

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

"REDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS (FRACCIÓN C₁₀- C₂₈) DE PETRÓLEO EN SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS CON EL USO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) EN EL DISTRITO DE HUANCABELICA"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. ACUÑA SEDANO, Celedonia

Bach. MUÑOZ ALEJO, Ida Melicia

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCABELICA, PERU

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los catorce días (14) del mes de diciembre del año 2021, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: Mg. Pedro Antonio Palomino Pastrana (Presidente), M.Sc. Jorge Luis Huere Peña (Secretario), Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo (Vocal), designados con Resolución de Decano N° 051-2019-FCI-UNH, de fecha 07 de mayo del 2019, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: **“REDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS (FRACCIÓN C₁₀.C₂₈) DE PETRÓLEO EN SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS CON EL USO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) EN EL DISTRITO DE HUANCAVELICA”**, presentada por las Bachilleres **Ida Melicia MUÑOZ ALEJO** y **Celedonia ACUÑA SEDANO**, con presencia del Dr. Fernando Martín Toribio Román, Asesor de la presente tesis a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**. Finalizada la sustentación virtual a horas 18.30; se comunicó a las sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Ida Melicia MUÑOZ ALEJO

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

Celedonia ACUÑA SEDANO

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

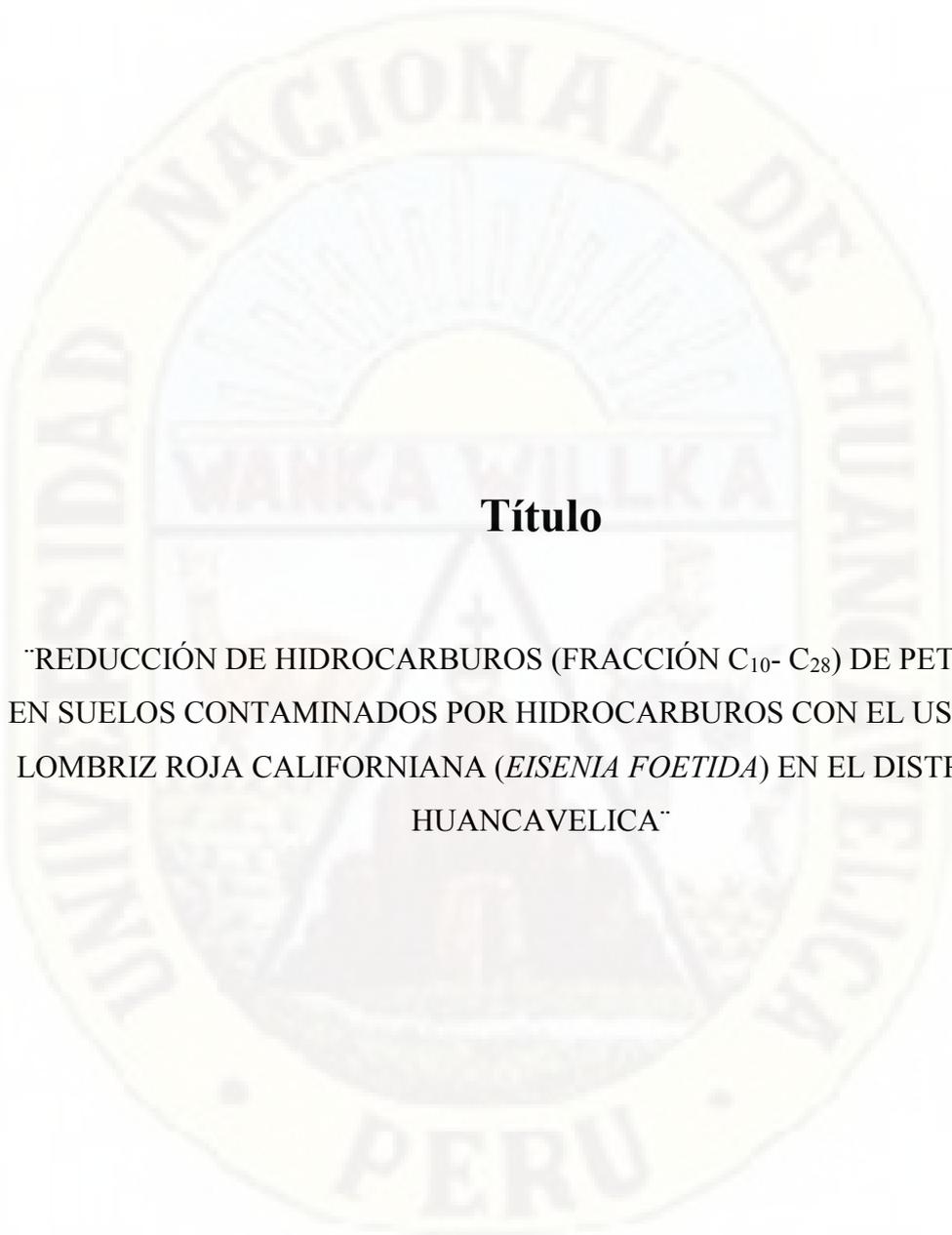
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

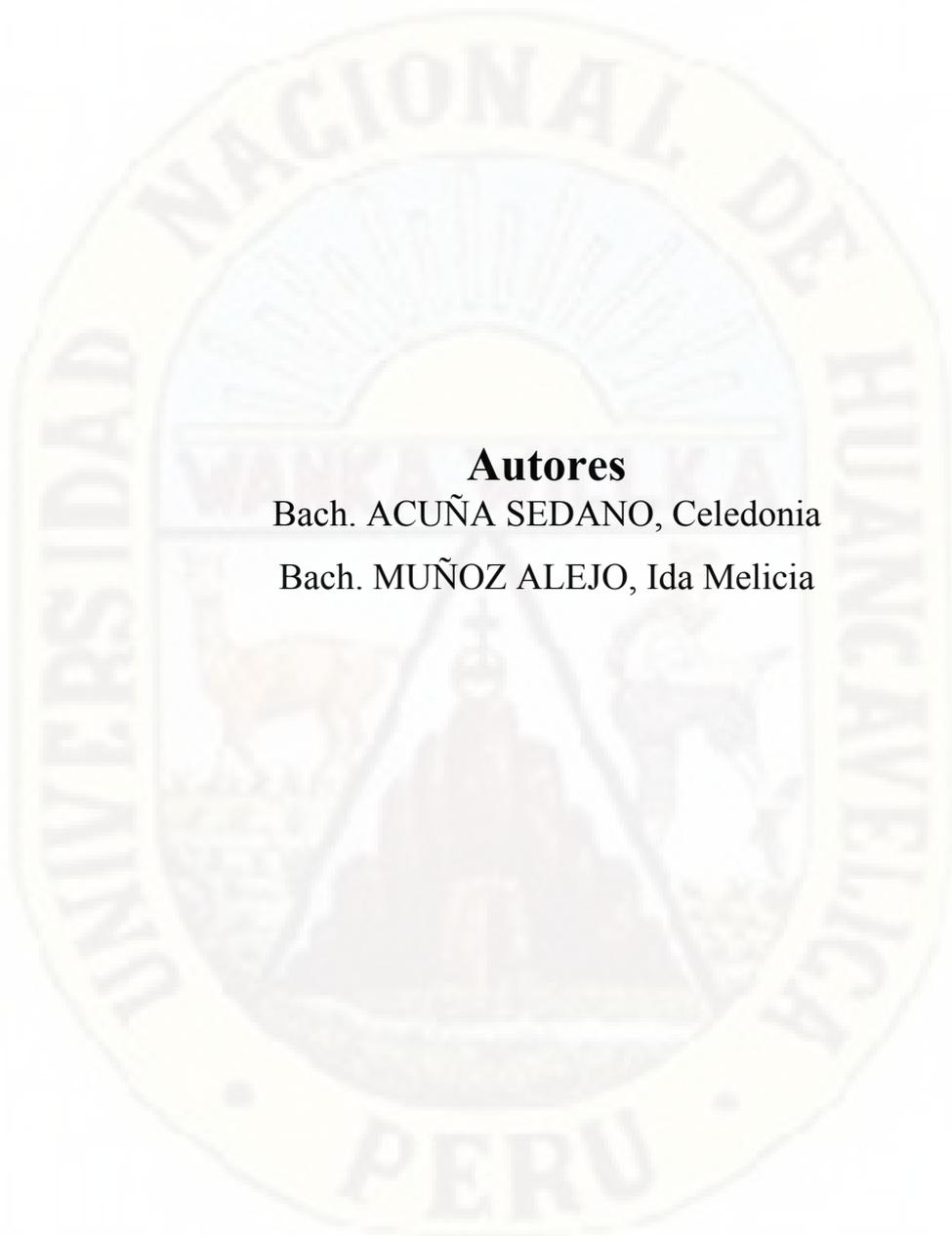
Vocal

Vº Bº Decano



Título

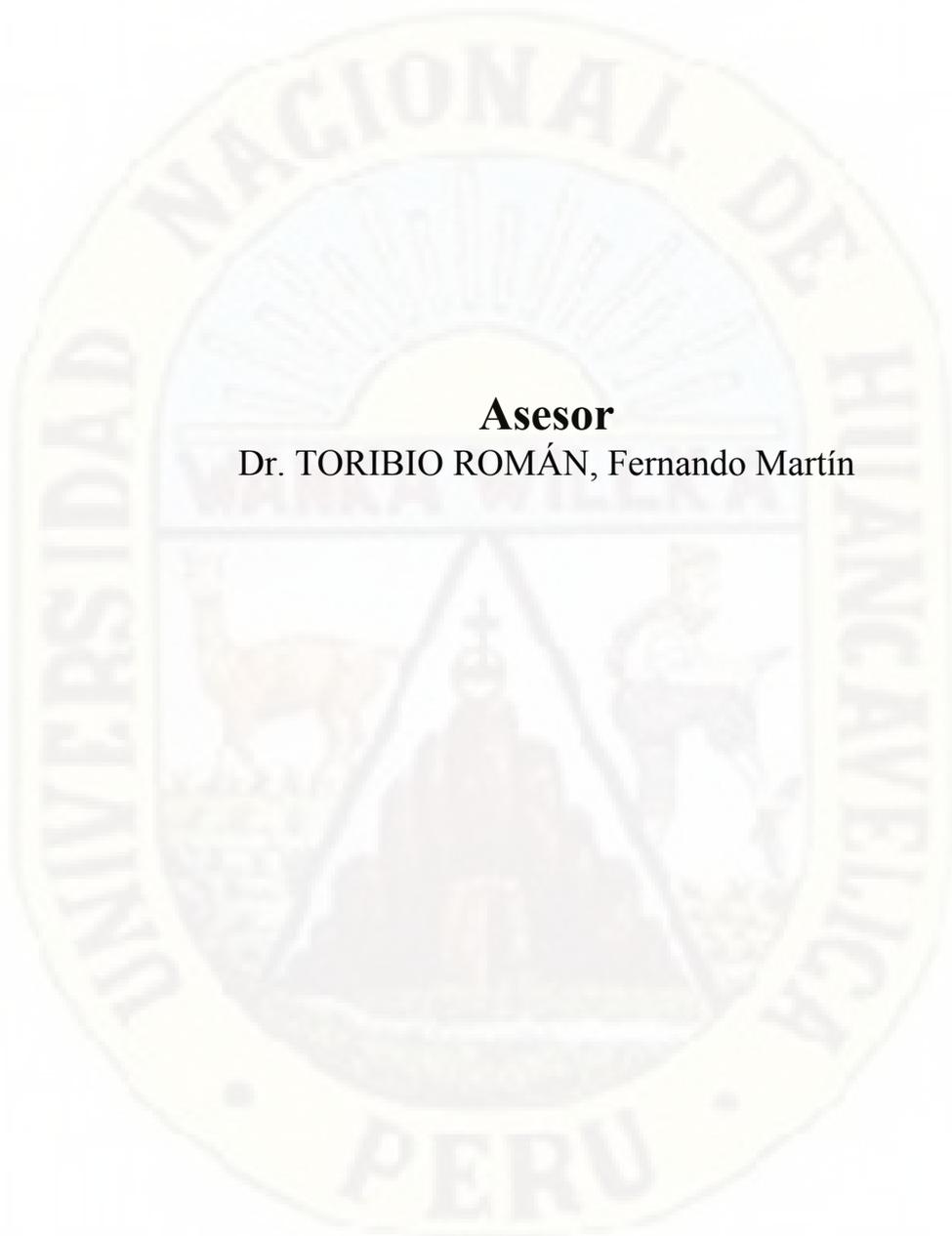
“REDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS (FRACCIÓN C₁₀- C₂₈) DE PETRÓLEO EN SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS CON EL USO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*) EN EL DISTRITO DE HUANCABELICA”



Autores

Bach. ACUÑA SEDANO, Celedonia

Bach. MUÑOZ ALEJO, Ida Melicia



Asesor

Dr. TORIBIO ROMÁN, Fernando Martín

Agradecimiento

A Dios nuestro, por darnos vida para disfrutarlo y permitir que aun sigamos con vida en estos tiempos difíciles, así mismo, por amarnos y cuidar de nuestros seres queridos.

A nuestros padres y familiares, por el apoyo incondicional que nos brinda día a día, tanto psicológico y material; que han hecho posible para lograr nuestras metas como profesionales.

A nuestro asesor, Dr. TORIBIO ROMÁN, Fernando Martín, por el apoyo, dedicación, comprensión y paciencia que nos ha brindado en este trabajo de investigación; para que el trabajo sea de calidad.

A las docentes de la E. P. de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, de la Universidad Nacional de Huancavelica, por brindar la educación que hemos alcanzado como profesionales.

Dedicatoria

A Dios, por sus bendiciones inagotables brindadas en el transcurrir de mi vida y su amor incondicional. A mis padres Antonio Acuña y Aniceta Sedano, quienes me brindaron su apoyo en todo momento, y a toda mi familia por sus consejos y sus buenos deseos, quienes hacen que cumpla mis metas.

Celedonia Acuña Sedano

A Dios por guiar mi camino y a mis padres quienes desde el cielo guían mi camino. A mi hermana Diana Muñoz por ser pilar fundamental en mi vida, y a mi familia por todo el apoyo incondicional brindado en todo momento.

Muñoz Alejo, Ida Melicia

Tabla de contenidos

Título.....	iii
Autores.....	iv
Asesor	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Tabla de contenidos	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción	xiv
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.4. Justificación	4
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. Teoría de hidrocarburos	17
2.2.2. Biorremediación de hidrocarburos.....	17
2.2.3. Contaminación de suelos	18
2.2.4. Contaminación de suelos con hidrocarburos de petróleo	19
2.2.5. Biorremediación de suelos.....	20
2.2.6. Tecnologías de biorremediación.....	20
2.2.7. Lombriz roja californiana.....	21
2.2.8. Origen e importancia de la lombriz.....	21
2.3. Bases Conceptuales.....	22
2.3.1. Hidrocarburos de petróleo.....	22
2.3.2. Lombriz Roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	27
2.3.3. Biorremediación.....	30
2.3.4. Suelos	30

2.4.	Formulación de Hipótesis	34
2.5.	Definición de Términos.....	34
2.6.	Identificación de Variables	37
2.7.	Operacionalización de Variables.....	38
CAPÍTULO III		39
MATERIALES Y MÉTODOS		39
3.1.	Tipo de Investigación.....	39
3.2.	Nivel de Investigación.....	40
3.3.	Métodos de Investigación	40
3.4.	Diseño de Investigación	40
3.5.	Población, Muestra y Muestreo.....	42
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	44
3.7.	Técnicas de Procesamientos y Análisis de Datos.....	46
3.8.	Descripción de la Prueba de Hipótesis.....	49
CAPÍTULO IV.....		51
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		51
4.1.	Presentación e Interpretación de Datos	51
4.1.1.	<i>Reducción de Hidrocarburos (fracción C10- C28)</i>	51
4.1.2.	<i>Eficiencia de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia foetida)</i>	54
4.1.3.	<i>Tiempo de Tratamiento de Suelos Contaminados con Hidrocarburos</i>	57
4.1.4.	<i>Cantidad de Lombriz Roja Californiana para Tratar los Suelos Contaminados con Hidrocarburos de Petróleo</i>	57
4.2.	Discusión de Resultados	59
4.3.	Proceso de Prueba de Hipótesis:	61
Recomendaciones		80
Referencias Bibliográficas		81
Apéndice		87

Índice de tablas

Tabla 1 Destino de los contaminantes orgánicos en el ambiente en función de su coeficiente de distribución en suelo y solubilidad en el agua.....	25
Tabla 2 Tabla de operacionalización de variables	38
Tabla 3 Diseño factorial 3x3 con tres repeticiones, Tiempo (A) y Cantidad de Lombriz (B)42	
Tabla 4 Coordenadas de los 4 puntos que delimitan el área de estudio.....	44
Tabla 5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45
Tabla 6 Resultados de la caracterización del suelo.....	52
Tabla 7 Concentraciones iniciales promedio del tratamiento de suelo contaminado con hidrocarburos	53
Tabla 8 Concentraciones finales promedio de los tratamientos.....	54
Tabla 9 Reducción Promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ - C ₂₈)	55
Tabla 10 Prueba de normalidad con Shapiro-Wilk.....	62
Tabla 11 Prueba de Homogeneidad de varianzas con el estadístico Levene	63
Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial 3x3 de un tratamiento...	65
Tabla 13 Reducción Neta de la F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ – C ₂₈).	66
Tabla 14 Resultados de ANOVA (diseño 3x3) para F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ – C ₂₈).....	67
Tabla 15 Reducción promedio de la F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ – C ₂₈)	69
Tabla 16 Tabla del método Tukey para hallar el valor absoluto de las medias del tratamiento	70
Tabla 17 Resultados del Método Tukey	70
Tabla 18 Comparación Medias y HSD	71
Tabla 19 Tratamientos con valores positivos.....	72
Tabla 20 Prueba de hipótesis del porcentaje de reducción de hidrocarburos de petróleo (fracción C ₁₀ -C ₂₈).....	73
Tabla 21 Prueba de hipótesis específico 01	75
Tabla 22 Prueba de hipótesis específico 02	76
Tabla 23 Prueba de hipótesis específico 03	78

Índice de figuras

Figura 1 Muestreo de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo	43
Figura 2 Georeferenciación de los puntos de muestreo.....	44
Figura 3 Reducción Promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ - C ₂₈)	55
Figura 4 Eficiencia de Reducción Promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo (C ₁₀ - C ₂₈)).....	56
Figura 5 Grafica de efectos principales de reducción de hidrocarburos de petróleo	57
Figura 6 Grafica de la cantidad de lombriz en la reducción de hidrocarburos de petróleo 58	



Resumen

La contaminación debido a derrames de hidrocarburos de petróleo, generan un problema crítico en el ambiente y la salud, es por ello que se procedió a estudiar una alternativa para la recuperación de sitios contaminados con petróleo mediante el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). El objetivo general de la investigación fue evaluar el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica, analizando la eficiencia, el tiempo y la cantidad de la lombriz como indicadores, la investigación se realizó a escala piloto en un bio-huerto prefabricado. Se tomó como tamaño muestral una muestra no probabilística y pretendida. La metodología consta de tres tratamientos, con tres repeticiones cada uno, obteniéndose un total de nueve camas (bandejas) con 6 kg de suelo contaminado en cada cama, posteriormente se añadió 2 Kg, 4 Kg y 6 Kg de lombriz roja californiana respectivamente, los cuales se analizaron a los 30, 60 y 90 días dando un total de 27 unidades experimentales. Los resultados mostraron el el T9 (6.0 Kg de la lombriz roja californiana + 90 días de tratamiento) favoreció considerablemente en la reducción de hidrocarburos y el T1 (2.0 Kg de la lombriz roja californiana + 30 días de tratamiento) fue la menos óptima para la reducción de hidrocarburos. Se concluyó que el factor tiempo y cantidad tienen mayor eficacia al realizar la descontaminación del suelo impactado.

Palabras claves: Reducción, lombriz roja californiana, hidrocarburos de petróleo, fracción C₁₀- C₂₈ de petróleo.

Abstract

Pollution due to oil oil spills, generate a critical problem in the environment and health, which is why we proceeded to study an alternative for the recovery of sites contaminated with oil through the use of the Californian red earthworm (*Eisenia foetida*). The general objective of the research was to evaluate the percentage of reduction of hydrocarbons (fraction C10-C28) of oil in soils contaminated with the use of the Californian red worm (*Eisenia foetida*) in the district of Huancavelica, analyzing the efficiency, time and quantity of the worm as indicators, the research was carried out on a pilot scale in a prefabricated bio-orchard. A non-probabilistic and intended sample was taken as sample size. The methodology consists of three treatments, with three repetitions each, obtaining a total of nine beds (trays) with 6 kg of contaminated soil in each bed, then 2 Kg, 4 Kg and 6 Kg of Californian red worm respectively were added, which were analyzed at 30, 60 and 90 days giving a total of 27 experimental units. The results showed T9 (6.0 Kg of The Californian Red Worm + 90 days of treatment) considerably favored the reduction of hydrocarbons and T1 (2.0 Kg of the Californian red worm + 30 days of treatment) was the least optimal for the reduction of hydrocarbons. It was concluded that the time and quantity factor have greater efficacy when performing the decontamination of the impacted soil.

