el estándar	4.34	4.35	Cumpl e con el estánd ar	
CIC	-	> 20	12.9 0	12.9 0	No cumple con el estándar	19.4 8	21.30	Cumpl e con el estánd ar con estiérc ol	
Químicos									
C_El éctric a		0 - 2	0.14	0.14	Cumple con el estándar	0.63	1.44	Cumpl e con el estánd ar	
Pota sio	-	100 - 240	19.3 0	19.3 0	No cumple con el estándar	31.5 4	37.43	No cumpl e con el estánd ar	
Fósf oro	-	> 14	5.44	5.44	No cumple	16.4 2	17.70	Cumpl e con el	

										estánd ar
Biológico	A	-	-	0.15	0.15		0.99	1.23		
s	_Micr obian a									
Hidrocar buro	Hidro	-	< 1200	24.0	24.0	Cumple	3.61	3.0520	Cumpl e con el estánd ar	
	carb			000	000	con el		40		
	uro					estándar				
	F2									

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

Con respecto al objetivo general: Comparar la eficacia del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia fétida*) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2. Los resultados indican que con la adición de estiércol de cuy en el tratamiento 2, se redujo los hidrocarburos tipo F2 de 24.0000 mg/kg como dato inicial a 3.0520 mg/kg como dato final, reduciéndose a un porcentaje de -83.7% en la concentración de hidrocarburos tipo F2 en el suelo, a comparación del tratamiento 1 donde se obtuvo un resultado en la reducción de hidrocarburos tipo F2 de 24.0000 mg/kg como dato inicial a 3.6140 mg/kg como dato final; los resultados obtenidos tanto en el tratamiento 1 y 2 quedaron por debajo del estándar establecido por el D.S N° 011-2017-MINAM – Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos.

En la investigación titulado “Nuevos sistemas de tratamientos de suelos contaminados por hidrocarburos” (Peña et al, 2019), la metodología empleada para la remediación o reducción hidrocarburos totales en el suelo, presenta una similitud con mi proyecto de investigación, con la diferencia en que el autor empleo 3 tipos de tratamientos de suelos, en las cuales se encuentra la vermirremediación o vermicompostaje, el proyecto tuvo una duración de 5 semanas (35 días de evaluación). El autor en el proceso vermirremediación del suelo contaminado por hidrocarburos, utilizó las lombrices africanas como agente principal en descomponer la materia orgánica e indirectamente los hidrocarburos totales presentes en el suelo, estas lombrices africanas fueron colocadas en recipientes contenidos con 1kg de tierra contaminada con 5ml de aceite de bruto de fuentes petroleras. Los resultados que tuvo el autor en su proyecto de investigación, evidencia que hubo mayor significancia en la variación del pH a diferencia de los otros parámetros del suelo, haciendo una comparación con mi investigación, los resultados de mayor significancia se dieron en los indicadores del fósforo disponible en suelo, el potasio, la conductividad eléctrica, la capacidad e intercambio catiónico y la textura del suelo (arcilla, arena y limo). En cuanto a la remoción de hidrocarburos

presentes en el suelo el autor obtuvo una reducción de 56% de hidrocarburos de aceite de bruto, sin embargo, en mi proyecto de investigación se evidencia que, con la aplicación del vermicompostaje más la incorporación de estiércol de cuy en el tratamiento 2, se logró obtener un mayor decremento de - 87.3% de hidrocarburos tipo F2 presentes en el suelo, siendo un resultado mayor a la investigación del autor. La diferencia que se encuentra entre mi proyecto de investigación con la de (Peña et al, 2019), primero; mi proyecto consistió en la evaluación de 90 días y el autor 35 días de evaluación, segundo; mi proyecto de investigación empleo la lombriz roja californiana como agente como agente descomponedor a diferencia del autor quien empleo la lombriz africana.

Del mismo modo, en la investigación titulada “Biorremediación con vermicomposta en la contaminación del suelo producido por hidrocarburos” (Torres et al,2021), el autor empleo la vermicomposta para remoción de compuestos de hidrocarburos en el suelo con fecha límite de 120 días, en la vermicomposta se empleó únicamente como sustrato los residuos orgánicos generados en casa. En la investigación se tuvo factores de condición en diferentes porcentajes; la temperatura, la humedad y el ph del suelo. Los resultados obtenidos de las 8 unidades de estudio, se evidenció una mayor significancia en la unidad de estudio 1, en el cual hubo una mayor remoción de hidrocarburos a un porcentaje de 82%, a diferencia de mi proyecto de investigación que tuvo como fecha límite 90 días de intervención al suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2, al emplear el vermicompostaje más la adición de estiércol de cuy se logró decrecer el porcentaje de hidrocarburos tipo F2 a -87.3%, siendo un resultado mayor a los resultados obtenidos por el autor en su proyecto de investigación. La diferencia que podemos encontrar entre el proyecto de investigación del autor y mi proyecto de investigación es que el autor utilizó únicamente residuos orgánicos de casa y en el caso de mi proyecto de investigación se empleó residuos orgánicos de casa más la incorporación de estiércol de cuy, el tiempo no fue un limitante para mi proyecto en obtener mejores resultados al del autor citado.

En mi proyecto de investigación tras la intervención de un suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2 con el vermicompostaje más la

incorporación del estiércol de cuy en el tratamiento 2, se pudo observar un aumento significativo en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, como; arcilla 74.14 %, limo 17.37 %, densidad real 2.49 g/cm³ teniendo un promedio medio en su clasificación, porosidad 46.94 % con clasificación muy bajo, CIC 21.30 meq/100g mejorando su clasificación a un nivel alto, conductividad eléctrica 1.44 dS/m se mantuvo con una clasificación no salino, el porcentaje de fosforo aumento a un 17.70 mg/kg y en el caso del potasio se verifico un incremento de su concentración en el suelo con un resultado de 37.43 mg/kg. Asimismo, en el caso de algunos parámetros químicos, biológicos y físicos en el tratamiento 2 no se tuvo una diferencia significativa con el tratamiento 1, sin embargo, se logró observar en ambos tratamientos una mejoría en los siguientes indicadores: pH 7.07 se mejoró su clasificación de moderadamente ácido a neutro, materia orgánica 4.35 su clasificación a un nivel alto al superar su concentración a un valor > 4, la concentración de actividad microbiana se incrementó a un valor de 1.23 C-CO₂ mg/g y por último el porcentaje de arena aumento a un 74.14 %. En el caso del autor (Espinoza 2021), en su proyecto titulado “Efecto del vermicompost en la biomasa de *Horden vulgare L.* (cebada) cultivado en un suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico- Chilca, 2019, tuvo como propósito identificar el comportamiento del vermicompostaje en las propiedades químicas, físicas y biomasa seca aérea y radicular de un suelo que fue contaminado por compuestos de hidrocarburos. En sus resultados se evidenciaron que con la intervención del vermicompostaje en el suelo contaminado con hidrocarburos se generó ciertas variaciones en algunas propiedades físicas y químicas del suelo tales como: el incremento de la CIC, con un resultado de 47.331 cmol/kg, Fósforo 143.520 mg/kg, Potasio disponible 10.750 mg/kg, sin embargo, con la intervención del vermicompostaje no se logró una variancia significativa en la densidad aparente teniéndose como resultado final 0.234 mg/m³, pH 7.59 con un promedio ligeramente alcalino y la materia orgánica con un porcentaje final de 32.693 % valor superior al resultado inicial. La diferencia de mi proyecto de investigación con el autor citado, es que en mi proyecto de investigación se logró equilibrar algunos indicadores, como es el caso del pH, con una clasificación neutro y el autor con una clasificación ligeramente alcalino, en el

caso del potasio disponible, el autor logró alcanzar un resultado mayor de la concentración de potasio a diferencia de mi proyecto de investigación. La similitud del proyecto se concentra en que ambos, evaluamos el comportamiento del vermicompostaje en las propiedades físicas y químicas en el tiempo límite de 90 días.