Keywords: Reduction, Californian red worm, petroleum hydrocarbons, C10- C28 fraction of petroleum

Introducción

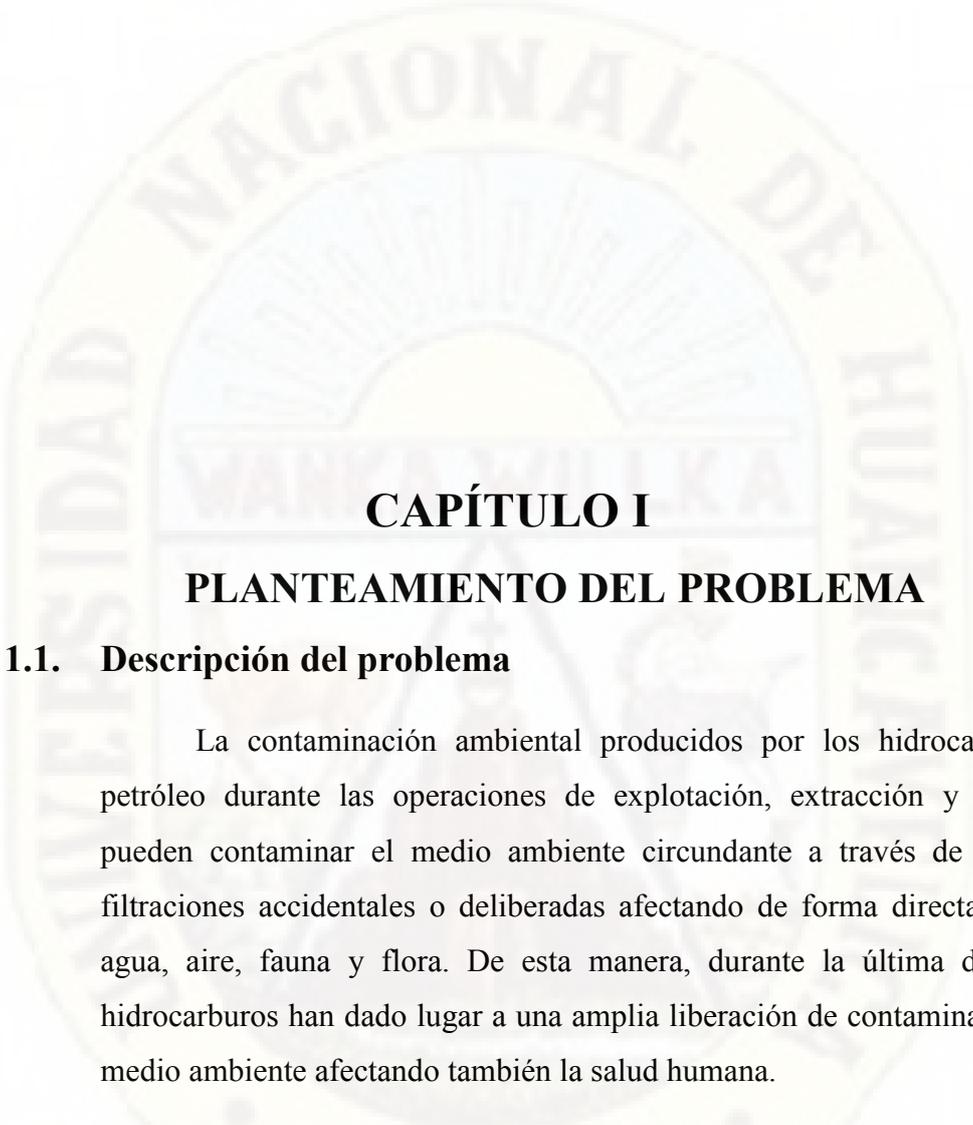
La tesis titulada: *Reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (Eisenia foetida) en el distrito de Huancavelica*, tuvo como problema ¿Cuánto es el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica? Por lo que se planteó el objetivo de evaluar el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica. La hipótesis planteada fue el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es mayor a 50% en el distrito de Huancavelica. La siguiente investigación está conformada de la siguiente manera:

El Capítulo I: Planteamiento del problema, dentro del cual se encuentra la descripción del problema, formulación del problema, objetivos de la investigación, justificación e importancia del tema de investigación planteado.

El Capítulo II: Marco teórico, abarca aspectos generales referidos al tema, como: antecedentes de la investigación, bases conceptuales, formulación de hipótesis, definición de términos, identificación de variables, operacionalización de variables e indicadores.

El Capítulo III: Materiales y métodos, detallándose el tipo de investigación, nivel de investigación, métodos de investigación, diseño de investigación, población, muestra y muestreo, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos; y descripción de la prueba de hipótesis utilizados.

El Capítulo IV. Discusión de resultados, considera la presentación e interpretación de datos, discusión de resultados, proceso de prueba de hipótesis; y finalmente se concluye y recomienda en función a las referencias bibliográficas, y se adjunta en el apéndice, la matriz de consistencia, instrumento y datos de la tesis.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La contaminación ambiental producidos por los hidrocarburos de petróleo durante las operaciones de explotación, extracción y transporte pueden contaminar el medio ambiente circundante a través de derrames, filtraciones accidentales o deliberadas afectando de forma directa al suelo, agua, aire, fauna y flora. De esta manera, durante la última década los hidrocarburos han dado lugar a una amplia liberación de contaminantes en el medio ambiente afectando también la salud humana.

A nivel mundial uno de los continentes que destaca en contaminación ambiental producido por el derrame de petróleo es África que cuenta con todo tipo de paisajes, regiones y ecosistemas valiosos en recursos naturales, pero con problemáticas socioambientales agudas, en muchos de sus países se derraman al medio ambiente cerca de 2.300 m³ de petróleo. Sus ecosistemas han sufrido un enorme impacto. Grandes extensiones de manglares han sido destruidas junto con la flora y la fauna que allí se existían. Los ríos y los peces se han contaminado y las cadenas alimenticias, incluyendo a las poblaciones humanas, se han visto afectadas por la extracción de petróleo (Arango, 2012).

El manejo incorrecto de los materiales y residuos peligrosos generan a nivel mundial, problemas de contaminación de suelos y cuerpos de agua. Entre las más puntuales contaminaciones destacan las que se producen a causa de la extracción y el manejo del petróleo en todos los países productores, en América Latina, principalmente en Venezuela, Brasil, México, Argentina, Ecuador y Perú. Dichas contaminaciones del suelo han provocado un deterioro creciente de las fuentes de abastecimiento de agua potable, ya sea superficiales o subterráneas (Schmidt, 2006).

Hablando de América Latina, en México existen extensas áreas de suelos contaminados por hidrocarburos, debido a las tareas de exploración, extracción, refinación, falta de mantenimiento y robo de combustible. Los suelos son alterados en sus características fisicoquímicas y biológicas, con lo que afectan al medio ambiente y al ámbito social (Cavazos, Pérez, & Mauricio, 2014).

Por otra parte el Perú ha sufrido grandes cambios en aspectos ambientales, el que mas descataca es la Amazonía peruana que sufrió cerca de 500 derrames de petróleo en los últimos 20 años, producto en su mayoría de fallas operativas y corrosión de la infraestructura tanto de los yacimientos como del oleoducto que atraviesa la selva, que han provocado una serie de protestas y demandas de las comunidades indígenas para recibir compensación y remediación por los daños ambientales causados a los cuerpos de agua, flora , fauna y al entorno social (Fraser, 2017), uno de los mas sonados derramenes de petroloe producidos en la Amazonia peruana fue el derrame de más de cien barriles de petróleo en el departamento de Loreto operado por la empresa estatal Petroperú. Defensa Civil precisó que 1.230 familias de pueblos originarios fueron afectadas por la fuga. El oleoducto por el cual se desató la polémica es uno de los más importantes de Perú, y lleva el crudo desde la Amazonía hasta la costa del océano Pacífico (Observatorio Regional de Derechos Humanos y Pueblos Indígenas, 2019).

En el distrito de Huancavelica se observaron varios establecimientos de venta de hidrocarburos (combustibles), los cuales, por falta de responsabilidad, malas prácticas y falta de educación ambiental tienden a derramar el hidrocarburo, el cual al llegar en contacto con el suelo altera su composición química, física y microbiológica, y como consecuencia tenemos suelos contaminados (suelos Residencia/Parques) en su área de influencia.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuánto es el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica?

1.2.2. Problemas específicos

- ✚ ¿Cuál es la eficiencia de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica?
- ✚ ¿Qué tiempo le toma a las lombrices rojas californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica?
- ✚ ¿Qué cantidad de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✚ Evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica.
- ✚ Evaluar el tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica.
- ✚ Determinar la cantidad adecuada de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica.

1.4. Justificación

La contaminación del suelo producido por productos como son los fertilizantes, pesticidas, herbicidas, productos derivados del petróleo y los derrames y filtraciones de este afectan negativamente la productividad agrícola y otros servicios del ecosistema. Siendo el suelo el recurso más afectado por el cual estos productos se filtran a los acuíferos y mantos de agua, en este ocurren ciclos biogeoquímicos, así también es donde se realizan actividades productivas (agrícola, ganadería, etc.) y sirve como soporte de la vegetación a causa de las acciones como: los derrames en las operaciones de transporte de carga y descarga, derrames constantes en instalaciones industriales, fugas por accidentes industriales, ruptura de tuberías y el mal manejo.

En la actualidad existen diversas alternativas de solución para la problemática de contaminación de suelos producidos por los hidrocarburos de petróleo; una alternativa sería el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*); ya que la lombriz tiene la capacidad de asimilar elevadas concentraciones de algunos compuestos protóxidos y metales (Cu, Fe, Cd, Pb y Zn), sin observarse síntomas aparentes de intoxicación a corto plazo.

En el distrito de Huancavelica que se encuentra en la provincia de Huancavelica, aun no se ha utilizado esta alternativa de solución por falta de investigación, debido a lo indicado. La siguiente investigación plantea reducir

la cantidad de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el cual es un sistema de biorremediación, su costo de producción es bajo y los beneficios productivos y ambientales son altos.

La elaboración de la presente investigación favorecerá a mejorar la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, reduciendo la concentración de este en los suelos, para tener un ambiente saludable.

Es relevante para la industria petrolera debido a que la causa de sus problemas socioambientales son los derrames de hidrocarburos, al reducir la concentración de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo con lo propuesto se tendrá una alternativa de solución a la problemática ambiental.

El aporte será también metodológico, en vista que se determinará la cantidad de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a utilizarse, así como el tiempo efectivo que se requerirá para reducir la concentración de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en el suelo contaminado con hidrocarburos en la ciudad de Huancavelica; reduciendo de esta manera los costos de la técnica empleada y que será de fácil aplicación para el interesado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Internacional

Rajadurai et al (2021), investigaron sobre la: *Vermiremediación de suelos contaminados con aceite de motor empleando lombrices de tierra autóctonas, Drawida modesta y Lampito mauritii*, en la presente investigación, las especies de lombrices de tierra, *Drawida modesta* (epigeic) y *Lampito mauritii* (anecic) se utilizaron para recuperar el suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) e hidrocarburos totales de petróleo (TPH) a partir del aceite de motor usado. Se instauraron cuatro tratamientos además de los controles positivos y negativos. A los 60 días mostro un resultado de remoción máxima de 68,6% de PAH y 34,3% de TPH en el tratamiento con tierra (1 kg), estiércol de vaca (50 g), aceite de motor usado (7,5 mL) y lombrices de tierra. Al concluir con la investigación se llega a la conclusión que, las lombrices de tierra eliminaron eficazmente los HAP y los HTP del suelo contaminado con petróleo. Los HAP se acumularon con mayor intensidad en *Drawida modesta* (16,25 mg kg⁻¹) que en *L. mauritii* (13,25 mg kg⁻¹). Además, el análisis histológico reveló la irregularidad de la superficie epidérmica, la desintegración celular y los desechos celulares en las lombrices de tierra. El pH (6,3%), la conductividad eléctrica (12,7%) y el carbono orgánico total (35,4%) disminuyeron significativamente (a P <0,05)

después de 60 días; mientras que el nitrógeno total (62%), el potasio total (76,2%) y el fósforo total (19,2%) aumentaron sustancialmente al final de la investigación. El ensayo de germinación de semillas con fenogreco indica que el porcentaje de germinación (95%) y el índice de germinación (179) aumentaron drásticamente en los tratamientos inoculados con lombrices de tierra en comparación con el control negativo (sin lombrices de tierra). Los resultados revelan que existe un gran margen para utilizar las lombrices de tierra, *Drawida modesta* y *L. mauritii* para la biorremediación de suelos contaminados con PAH y TPH.

Nassar & Said (2021): realizaon el estudio sobre la: *Evaluación de biorremediación, respuestas hematológicas y bioquímicas de la lombriz de tierra (Allolobophora caliginosa) en suelos contaminados con petróleo crudo*, el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia de la lombriz *Allolobophora caliginosa* al degradar los hidrocarburos de petróleo enriqueciendo los suelos contaminados con petróleo crudo. También se evaluaron los efectos tóxicos del petróleo crudo en las lombrices de tierra durante la biorremediación, se tomaron muestras de suelo contaminados experimentalmente con dos cantidades diferentes de crudo ligero de 5 o 7,5 ml durante 60 días. Las actividades de *A. caliginosa* dieron como resultado pérdidas totales de hidrocarburos de petróleo (TPH) del 33,56% y 54,98% del suelo contaminado con 5 ml de petróleo crudo después de 22 y 60 días; respectivamente. Mientras que en 7,5 ml de suelo contaminado con petróleo crudo, hubo una pérdida de 32,24% y 71,05% de TPH durante el mismo período de tiempo. Durante el experimento, no obstante, no hubo signos de mejora en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Los análisis de tejido de lombrices de tierra al final del experimento mostraron una bioacumulación significativa de hidrocarburos de petróleo en sus tejidos y cambios en sus parámetros metabólicos y hematológicos. Las lombrices de tierra expuestas al petróleo crudo mostraron un aumento significativo en proteínas, malondialdehído y glutatión, pero disminuyeron en los niveles de catalasa y la capacidad antioxidante total en comparación con las lombrices de tierra de

control después de 60 días de exposición. Hubo una disminución significativa en Hgb, RBCS, Hct, MCV, MCH, recuento de plaquetas y WBC. Al concluir con la investigación se demostró que la lombriz *Allolobophora caliginosa* es un buen biorremediador de suelos contaminados con aceite y también tiene potencial como bioindicador de contaminación.

Martinkosky et al. (2017), En el estudio sobre: *Las lombrices de tierra (Eisenia fetida) demuestran su potencial para su uso en la biorremediación del suelo al aumentar las tasas de degradación de los hidrocarburos del crudo pesado*, probaron la utilidad de la lombriz de tierra común de compostaje *Eisenia fetida* para mejorar la remediación del suelo afectado por el petróleo. La supervivencia de *E. fetida* en suelo contaminado con dos distintos aceites crudos se experimentó en un suelo franco arenoso artificial (mezclado en laboratorio), y la supervivencia se comparó con la del suelo limpio. El petróleo crudo con una alta fracción de hidrocarburos livianos resultó más tóxico para las lombrices de tierra que el petróleo crudo con una alta proporción de hidrocarburos poliaromáticos y alifáticos pesados. El petróleo crudo más pesado se agregó al suelo para crear un suelo contaminado con petróleo crudo de 30,000 mg / kg, y la degradación en presencia de lombrices de tierra agregadas y alimentadas, solo o sin adiciones se monitoreó a lo largo del tiempo y se comparó. La tasa de degradación de TPH para los tratamientos con lombrices de tierra fue de ~ 90 mg / día, disminuyendo en 200 días a ~ 20 mg / día, produciendo dos fases de degradación. Con alimento solo, la tasa fue de ~ 40 mg / día, con signos de desaceleración después de 500 días. Ambos tratamientos alcanzaron las mismas concentraciones de punto final y exhibieron una degradación más rápida de los hidrocarburos alifáticos < C21, pero todas las fracciones, incluidos los aromáticos > C21, disminuyeron. En el proceso de estos experimentos, los suelos fueron moderadamente tóxicos durante los primeros tres meses, luego las lombrices de tierra sobrevivieron bien, estuvieron activas y se reprodujeron con la presencia de hidrocarburos de petróleo. Por tanto, el estudio demostró que las lombrices de tierra aceleran la

biorremediación del petróleo crudo en los suelos, incluida la degradación de las fracciones poliaromáticas más pesadas.

Zapata et al. (2016), investigaron los: *Efectos de la lombriz roja californiana (Eisenia foetida), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia*, El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el efecto de la lombriz roja California sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio en el municipio de Segovia, Antioquia, los cuales son un problema importante para este estudio debido a la acumulación de exceso de mercurio y pérdida de calidad del suelo. Se realizaron cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de mercurio y un tratamiento posterior como blanco con lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) para estudiar el crecimiento de microorganismos por diversos cultivos en campo, y después de 25 y 90 días de tratamiento, se encontró un crecimiento satisfactorio del mismo. De acuerdo con el comportamiento se observa una inmovilización del mercurio y una adaptación de los microorganismos al suelo contaminado, que se incrementó significativamente en el transcurso del tratamiento.

Akinola et al. (2016), realizaron la investigación: *Vermiremediación de suelos contaminados con mezclas de productos derivados del petróleo utilizando Eisenia fétida*, ellos utilizaron la vermiremediación como una técnica biológica para limpiar el suelo contaminado con gasolina, diésel y aceite de motor gastado, usando la lombriz de tierra (*Eisenia fétida*). El objetivo de la investigación fue evaluar la técnica biológica de la vermiremediación para descontaminar el suelo. La metodología utilizada fue la cromatografía de gases. Las conclusiones de la investigación fueron que, en cada tiempo de muestreo, las muestras de suelo sin lombriz tenían más cantidad de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) que las muestras correspondientes con las lombrices.

Barrios et al. (2015), investigaron sobre la: *Biorremediación de suelos contaminados con aceites usados de motor*, mediante el cual se analizó el proceso de biorremediación del suelo contaminado con aceites usados de motor

(40000 mg/kg). Se utilizaron como principales tecnologías la Atenuación Natural y la Bioestimulación, añadiendo nutrientes derivados de fertilizantes inorgánicos (Urea y Tripolifosfato de sodio). Las cantidades de nutrimentos utilizados semanalmente fueron definidas en base a las relaciones estequiométricas y el requerimiento fisiológico de complejidad biológica del suelo. Como tratamiento de control se manejó una muestra de suelo esterilizado, al que se añadió HCl y Benzoato de sodio como los inhibidores del desarrollo microbiano. Los agentes inhibidores originaron el aumento de microorganismos con capacidad hidrocarbonoclasta consiguiendo una buena eficiencia de remoción de (26.5% en 12 semanas) seguido del tratamiento de Atenuación Natural y Bioestimulación. El análisis de varianza (ANOVA) de las cinéticas de remoción del contaminante presente en el suelo, muestra que, considerando la eficiencia de remoción del aceite usado, el crecimiento celular y la tasa de respiración del suelo, no existe una diferencia significativa entre la atenuación natural y el proceso de estimulación biológica.

Nápoles et al. (2015), investigaron sobre la: *Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos*, se realizaron pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio, utilizando lodos digeridos anaeróbicamente para estimular y pleurotina para bioaumentar la población indígena en el suelo contaminado con hidrocarburos. Las pruebas evidenciaron que la materia orgánica, determinada como hidrocarburos contaminantes, asienta un valor de 107,5 g/kg de suelo, la actividad respiratoria aumenta cuando se le añade pleurotina que en presencia de lodos de digestión. Las pruebas en microcosmos con pleurotina alcanzaron valores mínimos de materia orgánica estabilizando el sistema a partir de la décima semana de tratamiento, pudiendo ser un indicador de remoción del contaminante. Por tanto la mayor remoción de hidrocarburos en un suelo arenoso evaluado se alcanza al añadir pleurotina; combinándose la bioaumentación y bioestimulación de la población microbiana, por el alto contenido de nutrientes y la población degradadora de hidrocarburos presentes en el sustrato. Se pueden trabajar simultáneamente

ambas pruebas de biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos, empleando como sustratos residuos orgánicos de procesos biotecnológicos.

Castrillo et al. (2013), Investigaron el: *Uso de Eisenia foetida como bioindicador de la toxicidad de rípios de perforación base aceite generados en la industria petrolera*, utilizaron la *Eisenia foetida* como bioindicador de la toxicidad de rípios de perforación base aceite generados en la industria petrolera, se realizaron mezclas de acuerdo a los tratamientos establecidos, los sustratos fueron colocados en los contenedores juntamente con cien (100) lombrices de la especie *Eisenia foetida*. El experimento fue establecido bajo un diseño estadístico de bloques al azar en arreglo factorial, los datos se analizaron mediante ANAVA (análisis de varianza) convencional y las posibles diferencias entre los promedios se estudiaron utilizando la prueba de mínima diferencia significativa al 0,05%, utilizando para ello la hoja de cálculo del programa Microsoft Excel, Los resultados indican la factibilidad de utilizar esta metodología en la evaluación biológica de los desechos, la lombriz roja californiana puede ser empleada como bioindicador de contaminación, conjuntamente con las pruebas físico-químicas que normalmente se utilizan para determinar la toxicidad de los RIPIOS de perforación petrolera, La relación 2:1 de suelo con rípio afecta la multiplicación de las lombrices, independientemente del contenido de estiércol equino utilizado, causando una mortalidades por encima del 50 % de las lombrices y de acuerdo a los resultados obtenidos la relación suelo con fluido 4:1 no afecta la población de lombrices, siempre que tengan suficiente fuente de alimentos en el sustrato.

Hernandez Catellanos (2013), investigó sobre el: *Uso de lombrices de tierra en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos*, para ello utilizaron el petróleo crudo intemperizado, proveniente del campo petrolero “Cinco Presidentes” en Tabasco - México, para determinar cómo es afectada la presencia de lombrices de tierra. Las lombrices de tierra (principalmente de la especie (*Pontoscolex corethrurus*) y benzopireno en el suelo. Aunque la concentración de benzopireno mostró resultados superiores a los valores permisibles para suelos agrícolas, no influyó en la cantidad (319 individuos /

m²) y la biomasa total de lombrices de tierra (43 g / m²) Con base en estos resultados, se desarrolló un experimento en el cual se evaluó la efectividad de la lombriz de tierra endógena *Pontoscolex corethurus* en la remoción del hidrocarburo poliaromático benzopireno en condiciones establecidas tanto en suelo estéril como no estéril El suelo se rellenó con benzopireno (100 mg kg⁻¹) y se midió su concentración con cada tratamiento, tanto en el suelo como en las excreciones superficiales de las lombrices en diferentes momentos: 0, 7, 28, 56 y 112 días de prueba. Los resultados de los análisis mostraron que la lombriz de tierra endógena *Pontoscolex corethurus* participó significativamente en la eliminación de benzopireno (26.6 mg kg⁻¹), y que esta eliminación se mejora cuando se trata con microorganismos nativos (36.1 mg kg⁻¹). Se concluye que la especie endógena *Pontoscolex corethurus* podría usarse para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos poliaromáticos en áreas tropicales.

Fernández et al. (2011), investigaron sobre los: *Microcosmos terrestres en un estudio de viabilidad sobre la remediación de suelos contaminados con diésel*, la degradación del combustible diésel en el suelo con microcosmos ensamblados artificialmente durante un experimento de 180 días, los microcosmos consistieron en columnas de suelo sembradas con una mezcla de *Festuca arundinacea* y *Trifolium pratense* en las que se introdujeron las lombrices de tierra y se usó la microflora del suelo nativo, se realizaron diversos ensayos de remediación con diferentes combinaciones de suelo conteniendo (microorganismos, lombrices de tierra y plantas) para determinar los efectos de estos organismos y su interacción en la degradación del diésel. El sistema de microcosmos permitió el estudio de la eficacia de la remediación en condiciones relevantes para el campo, este sistema proporcionó información sobre la disipación de los contaminantes, así como la lixiviación química y los posibles efectos tóxicos en los organismos durante el proceso de remediación. La disminución del contenido de hidrocarburos en el suelo dependió del ensamblaje de los organismos, las plantas no fueron efectivas en la remediación de estos suelos a pesar de su estimulación con biomasa microbiana. Por el contrario, las lombrices tuvieron un impacto beneficioso en la disipación de

hidrocarburos que no parecían estar relacionados con una mejora genérica de la actividad vegetal o microbiana. Las lixiviaciones de hidrocarburos fueron insignificantes e independiente del ensamblaje de los organismos.

Dendooven et al. (2011), estudiaron sobre: *¿Las lombrices de tierra, un medio para acelerar la eliminación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) del suelo?*, la contaminación del suelo con hidrocarburos ocurre con frecuencia, la restauración de suelos contaminados es costoso y lleva mucho tiempo. Las lombrices de tierra aceleran la eliminación de hidrocarburos a medida que surcan el suelo al hacer que los contaminantes estén favorables para la degradación microbiana y alimentándose de la materia orgánica que se encuentra en los contaminantes y mejorando la estructura y la aireación del suelo. Los PAH son hidrocarburos recalcitrantes que pueden contaminar el medio ambiente y, pueden servir como modelos para estudiar los factores que controlan la eliminación del petróleo del suelo. Se revisó el efecto de las lombrices sobre la eliminación de PAH. Se descubrió que las lombrices tienen la capacidad de acelerar la eliminación de los PAH y sus productos de degradación del suelo. No obstante, se requieren grandes cantidades de lombrices, que pueden ser costosas. Además, puede ser difícil de proporcionar suficiente material orgánico para la alimentación de estos.

Perez Velazques (2010), realizó la investigación sobre: *Evaluación de nutrientes y capacidad remediadora de la lombriz de tierra (Eisenia foetida) para extraer plomo y Cadmio de precomposta equina y caprina en la Región de Nazas, Durango*, con el objetivo de evaluar los nutrientes y determinar la capacidad de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para extraer Pb y Cd en precomposta equina y caprina. La investigación se realizó en dos fases: trabajo en campo y trabajo en laboratorio. El trabajo en campo fue para la obtención de las muestras de la precomposta de equina y caprina mezclados y así obtener las muestras de vermicomposta equina y caprina. Se determinaron las concentraciones de As, Cd, Pb, y Zn en la precomposta. Mientras que en la vermicomposta además de los metales mencionados, también se llevaron a

cabo los análisis de los siguientes parámetros: C.E, pH, N, P, K, Ca, Mg, M.O., C, ácidos fúlvicos y húmicos, Na, Fe, Cu. Determinación de Pb, Cd, As y Zn en precomposta y vermicomposta. Determinación de Pb, Cd, As y Zn, en lombrices de tierra. Los resultados revelaron que la calidad de los nutrimentos en cuanto a su composición y concentración es adecuada para usarla como fertilizante orgánico. No obstante, se detectó la presencia de Pb y Cd en la precomposta equina y caprina mezclados y vermicomposta que estuvieron fuera de los límites máximos permisibles según la NOM -147 SEMARNAT /SSA1-2004, además, se detectaron altas concentraciones de Pb y Cd en las lombrices, lo que demuestra que esta especie es un elemento biorremediador. El As no se presentó dentro de la lombriz lo que se explica por la poca concentración que se halló en la precomposta y vermicomposta.

Nacional

Rodriguez Berna (2018), investigó: *Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo. Ucayali, Perú*, el presente proyecto tuvo un nivel de investigación experimental y un diseño totalmente aleatorizado que consta de cuatro tratamientos y tres réplicas por tratamiento aplicando humos de lombriz. El estudio implicó la instalación de 12 unidades experimentales para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Cada celda experimental se contaminó con 1 galón de petróleo crudo, y luego se le aplicaron diferentes dosis de humus de lombriz según las condiciones de procesamiento. El humus de lombriz se utilizó por su alto contenido de bacterias degradantes de hidrocarburos y alto contenido de nutrientes para facilitar su desarrollo. Los resultados obtenidos son los siguientes: La dosis que presenta la mayor tasa de reducción de TPH presente en el suelo es de 20 kg de humus de lombriz por 200 kg de suelo contaminado por 1 galón de petróleo crudo, lo que reduce 86.74 mg de TPH presente en el suelo, que es comparable a T1 sin aplicación de humus, la relación se redujo en 69,59%, la T2 con 10 kg de humus se redujo en 84,33% y la T4 con 30 kg de humus se redujo en 75,52%

Angeles Mendiola (2018), realizó la investigación sobre la: *Situación actual de la contaminación por actividades de hidrocarburos en la selva peruana*, Actualmente contamos con información suficiente para iniciar las actividades de rehabilitación de sitios, en este escenario los pueblos indígenas de la región han reclamado sus derechos a un medio ambiente sano y una mejor calidad de vida, por otro lado también podemos demostrar que el gobierno aún está débil, cuando defiende sus leyes frente a empresas como Pluspetrol Norte S.A. y con flexibilidad cuando empresas estatales como PETROPERU S.A. son responsables. Existen 26 lotes con contratos para la extracción y exploración de hidrocarburos en la selva peruana, 24 de los cuales se superponen con algunas ANP (Áreas Naturales Protegidas), zonas de amortiguamiento o zonas reservadas, 7 de las cuales son de uso indirecto y 17 de uso directo. Además, en 8 de los 24 lotes, los contratos se firmaron antes del establecimiento de las ANP (Áreas Naturales Protegidas), mientras que los restantes (16 lotes) se instalaron posteriormente.

Barbaran Cruz (2017), realizó la investigación sobre: *Reducción de cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (Eisenia foetida) en el centro poblado Huarabi- Canta*, cuyo objetivo general fue determinar el nivel de reducción de Cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), con la finalidad de mejorar la calidad del suelo del Centro poblado de Huarabi ya que es utilizado para la agricultura. La disminución de la concentración de cromo fue estudiada (10 días, 20 días y 30 días) y se colocaron diferentes concentraciones de lombrices (5 Kg, 10 Kg y 15 Kg) para ello se construyeron 4 camas que fueron distribuidas en 5 repeticiones. Los datos recolectados en campo y en laboratorio fueron analizados en los programas SPSS y Microsoft Excel, se realizó un diseño de dos factores con mediciones repetidas, en un factor que podemos asignar a una prueba post-hoc que permite Comparar los tres tipos de tratamientos que se han utilizado para el estudio. Los resultados mostraron la reducción de la concentración de Cromo en los tres tratamientos, alegando que las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) reducen el Cromo en

suelos contaminados por agroquímicos. El T1 (5 Kg de lombriz) obtuvo un promedio de reducción de cromo de 15.48 mg/Kg, el T2 (10 Kg de lombriz) obtuvo un promedio de reducción de cromo de 16.556 mg/Kg y en el T3 (15 Kg de lombriz) se obtuvo un promedio de reducción de cromo 17.264 mg/Kg.

Local

Enriquez Espinoza & Soto Huanca (2017) , en la tesis: *Evaluación de la producción y composición química de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foétida) con el contenido ruminal en el camal municipal de Huancavelica*, realizaron con el objetivo de evaluar la producción y composición química de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) con el contenido ruminal. Se utilizaron muestras de contenido ruminal (camélidos sudamericanos, ovinos y bovinos), los cuales fueron compostados en un sistema abierto tipo ruidos de 9 metros cuadrados, con pendientes de 1% y 5%, pH 7.5, humedad 60%, temperatura constante 24 ~ 30 °C. Se realizó una prueba con 50 lombrices para verificar la idoneidad del sustrato como alimento para lombrices de tierra. Para evaluar la producción y composición química del humus de lombriz roja de California, se preparó una caja ecológica de 70 X 40 X 15 cm. utilizando 96 kg de compost en todos los estudios. El tratamiento es: rendimiento de T1 y composición química del humus a los 3 meses; Rendimiento de T2 y composición química del humus a los 4 meses y rendimiento de T3 y composición química del humus a los 5 meses. Al final del T2 de 4 meses con 3,04 kg y. una producción significativa de humus ($P < 0.05$) alcanzó T3 de 5 meses con 3.28 kg; en relación a T1 de 3 meses con 2,80 kg y T3 de 5 meses superior a T1 de 3 meses y T2 de 4 meses. Los resultados de la composición química del humus fueron: El nitrógeno mostró mayor porcentaje de contenido y nivel de significancia en el T3 de 5 meses con un 2,07 %; con respecto a los tratamientos T1 de 3 meses con 1,85 % y T2 de 4 meses un 1,91 %. Mientras que el fósforo mostró un mayor porcentaje de contenido en T1 de 3 meses con 4,31 % frente al T2 de 4 meses con 3,56 % y T3 de 5 meses con 2,83 %. Por último, se encontraron diferencias estadísticas

con mayor porcentaje de contenido de potasio en el T1 de 3 meses con 1,44 % en comparación de los T2 de 4 meses con 1,34 % y T3 de 5 meses con 1,35 %.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teoría de hidrocarburos

El petróleo crudo y el gas natural (hidrocarburos fósiles) consisten casi exclusivamente en hidrocarburos, es decir, compuestos orgánicos más o menos complejos de carbono e hidrógeno, mezclados con otros elementos químicos en diferentes proporciones; los hidrocarburos naturales se forman como resultado de la degradación aeróbica y anaeróbica de Sustancias orgánicas bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Reacciones en las que se liberan oxígeno, nitrógeno y azufre, que forman parte de los compuestos volátiles de los hidrocarburos, En la primera fase de esta descomposición se crea un producto intermedio denominado kerógeno, que posteriormente se convierte en los llamados hidrocarburos naturales en la roca arcillosa que contiene (roca huésped) a rocas porosas y permeables como areniscas y dolomitas (roca de almacenamiento) y en ellos por un mecanismo para quedar atrapados, que impide su emergencia a la superficie, pues cuando esto ocurre se oxidan y volatilizan y pierden todo interés como fuente de energía, estos mecanismos naturales pueden ser de muy diversos tipos, aunque lo más común es que se trate de pliegues anticlinales (Silos Rodriguez, 2008).

El término hidrocarburo se refiere a un grupo de compuestos orgánicos que consisten principalmente en átomos de carbono e hidrógeno y cuya conformación y estructura van desde el metano más simple (CH₄) hasta moléculas muy complejas, como las correspondientes a los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Hay una serie de compuestos, agrupados según su configuración (estructura molecular) y propiedades. Los átomos de carbono se unen entre sí formando el esqueleto básico, pudiendo hacerlo en estructuras lineales simples y/o ramificadas o en estructuras cíclicas en forma de anillos (Melendi, 2012).

2.2.2. Biorremediación de hidrocarburos

La biorremediación es el uso de organismos para restaurar el ambiente contaminado y la biodegradación auxiliar es el proceso de microorganismos locales o inoculados (bacterias y hongos) que metabolizan contaminantes orgánicos en el suelo. En este proceso, los contaminantes orgánicos se biotransforman, porque en general, los microorganismos pueden utilizarlos como fuente de carbono y energía para su propio crecimiento. Si no pueden crecer a partir de él, si hay alternativas, pueden seguir transformando sustratos de crecimiento. O co-sustrato. Para el crecimiento de microorganismos es necesaria la presencia de donantes y aceptores de electrones, carbono y nutrientes (N, P, K, S, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Cu y oligoelementos). El proceso más básico del metabolismo microbiano es la transferencia de electrones del sustrato donante al sustrato aceptor. Los electrones son necesarios para oxidar (reducir) los compuestos orgánicos, que son la fuente de carbono, a la forma química utilizada por los constituyentes celulares y para generar la energía necesaria que posibilite la síntesis y el mantenimiento de la masa (Buendía Ríos, 2012).

2.2.3. Contaminación de suelos

La contaminación del suelo es un impacto típico de las actividades humanas, causado por la producción industrial de tintes, fibras sintéticas, conservantes de madera, la extracción y gasificación de carbón vegetal, y la extracción, transporte, refinación, conversión y uso de petróleo y petróleo. Sus derivados. La contaminación del suelo significa que la presencia de ciertos elementos o sustancias afectará la composición biológica del ecosistema, lo que perjudicará su función y sostenibilidad. La contaminación también está relacionada con la concentración o cantidad de desechos que se mezclan de manera no intencional o intencional con el suelo. Este tipo de contaminación surge a partir de un número de fuentes incluyendo el uso excesivo de fertilizantes y otros químicos en el suelo. Frecuentemente, la contaminación del suelo es ocasionada por el derrame o filtración de desechos en el suelo. El suelo contaminado puede ser un gran contaminante para las personas quienes entran en contacto con éste. Algunas veces la contaminación del suelo puede

contribuir con la contaminación del agua. Esto ocurre a través de la escorrentía superficial, generalmente durante las lluvias cuando las masas contaminadas son llevadas cerca de los cuerpos de agua (Sifuentes Vasquez, 2014).

2.2.4. Contaminación de suelos con hidrocarburos de petróleo

Debido a la persistencia de los hidrocarburos y productos del petróleo y su tendencia a extenderse al suelo y al agua superficial, la contaminación por hidrocarburos y productos del petróleo es una alteración del medio ambiente. El petróleo es una mezcla completa de varios compuestos, de los cuales los hidrocarburos constituyen la mayoría. Debido a la complejidad de esta mezcla, el tratamiento de superficies contaminadas con estas sustancias es muy difícil y problemático. En general, los compuestos más dañinos para el medio ambiente son: benceno, tolueno, etilbenceno y xileno. Como todos sabemos, los hidrocarburos de petróleo a menudo ingresan al medio ambiente en grandes cantidades a través de varios canales. Una de las formas más importantes es la filtración de sedimentos naturales, que pueden provocar la aparición de petróleo en el medio marino. Otros métodos incluyen la producción, el almacenamiento y el transporte, que muestran un gran potencial de derrame de hidrocarburos de petróleo. Los derrames de petróleo en forma de productos derivados del petróleo en tierra y agua han sido un problema desde que se descubrió el petróleo como fuente de combustible. Los derrames de petróleo y las descargas al mar de refinerías, plantas o barcos contienen componentes tóxicos que pueden ser peligrosos para los animales y las plantas. Estas toxinas pueden viajar a través de la cadena alimentaria en un área y eventualmente ser ingeridas por humanos. En el suelo, los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida puede ser más o menos lentos, ocasionando una mayor toxicidad, además de tener una moderada, alta o extrema salinidad, dificultando su tratamiento (Sifuentes Vasquez, 2014).

2.2.5. Biorremediación de suelos

Es una biotecnología que estimula la actividad microbiana y consecuentemente acelera el proceso natural de degradación del compuesto contaminante. Se puede definir como el uso de organismos vivos, componentes celulares y enzimas libres para realizar la mineralización, es decir, convertir el compuesto en CO₂ y H₂O y / u otras formas inorgánicas, biotransformación o transformación parcial, humificación de residuos o contaminantes o una aceleración del estado redox de los metales. Por tanto, se refiere a la transformación química de los contaminantes mediante el uso de microorganismos que satisfacen sus requerimientos nutricionales y energéticos contribuyendo a la desintoxicación del ambiente por mineralización o metabolismo (Quispe Huanca, 2020).

2.2.6. Tecnologías de biorremediación

2.2.6.1. Biorremediación in situ

Las técnicas in situ buscan estimular y crear un ambiente favorable para el crecimiento microbiano a partir de los contaminantes. Este objetivo generalmente puede lograrse con el suministro de aire u oxígeno (bioventeo), nutrientes (bioestimulación), microorganismos (bioaumentación) y/o humedad, además del control de temperatura y pH (Sifuentes Vasquez, 2014).

2.2.6.2. Biorremediación ex situ

Los procesos de biorremediación en el campo incluyen la biodegradación en etapa de lodos, donde el suelo se mezcla con agua (para formar lodos), microorganismos y nutrientes; Y procesos de biodegradación en fase sólida en los que el suelo se coloca en una celda de tratamiento (compost) o en membranas impermeables (bio-labranza) donde se añaden agua y nutrientes. La biorremediación es muy segura porque depende de los microorganismos que ocurren naturalmente en el suelo. Estos microorganismos son útiles y no presenta riesgo para las personas. Ningún químico peligroso es usado en biorremediación, los nutrientes agregados para permitir el crecimiento de los microorganismos son fertilizantes usados comúnmente en

césped y jardines. Debido a que la biorremediación transforma los químicos dañinos en agua o gases inocuos, dichos químicos son completamente destruidos (Sifuentes Vasquez, 2014)

2.2.7. *Lombriz roja californiana*

El gusano rojo de California se conoce comercialmente como "California" porque las primeras granjas de gusanos en este estado de los Estados Unidos se desarrollaron en la década de 1950. El gusano rojo de California es una especie animal. Dicotómico e incompleto. Es hermafrodita porque cada gusano tiene dos órganos sexuales separados (macho y hembra), lo que significa que producen óvulos y espermatozoides al mismo tiempo. Es incompleto porque a pesar de tener dos órganos sexuales no puede autofecundarse y para propagar su propia especie tiene que copular (acoplarse) e intercambiar óvulos y espermatozoides con otra lombriz (Ccasani Mulato & Poma Enriquez, 2012).

Puede soportar una alta densidad de población de 50.000 gusanos por metro cuadrado. El entorno óptimo para el crecimiento de las lombrices de tierra es en lugares donde las temperaturas medias oscilan entre 19 ° y 20 ° C. Los gusanos se inactivan a temperaturas frías (0 ° C) y altas (42 ° C). Se alimenta de materia orgánica en descomposición y solo necesita este alimento para mantenerse húmedo y suave. Consume diariamente 1 gramo de materia orgánica descompuesta y excreta el 60 % de lo consumido en forma de humus (Ccasani Mulato & Poma Enriquez, 2012).

La lombricultura engloba las diversas operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento, por medio de éstas, a los residuos orgánicos, convirtiéndose así, en una tecnología moderna que transforma los desechos orgánicos (estiércol, restos de plantas, etc.) en abonos (humus) y proteínas en cantidades por hectárea como ninguna otra actividad zootécnica lo logra (Ccasani Mulato & Poma Enriquez, 2012).

2.2.8. *Origen e importancia de la lombriz*

El cultivo de gusanos nació y se desarrolló en América del Norte con Hugh Carter en 1947. Así se extendió por Europa, Asia y América. En 1973, a través de una selección dedicada, el Colegio de Agricultura de California encontró otra lombriz de tierra más productiva que el tipo convencional: la lombriz de tierra roja de California. El gusano es el animal que juega un papel más importante en la creación, ya que cierra el ciclo entre la vida y la muerte. Este animal consume materia orgánica muerta y la transforma en vida (humus), convirtiendo así los desechos agrícolas, industriales, municipales y fecales en productos de gran valor económico y ambiental, como: carne, harina y humus de la tierra que aportan. proteger el medio ambiente. Gracias a esta actividad, también se pueden obtener otros productos esenciales para la industria farmacéutica. Los antibióticos se produjeron a partir de fluidos celomáticos para su uso en animales y seres humanos. Características como el no sangrar al producirse un corte, ser inmune al medio contaminado en el cual vive y la elevada capacidad de regeneración de sus tejidos, son motivos de investigación (Ccasani Mulato & Poma Enriquez, 2012)

2.3. Bases Conceptuales

2.3.1. Hidrocarburos de petróleo

2.3.1.1. Definición

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno, los hidrocarburos son compuestos básicos que se han estudiado en química orgánica y las cadenas de carbono pueden ser lineales o ramificadas, abiertas o cerradas, los que tienen en su molécula otros elementos químicos (heteroátomos) se llaman hidrocarburos sustituidos (Abonto Quintana & Taboada Rodriguez, 2018).

2.3.1.2. Características de los hidrocarburos

Es una mezcla compleja de gases, líquidos y sólidos, con cantidades combinadas de nitrógeno, oxígeno y azufre, además de que contiene compuestos de hierro, níquel, vanadio u otros metales y aceite, la mía contiene 76-86% de carbono y 10-14% de hidrógeno los hidrocarburos se

clasifican de la siguiente manera: Hidrocarburos biológicos: son sintetizados por la mayoría de las plantas y animales terrestres y marinos, incluidos microorganismos, bacterias, plancton, diatomeas, algas y plantas superiores, hidrocarburos antrópicos: éstos son introducidos al ambiente como resultado de la actividad humana (Loya Del Angel, 2013).