Los datos obtenidos en el estudio fueron comparados con las tablas de interpretación de análisis de suelos, los cuales se pueden observar en el anexo 7.

En cuanto a la descripción de los indicadores físicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2, antes y después de la intervención del vermicompostaje con la lombriz roja californiana con y sin la adición del estiércol de cuy. En el análisis mecánico del suelo antes y después de su intervención, se clasifica al suelo en ambos tratamientos de textura arenoso arcilloso limoso, la incorporación de estiércol de cuy en el tratamiento 2 incrementó significativamente la densidad real, clasificándolo en un nivel medio al igual que la porosidad.

Del mismo modo, la descripción de los indicadores químicos del suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2, antes y después de la intervención del vermicompostaje con la lombriz roja californiana con y sin la adición del estiércol de cuy; respecto a los niveles de la CIC, CE, fosforo y potasio disponible, el incremento de estiércol de cuy en el vermicompostaje, permitió obtener mejores resultados que el tratamiento 1 (sin la incorporación del estiércol de cuy), en donde; la CIC obtuvo una clasificación alta al superar concentraciones > 20 cmol/kg, la conductividad eléctrica se mantuvo con la clasificación de no salino y las concentraciones de fosforo y potasio disponible se incrementaron. En cuanto al pH del suelo, con ambos tratamientos se logró obtener un resultado neutro y el porcentaje de materia orgánica en el suelo se incrementó a un nivel alto.

Los resultados obtenidos de los indicadores químicos y físicos del suelo, posterior a la intervención del suelo con el vermicompostaje más la adición del estiércol de cuy, logró incrementar la actividad microbiana y su desarrollo óptimo en el suelo.

Según el estándar de calidad ambiental (ECA) para suelo, aprobado por el D.S. N°011-2017-MINAM, en tratamiento 2 (vermicompostaje + estiércol de cuy), tuvo mayor decremento en la reducción de hidrocarburos tipo F2.

CONCLUSIONES

En la investigación se realizó un análisis comparativo de la eficacia del vermicompostaje con y sin la adición del estiércol de cuy, con los resultados obtenidos se concluye que existe mayor eficacia en remediar un suelo contaminado con hidrocarburos tipo F2, aplicando el vermicompostaje más la adición del estiércol de cuy.

Se concluye que, con la incorporación de estiércol de cuy en el tratamiento 2; respecto a las propiedades físicas, se logró mejorar a un rango medio la densidad real (DR) y la porosidad, se incrementó los valores de la arena y la disminución de los valores de la arcilla y el limo.

Se concluye que con ninguno de los dos tratamientos no se ha logrado mejorar a un nivel estándar la concentración de potasio (K) en el suelo, sin embargo, en ambos tratamientos se llegó a verificar un aumento considerable del indicador mencionado. Asimismo, se concluye que con la incorporación de estiércol de cuy en el tratamiento 2 resultó ser más eficaz en los indicadores de materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) ubicándolos en un rango alto según su clasificación, el pH en ambos tratamientos se ubicó en un rango neutro y la conductividad eléctrica (CE) antes y después de la intervención del suelo se mantuvo en un rango de no salino.

Se concluye que con la incorporación del estiércol de cuy en el tratamiento 2 hubo mayor eficacia en el incremento de la actividad microbiana (AM) en el suelo intervenido.

Se concluye que, con la incorporación del estiércol de cuy en el tratamiento 2 se logró decrecer a un mayor porcentaje la concentración de compuestos de hidrocarburos tipo F2 en el suelo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para las próximas investigaciones emplear el vermicompostaje como técnica de remediación de manera *in situ* en dimensiones de grande escala de suelos contaminados por hidrocarburos.

Se recomienda emplear el vermicompostaje con estiércol de cuy como técnica de remediación, incorporando microorganismos benéficos con el objetivo de acelerar el proceso de descomposición de residuos orgánicos.

Se recomienda el uso del vermicompostaje con estiércol de cuy como técnica remediación para la reducción de componentes de hidrocarburos tipo F1, F2, y F3 en un solo tipo de tratamiento.

Se recomienda para futuras investigaciones tomar como factor principal el tiempo de reducción de compuestos de hidrocarburos en el suelo, empleando el vermicompostaje con estiércol de cuy como técnica de remediación.

Se recomienda para futuras investigaciones evaluar como factor principal los factores externos (suministro de agua, exposición a la luz solar, humedad, suministro de residuos orgánicos, tiempo de remoción del material en evaluación) que podrían intervenir en los indicadores biológicos del suelo.

Se recomienda al Gobierno Local masificar el empleo del vermicompostaje con estiércol de cuy como alternativa de remediación de suelos afectados con hidrocarburos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrades, M y Martínez. E. (2001). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. España. Tercera Edición. Universidad la Rioja. Disponible en: [https://dialnet-UniversidadLaRioja.es/dienet/dienet/267902%20\(1\).pdf](https://dialnet-UniversidadLaRioja.es/dienet/dienet/267902%20(1).pdf).
- Cáceres, et al. (2019). Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad de Huánuco. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/REVUJCM_6a38b5daaa538046436e11c0c57edb9c.
- Cairo P. (1995). La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico. UNA - Managua, Nicaragua. 228p.
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2018). Lombrices de tierra vs Suelos Contaminados. Disponible en: <https://www.conicet.gov.ar/lombrices-de-tierra-vs-contaminantes-en-suelos/>.
- Cuevas, M. et al. (2012). Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos. Primera Edición. México. Disponible en: Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidr... - Google Books.
- Curasi, N. y Luque, M. (2019). Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz. Título Profesional. Universidad Peruana Unión. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3079/Nancy_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Decreto Supremo N° 046-93-EM- (1993). Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos. Disponible en: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per62160.pdf>.

- Domínguez, J & Pérez, D. (2011). Desarrollo y nuevas perspectivas del vermicompostaje. Disponible en: <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2011/12/Desarrollo-y-nuevas-perspectivas-del-Vermicompostaje.pdf>.
- Espinoza E. (2021). Efecto del vermicompost en la biomasa de *Hordeum vulgare* L. (cebada) cultivado en un suelo contaminado con hidrocarburos de un taller mecánico – Chilca. Título Profesional. Universidad Continental. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8764>.
- Espíritu, W. y Guerreros, L. (2022). Efecto del vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus* L.), Daniel A. Carrión, Pasco – 2021. Título Profesional. Universidad Continental. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11473>.
- Estándar de Calidad Ambiental para Suelo N° 011-2017-MINAM. (2017). Diario Oficial el Peruano, 2 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0#:~:text=Los%20ECA%20para%20Suelo%20constituyen,productivas%2C%20extractivas%20y%20de%20servicios>.
- García, M. (2005). Cría de la lombriz de tierra: una alternativa ecológica y rentable. San pablo. Colombia-Bogotá. Disponible en: https://www.google.com.pe/books/edition/MANUAL_CR%C3%8DA_D_E_LA_LOMBRIZ_DE_TIERRA/uHIB89_Y_P0C?hl=es-419&gbpv=1&dq=lombriz+de+tierra&printsec=frontcover.
- GARDINER, M. (1978). Biología de los Invertebrados. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. Pág. 905.
- Garita, N. (2015). Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost. Universidad Nacional de Costa Rica, Disponible en:

<https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Garrido, S. (1994). Interpretación de suelos. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

Ghisolfi, E. (2011). Contenidos de Materia Orgánica-relación con la fertilidad del suelo en siembra directa. Eduvim. Disponible en: https://www.google.com.pe/books/edition/Contenidos_de_materia_org%C3%A1nica/pjIXZCMxvawC?hl=es-419&gbpv=1&dq=que+es+la+materia+organica+del+suelo&printsec=frontcover.

Hernández, J. (2019). Efectos de los hidrocarburos en las propiedades del suelo. Universidad Iberoamericana Puebla. Disponible en: <https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/4385/Jer%C3%B3nimo%20Hern%C3%A1ndez%20Chavarr%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Hernandez, T. et al. (2014). Residuos orgánicos en la restauración/rehabilitación de suelos degradados y contaminados. Ediciones Mundi-Prensa. Disponible en: https://www.google.com.pe/books/edition/Residuos_org%C3%A1nicos_en_la_restauraci%C3%B3n/_BdNBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=parametros+fisico+quimicos+y+biologicos+del+suelo&pg=PA20&printsec=frontcover.

Huata, J. (2019). Determinación de la relación cantidad de precompost utilizada como alimento de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y cantidad de humus de lombriz obtenido en el distrito provincia y región de Huánuco octubre-diciembre de 2017. Universidad de Huánuco. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDHR_d6840650411a42024850fbad44515244

- Jaramillo, G y Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Colombia. Universidad de Antioquia, Posgrado de Ambiental. Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>.
- Jiménez, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Mundi-Prensa. España. Disponible en: Introducción a la contaminación de suelos - JIMÉNEZ BALLESTA, RAIMUNDO - Google Libros.
- Julca, A. et al. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009.
- León, A. & Zuñiga, M. (2020). La sombra del petróleo Informe de los derrames petroleros en la Amazonía peruana entre el 2000 y el 2019. Primera Edición. Lima, Perú. Disponible en: https://oi-files-cng-prod.s3.amazonaws.com/peru.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/La-sombra-del-petroleo-esp.pdf.
- León, G. (2011), Edafología I, Primera Edición. Colombia. Disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- López, P. & Fuentes, J. (2015). Microbiología del petróleo. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA494500905&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00167975&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E6f3192c6#:~:text=La%20actual%20investigaci%C3%B3n%20aplicada%20en,la%20desulfuraci%C3%B3n%2C%20y%20la%20desnitrogenaci%C3%B3n>.
- Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados. (2005). Fundación Chile. Disponible en: https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf.

- Martínez, D. (2018). Manual de Vermicompostaje como reciclar nuestros residuos orgánicos. Montevideo – Uruguay. Montevideo. Pg 36. Disponible en: <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>
- Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2009). Manual de compostaje. Amigos de la tierra. Gobierno de España. Recuperado en: https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf.
- Meza, P. (2023). Más de 470 derrames petroleros afectaron la amazonía peruana entre los años 2000 y 2019. EarthRights International. Disponible en: https://earthrights.org/media_release/470-derrames-petroleros-amazonia-peruana-2000-2019/#:~:text=Share-,M%C3%A1s%20de%20470%20derrames%20petroleros%20afectaron%20la%20Amazon%C3%ADa%20peruana%20entre,los%20ductos%20y%20fallas%20operativas.
- Mikolic C, et al. (2018). Manual de Vermicompostaje: cómo reciclar nuestros residuos orgánicos. Montevideo Ambiente. Disponible en: <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2009). Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor. Lima, Perú: s.n.
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). Guía Ambiental para la Restauración de Suelos en el Instalaciones y Refinación y Producción Petrolera. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/GUIA%20HIDROCARBUROS%20XV.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). Guía para el Manejo de Desechos de las Refinerías de Petróleo. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/regionales/Publicaciones/GUIA%20HIDROCARBUROS%20VII.pdf>.

- Ministerio del Ambiente. (2014). Guía para el Muestreo de Suelos. Perú. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12104/07_guia-para-el-muestreo-de-suelos-final.pdf.
- Ministerio del Ambiente. (2014). Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-PDS-SUELO_MINAM2.pdf.
- Ministerio del Ambiente.D.S.012. (2017). Criterios para la gestión de Sitios Contaminados. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_012-2017-minam.pdf.
- Ministerio del Ambiente (2017). Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/011-2017-minam_0.pdf.
- Nobili, S. (2022). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando materiales orgánicos locales y lombrices de tierra. Universidad Nacional del Litoral. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/6553/POSNAT1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Núñez, J. (1981). Fundamentos de edafología. EUNED. Pg.13. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=dpAcHUt7xxoC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Ocampo, J. et al. (2002). El compostaje como método de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Título Profesional. Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4466/ocampo-robles-wu.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). 2023. Propiedades físicas del suelo. Disponible en:

<https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=Densidad%20del%20Suelo&text=Se%20refiere%20al%20peso%20por,est%C3%A1%20alrededor%20de%202%2C65.>

Orjuela B. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. Vol. 18. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-86932017000100007.

Pantoja, B. (2020). Efecto de microorganismos eficientes y restos vegetales en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.) en Huacrachuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Disponible en: http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1868/TS_BPM_2021_R2.pdf?sequence=10&isAllowed=y.

Peña, S. et al. (2019). Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341699843_Nuevos_sistemas_de_tratamientos_de_suelo_contaminado_por_hidrocarburos.

Personal de la División de Estudio de Suelos. (1993). Manual de estudio de suelos. Servicio de Conservación de Suelos. Departamento de Agricultura de EE. UU. Manual 18.

Porta. J, et al. (2019). Edafología: uso y protección de suelos. España. Cuarta Edición. Mundi-Pensa. Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=SZ3BDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=textura+del+suelo+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi97tuP_KjuAhUElrkGHU6iANw4ChDoATA GegQIBxAC#v=onepage&q&f=false.

Pulido, V. et al. (2022). Percepción de la población sobre el derrame de petróleo en la Refinería la Pampilla en las costas del litoral marino, Perú. Disponible en: <file:///C:/Users/ABIGAIL/Downloads/Dialnet-PublicPerceptionOfTheOilSpillAtTheLaPampillaRefine-8555902.pdf>.