2.3.1.3. Clasificación de los hidrocarburos

- **Hidrocarburos acíclicos saturados:** Llamados también parafínicos, del griego parum, pequeña, y affinis, afinidad, se les nombra así porque no reaccionan fácilmente con otros compuestos, su fórmula general es $C_n H_{2n+2}$. Hidrocarburos de esta serie son el metano (CH_4), el etano (C_2H_6) y el butano (C_4H_{10}), y son los principales componentes de los gases del petróleo (Hernandez Acosta, 2015).
- **Hidrocarburos cíclicos saturados o nafténicos:** De fórmula general $C_n H_{2n}$, la gran mayoría de estos compuestos tienen una serie de constituyentes de importancia menor y, a semejanza de los isoprenoides, también están formados por precursores específicos, sea de plantas o de animales, además, son empleados como “marcadores moleculares”, de gran uso e importancia en estudios geoquímicos y de comportamiento de derrames (Hernandez Acosta, 2015).
- **Hidrocarburos cíclicos no saturados:** Mejor conocidos como hidrocarburos aromáticos, cuya fórmula general es $C_n H_{2n-6}$, el compuesto más simple de esta serie es el benceno (C_6H_6), que tiene seis átomos de carbono unidos por dobles ligaduras alternadas formando un anillo, estos hidrocarburos por lo general están constituidos por poliaromáticos, que son varios anillos bencénicos unidos entre sí y se encuentran principalmente en las fracciones pesadas, por ejemplo en asfaltenos y parafinas (Hernandez Acosta, 2015).
- **Hidrocarburos acíclicos no saturados:** Llamados también etilénicos u olefinas, de fórmula general $C_n H_{2n}$, las diolefinas $C_n H_{2n-2}$, los acetilénicos $C_n H_{2n-2}$ además de otros hidrocarburos formados por la

combinación de anillos y cadenas que pueden semejarse a varias de las series precedentes (Hernandez Acosta, 2015).

2.3.1.4. Hidrocarburos de petróleo

- **Fracción de hidrocarburos F1 o hidrocarburos fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C_6 a C_{10}), 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 otro (Ministerio del Ambiente, 2017).
- **Fracción de hidrocarburos F2 o hidrocarburos fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono ($> C_{10}$ a C_{28}), los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diésel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros (Ministerio del Ambiente, 2017).
- **Fracción de hidrocarburos F3 o hidrocarburos fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono ($> C_{28}$ a C_{40}), 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 (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.3.1.5. Hidrocarburos en el Ambiente

Las características determinantes de los hidrocarburos en el ambiente son las siguientes: densidad, presión de vapor, coeficiente de partición de suelo, polaridad, electronegatividad, hidrofobicidad (característica química más importante usada para asegurar lo siguiente: (a) movilidad química, (b) estabilidad química, (c) acumulación química, (d) bioacumulación química y (e) absorción química en el ambiente) y solubilidad en agua (Loya Del Angel, 2013).

La alta solubilidad de un compuesto químico promueve su alta movilidad y reducido potencial de acumulación, bioacumulación, volatilidad y estabilidad. Como compuesto químico altamente soluble, está sujeto a biodegradación y metabolismo por microorganismos, el contenido de materia orgánica del suelo o sedimento es importante en la absorción de contaminantes orgánicos, el coeficiente de distribución de agua y suelo / sedimento (kd) para un contaminante no polar depende en gran medida del contenido de materia orgánica del suelo, sedimento (fom) o contenido de carbono orgánico del suelo / sedimento (foc) (Itzel, 2013), se muestran las siguientes relaciones:

$$Koc = kd / foc$$

Kd: Coeficiente de distribución agua-suelo/sedimento.

foc: Contenido de carbón orgánico del suelo/sedimento (Loya Del Angel, 2013).

Tabla 1

Destino de los contaminantes orgánicos en el ambiente en función de su coeficiente de distribución en suelo y solubilidad en el agua

Suelo	Koc >10,000 SA <		Koc de 1,000 a 10,000 SA 10- >	
	10ppm	10,000ppm	1,000ppm	< 1,000 SA
Adsorción	Si	Otra vía	No	
Movilidad	No	Otra vía	Si	
Acumulación	Si	Otra vía	No	
Bioacumulación	Si	Otra vía	No	
Contaminación de la cadena alimenticia	Si	Otra vía	No	
Solubilidad	No	Otra vía	Si	
Persistencia	Si	Otra vía	No	
Disipación	Si	Otra vía	Si	

Simbología: No denota insignificante, Koc (coeficiente de partición en suelo), SA (solubilidad al agua).

Fuente: (Loya Del Angel, 2013).

- **Efectos ambientales del hidrocarburo**

Un desbordamiento de petróleo en el ambiente lleva consigo una serie de cambios progresivos de sus propiedades físico-químicas los cuales se atribuyen al proceso de intemperización, el cual incluye: evaporación, disolución, dispersión, oxidación, emulsificación, sedimentación y biodegradación, los cuales se describen a continuación (Brenes Hurtado, 2017).

- **La intemperización.** - Es la pérdida de ciertos componentes del petróleo a través de una serie de procesos naturales que comienzan una vez que ocurre el derrame y continúan indefinidamente (Seguridad Global, 2017).
- **La evaporación.** - Es el proceso que afecta la composición del producto derramado; agranda su densidad y viscosidad, mengua su solubilidad en el agua reduciendo así el nivel de toxicidad del producto, en la medida que los compuestos más volátiles se evaporan, el petróleo se hace más pesado y puede llegar a hundirse, a las 24 horas casi el 40% del petróleo se ha evaporado, estos porcentajes van variando de acuerdo con el grado de viscosidad del hidrocarburo, por lo que el proceso de evaporación juega un papel muy importante en los derrames, en especial cuando se trata de gasolinas o crudos livianos (Seguridad Global, 2017).
- **La disolución.** - Este proceso es aquel por el cual parte del hidrocarburo se diluye en el volumen de la columna de agua y en los alrededores del derramen el tiempo de disolución depende de la composición, tasa de esparcimiento, temperatura del agua, turbulencia y grado de dispersión, aunque el proceso comienza inmediatamente, es de largo plazo y notar que los compuestos más ligeros son los más solubles en el agua y por lo tanto se convierten en los más tóxicos, por lo que es muy importante calcular su concentración, para estimar los posibles efectos tóxicos (Seguridad Global, 2017).
- **La oxidación.** - Es una mezcla química de hidrocarburos con oxígeno atmosférico y favorece a la descomposición o eventual descomposición del petróleo, cuanto mayor sea el área expuesta, mayor será la oxidación y mayor la velocidad de descomposición, el proceso es lento porque solo una

pequeña cantidad de oxígeno puede penetrar en la mancha de aceite, la oxidación fotoquímica, que depende de la intensidad de la radiación solar (Seguridad Global, 2017).

- **La emulsificación.** - Es el proceso mediante el cual un líquido se dispersa en otro líquido en forma de gotitas, es decir, una suspensión, muchos hidrocarburos tienden a absorber agua en emulsiones, lo que puede aumentar el volumen de contaminantes en un factor de 3 a 4, estas emulsiones son a menudo muy viscosas y, como resultado, otros procesos hacen que el aceite se agriete y retrasen el dosel (Seguridad Global, 2017).
- **La sedimentación.** – Sucede a través de dos mecanismos, el primero conocido como transformación de hidrocarburos, que hace que aumente su densidad con respecto al agua circundante y, por lo tanto, se hunda, y el segundo se produce por la adhesión de partículas suspendidas en el agua en el aceite de forma perpendicular (Seguridad Global, 2017).
- **Biodegradación.** -El proceso por el cual las manchas desaparecen del medio ambiente, ciertos tipos de bacterias, hongos y otros organismos marinos utilizan hidrocarburos como fuente de alimento debido al consumo continuo de oxígeno, la formación de emulsiones de agua en aceite (mousses), etc., es un proceso natural y muy lento, la tasa de biodegradación depende del contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo), oxígeno disuelto, salinidad, la superficie del derrame y la composición y tamaño de la población microbiana (Loya Del Angel, 2013).

2.3.2. *Lombriz Roja californiana (Eisenia foetida)*

Se conoce como lombriz roja californiana porque es en ese estado de Estados Unidos donde se descubrieron sus propiedades para el ecosistema y donde se instalaron los primeros criaderos (Enriquez Espinoza & Soto Huanca, 2017).

2.3.2.1. Características generales de la lombriz roja californiana

- La lombriz roja de California suele vivir en un clima templado, su temperatura corporal fluctúa entre 19 y 20 °C y su humedad es del 82%.
- Mide de 7 a 10 cm de largo y de 3 a 5 mm de diámetro en la edad adulta; su peso aproximado es de un gramo.
- Las lombrices consumen diariamente desechos orgánicos equivalentes a su peso: el 60% se convierte en compost y el resto se usa para el metabolismo y producción de tejidos corporales.
- Su vida útil es de hasta 16 años, durante este período, si la temperatura y la humedad del ambiente son suficientes, se apareará regularmente cada 17 días (45 días para las lombrices comunes) a partir de los tres meses.
- La lombriz roja de California es un animal hermafrodita e incompleto. Es hermafrodita, porque cada gusano tiene dos órganos sexuales independientes (macho y hembra), que producen óvulos y espermatozoides al mismo tiempo. Es incompleto porque a pesar de tener dos órganos sexuales no pueden auto fecundarse y para propagar su propia especie tiene que copular (acoplarse) e intercambiar óvulos y espermatozoides con otra lombriz

(Enriquez Espinoza & Soto Huanca, 2017).

2.3.2.2. Clasificación zoológica

Presenta la siguiente clasificación:

- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| ➤ Reino: Animal | ➤ Familia: |
| ➤ Tipo: Anélido | Lombricidae |
| ➤ Clase: Oligoqueto | ➤ Género: <i>Eisenia</i> |
| ➤ Orden: | ➤ Especie: <i>E. foétida</i> |
| Opisthoro | |

(Enriquez Espinoza & Soto Huanca, 2017).

2.3.2.3. Características morfológicas

Dice que posee el cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral, existe una porción más gruesa en el tercio anterior de 5 mm de longitud llamada clitelium, cuya función está relacionada con la reproducción, la pared del cuerpo de las lombrices está constituida de afuera hacia dentro (Enriquez Espinoza & Soto Huanca, 2017).

2.3.2.4. Siembra de lombrices

Antes de que la lombriz entre en contacto con el alimento del lecho se debe asegurar la fermentación del material, para ello se realiza una prueba de supervivencia, denominada habitualmente prueba de 50 lombrices de tierra (P5OL). Para la prueba, colóquelo en una caja de madera (30 cm x 30 cm x 15 cm). Después de 24 horas, debe verificar si aún se encuentran 50 insectos. Coloque los insectos en la cama. Lo mejor es verificar la temperatura, el pH y la humedad de la comida. También estipula que después de la siembra de anélidos, lo mejor es regar en forma de llovizna para mantener la comida húmeda, cuando aparecen unas gotas de agua al exprimir un puñado de comida se puede identificar suficiente humedad. La comida no debe compactarse, si esto sucede, debe compactarse para oxigenar el lecho y hacer que la comida sea esponjosa y útil para las lombrices. Inmediatamente vaciado el biosólido en las fosas se inocular las lombrices, utilizando 3 kilos de lombrices por metro cuadrado para el tratamiento de los residuos orgánicos de excreta humana, es aconsejable depositar en la superficie del sustrato a compostar, una capa de restos vegetales verdes con el objetivo de evitar la presencia de moscas, olor, etc., las fosas tienen una cubierta de agrofil, para mantener la humedad y temperatura adecuada para la descomposición de los residuos orgánicos y ayudar el trabajo de las lombrices que transforman los residuos orgánicos en humus, a la

vez que se desarrolla la reproducción de lombrices (Enriquez Espinoza & Soto Huanca, 2017).

2.3.3. Biorremediación

La biorremediación es una técnica utilizada en la limpieza de suelos, lodos, sedimentos y aguas contaminadas por compuestos orgánicos e inorgánicos, mediante el uso de organismos vivos (microorganismos y plantas) o de sus enzimas, las cuales son capaces de acumular, transformar o degradar bioquímicamente contaminantes hasta concentraciones que no produzcan efectos nocivos a la salud humana y en general al ambiente (Merino Molina & Vásquez Ortiz, 2014).

2.3.4. Suelos

El suelo representa un ecosistema en el que actualmente encontramos una variedad de compuestos tóxicos, incluidos los hidrocarburos de los procesos del petróleo. El suelo es un organismo natural que alberga bacterias, hongos, levaduras, virus y plantas superiores, entre otros, que sirve para la alimentación de los animales y del hombre a través de los ciclos tróficos, los suelos y los microorganismos mantienen los sistemas ecológicos porque proporcionan componentes químicos y minerales (a través de la degradación biológica); y complejos orgánicos tales como ácidos húmicos y fúlvicos, enzimas, vitaminas, hormonas y antibióticos; Además, albergan una rica reserva genética, la cual debe ser preservada debido a la gran importancia que representa el suelo para la vida del ser humano y de todos los seres vivos, este recurso se debe conservar, sin embargo, en la actualidad está seriamente amenazado por la práctica de sistemas de producción inadecuados o mal aplicados, que incluso han acelerado los procesos de erosión y desertificación de grandes zonas (Loya Del Angel, 2013).

2.3.4.1. Caracterización del Suelo

El suelo constituye un recurso natural que desempeña diversas funciones en la superficie de la Tierra, proporcionando un

soporte mecánico, así como nutrientes para el crecimiento de plantas y microorganismos, la matriz del suelo está formada por cinco componentes principales: minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos (Loya Del Angel, 2013).

- ❖ **Los minerales.** - Son los principales componentes estructurales y constituyen más del 50 % del volumen total del suelo.
- ❖ **El aire y el agua.** - Son los que de manera conjunta ocupan el volumen de los espacios, y usualmente conforman de 25 % a 50 % del volumen total, la proporción relativa de aire/ agua fluctúa considerablemente con el contenido de humedad del suelo.
- ❖ **El material orgánico.** - Ocupa entre 3 % y 6 % del volumen promedio.
- ❖ **Organismos vivos.** - Constituyen menos del 1%.

Todos estos factores definen el tipo de suelo, que junto con las condiciones particulares de un sitio frecuentemente pueden limitar la selección de un proceso de tratamiento en particular, por otra parte, la posibilidad de usar una tecnología de tratamiento puede eliminarse con base en la clasificación del suelo u otras características propias de éste, a continuación se describen algunos de los datos del suelo, que pueden obtenerse con relativa facilidad y que controlan la eficiencia de una tecnología de remediación (Loya Del Angel, 2013).

2.3.4.2. Factores del suelo para la eficiencia de una tecnología de remediación

- **Tamaño de partícula.** - Los suelos se clasifican de acuerdo a su tamaño de grano, con sus tres componentes principales arcillas (< 0.002 mm), sedimentos (0.002 - 0.05 mm) y arenas (0.05 - 2.0 mm) son los diferentes tipos de partículas que tienen una influencia directa en el estado físico, químico y propiedades biológicas del suelo, de modo que generalmente los materiales sueltos (arena y grava fina) son más fáciles de tratar en la tecnología de remediación, en general,

los materiales no consolidados (arenas y gravas finas) son más fáciles de tratar (Loya Del Angel, 2013).

- **Heterogeneidad.** - Un suelo demasiado heterogéneo puede impedir el uso de tecnologías in situ que dependen del flujo de un fluido, pueden crearse canales indeseables de fluidos en las capas arenosas y arcillosas, dando como resultado tratamientos inconsistentes (Loya Del Angel, 2013).
- **Densidad aparente.** - Es el peso del suelo por unidad de volumen, incluyendo agua y espacios, es sustancial considerar que el suelo está compuesto por sólidos y espacios llenos de agua y/o aire, y que su densidad dependerá de su humedad, es útil para realizar cálculos para el transporte del material (Loya Del Angel, 2013).
- **Permeabilidad.** - Se refiere a la facilidad o dificultad con la que un líquido puede fluir a través de un medio permeable, la permeabilidad de un suelo es uno de los factores que controlan la eficacia de las tecnologías in situ en la mayoría de las tecnologías de remediación (Loya Del Angel, 2013).
- **El pH.** - Determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo y, por lo tanto, influye en su solubilidad, movilidad, disponibilidad y formas iónicas de un contaminante y otros componentes del suelo, la solubilidad de muchos contaminantes inorgánicos cambia según el valor del pH y normalmente su movilidad disminuye con un pH alto (Loya Del Angel, 2013).
- **Humedad.** - La humedad del sitio a tratar es un factor importante a la hora de elegir una tecnología en particular. Un alto nivel de humedad puede dificultar el movimiento del aire a través del suelo, perjudicar los procesos de remediación biológica y causar problemas con la excavación y el transporte. además de aumentar costos durante el uso de métodos de remediación térmicos (Loya Del Angel, 2013).
- **Materia orgánica.** - La fracción orgánica de los suelos está constituida por desechos vegetales y animales, comúnmente

denominados humus, un suelo con un alto contenido de humus que reduce la movilidad de los compuestos orgánicos y por ende la eficiencia de ciertas tecnologías (extracción de humos, lavado de suelos) (Loya Del Angel, 2013).

- **Contaminación del suelo.** - En muchos países, la sociedad civil está profundamente preocupada por los efectos en la salud de la exposición a oligoelementos (también conocidos como metales pesados) y contaminantes orgánicos en el suelo, y el aumento de la inclusión de oligoelementos en el suelo ha provocado una creciente preocupación a nivel mundial, en particular en países desarrollados como China e India, donde la regulación, la gestión y la mitigación luchan por mantenerse al día con la liberación de contaminantes al suelo, sin embargo, las naciones desarrolladas no son inmunes a las amenazas a la función del suelo impuestas por los elementos traza, el largo legado de la disposición de residuos tóxicos y la acumulación de metales en suelos suponen grandes desafíos para el uso y reclamación de tierras contaminadas (Montanarella, Pennock, & Mckenzie, 2016).

2.3.4.3. Las propiedades químicas del suelo más afectadas por un derrame de hidrocarburos

- **Pérdida de carbono orgánico del suelo:** A nivel mundial, los suelos son la mayor reserva terrestre de carbono y, por lo tanto, tienen un mayor impacto en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono. Las estimaciones globales del almacenamiento de SOC (sulfuro de carbonilo) se han publicado durante décadas. El Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (GICC) estimó el COS (sulfuro de carbonilo), acumulado en el primer metro del suelo en 1502 billones de toneladas, las estimaciones mundiales actuales derivadas de la Base de Datos Armonizada de los Suelos del Mundo (BDASM) sugieren que aproximadamente 1417 billones de toneladas

de COS (sulfuro de carbonilo) están almacenados en el primer metro de suelo y alrededor de 716 billones de toneladas de COS (Sulfuro de carbonilo) en los 30 cm superiores (Montanarella et al., 2016).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es mayor a 50% en el distrito de Huancavelica.

2.4.2. Hipótesis específicas

- ✚ La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en el distrito de Huancavelica es eficiente.
- ✚ El tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo es 90 días en el distrito de Huancavelica.
- ✚ La cantidad adecuada de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo es 4 kg en el distrito de Huancavelica.

2.5. Definición de Términos

- **Ácidos húmicos.** - Son uno de los principales componentes del humus, el principal componente del humus, la materia orgánica del suelo. Contribuyen a sus cualidades físicas y químicas y también son precursores de los combustibles fósiles (Murillo Aznar, 2021).
- **Ácido fúlvico.** - Es una sustancia orgánica natural soluble en agua de bajo peso molecular derivada del humus. Las fuentes de minerales vegetales se conocen como sustratos de humus o depósitos de humus y generalmente se encuentran en las capas superiores del suelo (Murillo Aznar, 2021).

- **Adhesión.** - Es una propiedad de la materia en la que dos superficies de sustancias similares o diferentes se unen y se forman cuando entran en contacto y se mantienen unidas por fuerzas intermoleculares (Vite Terán, 2021).
- **Asfáltenos.** - Son una familia de productos químicos orgánicos en el petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y, por lo tanto, tienen los puntos de ebullición más altos (Gregorio Delgado, 2015).
- **Biodegradar.** -Descomposición de una sustancia por microorganismos, cualquier producto o sustancia puede descomponerse en los elementos químicos que la componen en condiciones ambientales naturales a través de la acción de agentes biológicos como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales (Wikipedia, 2021).
- **Biosólido.** - Son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos resultantes del tratamiento de aguas residuales tratadas, por su alto valor nutricional pueden ser utilizados en agricultura y horticultura, su contenido en macro y micronutrientes favorece el crecimiento de plantas y cultivos. Los biosólidos poseen además un alto valor calorífico lo cual los hace una excelente fuente para el desarrollo de alternativas de combustión con recobro de energía (Acueductospr, 2021).
- **Compensación.** - Intercambio de cheques, letras u otros valores, entre entidades de crédito, con liquidación periódica de los créditos y débitos recíprocos (Real Academia Española, 2021).
- **Densidad.** – El tamaño muestra la relación entre la masa y la masa de un cuerpo. Su unidad en el sistema internacional es kilogramos por metro cúbico (kg / m³) (Real Academia Española, 2021).
- **Extracción.** – Es el proceso de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes que no se mezclan con un nivel diferente de solubilidad y se exponen a través de la interfaz. La relación de la

concentración de la sustancia en cada disolvente, a ciertas temperaturas es constante (Real Academia Española, 2021).

- **Lombriz roja californiana.** - Son organismos importantes en los ecosistemas terrestres, manteniendo la estructura del suelo, ayudando a la ventilación y también forman parte de los procesos desarrollados además de la degradación de la sustancia orgánica, el ciclo del músculo y la nutrición (Paco, Loza, Mamani, & Sainz, 2011).
- **Manglares.** - La tierra en el área tropical está cubierta con gran marea, llena de estuarios, lo cortan muchas islas bajas, donde crecen los árboles crudos en agua salada (Real Academia Española, 2021).
- **Metabolizar.** -Calidad que los seres sensibles deben poder cambiar químicamente las propiedades de algunas sustancias que forman todas las reacciones bioquímicas y procesos de procesamiento que ocurren en una célula y en el cuerpo. Estos procesos son complicados e interdependientes, son la base de la vida, a nivel molecular, y posibilitan diversas actividades celulares: crecimiento, reproducción, mantenimiento de su estructura y respuesta a estimulantes, entre otras (Real Academia Española, 2021).
- **Petróleo.** - La sustancia consiste en una mezcla de hidrocarburos, colores oscuros y olores fuertes, negro y más ligero que el agua, que se encuentra en el estado natural en las minas subterráneas de la capa superior de la corteza de la tierra; Su destilación dividida da productos con una gran importancia industrial, como la gasolina, el queroseno, el alquitrán, el solvente, etc (Real Academia Española, 2021).
- **Polaridad.** -. La propiedad que los agentes físicos se han acumulado en el polo de un cuerpo y una polarización (Real Academia Española, 2021).
- **Presión de vapor.** - Magnitud física muestra la fuerza del efecto por un cuerpo en la superficie. Su unidad en el sistema internacional es Pascal. El supresor de la atmósfera en todos los objetos hallados. Su valor normal

del nivel del mar es de 760 mm Hg (Reid Robert & Sherwood Thomas, 2021).

- **Solvente.** - Es parte de una gran cantidad de solución. La solución incluye una combinación y manejo de solubilidad (con menos números, generalmente sólidos o líquidos, pero con concentraciones incrementadas) y disolventes (liquidados con propiedades beneficiosas para sustancias solubles solubles). El soluto universal es el agua, debido a la neutralidad en el proceso y es fácil de adaptarse a la transformación de nuevas moléculas de otros factores (Real Academia Española, 2021).

2.6. Identificación de Variables

- **Variable dependiente:** Reducción de hidrocarburos (Fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo.

Indicadores:

Concentración inicial y final de hidrocarburos (Fracción C₁₀ - C₂₈) de petróleo.

- **Variable independiente:** Uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Indicadores:

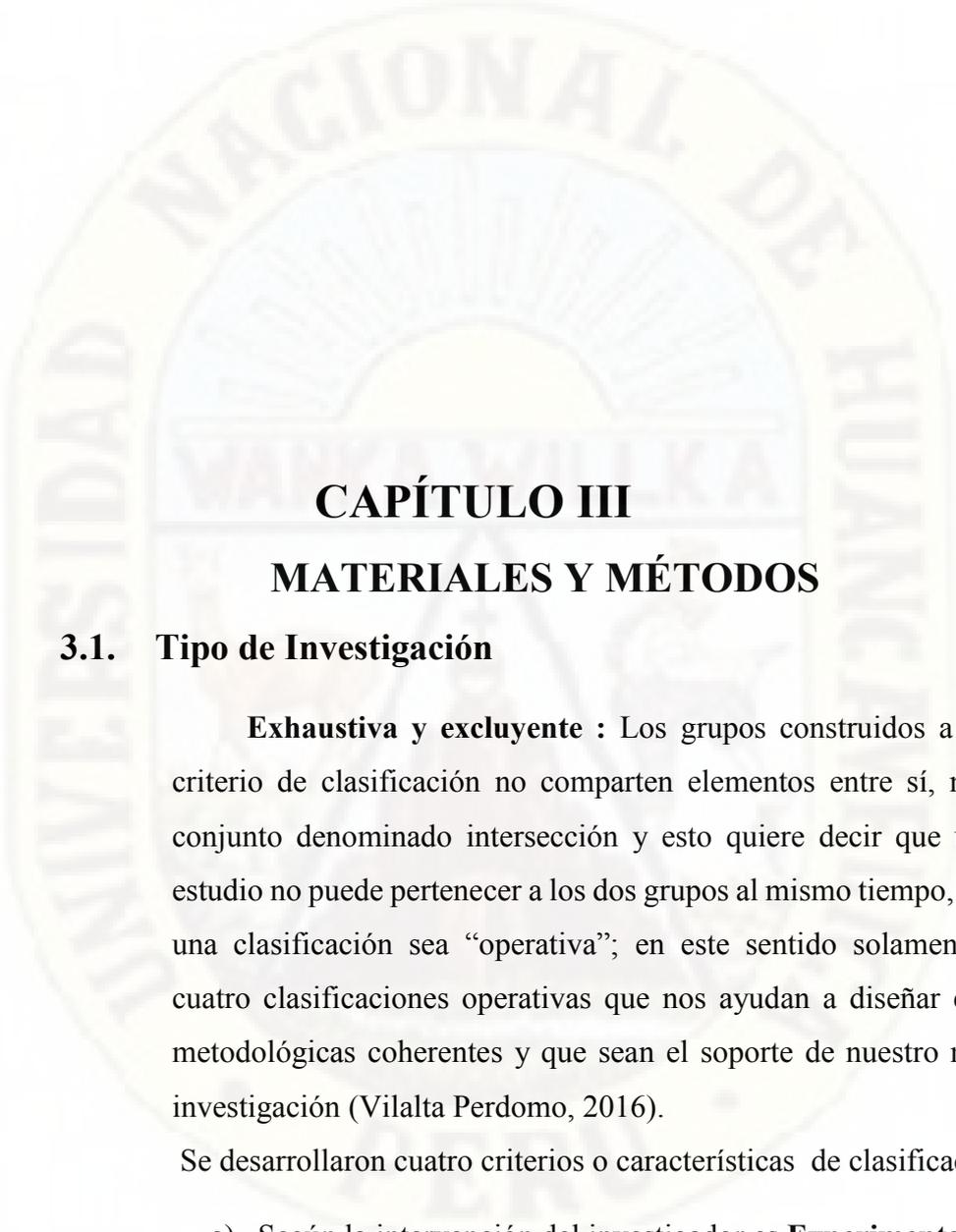
Cantidad de lombrices (2 Kg ,4 Kg y 6 Kg). Tiempo de tratamiento (30 días, 60 días y 90 días).

2.7. Operacionalización de Variables

Tabla 2

Tabla de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
<p>Variable dependiente:</p> <p>Reducción de hidrocarburos (Fracción C₁₀ – C₂₈) de petróleo.</p>	<p>Hidrocarburos de petróleo:</p> <p>Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media: Es la mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono. Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diésel, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros (Ministerio del Ambiente, 2017a).</p>	<p>-La reducción de hidrocarburo (Fracción C₁₀ a C₂₈) de petróleo se determinará a través análisis en laboratorio. Y será comparado con la ECA suelo vigente.</p>	<p>Parámetro Orgánico</p> <p>-Hidrocarburos de petróleo:</p> <p>-Fracción de hidrocarburos F2 (12) (> C₁₀ a C₂₈).</p>	<p>Concentración:</p> <p>-Hidrocarburos (Fracción F2 (12) (> C₁₀ a C₂₈) de petróleo.</p>	<p>-mg/Kg MS (materia seca).</p>	<p>Método de ensayo:</p> <p>-EPA 8015 (Ministerio del Ambiente, 2017b).</p> <p>- Cromatógrafo.</p>
<p>Variable Independiente:</p> <p>Uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).</p>	<p>Lombriz Roja Californiana: Son organismos importantes en los ecosistemas terrestres, mantienen la estructura de los suelos, ayudan en la aireación y también hacen parte de los procesos que allí se desarrollan como la degradación de materia orgánica y el ciclo de los nutrientes (Barbaran, 2017).</p>	<p>- Uso de la Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>) se determinará por 2 kg/m², 4 kg/m² y 6 kg/m² de la cama por triplicado.</p> <p>-Tiempo de accionar de las lombrices para reducir hidrocarburo (F2) de petróleo se determinará por los análisis en laboratorio a los 30 días, 60 días y 90 días.</p>	<p>-Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).</p>	<p>-Cantidad de lombrices (2 ,4 y 6).</p> <p>-Tiempo de tratamiento (30, 60 y 90).</p>	<p>- Kg.</p> <p>- Días.</p>	<p>-Balanza.</p> <p>- calendario</p>



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de Investigación

Exhaustiva y excluyente : Los grupos contruidos a partir del criterio de clasificación no comparten elementos entre sí, no hay un conjunto denominado intersección y esto quiere decir que un mismo estudio no puede pertenecer a los dos grupos al mismo tiempo, hacen que una clasificación sea “operativa”; en este sentido solamente existen cuatro clasificaciones operativas que nos ayudan a diseñar estrategias metodológicas coherentes y que sean el soporte de nuestro método de investigación (Vilalta Perdomo, 2016).

Se desarrollaron cuatro criterios o características de clasificación.

- a) Según la intervención del investigador es **Experimental**; permite el control y la manipulación de variables que posibilitan conocer los efectos y el grado de influencia entre ellas.
- b) Según la planificación de las mediciones es **Prospectivo**; por que se tiene mediciones planificadas y datos primarios.
- c) según el número de mediciones de la variable de estudio es **longitudinal**; por que se tiene mas de una medición de variables.

- d) por el número de variables analizadas es **Analítica**; por que se esta manejando mas de una variable.

3.2. Nivel de Investigación

Explicativo: su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández, Roberto; Fernández, Carlos; Baptista, 2014), los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales.

3.3. Métodos de Investigación

Metodo analítico.- Incluido en el contexto de modelos teóricos, el método de análisis está presente en diversos modelos de investigación, consistiendo en una operación intelectual que descomponen el objeto en partes con la finalidad de conocer sus características, propiedades generales y específicas. “Consiste en la extracción de las partes de un todo, con el objeto de estudiarlas y examinarlas por separado, para ver, por ejemplo, las relaciones entre éstas” (Gomes Bastar, 2012).

3.4. Diseño de Investigación

Experimental puro: Es la investigación en la cual se manipulan de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos) (Hernández, Roberto; Fernández, Carlos; Baptista, 2014).

El trabajo de investigación se ha enmarcado en el diseño factorial ya que se estudio los efectos de dos factores (catidad de lombriz y tiempo de tratamiento),

La preparación básica de un diseño factorial consiste en que todos los niveles o modalidades de cada variable independiente son tomados en combinación con todos los niveles o modalidades de las otras variables

independientes (Hernandez Sampiere, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010). Para la investigación se eligió el diseño experimental, con diseños factoriales 3x3 con 3 repeticiones y queda como sigue:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$\text{con } i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1, \dots, n$$

Donde:

Y_{ijk} = Reducción de hidrocarburo en el tratamiento

μ = Media general

γ_i = Cantidad de lombriz roja californiana a utilizarse
en su nivel i

δ_j = Es el tiempo en su nivel j

$(\gamma\delta)_{ijn}$ = Efecto de interacción de ambos en los niveles " ij " y " n "
es el numero de repeticiones de cada tratamiento

ε_{ij} = Error experimental de 0.05 %

Tabla 3

Diseño factorial 3x3 con tres repeticiones, Tiempo (A) y Cantidad de Lombriz (B)

Tiempo	Cantidad de lombriz roja californiana		
	(B1) 2kg	(B2) 4kg	(B3) 6kg
(A1) 30 Días	A1	A1	A1
	B1	B2	B3
	A1	A1	A1
	B1	B2	B3
	A1	A1	A1
	B1	B2	B3
(A2) 60 Días	A2	A2	A2
	B1	B2	B3
	A2	A2	A2
	B1	B2	B3
	A2	A2	A2
	B1	B2	B3
(A3) 90 Días	A3	A3	A3
	B1	B2	B3
	A3	A3	A3
	B1	B2	B3
	A3	A3	A3
	B1	B2	B3

3.5. Población, Muestra y Muestreo

Población: Se tomó como una población referencial a los centros de venta de hidrocarburos de la ciudad de Huancavelica, que cuentan con un área aproximada de 2 000 m².

Muestra: Se tomó como tamaño muestral una muestra no probabilística y pretendida, que consiste en el muestreo no aleatorio de una muestra cuyas propiedades son similares a las de la población objetivo. En este tipo de muestreos la representatividad, la determina el investigador de modo

subjetivo, siendo este el mayor inconveniente del método ya que no podemos cuantificar la representatividad de la muestra (Bedoya, 2010), Por lo antes mencionado, la obtención de la muestra se consideró los cuatro (4) puntos específicos que son los centros de venta de combustibles, de donde se obtuvieron 9 kilogramos de suelo contaminado con hidrocarburo, de cada una de ellas.

Muestreo: El muestreo se realizó por el mecanismo no probabilístico por conveniencia en los cuatro (4) puntos estratégicos de venta de combustibles de la ciudad de Huancavelica y se utilizó como protocolo la Guía de Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, 2013).

Figura 1

Muestreo de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo



a) Ubicación Geográfica:

- **Latitud Sur:** 12°46'54.44"S
- **Longitud:** 74°57'36.84"O
- **Altitud:** 3678 m.s.n.m.

b) Ubicación Geopolítica:

- **Departamento:** HUANCVELICA
- **Provincia:** HUANCVELICA
- **Distrito:** HUANCVELICA

a) Geoferenciación:

Figura 2

Georeferenciación de los puntos de muestreo



Fuente: Google Earth(2021).

Tabla 4

Coordenadas de los 4 puntos que delimitan el área de estudio

Punto	Punto de referencia		Punto de venta de combustible
	Este (X)	Norte (Y)	
Punto 1	12°78'30.22"S	74°95'78.71"O	Estación de servicios Espinoza Ore Hnos
Punto 2	12°78'17.31"S	74°96'27.12"O	Estación de servicios señor de Oropesa
Punto 3	12°78'55.85"S	74°98'59.60"O	Estación de servicios San Juan
Punto 4	12°78'23.84"S	74°99'27.80"O	Grifo El Carmen

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Los datos fueron obtenidos a partir de las observaciones, mediciones y documentación de mediciones; la medición de las concentraciones de hidrocarburos, se trabajaron con un laboratorio acreditado por INACAL, denominado SERVICIOS GENERALES S.A.C. laboratorio de ensayos; lo que hace confiable el instrumento. Se realizó también el muestreo de suelos en los centros de venta de hidrocarburos de la ciudad de Huancavelica en un área aproximada de 2 000 m², de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5*Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Etapas	Fuentes	Técnicas	Instrumentos	Resultados
Determinación de la información del área y toma de muestra de suelos contaminados con hidrocarburos en condiciones iniciales.	Guía de muestreo de suelos (Ministerio del Ambiente, 2014).	Observación.	Hoja de campo para muestreo de suelos inicial. Ficha de registro del suelo contaminado con hidrocarburo.	Obtención de muestras de suelos contaminados con hidrocarburos en condiciones iniciales.
Elaboración de las 27 camas.	Guía de lombricultura (Díaz, 2002).	Lombricultura	Ficha de registro de las camas.	Camas con lombrices para reducir hidrocarburos (fracción C ₁₀ – C ₂₈) de petróleo en suelos contaminados con el uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).
Aplicación de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) 2 kg/ m ² , 4kg/ m ² y 6kg/ m ² en las camas.	Investigador.	Observación	Ficha de registro de aplicación de lombriz de tierra.	Reporte del inicio del tratamiento.
Recolección de muestra de suelos tratados a los 30 días, 60 días y 90 días.	Fichas del investigador.	Observación	Ficha de registro de concentración de suelos contaminados con hidrocarburos.	Emisión de resultados por el laboratorio de los análisis de concentración de suelos contaminados con hidrocarburos en suelos.

			Etiquetas para rotular las muestras.
Análisis de resultados.	Informe de análisis especial en suelo. (laboratorio de ensayos acreditado por INACAL)	Observación	Procesamiento de datos en Microsoft Excel de los resultados, Ficha de determinación de concentración de hidrocarburos en suelos. Resultados que comprobaran la disminución de suelos contaminados con hidrocarburos, utilizando las lombrices rojas californiana (<i>Eisenia foetida</i>).

3.7. Técnicas de Procesamientos y Análisis de Datos

Se utilizó la técnica de la observación y posteriormente se realizó el análisis de la concentración de hidrocarburos (fracción C₁₀ – C₂₈) de acuerdo a los parámetros elegidos y conforme a los protocolos demandados por el laboratorio seleccionado. Para el análisis de datos se utilizó los programas de MINITAB 18, IBM SPSS Statistics 25 y el Microsoft Excel 2013.

En la etapa experimental los suelos contaminados con hidrocarburos fueron tratados con lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), mediante lo cual se pudo comprobar la hipótesis propuesta, es decir recolectar datos. Cuyo objeto fue determinar la existencia de la hipótesis nula o la hipótesis de investigación, con una confiabilidad de 95% Microsoft Excel 2013, IBM SPSS 25 y MINITAB 18.

Los datos procedimiento de la tesis fueron mediante fases:

Fase 1: Procedimientos Previos

Los procedimientos antepuestos llevados a cabo en la Fase 1 fueron los siguientes:

Reactivación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Se procedió a cultivar las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), las cuales se encontraba en camas con tierra negra comprados desde el vivero municipal al costado del camal municipal de la ciudad de Huancavelica. Para esto se realizaron los siguientes pasos:

Obtención de la muestra de Crudo de Petróleo.

La muestra de petróleo se obtuvo mediante el procedimiento de recolección de muestras de los suelos contaminados de los puntos estratégicos de venta de combustible en la ciudad de Huancavelica y se utilizó la guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, 2013).

Se recolectaron muestras de suelo, según lo siguiente:

- Se procedió a limpiar la zona de ramas, piedras y/o hierbas, en un área aproximada de 1x1 m.
- Se realizó la excavación de un área de 0.4x0.4 m con una profundidad de 0.3 m.
- Se homogenizó la muestra y se descartó las grabas, para luego utilizar aproximadamente 54 kg, que se dividieron en nueve camas (bandejas) de 6 kg cada una.
- Se llevó al laboratorio una muestra del suelo recolectado para su análisis y caracterización.

Fase 2: Preparación

Preparación del suelo contaminado

Se pesó un total de 54 kg de suelo contaminado, la cual fue dividida en las nueve camas (bandejas) de 6 kg cada una.

Inoculación de la cepa en el sustrato

Pasadas dos días de desde la obtención de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), se procedió a la inoculación de esta en el sustrato.

Se procedió a pesar la cantidad de lombriz necesaria para cada bandeja, y de esta manera obtener las concentraciones deseadas:

- 2 kilogramos de lombriz y su humus propio para los 6 kilogramo de suelo contaminado.
- 4 kilogramos de lombriz y su humus propio para los 6 kilogramo de suelo contaminado.
- 6 kilogramos de lombriz y su humus propio para los 6 kilogramo de suelo contaminado.

Finalmente realizando la mezcla correspondiente se dejó inocular, a temperatura ambiente durante: 30, 60 y 90 días para su posterior análisis de laboratorio.

Fase 3: Biorremediación

Tratamientos

Con el propósito de cumplir los objetivos planteados, se estudiaron dos factores: la cantidad de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) y el tiempo de tratamiento, para obtener la concentración inicial y final de hidrocarburos de petróleo.

El primer factor constó de tres (03) niveles: 0 treinta (30) días, sesenta (60) días noventa (90) días.

El segundo factor constó de también tres niveles: 2 kilogramos de lombriz, 4 kilogramos de lombriz y 6 kilogramos de lombriz.

De esta manera se estableció un arreglo factorial de 3x3, lo cual significó un total de nueve tratamientos, con tres repeticiones cada uno, obteniéndose así un total de 27 unidades experimentales.

Proceso de biorremediación

El proceso experimental se desarrolló desde el 04 de abril al 03 de julio del 2020, dando un total de 90 días.

Se mantuvo en un ambiente a similares condiciones de temperatura durante los 90 días. Además, se mantuvo la humedad a un promedio de 20%, en cada cama; esto se logró agregando agua destilada periódicamente.

Asimismo, se realizó el análisis de la F2 (Fracción de hidrocarburos C₁₀- C₂₈) al inicio y al final del proceso de biorremediación.