- Ramírez, C. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Produmedios. Colombia: Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>.
- Rodriguez. N, McLaughlin, M y Pennock.D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. FAO. Disponible en. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>.
- Romaniuk R, et al. (2019) Suelos contaminados con hidrocarburos: un caso de estudio. Instituto de suelos. Disponible en: https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/4580/INTA_CIRN_InstitutodeSuelos_Romaniuk_Suelos_contaminados_con_hidrocarburos_un.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Salva, S. (2012). La reparación del daño. Aspecto técnico y Remediación y restauración. Disponible en: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/1/141/9.pdf>.
- Sepúlveda, T. & Velasco, J. (2022). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. SEMARNAT. Disponible en: https://www.google.com.pe/books/edition/Tecnolog%C3%ADas_de_remediaci%C3%B3n_para_suelos/mj9rVEScHCcC?hl=es-419&gbpv=1&dq=tecnologias+de+remediacion+para+suelos+contaminadas&printsec=frontcover.
- Somarriba, R & Guzmán, F. (2004). Guía de Lombricultura. Universidad Nacional Agraria. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.
- Somarriba, R y Guzmán, F. (2004). Guía de Lombricultura. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. De Vecchi. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.
- Supo, J., & Zacarías, V. H. (2020). Metodología de la investigación científica: Para las Ciencias de la Salud y las Ciencias Sociales (3ra Edición ed.). Arequipa, Perú: BIOESTADISTICO EEDU EIRL.
- Torres, et al. (2021). Biorremediación con vermicomposta en la contaminación del suelo producida por hidrocarburos. Universidad Autónoma

Metropolitana. México. Disponible en:
http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/9287/Biorremediacion_con_vermicomposta_2021.pdf?sequence=1.

Velásquez, J. (2016). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitoremedición como estrategia biotecnológica de recuperación. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Especialista en Biotecnología agraria. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6285716.pdf>.

Villegas V, et al. (2017). Vermicompostaje: avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Disponible en:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n2/2007-0934-remexca-8-02-393-en.pdf>.

Zapata, I. et al. (2016). Efectos de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia fetida*), sobre el crecimiento de microrganismos en suelos contaminados con hidrocarburos de Segovia, Antioquia. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia: Disponible en:
<https://www.redalyc.org/journal/911/91149521005/html/#:~:text=La%20lombriz%20de%20tierra%20mejora,25%2C26%2C27%5D>.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Samaniego Melendez, S. (2024). *Análisis comparativo del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (eisenia fetida) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2 (hordeum vulgare L.) [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.* <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

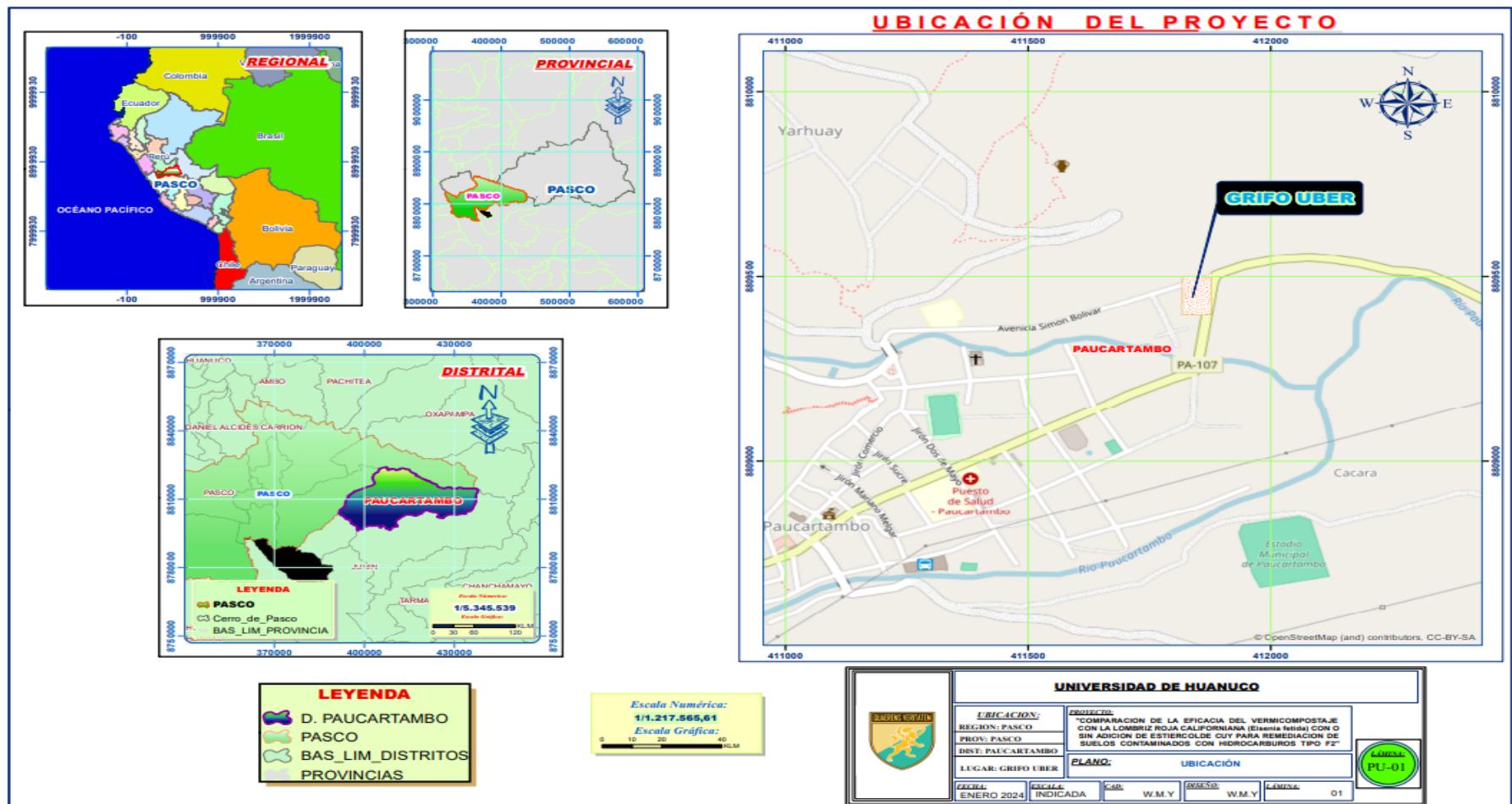
MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Análisis comparativo del vermicompostaje con la lombriz californiana (*Eisenia fetida*) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2”

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO PRINCIPAL	HIPOTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	INDICADORES
¿Cuál es la eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos?	Comparar la eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	H_1 : La eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) es diferente con y sin adición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos H_0 : La eficacia del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>Eisenia fetida</i>) es diferente con y sin condición de estiércol de cuy para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos tipo F2.	X= Vermicompostaje Y= Remediación de suelos	físicos - Textura - Porosidad - Densidad Químicos - Materia orgánica (C/N) - Conductividad eléctrica (CIC) - pH - Fósforo y Potasio disponible (K, P) - Capacidad de intercambio catiónico (CIC) Biológicas Actividad microbiana Hidrocarburos Concentración de hidrocarburos
1. ¿Cuáles son los parámetros físicos del suelo contaminado con hidrocarburos antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy? 2. ¿Cuáles son los parámetros químicos del suelo contaminado con hidrocarburos antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy? 3. ¿Cuáles son los parámetros biológicos del suelo contaminado con hidrocarburos antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy? 4. ¿Cuál será la concentración de hidrocarburos en el suelo antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>Eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy?	1. Describir los parámetros físicos del suelo contaminado con hidrocarburos antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy. 2. Describir los parámetros químicos del suelo contaminado con hidrocarburos antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy. 3. Describir los parámetros biológicos del suelo contaminado con hidrocarburos antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy. 4. Evaluar la concentración de hidrocarburos en el suelo antes y después del vermicompostaje con la lombriz californiana (<i>Eisenia fetida</i>) con y sin adición de estiércol de cuy.			

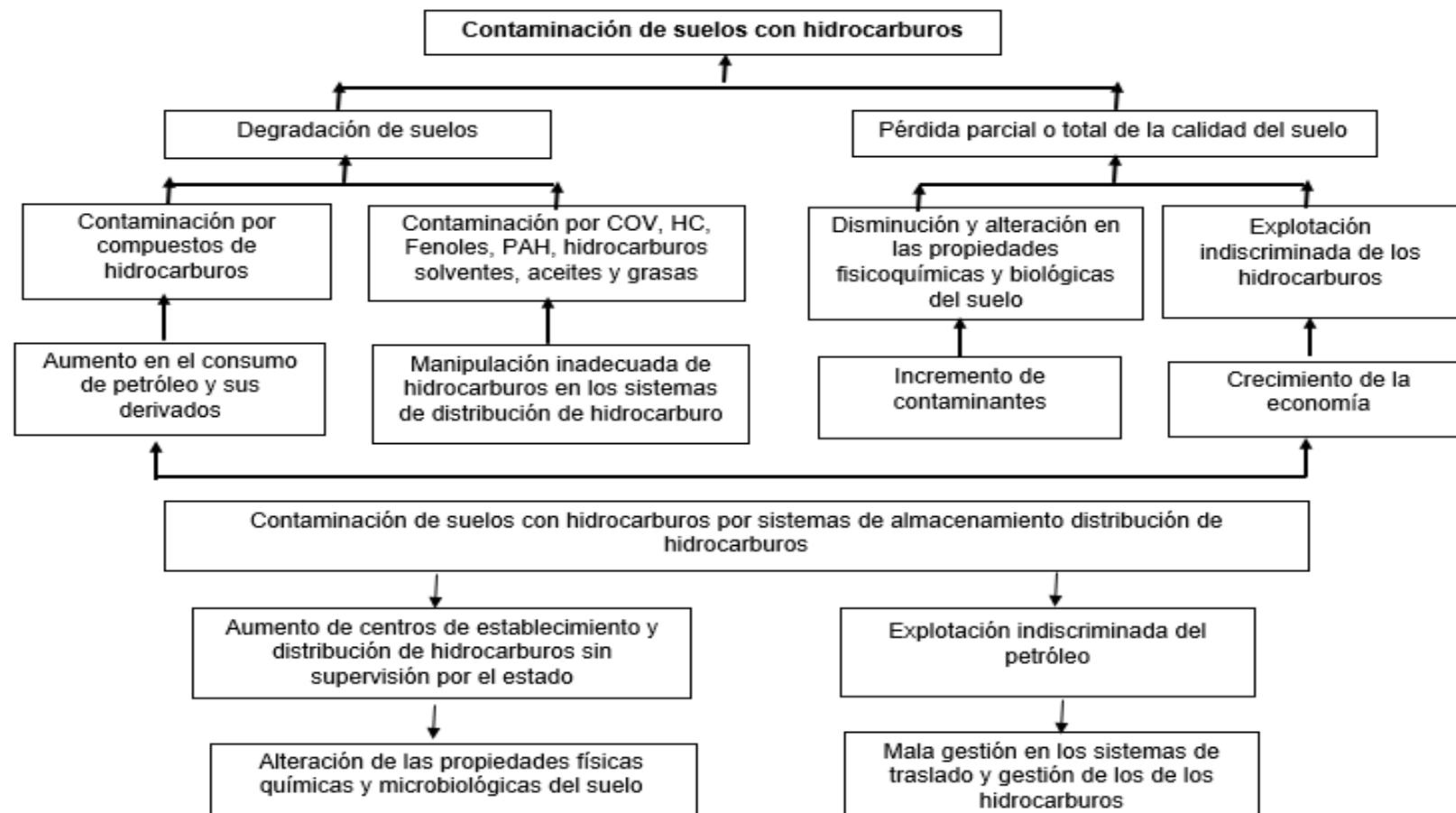
ANEXO 2

MAPA DE UBICACIÓN



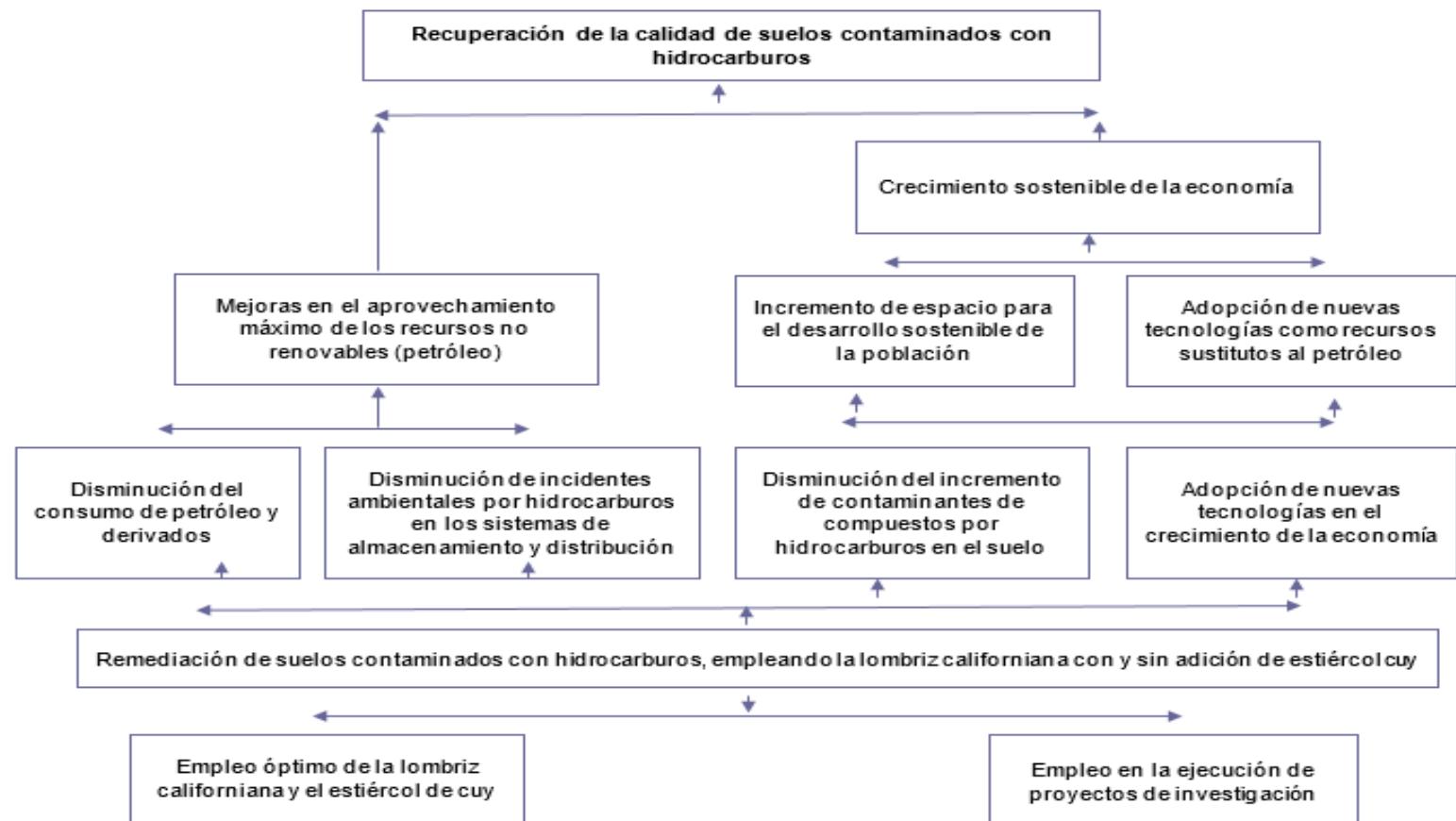
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