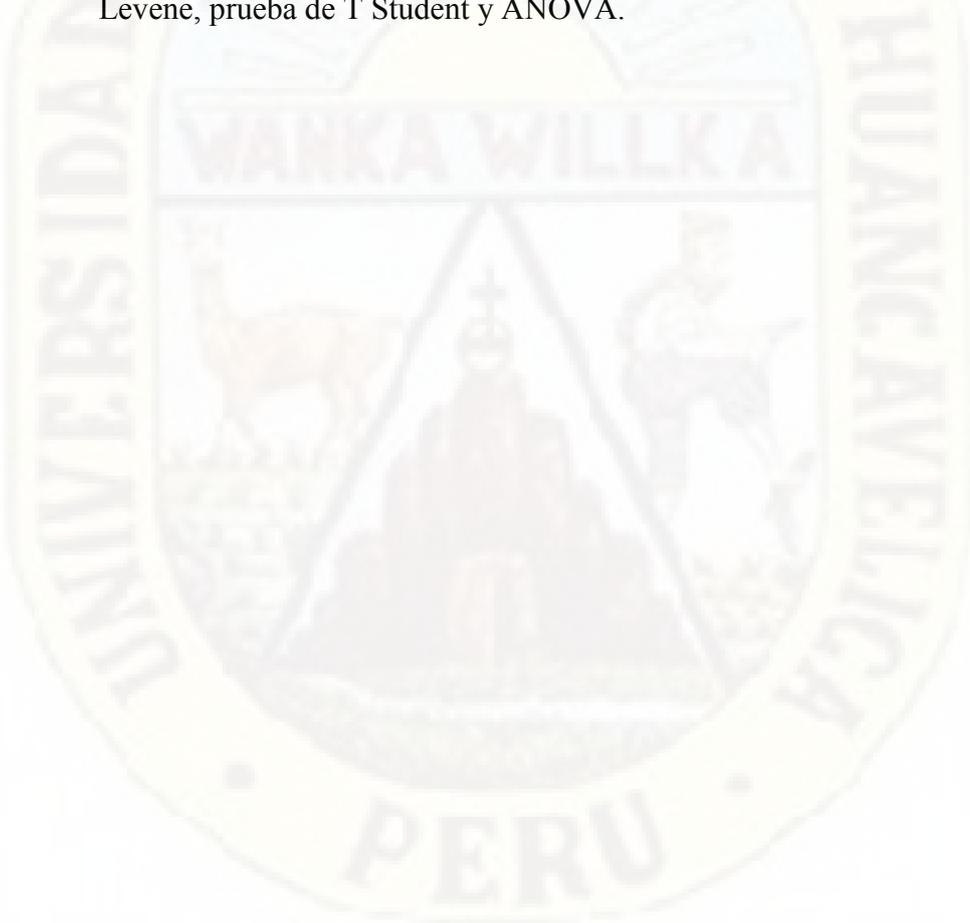
3.8. Descripción de la Prueba de Hipótesis

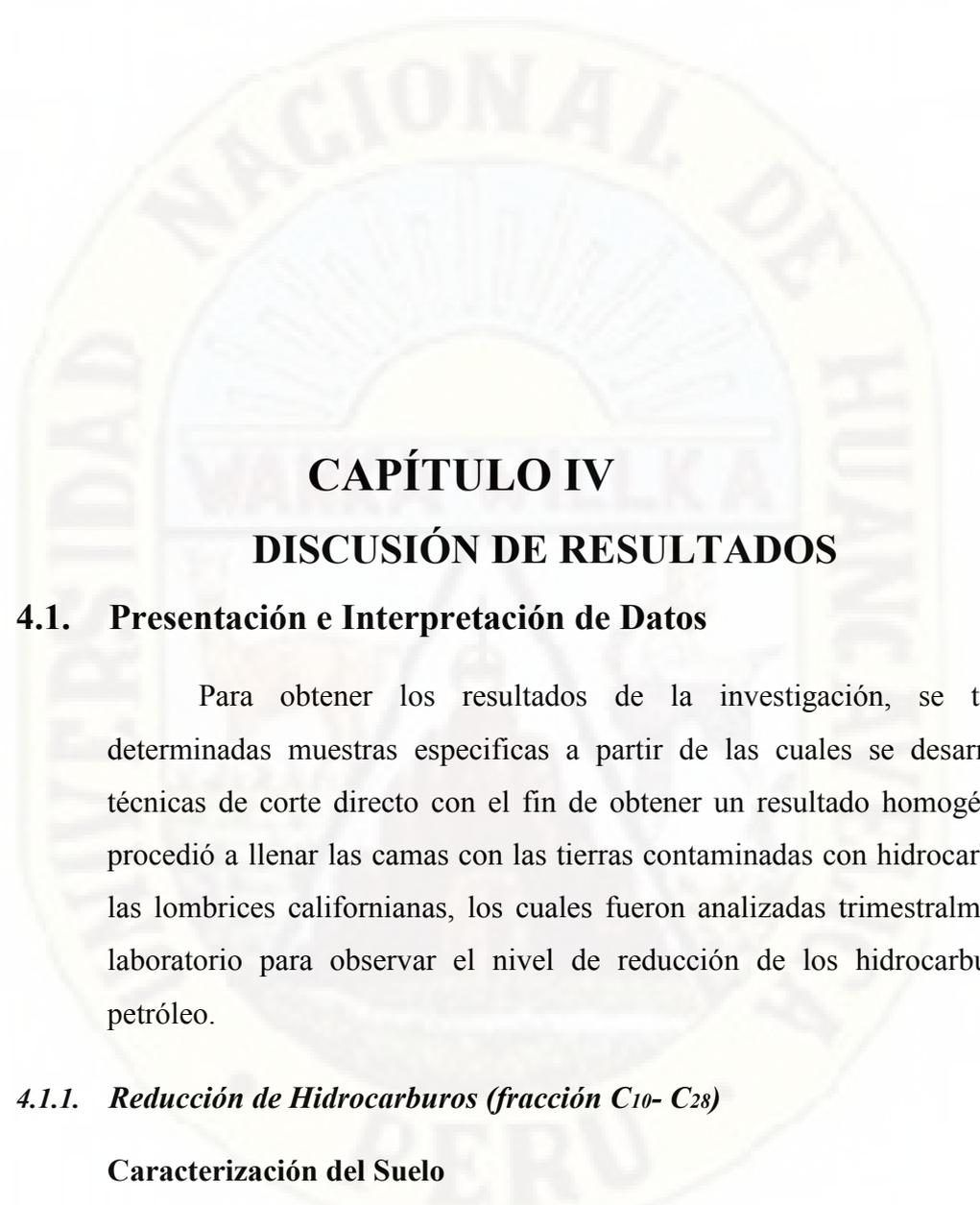
Se utilizó el diseño factorial 3x3 con tres repeticiones, los análisis de los datos se realizaron con la prueba de Tukey. La prueba se estudió con el 5 % de significancia, utilizando Microsoft Excel 2013, IBM SPSS Statistics 25 y MINITAB 18.

El diseño que se empleó en el estudio de la reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀ – C₂₈) de petróleo utilizando lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en el distrito de Huancavelica es el diseño factorial con tres repeticiones, en el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos. En el experimento sobre el análisis del suelo contaminado por hidrocarburos, se registrará la concentración de hidrocarburos en 3 repeticiones para los tratamientos con 2 Kg, 4 Kg y 6 Kg de lombriz roja californiana (*Eisenia*

foetida), los registros se efectuarán en cuatro tiempos (día 0, día 30, día 60 y día 90).

Se trata, por tanto, de un diseño de dos factores: un factor inter – sujetos (cantidad de lombrices para reducir los hidrocarburos) con tres cantidades (2 Kg, 4 Kg y 6 Kg) y un factor intra – sujetos tiempo de accionar de las lombrices para reducir hidrocarburos en el suelo) con cuatro tiempos (día 0, día 30, día 60 y día 90). Como variable dependiente utilizamos la concentración de hidrocarburos en el suelo. Así, también se utilizó la prueba de hipótesis de Levene, prueba de T Student y ANOVA.





CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación e Interpretación de Datos

Para obtener los resultados de la investigación, se tomaron determinadas muestras específicas a partir de las cuales se desarrollaron técnicas de corte directo con el fin de obtener un resultado homogéneo. Se procedió a llenar las camas con las tierras contaminadas con hidrocarburos y las lombrices californianas, los cuales fueron analizadas trimestralmente en laboratorio para observar el nivel de reducción de los hidrocarburos de petróleo.

4.1.1. Reducción de Hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈)

Caracterización del Suelo

Los resultados de la caracterización de suelo se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6
Resultados de la caracterización del suelo

Parámetro		Unidad	Suelo
	pH	-	7,6
	Conductividad Eléctrica	dS m-1	0,72
	CaCO ₃	g kg-1	46,0
	Materia Orgánica	g kg-1	1,6
	P disponible	mg kg-1	1,2
	K disponible	mg kg-1	56
Análisis Mecánico	Arena (A)	g kg-1	400
	Limo (L)	g kg-1	430
	Arcilla (Ar)	g kg-1	170
Clase Textural*	-	Franco	
	CIC medida	cmolc kg-1	10,88
	CIC efectiva	cmolc kg-1	10,88
Cationes Intercambiables	Ca ⁺²	cmolc kg-1	8,97
	Mg ⁺²	cmolc kg-1	1,40
	K ⁺	cmolc kg-1	0,29
	Na ⁺	cmolc kg-1	0,23
	Al ⁺³ + H ⁺	cmolc kg-1	0,00
	Saturación de Bases	%	100
	Acidez cambiante	%	0

El suelo analizado tuvo textura franca y pH neutro. Su capacidad de intercambio catiónico (CIC) efectiva fue baja (10,88 cmolc kg-1), propio de suelos con baja habilidad de retener nutrientes y pobre en materia orgánica. El nivel de materia orgánica fue bajo. El contenido de carbonatos se clasificó como calcáreo.

Análisis de la concentración de F2 (fracción de hidrocarburos C₁₀ – C₂₈) en el suelo contaminado

A. Análisis Inicial

Se procedió a realizar el análisis de suelo a cada uno de los tratamientos, con el objetivo de conocer la concentración inicial de la F2 de hidrocarburos presente. Las concentraciones promedio obtenidas a partir de los análisis de las tres réplicas realizadas a cada tratamiento se muestran en la Tabla 7. Asimismo, en el apéndice se muestran los resultados de laboratorio correspondiente.

Tabla 7
Concentraciones iniciales promedio del tratamiento de suelo contaminado con hidrocarburos

Tratamiento	F2 (fracción de hidrocarburos C ₁₀ – C ₂₈) (mg/Kg)
T 1-1	2255,0
T 1-2	2255,0
T 1-3	2255,0
T 2-1	2255,0
T 2-2	2255,0
T 2-3	2255,0
T 3-1	2255,0
T 3-2	2255,0
T 3-3	2255,0

B. Análisis Final

Luego de transcurridos los 30, 60 y 90 días del proceso de biorremediación, se procedió al análisis de suelo. Las concentraciones promedio obtenidas a partir del análisis de las tres réplicas realizadas en cada tratamiento se muestran en la Tabla 8. Asimismo, en el apéndice se muestran los resultados de laboratorio, correspondiente a este periodo.

Tabla 8*Concentraciones finales promedio de los tratamientos*

Tratamiento 30 Días	Repetición			Promedio
	2kg	4kg	6kg	
T 1	2064	2022	2020	2035.33
T 2	1906	1905	1903	1904.67
T 3	1754	1749	1753	1752.00
Tratamiento 60 Días	Repetición			Promedio
	2kg	4kg	6kg	
T 4	1495	1492	1490	1492.33
T 5	1202	1200	1205	1202.33
T 6	1065	1059	1061	1061.67
Tratamiento 90 Días	Repetición			Promedio
	2kg	4kg	6kg	
T 7	873	876	871	873.33
T 8	708	702	703	704.33
T 9	651	655	650	652.00

4.1.2. Eficiencia de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*)

Niveles de Reducción de F2(Fracción de hidrocarburos de petróleo C₁₀ – C₂₈)

A partir de los análisis realizados a las concentraciones iniciales y finales de cada uno de los tratamientos, se procedió a calcular los niveles de reducción absolutas y porcentuales de la F2 mediante las siguientes formulas:

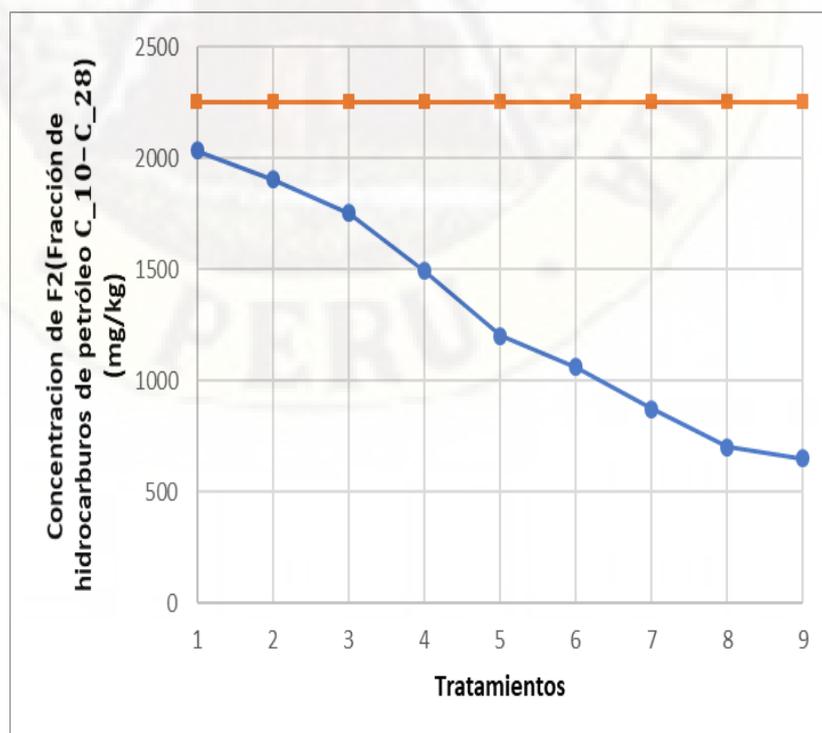
$$\text{Reducción Absoluta.} = C_i - C_f;$$

$$\% \text{ Reduc.} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Con aplicación de la formula, se obtuvo los resultados presentados en la Tabla 9, la Figura 9 y Figura 3.

Tabla 9*Reducción Promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C₁₀- C₂₈)*

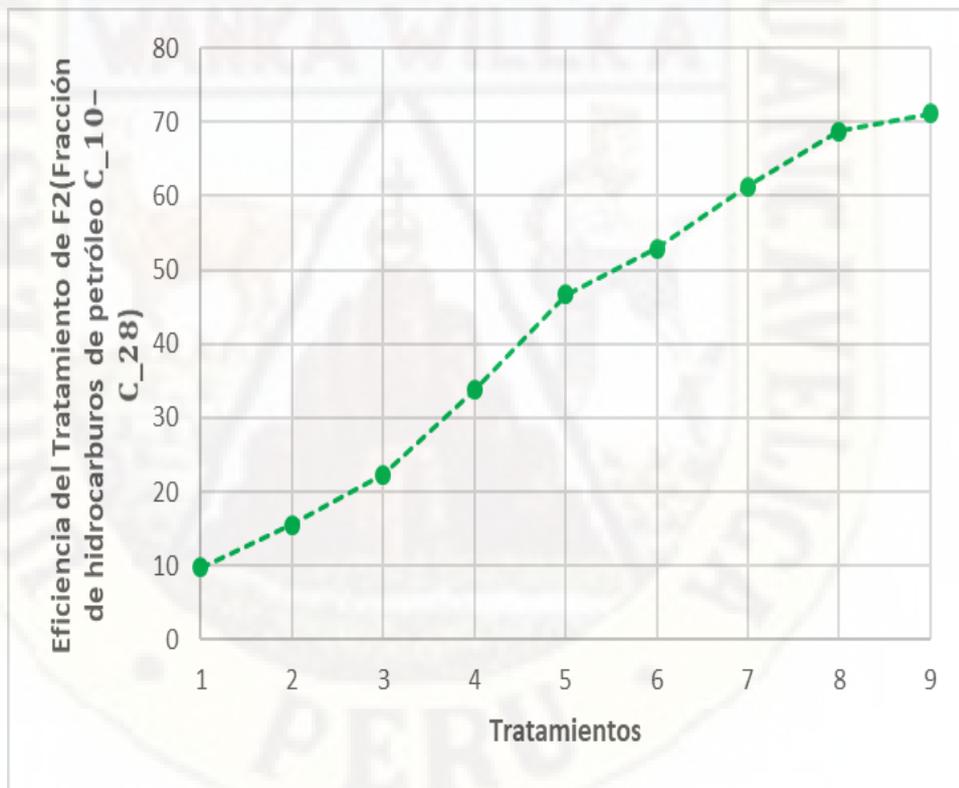
Tratamiento	F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ – C ₂₈)(mg/Kg)			
	Inicio	Final	Reducción Promedio	% Promedio
T1	2255,0	2035.33	219.67	9.74
T2	2255,0	1754	350.33	15.54
T3	2255,0	1752	503.00	22.31
T4	2255,0	1492.33	762.67	33.82
T5	2255,0	1202.33	1,052.67	46.68
T6	2255,0	1061.67	1,193.33	52.92
T7	2255,0	873.33	1,382.00	61.29
T8	2255,0	704.33	1,550.67	68.77
T9	2255,0	652	1,603.00	71.09

Figura 3*Reducción Promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C₁₀- C₂₈)*

En la figura 3 se puede apreciar el resultado de la reducción promedio de los hidrocarburos de petróleo fracción 2 (C₁₀- C₂₈), presentes en el suelo contaminado; la línea de color anaranjado representa los resultados iniciales, las cuales se registraron 2255mg/kg, que indica alta concentración de hidrocarburos en las muestras en estudio, no obstante, el de color azul indica la reducción promedio después del tratamiento aplicando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), al suelo con hidrocarburo.

Figura 4

Eficiencia de Reducción Promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo (C₁₀- C₂₈))

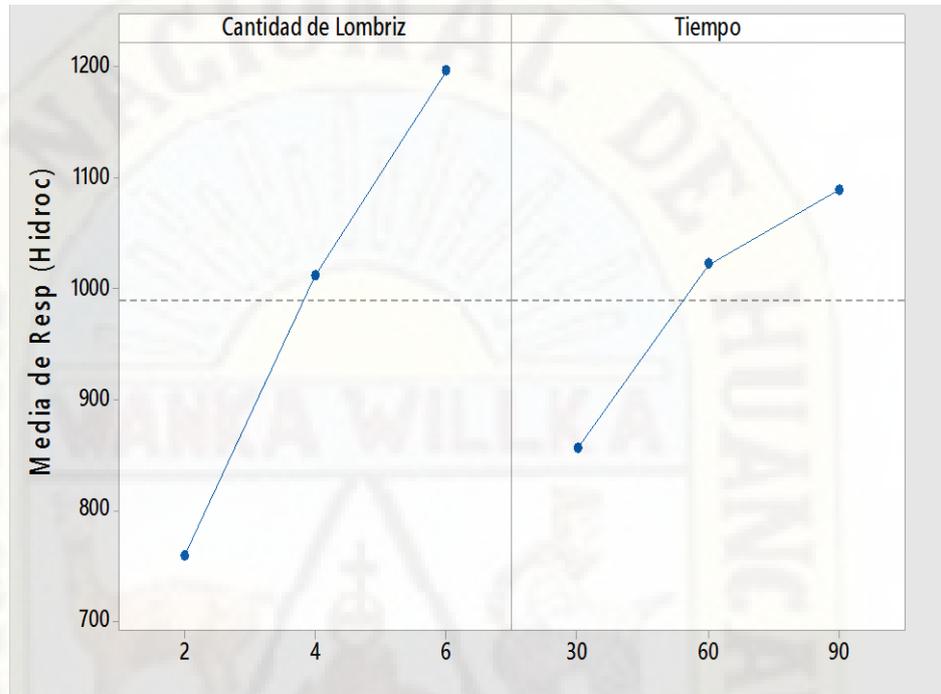


La figura 4 representa los resultados de la eficiencia de la reducción promedio del tratamiento del suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo fracción 2 (C₁₀- C₂₈), utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*); como se aprecia este tratamiento es eficiente, ya que la reducción del hidrocarburo en los tratamientos es considerable como se aprecia en el T9, donde se registró 71.09% de reducción promedio.

4.1.3. Tiempo de Tratamiento de Suelos Contaminados con Hidrocarburos

Figura 5

Grafica de efectos principales de reducción de hidrocarburos de petróleo

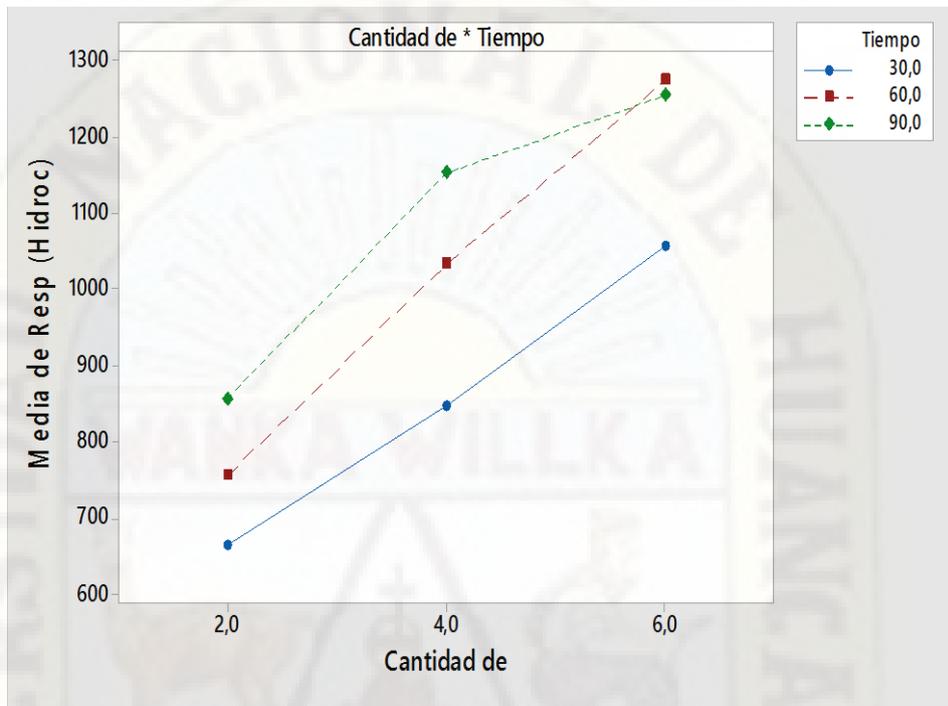


En la figura 5 se aprecia el resultado obtenido del tratamiento de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo con el uso de la lombriz californiana, se observa que el tratamiento es efectivo al pasar más tiempo, como se puede visualizar la gráfica a los 30, 60 y 90 días; no obstante, el más idóneo es 90 días de tratamiento en un ambiente adecuado para cumplir con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

4.1.4. Cantidad de Lombriz Roja Californiana para Tratar los Suelos Contaminados con Hidrocarburos de Petróleo

Figura 6

Grafica de la cantidad de lombriz en la reducción de hidrocarburos de petróleo



En la investigación realizada, como se presenta en la figura 6, al aplicar las lombrices rojas californianas al suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo en estudio dan como resultado líneas positivas ascendentes que indica que cuanto más se aplique lombrices, el tratamiento será eficiente; puesto que aumentará la reducción de la concentración del hidrocarburo.

4.2. Discusión de Resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, en el que se tuvo como objetivo principal evaluar el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀-C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica; bajo la premisa fue imprescindible dar a conocer los resultados encontrados que fueron de gran importancia en contraste con los diferentes autores de trabajos de investigación realizados anterior a la tesis y en el ámbito en el que se desarrolló el trabajo de investigación afianzando y difiriendo sobre algunas teorías que plantean dichos trabajos de investigaciones previos.