Pre-test de los parámetros químicos, biológicos y físicos.



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-048

NOMBRE DEL CLIENTE	: ABIGAIL SAMANIEGO MELENDEZ.
DOMICILIO LEGAL	: NO DECLARA.
SOLICITADO POR	: ABIGAIL SAMANIEGO MELENDEZ.
REFERENCIA DEL CLIENTE	: ANALISIS DE SUELO PARA PROYECTO DE TESIS.
PROCEDENCIA	: CP. SANTA ISABEL.
ORDEN DE SERVICIO N°	: AJOS - 2023 - 079.
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01 BOLSA HERMÉTICA DE 1 Kg.
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 07/08/2023.
PERÍODO DE ENSAYO	: 08/08/2023 – 15/08/2023.
TOMA DE MUESTRA	: POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
GU-001	M-23132	—	—	04/08/2023	14:45 pm	Suelo

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Textura	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-09.	Determinación de la textura del suelo.
Densidad Real	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-04.	Densidad real.
pH	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-02.	pH, Medido en agua.
Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-07.	Contenido de materia orgánica
Capacidad de Intercambio Catónico	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-12.	Capacidad de intercambio catónico y cationes intercambiables en suelos neutros
Conductividad Eléctrica	De NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la salinidad del suelo- AS-18.	Medición de la conductividad eléctrica.



LAB-FR-004 VERSIÓN 02/F.E.:03/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Las muestras serán conservadas en un período máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 2

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chenchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 955200691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-048

METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Porosidad	Universidad Nacional Autónoma de México Laboratorio de Física de Suelos Manual de Procedimientos Analíticos, Item 4.3. 2010	Porosidad del suelo y términos relacionados
Actividad Microbiana	Universidad Nacional de Santiago del Estero, laboratorio de Edafología Forestal Métodos de Análisis de Suelos Item 8.2. 2005	Respiración edafológica, Método de incubación aeróbica con titulación del CO ₂ liberado
Fosforo	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la salinidad del suelo- AS-10.	Fósforo extraíble en suelos de neutros a alcalinos.
Potasio	Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego, Item 4.9. 1er Ed.2017	Determinación de Potasio en el suelo

III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
GU-001	Arena	67.25	%
	Textura	11.30	%
	Limo	21.45	%
	Densidad Real	2.28	g/cm ³
	pH	5.91	Unidad de pH
	Materia Orgánica	0.6	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	12.90	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	0.14	dS/m
	Porosidad	35.45	%
	Actividad Microbiana	0.15	C-CO ₂ mg/g
	Fosforo	5.44	mg/Kg
	Potasio	19.3	mg/Kg



AMBENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Mg. Ing. B. Llerena Valverde
LABORATORIO
(SPN-HTSV2)

Huancayo, 21 de Agosto del 2023

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la leyes públicas. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un período máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 2 de 2

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C		CÓDIGO: LAB-FR-001							
CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO – AGUA Y SUELO		VERSIÓN: 01							
		F.E: 12/2020							
Cliente: Abogado Santiago Nalondo S/N 363 Of 3 Nº de cotización (1) - A/Cor-2023-234-1/ e-mail: ab.santo.077@gmail.com		Nº de informe de ensayo (1) MTE-2023-094							
Propiedad: Proyecto de teles									
Tel.: Apóyate		PARAMETROS							
CÓDIGO DE LABORATORIO:	PUNTO DE MONITOREO CODIGO DEL CLIENTE	FECHA (d-m-a)	HORA (24-00)	UBICACIÓN UTM (WGS 84)	MATRIZ #	Nº DE FRASCOS POR PUNTO DE MUESTREO	VOLUMEN TOTAL p v	OBSERVACIONES	
								PH2&	PH4&
Nº DE MUESTRA	MUESTREO							PH2&	PH4&
								OTROS	AMBIENTE.....
1	H-3133	60-001	01/03/23	44-43	-10.722355 -35.439763	1	1 kg		
TOTAL									
(1) Campo existente para el manejo. (2) Parámetros según requerimiento del cliente. (3) Tomar las orientaciones UTM utilizando un GPS. (4) AP(Agua Plana); AP(Agua Residual); AT(Agua Subterránea); AN(Agua de Mar); AL(Agua Plana); EF(Efectos); GE(Sedimento); BW(Banco Valiente); DP(Dulcetodo); BC(Banco de Caren).									
DATOS NOMBRES Y APELLIDOS: Abogado Santiago Nalondo FIRMA:		MUESTREADO POR ANALISTA DE CAMPO: RESPONSABLE O SUPERVISOR EN CAMPO: Abogado Santiago Nalondo		LANCHERO: RECEPCION DE MAESTRAS					
OBSERVACIONES:		Monitorado: <input checked="" type="checkbox"/> Número de laboratorios: Cliente: <input checked="" type="checkbox"/>		MUESTRAS RECIBIDAS INTACTAS SI NO TIPO DE RECIPIENTE ADECUADO SI NO MAESTRAS DENTRO DEL PERÍODO DE ANÁLISIS SI NO CONSERVACIÓN DE MAESTRAS FBOI: NO					

Pre-test de concentración de hidrocarburo tipo F2.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO
MA2326730 Rev. 0**

SAMANIEGO MELENDEZ STEFANNY ABIGAIL

DISTRITO DE PAUCARTAMBO - PASCO - CERRO DE PASCO - PAUCARTAMBO

ENV / LB-352742-002

PROCEDENCIA : CP SANTA ISABEL - PAUCARTAMBO - PASCO

Fecha de Recepción SGS : 05-08-2023

Fecha de Ejecución : Del 05-08-2023 al 16-08-2023

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
GU-001

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 16/08/2023

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2326730 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA						GU-001
PROFUNDIDAD (m)						
FECHA DE MUESTREO						04/08/2023
HORA DE MUESTREO						14:45:00
MATRIZ						SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO						SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)						
Fracción de Hidrocarburos F2 (>C10-C28)(2)	ES_EPA8015_TPH	mg/kg	5	15	24	

Página 2 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2326730 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Percentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Percentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery
FracCIÓN de Hidrocarburos F2 (>C10-C20)	mg/kg	15	<15	0%	97 - 98%	115%



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N°LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2326730 Rev. 0

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA8015_TPH	Callao	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	EPA Method 8015C. Rev. 3 Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography, 2007



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2326730 Rev. 0

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca (2).