Respecto a la evaluación del porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica; en la investigación realizada se pudo apreciar que la mayor diferencia entre tratamientos ocurrió entre el T9 (6.0 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 90 días de tratamiento) y T1 (2.0 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 30 días de tratamiento), por lo que se demuestra que la acción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el T9, favoreció considerablemente en la reducción de la F2 a un tiempo óptimo de 90 días. Además, como se observó en los resultados la reducción en el T1 la menor cantidad de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a un tiempo de 30 días es la menos optima; se evidencia a Rajadurai et al (2021), donde en su investigación a los 60 días mostro un resultado de remoción máxima de 68,6% de PAH y 34,3% de TPH en el tratamiento con tierra (1 kg), estiércol de vaca (50 g), aceite de motor usado (7,5 mL) y lombrices de tierra; asimismo, se tiene a Nassar & Said (2021), quien identifico las actividades de las lombrices dieron como resultado pérdidas totales de hidrocarburos de petróleo (TPH) del 33,56% y 54,98% del suelo contaminado con 5 ml de petróleo crudo después de 22 y 60 días. Por otra parte se tiene a Martinkosky et al. (2017), en su estudio demostró que las lombrices de tierra aceleran la biorremediación del petróleo

crudo en los suelos, incluida la degradación de las fracciones poliaromáticas más pesadas; por lo que la teoría sigue su curso, por cuanto que los resultados son similares a los de la investigación realizada.

En relación al objetivo de evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica. Acorde al estudio realizado en la investigación las lombrices californianas son eficientes para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Según Barrios et al. (2015), los agentes inhibidores originaron el aumento de microorganismos con capacidad hidrocarbonoclasta consiguiendo una buena eficiencia de remoción de (26.5% en 12 semanas) seguido del tratamiento de Atenuación Natural y Bioestimulación; así mismo, Fernández et al. (2011), las lombrices tuvieron un impacto beneficioso en la disipación de hidrocarburos que no parecían estar relacionados con una mejora genérica de la actividad vegetal o microbiana. Por otra parte, se tuvo a Barbaran Cruz (2017) quien concluyo que la lombriz roja también es efectivo para la reducción de metales. Por lo que la teoría continua, ya que los autores concuerdan en los resultados.

Así mismo, con mención al segundo objetivo de evaluar el tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica. En los resultados se obtuvieron que el más idóneo es 90 días de tratamiento en un ambiente adecuado. Zapata et al. (2016) lombriz roja de California (*Eisenia foetida*) para estudiar el crecimiento de microorganismos por diversos cultivos en campo, y después de 25 y 90 días de tratamiento , se encontró un crecimiento satisfactorio del mismo. Por otra parte se tiene a Nassar & Said (2021) a se tomaron muestras de suelo contaminados experimentalmente con dos cantidades diferentes de crudo ligero de 5 o 7,5 ml durante 60 días. Así mismo, se tiene a Akinola et al. (2016), quien precisa que las muestras de suelo sin lombriz tenían más cantidad de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) que las muestras correspondientes con las lombrices; en los contrastes presentados los

resultados de la investigación son similares a los autores que antecedieron en el estudio sobre los temas relacionados, por lo que la teoría continua.

Referente al objetivo específico de determinar la cantidad adecuada de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica. Se señala según resultados que 6kg/m² es más eficiente según al estudio realizado. Se tiene a Angeles Mendiola (2018), el que indica la existencia de zonas específicas en el Perú en condiciones de explotación y exploración de hidrocarburos en la selva; por otra parte, se tiene a Castrillo et al. (2013), quien en su trabajo de investigación realizó mezclas de acuerdo a los tratamientos establecidos y colocados los sustratos en los contenedores donde colocó cien (100) lombrices de la especie *Eisenia foetida*. Rodriguez Berna (2018), en su investigación señala que la dosis que presenta la mayor tasa de reducción de TPH presente en el suelo es de 20 kg de humus de lombriz por 200 kg de suelo contaminado por 1 galón de petróleo crudo, lo que reduce 86.74 mg de TPH presente en el suelo. Así también, se tiene a Hernandez Catellanos (2013), quien en su investigación concluyo, que las lombrices pueden ser utilizables en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos poliaromáticos; llegando a la concordancia de ideas de ambos la teoría de la investigación continua.

4.3. Proceso de Prueba de Hipótesis:

4.3.1. Prueba de Normalidad

Se procedió a realizar la prueba de normalidad, a los datos obtenidos en la investigación realizada, resultado de los análisis de laboratorio a los 30, 60 y 90 días, que en total llegan a ser 27 unidades experimentales; para determinar si se tiene que utilizar la estadística paramétrica o la estadística no paramétrica. Se utilizó la prueba de normalidad denominado Shapiro-Wilk, puesto que nuestros datos son menores a 50 ($n \leq 50$). El nivel de significancia asumido fue al 95%.

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): Los datos no tienen una distribución normal

Hipótesis Nula (Ho): Los datos tienen una distribución normal

b. Nivel de Significancia o Riesgo

Para la determinación de la normalidad en los datos obtenidos del análisis del trabajo de investigación se estableció a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), para el que se usó el estadístico Shapiro-Wilk.

Tabla 10
Prueba de normalidad con Shapiro-Wilk

	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
	to	Estadístico	gl	Sig.
Análisis del	D_30	,988	3	,914
Tratamiento de	D_60	,961	3	,623
Hidrocarburos	D_90	,915	3	,436

Como se aprecia en la tabla 12, los resultados de la prueba indican que el P valor = 0.914; 0.623; 0.4367 > 0,05; por lo que se acepta la Ho y rechazamos la Ha. Por lo que se concluye que los datos tienen una distribución normal.

c. Decisión Estadística:

Acorde a la prueba estadística para la prueba de normalidad, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual de 0.05, lo que significa de que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dando certeza que los datos tienen una distribución normal.

d. Conclusión Estadística:

Se llega a la conclusión de que los datos de la investigación realizada tienen una distribución normal con un 95% de confianza; por lo que las pruebas de hipótesis se realizaron con las pruebas paramétricas.

4.3.2. Prueba de Homogeneidad de Varianzas

Se procedió a realizar la prueba de homogeneidad de varianzas, para realizar la comparación se realizó con el estadístico: Prueba de Levene, para la igualdad de varianzas. El nivel de significancia asumido fue al 95%.

Planteamiento de hipótesis:

Ho: No existe diferencias significativas entre las varianzas de los resultados del análisis del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo.

Ha: Existe diferencias significativas entre las varianzas de los resultados del análisis del tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo.

Tabla 11
Prueba de Homogeneidad de varianzas con el estadístico Levene

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
Análisis del Tratamiento de Hidrocarburo	Se basa en la media	,796	2	6	,493
	Se basa en la mediana	,327	2	6	,733
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,327	2	4,582	,736
	Se basa en la media recortada	,758	2	6	,509

Como se visualiza en la tabla 11, los resultados de la prueba indican que el P valor = 0.493; 0.733; 0.736; > 0,05; por lo que se acepta la Ho y rechazamos la Ha. Por lo que se concluye que no existen diferencias significativas entre las varianzas de los resultados del análisis del tratamiento de suelos contaminados.

4.3.3. Pruebas de Hipótesis

4.3.3.1. Prueba de Hipótesis General

Diseño factorial

El diseño factorial estudia el efecto de dos factores (Cantidad de lombriz roja californiana y Tiempo) sobre una respuesta (Concentración de hidrocarburos (F2) de petróleo), cuando se tiene el mismo interés sobre los factores. En este caso, determinar una combinación de niveles de los factores en la que la lombriz californiana (*Eisenia foetida*) logre una eficiencia de reducción de hidrocarburos de petróleo en suelos contaminados, menores a lo establecido en la ECA suelo, en el parámetro y uso de suelo Residencial/ Parques 1200 mg/Kg.

A. Planteamiento de Hipótesis

Para la prueba de hipótesis del porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), se plantea lo siguiente:

Hipótesis Nula (H₀): El porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) no es mayor a 50% en el distrito de Huancavelica.

Hipótesis Alternativa (H_a): El porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es mayor a 50% en el distrito de Huancavelica.

B. Nivel de significancia o riesgo

Para la determinación de la prueba estadística del porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), se estableció a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), para el que se utilizó la Prueba de Tukey.

H₀: $\gamma_i = 0$ (no hay efecto significativo del factor A sobre la variable de respuesta); H₀: $\delta_j = 0$ (no hay efecto del factor B sobre la variable de

respuesta) y $H_0: (\gamma\delta)_{ij} = 0$ (no hay efecto de interacción de los factores A y B sobre la variable de respuesta). Estas hipótesis se probarán con el ANOVA.

El análisis de varianza (ANOVA) para el diseño 3X3 se muestra en la tabla 12. Se observa que este diseño cuenta con tres repeticiones para calcular los grados de libertad para el error, la suma de cuadrados de los efectos A y B tienen 2 grados de libertad (número de niveles menos 1) y que los grados de libertad para la interacción AB se obtienen con el producto $2 \times 2 = 4$. Si el **Valor-p** para un efecto es menor que 0.05, entonces se rechaza la correspondiente hipótesis nula, y se concluye que tal fuente de variación afecta de manera significativa a la variable de respuesta.

Tabla 12
Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial 3x3 de un tratamiento

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Media de cuadrados (MC)	F ₀	Valor-p
A	SC _A	2	CM _A	CM _A /CM _E	P(F > F ₀)
B	SC _B	2	CM _B	CM _B /CM _E	P(F > F ₀)
AB	SC _{AB}	4	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(F > F ₀)
Error	SC _E	3 ² (n - 1)	CM _E		
Total	SC _T	n*3 ² - 1			

Fuente: De la vara, 2017.

Análisis de Varianza (ANOVA)

Se planteó la hipótesis nula (H₀) y la hipótesis alterna (H₁) de la siguiente manera:

- H_0 : Existen diferencias (no significativo) entre los promedios de los tratamientos, $p > 0,05$
- H_1 : No existen diferencias (significativo) entre los promedios de los tratamientos, $p \leq 0,05$

Luego, se realizó el análisis de varianza para determinar si existe diferencia entre los tratamientos o si todos estos son iguales, con el fin de rechazar o aceptar, la hipótesis nula en cada uno de los casos, Los valores usados en el análisis se indican en la Tabla 14.

Tabla 13

Reducción Neta de la F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C_{10} – C_{28})

Cantidad de lombriz roja californiana										
Tiempo	2.0 Kg			4.0 Kg			6.0 Kg			Total
30 días	2030	2022	2020	1906	1905	1903	1754	1749	1753	D = 17042
60 días	1495	1492	1490	1202	1200	1205	1065	1059	1061	E = 11269
90 días	873	876	871	708	702	703	651	655	650	F = 6689
Totales	G = 13169			H = 11434			I = 10397			T = 35000

En la tabla de datos se calculan de una vez los totales por renglón y por columnas, así como el total global, dado que a partir de ellos se pueden calcular los efectos y las sumas de cuadrados. Las sumas de cuadrados de los efectos están dadas por:

$$SC_A = \frac{G^2 + H^2 + I^2}{3 * n} - \frac{T^2}{n * 3^2} = \frac{13169^2 + 11434^2 + 10397^2}{9} - \frac{35000^2}{27}$$

$$= 435910.29$$

$$SC_B = \frac{D^2 + E^2 + F^2}{3 * n} - \frac{T^2}{n * 3^2} = \frac{17042^2 + 11269^2 + 6689^2}{9} - \frac{35000^2}{27}$$

$$= 5981056.96$$

$$SC_{AB} = \frac{6072^2 + 5714^2 + 5256^2 + 4477^2 + 3607^2 + 3185^2 + 2620^2 + 2113^2 + 1956^2}{3} - \frac{35000^2}{27} = 435910.29 - 5981056.96 = 45270.38$$

$$SC_T = (2030^2 + 2022^2 + 2020^2 + 1906^2 + 1905^2 + 1903^2 + 1754^2 + 1749^2 + 1753^2 + 1495^2 + 1492^2 + 1490^2 + 1202^2 + 1200^2 + 1205^2 + 1065^2 + 1059^2 + 1061^2 + 873^2 + 876^2 + 871^2 + 708^2 + 702^2 + 703^2 + 651^2 + 655^2 + 650^2) - \frac{35000.0^2}{27} = 6462403.63$$

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_{AB} = 6462403.63 - 435910.29 - 5981056.96 - 45270.38 = 166$$

Los grados de libertad de SC_A , SC_B y SC_{AB} son 2, 2 y 4, respectivamente. En total el experimento tiene $(3 \times 3^2) - 1 = 26$ grados de libertad, y entonces quedan $26 - 2 - 2 - 4 = 18$ grados de libertad para la SC_E . Con esta información y contrastando los cálculos con el programa Minitab 18 se obtiene la tabla 15 de ANOVA.

Tabla 14

Resultados de ANOVA (diseño 3x3) para F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo $C_{10} - C_{28}$)

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Media de cuadrados (MC)	F_0	Valor-p
A	435910.29	2	217955	0.61	0.000
B	5981056.96	2	2990528	8.33	0.001
AB	45270.38	4	11318	0.03	0.000
Error	6462403.63	18	359022		
Total	166	26			

Como se aprecia en la tabla anterior, el valor P es menor a 0.05 (0.001), por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), con lo que se concluye que al menos uno de los tratamientos es diferente, se concluye que sí hay efecto significativo respecto a la Cantidad de lombriz roja californiana (A), y el Tiempo del tratamiento (B) y de la interacción de ambas (AB) sobre la Concentración de hidrocarburos F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo (C_{10} - C_{28})). Además del F_0 se aprecia que A tiene un efecto mucho más importante, seguido por el efecto de B, y un efecto considerable de AB. Pero de este ANOVA no es posible saber cuál de los componentes, cuadrático o lineal, con un grado de libertad de cada efecto es el que pre domina.

Una vez rechazada la hipótesis nula (H_0), se procede a realizar la Prueba de Tukey con la finalidad de identificar que tratamiento o tratamientos son los que presentan una diferencia significativa respecto a los demás, y así verificar si el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*); ayuda en la degradación de la concentración de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo (C_{10} - C_{28})).

Prueba de Tukey

Los pasos por seguir son los siguientes:

- a) Calcular la Diferencia Honestamente Significativa (HSD, por sus siglas en inglés)./**

La HSD, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$HSD = \text{Multiplicador} * \sqrt{\frac{Mse}{n}}$$

Dónde: Multiplicador = valores críticos para la prueba de Tukey para (0.05, 3, 4);

$$Mse = \frac{\text{Suma de cuadrados dentro de los grupos}}{\text{Grados de libertad dentro de los grupos}} = \frac{45270.38}{3} = 15090.13$$

n = Número de elementos (repeticiones) en cada grupo

$$HSD = 5.04 * \sqrt{\frac{45270.38}{3}} = 619.12$$

b) Cálculo de media aritmética en cada uno de los tratamientos.

Según lo mostrado en la Tabla 14, se muestra la Tabla 17, que se muestra a continuación.

Tabla 15

Reducción promedio de la F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C₁₀ – C₂₈)

Tratamiento	Reducción promedio de F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C ₁₀ – C ₂₈)
T1	2035.33
T2	1754
T3	1752
T4	1492.33
T5	1202.33
T6	1061.67
T7	873.33
T8	704.33
T9	652

c) Obtención de la Tabla Tukey

La elaboración de la tabla Tukey se calcula con el valor absoluto de la resta entre las medias entre tratamientos $|\bar{x}|$, tal como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Tabla del método Tukey para hallar el valor absoluto de las medias del tratamiento

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1		$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T2} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T3} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T4} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T5} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T6} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T7} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T1}-\bar{x}_{T9} $
T2	-		$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T3} $	$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T4} $	$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T5} $	$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T6} $	$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T7} $	$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T2}-\bar{x}_{T9} $
T3	-	-		$ \bar{x}_{T3}-\bar{x}_{T4} $	$ \bar{x}_{T3}-\bar{x}_{T5} $	$ \bar{x}_{T3}-\bar{x}_{T6} $	$ \bar{x}_{T3}-\bar{x}_{T7} $	$ \bar{x}_{T3}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T3}-\bar{x}_{T9} $
T4	-	-	-		$ \bar{x}_{T4}-\bar{x}_{T5} $	$ \bar{x}_{T4}-\bar{x}_{T6} $	$ \bar{x}_{T4}-\bar{x}_{T7} $	$ \bar{x}_{T4}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T4}-\bar{x}_{T9} $
T5	-	-	-	-		$ \bar{x}_{T5}-\bar{x}_{T6} $	$ \bar{x}_{T5}-\bar{x}_{T7} $	$ \bar{x}_{T5}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T5}-\bar{x}_{T9} $
T6	-	-	-	-	-		$ \bar{x}_{T6}-\bar{x}_{T7} $	$ \bar{x}_{T6}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T6}-\bar{x}_{T9} $
T7	-	-	-	-	-	-		$ \bar{x}_{T7}-\bar{x}_{T8} $	$ \bar{x}_{T7}-\bar{x}_{T9} $
T8	-	-	-	-	-	-	-		$ \bar{x}_{T8}-\bar{x}_{T9} $
T9	-	-	-	-	-	-	-	-	

En la Tabla 16 se muestra los resultados de la aplicación del método Tukey para la F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo $C_{10} - C_{28}$).

Tabla 17

Resultados del Método Tukey

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1		281.33	283.33	543	833	973.66	1162	1333	1383.33
T2	-		2	261.67	551.67	692.33	880.67	1049.67	1102
T3	-	-		259.67	549.67	690.33	878.67	1047.67	1100
T4	-	-	-		290	430.66	619	788	840.33
T5	-	-	-	-		140.66	329	498	550.33
T6	-	-	-	-	-		188.34	357.34	409.67
T7	-	-	-	-	-	-		169	221.33
T8	-	-	-	-	-	-	-		52.33
T9	-	-	-	-	-	-	-	-	

d) Identificación de Tratamientos Significativamente Diferentes

Finalmente, la identificación de los Tratamientos Significativamente Diferentes se realiza a partir de la resta entre y las

medias \bar{x} y el HSD, en donde los valores positivos son los tratamientos que presentan diferencia entre sí. Asimismo, a mayor valor, mayor es la diferencia entre tratamientos (ver Tabla 20).

Tabla 18
Comparación Medias y HSD

Comparaciones	Prueba Tukey	HSD	Diferencia
T1-T2	281.33	619.12	-337.79
T1-T3	283.33	619.12	-335.782
T1-T4	543	619.12	-76.12
T1-T5	833	619.12	213.88
T1-T6	973.66	619.12	354.54
T1-T7	1162	619.12	542.88
T1-T8	1333	619.12	713.88
T1-T9	1383.33	619.12	764.21
T2-T3	2	619.12	-617.12
T2-T4	261.67	619.12	-357.45
T2-T5	551.67	619.12	-67.45
T2-T6	692.33	619.12	73.21
T2-T7	880.67	619.12	261.55
T2-T8	259.67	619.12	-359.45
T2-T9	549.67	619.12	-69.45
T3-T4	259.67	619.12	-359.45
T3-T5	549.67	619.12	-69.45
T3-T6	690.33	619.12	71.21
T3-T7	878.67	619.12	259.55
T3-T8	1047.67	619.12	428.55
T3-T9	1100	619.12	480.88
T4-T5	290	619.12	-329.12
T4-T6	430.66	619.12	-188.46
T4-T7	619	619.12	-0.12
T4-T8	788	619.12	168.88
T4-T9	840.33	619.12	221.21
T5-T6	140.66	619.12	-478.46
T5-T7	329	619.12	-290.12
T5-T8	498	619.12	-121.12
T5-T9	550.33	619.12	-68.79
T6-T7	188.34	619.12	-430.78

T6-T8	357.34	619.12	-261.78
T6-T9	409.67	619.12	-209.45
T7-T8	169	619.12	-450.12
T7-T9	221.33	619.12	-397.79
T8-T9	52.33	619.12	-566.79

Se prestará principal atención en la comparación de donde los valores positivos de los tratamientos, respectivamente, ya que de estas comparaciones se podrá saber si el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), a diferentes cantidades y diferentes tiempos es significativo, como se aprecia en la tabla N 18.

Tabla 19

Tratamientos con valores positivos

Comparaciones	Prueba Tukey	HSD	Diferencia
T1-T5	833	619.12	213.88
T1-T6	973.66	619.12	354.54
T1-T7	1162	619.12	542.88
T1-T8	1333	619.12	713.88
T1-T9	1383.33	619.12	764.21
T2-T6	692.33	619.12	73.21
T2-T7	880.67	619.12	261.55
T3-T6	690.33	619.12	71.21
T3-T7	878.67	619.12	259.55
T3-T8	1047.67	619.12	428.55
T3-T9	1100	619.12	480.88
T4-T8	788	619.12	168.88
T4-T9	840.33	619.12	221.21

De la tabla 19, se puede apreciar que la mayor diferencia entre tratamientos ocurrió entre el T1-T9 , T1 (2.0 Kg de la lombriz roja californiana + 30 días) y (6.0 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 90 días de tratamiento) y T1 – T8 donde T1 (2.0 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 30 días de

tratamiento), y T8(4 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 90 días de tratamiento) por lo que se demuestra que la acción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el T8 y T9, favoreció considerablemente en la reducción de la F2 (Fracción de hidrocarburos de petróleo C₁₀ – C₂₈) a un tiempo óptimo de 90 días. Además, como se observó en los resultados la reducción en el T1 (2.0 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 30 días de tratamiento) días es la menos óptima.

El tratamiento mejor para tiempo es 90 días, puesto que para este tiempo en los tratamientos hay una reducción considerable como se parecía en la tabla N 19. En cuanto al uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) respecto a la cantidad; el más idóneo es 4Kg de Lombriz. Y el tratamiento respecto a la interacción tiempo-cantidad; el más idóneo es T8 (4 Kg de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) + 90 días de tratamiento), viéndolo por un tratamiento ecoeficiente.