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.com.pe/ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Página 5 de 5

Post-test de los parámetros biológicos, químicos y físico.



**LABORATORIO DE ENSAYOS
“AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.”**

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-113

NOMBRE DEL CLIENTE	STEFANNY ABIGAIL SAMANIEGO MELENDEZ.
DOMICILIO LEGAL	NO DECLARA.
SOLICITADO POR	STEFANNY ABIGAIL SAMANIEGO MELENDEZ.
REFERENCIA DEL CLIENTE	ANÁLISIS DE SUELDO PARA PROYECTO DE TESIS.
PROCEDENCIA	CP. SANTA ISABEL.
ORDEN DE SERVICIO N°	AJOS - 2023 - 169.
CANTIDAD DE MUESTRAS	08 BOLSA HERMÉTICA DE 1 Kg
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	20/11/2023.
PERÍODO DE ENSAYO	21/11/2023 - 04/12/2023.
TOMA DE MUESTRA	POR EL CLIENTE.
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas	Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte		
GU-002	M-23279	-----	-----	18/11/2023	18:17 pm
GU-003	M-23280	-----	-----	18/11/2023	18:24 pm
GU-004	M-23281	-----	-----	18/11/2023	18:27 pm
GU-005	M-23282	-----	-----	18/11/2023	18:29 pm
GU-006	M-23283	-----	-----	18/11/2023	18:32 pm
GU-007	M-23284	-----	-----	18/11/2023	18:35 pm
GU-008	M-23285	-----	-----	18/11/2023	18:38 pm
GU-009	M-23286	-----	-----	18/11/2023	18:41 pm

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Textura	NOM021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-09.	Determinación de la textura del suelo.
Densidad Real	NOM021-RECNAT-2000 NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-04.	Densidad real.
pH	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-02.	pH, Medido en agua.
Materia Orgánica	NOM021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo- AS-07.	Contenido de materia orgánica



LAB FRIGA VERBON 007 F-01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Esté prohibida la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 6



LABORATORIO DE ENSAYOS “AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C”

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-113

METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Capacidad de Intercambio Catiónico	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la fertilidad del suelo-AS-12.	Capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables en suelos neutros
Conductividad Eléctrica	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la salinidad del suelo-AS-18.	Medición de la conductividad eléctrica.
Porosidad	Universidad Nacional Autónoma de México Laboratorio de Física de Suelos Manual de Procedimientos Analíticos, Item 4.3. 2010	Porosidad del suelo y términos relacionados
Actividad Microbiana	Universidad Nacional de Santiago del Estero, laboratorio de Edafología Forestal Métodos de Análisis de Suelos Item 8.2. 2005	Respiración edafológica, Método de incubación aeróbica con titulación del CO ₂ liberado
Fosforo	NOM-021-RECNAT-2000-NOM Determinación de la salinidad del suelo-AS-10.	Fósforo extraíble en suelos de neutros a alcalinos.
Potasio	Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Item 4.9. 1er Ed.2017	Determinación de Potasio en el suelo



AMBENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Freg. Inra H. Laureto Colarzo
CIE DE LABORATORIO
7-01-11807



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-113

III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
GU-002	Arena	70.53	%
	Textura	9.20	%
	Limo	20.27	%
	Densidad Real	2.43	g/cm³
	pH	6.82	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.24	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	18.60	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	0.53	dS/m
	Porosidad	46.31	%
	Actividad Microbiana	0.82	C-CO ₂ mg/g
GU-003	Fosforo	15.64	mg/Kg
	Potasio	30.83	mg/Kg
	Arena	71.59	%
	Textura	8.80	%
	Limo	19.61	%
	Densidad Real	2.45	g/cm³
	pH	7.08	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.40	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	19.30	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	0.45	dS/m



LAB-PR-004 VERSIÓN 0.01 F-03/2022

AMBIVENTAL LABORATORIOS S.A.C.
M. Iván H. Llorente Coloma
JEFETE DE LABORATORIO
CIP N° 175802

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la leyes públicas. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Las muestras serán conservadas en un período máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 3 de 6

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 - Chica - Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N - Barrio Chanchas - Huayucachi
Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYOS “AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C”

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-113

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
GU-004	Arena	71.94	%
	Textura	Arcilla	8.90
		Limo	19.16
	Densidad Real	2.40	g/cm ³
	pH	6.95	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.35	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	19.80	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	0.58	dS/m
	Porosidad	46.78	%
	Actividad Microbiana	1.10	C-CO ₂ mg/g
GU-005	Fosforo	16.81	mg/Kg
	Potasio	31.20	mg/Kg
	Arena	72.54	%
	Textura	Arcilla	8.80
		Limo	18.66
	Densidad Real	2.43	g/cm ³
	pH	7.04	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.40	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	20.20	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	0.95	dS/m



AMBENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Ing. Juan H. Izquierdo Coloma
JEFE DE LABORATORIO
CPN IP 119812

LAB-1-R-DIA MENSUAL/02/F.E. 01/2023

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 4 de 6



LABORATORIO DE ENSAYOS “AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C”

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-113

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
GU-006	Arena	74.72	%
	Textura	8.50	%
	Limo	16.78	%
	Densidad Real	2.48	g/cm³
	pH	7.01	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.42	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	21.80	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	1.45	dS/m
	Porosidad	46.91	%
	Actividad Microbiana	1.20	C-CO₂ mg/g
GU-007	Fosforo	17.80	mg/Kg
	Potasio	37.40	mg/Kg
	Arena	74.10	%
	Textura	8.30	%
	Limo	17.60	%
	Densidad Real	2.50	g/cm³
	pH	7.11	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.34	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	22.60	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	1.08	dS/m



LAB-FR04-VAR-02/F.E.: 01/01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 5 de 6

AMBENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Dgo. Prof. H. Llerena Gómez
JEFE DE LABORATORIO
CPM-07802



**LABORATORIO DE ENSAYOS
“AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.”**

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-113

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
GU-008	Arena	74.58	%
	Textura	8.50	%
	Limo	16.92	%
	Densidad Real	2.60	g/cm ³
	pH	7.07	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.37	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	20.30	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	1.44	dS/m
	Porosidad	46.90	%
	Actividad Microbiana	1.30	C-CO ₂ mg/g
GU-009	Fosforo	17.95	mg/Kg
	Potasio	38.10	mg/Kg
	Arena	73.14	%
	Textura	8.70	%
	Limo	18.16	%
	Densidad Real	2.47	g/cm ³
	pH	7.07	Unidad de pH
	Materia Orgánica	4.27	%
	Capacidad de Intercambio Catiónico	20.50	meq/100g
	Conductividad Eléctrica	1.78	dS/m



LAB-FR-004 VERSIÓN 0/F E: 01/2022

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

Ing. Iván A. Lasso Galván
JEFÉ DE LABORATORIO
OP-IP-159/2

Huancayo, 05 de Diciembre del 2023

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C., su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibida la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Las muestras serán conservadas en un período máximo de 15 días de haber impresionado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación.
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 6 de 6

Post-test de concentración de hidrocarburo tipo F2.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2341119 Rev. 0

SAMANIEGO MELENDEZ STEFANNY ABIGAIL

DISTRITO DE PAUCARTAMBO - PASCO - CERRO DE PASCO - PAUCARTAMBO

ENV / LB-353223-002

PROCEDENCIA : C.P. SANTA ISABEL

Fecha de Recepción SGS : 01-12-2023
Fecha de Ejecución : Del 01-12-2023 al 11-12-2023
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
C.P. Santa Isabel
C.P. Santa Isabel

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 11/12/2023

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N°LE-002

INFORME DE ENSAYO
MA2341119 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		C.P. Santa Isabel	C.P. Santa Isabel
PROFOUNDIDAD (m)		75643945N / 1074227E	75643945N / 1074227E
FECHA DE MUESTREO		30/11/2023	30/11/2023
HORA DE MUESTREO		10:35:00	10:30:00
MATRIZ		SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO		SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)			
Facción de Hidrocarburos F2 (nC10-nC20) (2)	E5_EPA8015_TPH	mg/kg	5
			15
			3,052
			3,614

Página 2 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2341119 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del producto de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Percentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Percentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery
Facción de Hidrocarburos F2 (>C10- C20)	mg/kg	15	<15	0 - 1%	89 - 91%	92 - 98%



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO
MA2341119 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA8015_TPH	Callao	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	EPA Method 8015C. Rev. 3 Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2341119 Rev. 0

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca (2).

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C. las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.com/le-002/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Página 5 de 5

ANEXO 6

PANEL FOTOGRÁFICO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. pH¹:

Rangos	Clases
< 3.5	Ultra ácido
3.6 - 4.4	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
> 9.0	Muy fuertemente alcalino

2. Conductividad eléctrica ¹:

Clase	Calificación	Conductividad eléctrica dS/m
0	No salino	0 - 2
1	Muy ligeramente salino	2 - 4
2	Ligeramente salino	4 - 8
3	Moderadamente salino	8 - 16
4	Fuertemente salino	≥ 16

3. Materia orgánica ²:

Nivel	%
Bajo	< 2
Medio	2 - 4
Alto	> 4

4. Fósforo disponible ²:

Nivel	P (mg/kg)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

5. Potasio disponible ²:

Nivel	K (mg/kg)
Bajo	< 100
Medio	100 - 240
Alto	> 240

6. Capacidad de intercambio catiónico ³:

Nivel	CIC (cmol/kg)
Muy baja	< 4
Moderadamente baja	4 - 8
Baja	8 - 12
Moderadamente alta	12 - 20
Alta	> 20

7. Textura ¹:

Términos Generales		Clase textural	Símbolo
Suelos	Textura		
Arenosos	Gruesa	Arena	A.
		Arena franca	A.Fr.
Francos	Moderadamente gruesa	Franco arenoso	Fr.A.
		Franco	Fr.
		Franco limoso	Fr.L.
	Moderadamente fina	Limoso	L.
		Franco arcilloso	Fr.Ar.
		Franco arcillo limoso	Fr.Ar.L.
Arcillosos	Fina	Franco arcillo arenoso	Fr.Ar.A.
		Arcillo arenoso	Ar.A.
		Arcillo limoso	Ar.L.
		Arcilloso	Ar.

8. Densidad real ⁴:

Densidad real (g/cm ³)	Clasificación
< 2.4	Muy bajo
2.4 – 2.60	Bajo
2.60 – 2.80	Medio
> 2.80	Alto

9. Porosidad ⁴:

Unidad (%)	Clasificación
< 40	Muy bajo
40 – 45	Bajo
45 – 55	Medio
55 – 65	Alto
> 65	Muy alto

- (1) Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- (2) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.
- (3) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002
- (4) La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico, Nicaragua 1995.

ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO DE LA EJECUCIÓN DEL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Figura 1: Toma de muestra del área de influencia, punto n° 7.



Figura 2: Homogenización de la tierra extraída de los 14 puntos de muestreo.



Figura 3: Toma de muestras para análisis de concentración de hidrocarburo en el suelo.



Figura 4: Toma de muestras para análisis de fisicoquímico y biológico del suelo.



Figura 5: Pesado y distribución de la tierra para los dos tratamientos a ejecutar.



Figura 6: Pesado y distribución de compost para unidad de estudio.

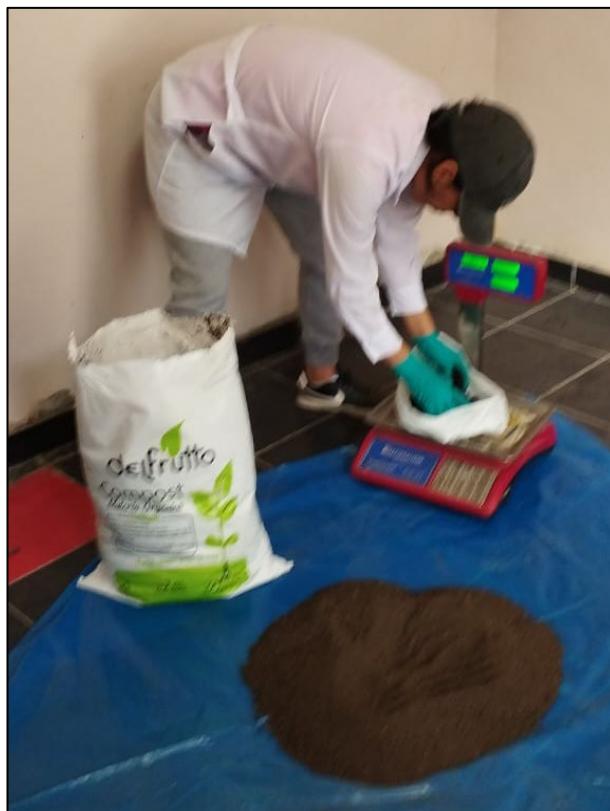


Figura 7: Clasificación de las unidades de estudio.



Figura 8: Monitoreo de las unidades estudio.



Figura 9: Proceso del retiro de las unidades de estudio de sus contenedores.



Figura 10: Evidencia de existencia de lombrices posterior a la ejecución de ambos tratamientos.



Figura 11: Secado de las unidades de estudio del tratamiento 1.



Figura 12: Secado de las unidades de estudio del tratamiento 2.



Figura 13: Materiales de entregados por parte de la empresa SGS del Perú para la toma de muestras.



Figura 14: Toma de muestras finales para los análisis fisicoquímico y biológico del suelo.