Tabla 20

Prueba de hipótesis del porcentaje de reducción de hidrocarburos de petróleo (fracción C₁₀ –C₂₈)

	Prueba para una muestra					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
El porcentaje de reducción de Hidrocarburos	5,514	8	,001	42.46222	24.7044	60.2200

Como se visualiza en la tabla 20, los resultados de la prueba indican que el P valor = 0.01; > 0,05; por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha.

C. Decisión estadística:

De acuerdo a la prueba estadística que se efectuó, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual de 0.05, lo que significa de que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dando certeza a la hipótesis planteada.

D. Conclusión estadística:

Se concluye que el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es mayor a 50% en el distrito de Huancavelica, con un 95% de confianza; puesto que en los tratamientos las reducciones de los hidrocarburos fueron mayores a 50 %.

4.3.3.2. Prueba de Hipótesis Específico 01

A. Planteamiento de Hipótesis

Para la prueba de hipótesis de la eficiencia del tratamiento, se consideró las reducciones menores o iguales a 1200 mg/kg de concentración. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica es eficiente

Hipótesis Alterna (H_a): La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica es eficiente.

Hipótesis Nula (H₀): La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica no es eficiente.

B. Nivel de significancia o riesgo

Para la determinación de la prueba estadística de la eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica;

se estableció a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), para el que se utilizó el estadístico T Student – prueba para una muestra.

Tabla 21

Prueba de hipótesis específico 01

	Prueba para una muestra				Valor de prueba = 0	
	t	g	Sig.	Diferenci	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		l	(bilateral)	a de medias	Inferio r	Superio r
Eficiencia del tratamiento o	3,16	8	,013	,55556	,1504	,9607

Como se visualiza en la tabla 21, los resultados de la prueba indican que el P valor = 0.013; $> 0,05$; por lo que se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a .

C. Decisión estadística:

Conforme a la prueba estadística que se realizó, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual de 0.05, lo que significa de que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dando certeza a la hipótesis planteada.

D. Conclusión estadística:

Se llega a la conclusión de que la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica es eficiente, con un 95% de confianza; puesto que en la mayoría de los tratamientos las reducciones de los hidrocarburos fueron menores o iguales a 1200mg/kg de concentración.

4.3.3.3. Prueba de Hipótesis Específico 02

A. Planteamiento de Hipótesis

El tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 90 días en el distrito de Huancavelica.

Hipótesis Alterna (Ha): El tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 90 días en el distrito de Huancavelica.

Hipótesis Nula (Ho): El tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo no es 90 días en el distrito de Huancavelica.

B. Nivel de significancia o riesgo

Para la determinación de la prueba estadística del tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica; se estableció a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), para el que se utilizó el estadístico T Student – prueba de muestras emparejadas.

Tabla 22

Prueba de hipótesis específico 02

		Prueba de muestras emparejadas					t	g	Sig.
		Medi	Desv	Des	95% de		1	(bila	
		a	.	v.	intervalo de			teral	
			Desv	Erro	confianza de)	
			iació	r	la diferencia				
			n	pro	Infer	Super			
				medi	ior	rior			
				o					
P	Resultados_promedio_d	1279,	501,	167,	894,	1665,	7,	8	,000
a	espues_del_tratamiento -	8133	8156	2719	0836	5430	6		
r	Tiempo óptimo de	3	9	0	5	2	5		
l	tratamiento						1		

Como se visualiza en la tabla 22, los resultados de la prueba indican que el P valor = 0.00; $> 0,05$; por lo que se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a .

C. Decisión estadística:

Acorde a la prueba estadística que se efectuó, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual de 0.05, lo que significa de que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dando certeza a la hipótesis planteada en el trabajo.

D. Conclusión estadística:

Se concluye que el tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 90 días en el distrito de Huancavelica.

4.3.3.4. Prueba de Hipótesis Específico 03

A. Planteamiento de hipótesis:

La cantidad adecuada de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 4 kg en el distrito de Huancavelica.

Hipótesis Alterna (H_a): La cantidad adecuada de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 4 kg en el distrito de Huancavelica.

Hipótesis Nula (H_0): La cantidad adecuada de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo no es 4 kg en el distrito de Huancavelica.

B. Nivel de significancia o riesgo

Para la determinación de la prueba estadística de la cantidad adecuada de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere

para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica; se estableció a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), para el que se usó el estadístico T Student – prueba de muestras emparejadas.

Tabla 23
Prueba de hipótesis específico 03

		Prueba de muestras emparejadas					t	g	Sig.
		Medi	Desv.	Desv	95% de			l	(bila
		a	Desvi	.	intervalo de				teral
			ación	Error	confianza de la)
				prom	diferencia				
				edio	Inferi	Super			
					or	ior			
P	Resultados_promedio_desp	1279,	501,2	167,0	894,5	1665,	7,	8	,000
a	ues_del_tratamiento	- 81333	2340	7447	3892	08774	66		
r	Cantidad de Lombriz para						0		
l	el tratamiento de								
	Hidrocarburos								

Como se visualiza en la tabla 23, los resultados de la prueba indican que el P valor = 0.00; $> 0,05$; por lo que se rechaza la H_0 y aceptamos la H_a .

C. Decisión estadística:

Acorde a la prueba estadística que se realizó, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual de 0.05, lo que significa de que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, dando certeza a la hipótesis planteada en el trabajo.

D. Conclusión estadística:

Por lo que se concluye que la cantidad adecuada de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 4 kg en el distrito de Huancavelica; ya que en la mayoría de los tratamientos al aplicar esta

cantidad a 6kg de tierra contaminada con hidrocarburos, la reducción de estas es considerable.

Conclusiones

La presente tesis ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en promedio es 42.46% en el distrito de Huancavelica.
- El valor estadístico de la prueba de hipótesis general fue 0.01 y para las pruebas de hipótesis específicas fueron 0.013, 0.00 y 0.00; > 0,05.
- La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en el distrito de Huancavelica es eficiente., puesto que en los trece tratamientos (T1-T5, T1-T6, T1-T7, T1-T9, T1-T9, T2-T6, T2-T7, T3-T6, T3-T7, T3-T8, T3-T9, T4-T8 y T4-T9) las comparaciones resultaron valores positivos. Y se registró en el T5 46.68%, T6 52.92%, T7 61.29%, T8 68.77%, y T9 71.09%; quienes superan el 50% de reducción quienes indican que el tratamiento es significativo y eficiente.
- El tiempo optimo para la reducción de hidrocarburos de petróleo (fracción C₁₀- C₂₈) con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de suelos contaminados fue de 90 días en el distrito de Huancavelica.
- La cantidad adecuada de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), para tratar un suelo contaminado con hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo, resulto 4 kg de lombriz roja californiana cada 6 kg de tierra contaminada con hidrocarburos, puesto que según el análisis de laboratorio las muestras a las que se aplicó la cantidad indicada mostraron una reducción considerable en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo (fracción C₁₀- C₂₈).

Recomendaciones

El presente estudio ha formado las subsiguientes recomendaciones:

- Ejecutar la determinación del suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo teniendo en cuenta los parámetros determinados por la ECA Suelo, Decreto Supremo 011-2017-MINAM, como son parámetros e inorgánicos.
- Seguir con el estudio considerando la proporción de peso/peso entre el suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo y lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).
- Efectuar el estudio teniendo en consideración las distintas características de suelo como variables, con el fin de identificar el tipo de suelo en el que lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), tiene una mayor eficiencia.
- Realizar el experimento teniendo en cuenta otras variables (temperatura, humedad, etc.) propias de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Referencias Bibliográficas

- Abonto Quintana, F., & Taboada Rodriguez, E. M. (2018). *Uso de la fibra de coco para la adsorción de diferentes muestras de hidrocarburos - agua y su relación con la salinidad y temperatura*. Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado de <https://acortar.link/rkHidH>
- Acueductospr. (2021). Biosólidos . Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.acueductospr.com/biosólidos>
- Akinola, N., Anigbogu, M., & Anigbogu, C. (2016). Vermiremediación de suelos contaminados con mezcla de productos derivados del petróleo utilizando *Eisenia fetida*, 3. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v20i3.31>
- Angeles Mendiola, O. J. (2018). *Situación actual de la contaminación por actividades de hidrocarburos en la Selva Peruana*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Arango, M. (2012). Delta del Río Níger: petróleo, contaminación y miseria » Vida Mas Verde. Recuperado 18 de julio de 2018, de <https://n9.cl/75pzo%0A>
- Barbaran Cruz, S. J. (2017). *Reducción de cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (Eisenia foetida) en el Centro Poblado Huarabi-Canta; 2017*. Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3495/Barbaran_CSJ.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Barrios Ziolo, L. F., Robayo Gómez, J., Prieto Cadavid, S., & Cardona Gallo. S. A. (2015). Biorremediación de Suelos Contaminados con Aceites Usados de Motor., 20. Recuperado de <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/31/33>
- Brenes Hurtado, C. X. (2017). Hidrocarburos : derrames y efectos.
- Buendia Rios, H. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles*.
- Castrillo, K., Otahola, V., Gonzales, N., Otahola, J., & Arenas, A. (2013). Uso de

eisenia foetida como bioindicador de la toxicidad de ripsos de perforación base aceite generados en la industria petrolera, 21.

Cavazos, J., Pérez, B., & Mauricio, A. (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11(4), 21.

Ccasani Mulato, N., & Poma Enriquez, A. (2012). Evaluación de la densidad poblacional, peso y longitud de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) alimentadas en estiércol y compost de bobino y ovino.

Dendooven, L., Alvarez, D., & Contreras, S. (2011). ¿Las lombrices de tierra, un medio para acelerar la eliminación de hidrocarburos (HAP) del suelo? Una mini revisión, 54, 5. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031405611000874>

Enriquez Espinoza, L., & Soto Huanca, R. (2017). *Evaluación de la producción y composición química de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) con el contenido ruminal en el camal municipal de Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.

Fernández, M., Aragonese, P., & Tarazona, J. (2011). Terrestrial microcosms in a feasibility study on the remediation of diesel-contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74, 7. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651311002521>

Fraser, B. (2017). Derrames de petróleo en la Amazonía peruana: una herida que sigue abierta. Recuperado 18 de julio de 2018, de <https://es.mongabay.com/2017/07/derrames-petroleo-la-amazonia-peruana-una-herida-sigue-abierta/>

Gregorio Delgado, J. (2015). *Precipitación de asfaltanos*. Recuperado de <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S368NT.pdf>

Hernández, Roberto; Fernández, Carlos; Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado de <https://mail.google.com/mail/u/1/#inbox/15a4cf4b02ab7f85?projector=1>

- Hernandez Acosta, E. (2015). Restauración de suelos contaminados con hidrocarburos : Conceptos Básicos Restauración de suelos contaminados por hidrocarburos, (February).
- Hernandez Catellanos, B. H. (2013). Uso de lombrices de tierra en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos, 109.
- Hernandez Sampiere, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación. Metodología de la investigación.*
- Loya Del Angel, D. I. (2013). Tecnologías para la restauración de suelos, 94.
- Martinkosky, L., Barkley, J., Sabadell, G., Gough, H., & Davidson, S. (2017). Earthworms (*Eisenia fetida*) demonstrate potential for use in soil bioremediation by increasing the degradation rates of heavy crude oil hydrocarbons. *Science of the Total Environment*, 580, 734-743. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.12.020>
- Melendi, D. (2012). Hidrocarburos. Recuperado 31 de agosto de 2021, de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Hidrocarb.htm>
- Merino Molina, A. A., & Vásconez Ortiz, P. T. (2014). *Evaluación de la eficiencia de biorremediación en la recuperación de efluentes porcinos in vitro con helecho *Azolla filiculoides* mediante análisis DQO y DBO5 caso: Centro Experimental Uyumbicho- Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UCE.* Universidad Central de Ecuador. Recuperado de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/T-UCE-0012-358.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2013). Guía para el muestreo de suelos, 72. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N°011-2017-MINAN, 15.
- Montanarella, L., Pennock, D., & McKenzie, N. (2016). *Estado mundial del recurso*

del suelo. (C. Caon, Lucrezia ; Forlano , Nicoletta ; Keene, Cori; Sala , Matteo ; Sorokin , Alexey; Verbeke, Isabelle ; Ward, Ed.) (1.^a ed.). Roma.

Murillo Aznar, G. (2021). Los Ácidos Húmicos en la agricultura . *Asociacion Española de Fabricantes de Agronutrientes*. España. Recuperado de <https://aefa-agronutrientes.org/los-acidos-humicos-en-la-agricultura>

Nápoles, J., Rodríguez, S., Santiago, L., & Ábalos, A. (2015). Disminución del extracto orgánico total en suelos contaminados con hidrocarburos. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v35n3/rtq06315.pdf>

Nassar, S. E., & Said, R. M. (2021). Bioremediation assessment, hematological, and biochemical responses of the earthworm (*Allolobophora caliginosa*) in soil contaminated with crude oil. *Environmental Science and Pollution Research*, 28. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-13889-4>

Observatorio Regional de Derechos Humanos y Pueblos Indígenas. (2019, junio). Emergencia en el Amazonia por terrible derrame de petróleo . Recuperado de <https://www.biodiversidadla.org/Noticias/Emergencia-en-el-Amazonia-por-terrible-derrame-de-petroleo>

Paco, G., Loza, M., Mamani, F., & Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa Effect of the californian red worm (*Eisenia foetida*) during the compost, 39.

Perez Velazques, C. G. (2010). Evaluación de nutrientes y capacidad remediadora de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) para extraer plomo y cadmio de pre composta equina y caprina en la región de nazas, Durango.

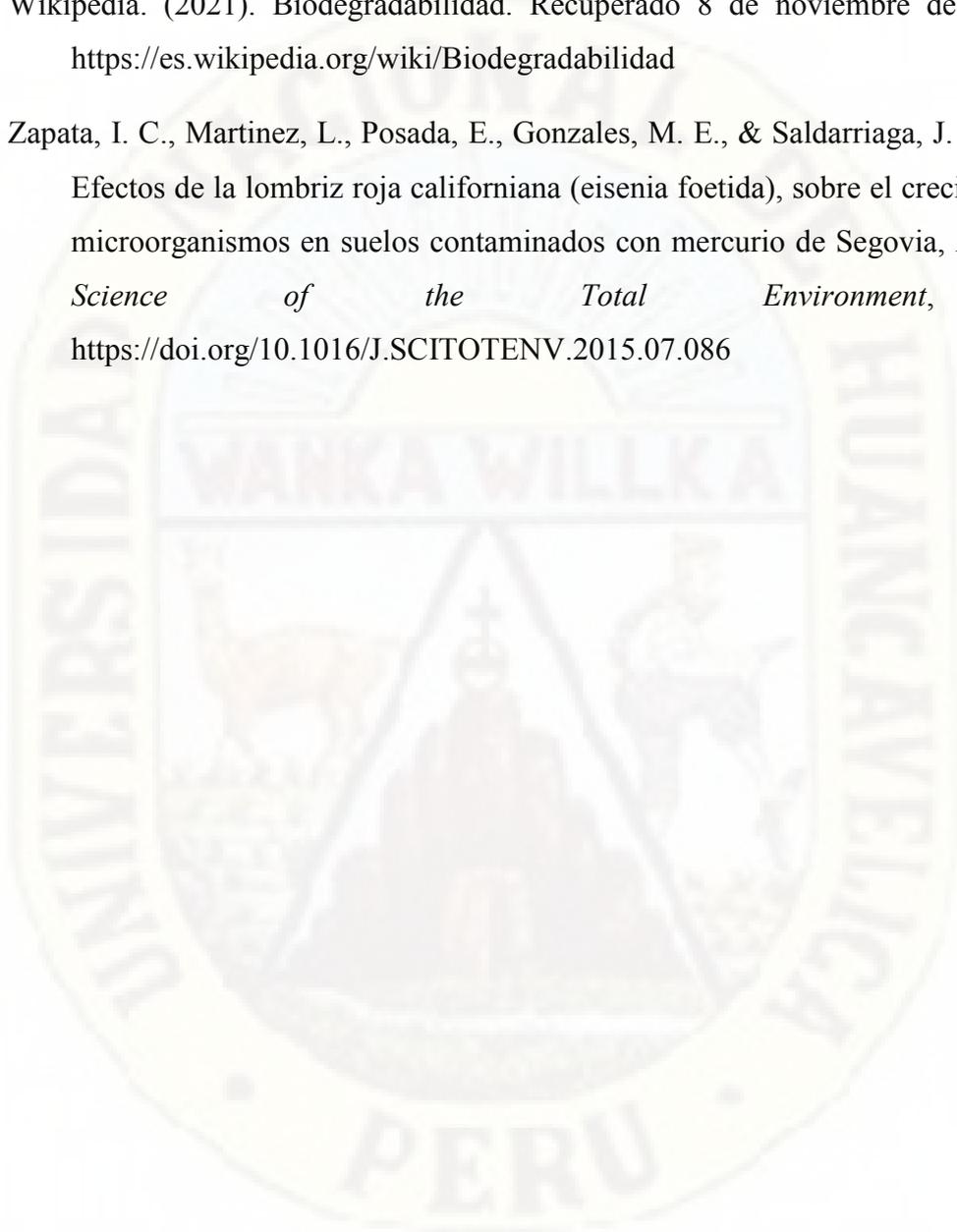
Quispe Huanca, J. M. (2020). *Determinación de los tiempos de la biodegradación del hidrocarburo (diésel B5) a diferentes concentraciones en biorreactores de polietileno con un inóculo de bacterias nativas de suelo contaminado con hidrocarburos*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Recuperado de <https://bit.ly/3cftNjD>

- Rajadurai, M., Karmegam, N., Kannan, S., Yuvaraj, A., & Thangaraj, R. (2021). Vermiremediation of engine oil contaminated soil employing indigenous earthworms, *Drawida modesta* and *Lampito mauritii*. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113849>
- Real Academia Española. (2021). Diccionario de la lengua española. *Edición del tricentenario*. Madrid. Recuperado de <https://dle.rae.es/compensación>
- Reid Robert, C., & Sherwood Thomas, K. (2021). Presion a vapor. Hispano- America. Recuperado de https://www.ecured.cu/Presión_de_vapor
- Rodriguez Berna, P. G. (2018). *Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo. Ucayali, Perú*. Universidad Nacional de Ucayali. Recuperado de http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4047/000003720T_AMBIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Schmidt, W. (2006). Suelos contaminados con hidrocarburos: La biorremediación como una solución ecológicamente compatible, 3. Recuperado de http://www.ingenieroambiental.com/3021/Bioremed_Mex2.pdf
- Seguridad Global. (2017). Derrames de hidrocarburos. Recuperado 8 de abril de 2019, de <http://absorbentesderrames.com.ar/tag/derrames-de-hidrocarburos/>
- Sifuentes Vasquez, E. M. (2014). *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo*. Universidad Nacional la Molina, Lima. Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1874/T01-S53-T.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Silos Rodriguez, J. M. (2008). *Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos*. (Primera ed, Vol. 1). España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cadiz. Recuperado de <https://acortar.link/EDjg4L>
- Vilalta Perdomo, C. J. (2016). Análisis de datos . Recuperado 16 de diciembre de 2021, de <https://acortar.link/wBJWKn>

Vite Terán, L. (2021). Características de los líquidos. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n4/m14.html>

Wikipedia. (2021). Biodegradabilidad. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodegradabilidad>

Zapata, I. C., Martínez, L., Posada, E., Gonzales, M. E., & Saldarriaga, J. F. (2016). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *Science of the Total Environment*, 27. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.07.086>



Apéndice Apéndice 1

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (Decreto Supremo N° 011-2017-
MINAM)

ANEXO
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2017)

Apéndice 2

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO
<p>General</p> <p>¿Cuánto es el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en el distrito de Huancavelica?</p>	<p>General</p> <p>Evaluar el porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en el distrito de Huancavelica.</p>	<p>General</p> <p>El porcentaje de reducción de hidrocarburos (fracción C₁₀- C₂₈) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) es mayor a 50% en el distrito de Huancavelica.</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>Reducción de hidrocarburos de petróleo.</p> <p>Suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fracción de hidrocarburos (fracción C₁₀ – C₂₈) 	<p>➤ Diseño factorial 3x3 con 3 repeticiones.</p> <p>➤ Modelo experimental.</p> <p>➤ Población Distrito de Huancavelica.</p> <p>➤ Muestra no probabilística</p>

Específicos	Específicos	Específicos	Variable Independiente:
<p>➤ ¿Cuál es la eficiencia de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica?</p> <p>➤ ¿Qué tiempo le toma a la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica?</p> <p>➤ ¿Qué cantidad de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica?</p>	<p>➤ Evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica.</p> <p>➤ Evaluar el tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica.</p> <p>➤ Determinar la cantidad adecuada de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica.</p>	<p>➤ La lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo en el distrito de Huancavelica es eficiente.</p> <p>➤ El tiempo que le toma a la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 90 días en el distrito de Huancavelica.</p> <p>➤ La cantidad adecuada de Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>) que se requiere para tratar los suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo es 4 kg en el distrito de Huancavelica.</p>	<p>Uso de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de lombrices (2, 4 y 6) (Kg). • Tiempo de tratamiento 30, 60 y 90 (días).

Apéndice 3

Valores críticos para la prueba de Tukey

v ₂ l	α l	v ₁									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.05	18.00	29.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.40	47.36	49.07	50.59
	0.01	90.03	135.0	164.3	185.6	202.2	215.8	227.2	237.0	245.6	253.2
2	0.05	6.10	8.33	9.80	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99	14.39
	0.01	14.04	19.02	22.29	24.72	26.63	28.20	29.53	30.68	31.69	32.59
3	0.05	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72
	0.01	8.26	10.62	12.17	13.33	14.24	15.00	15.64	16.20	16.69	17.13
4	0.05	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.34	7.60	7.83	8.03
	0.01	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.55	11.93	12.27	12.57
5	0.05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17
	0.01	5.70	7.60	8.78	9.42	9.91	10.32	10.67	10.97	11.24	11.48
6	0.05	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65
	0.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10	9.30
7	0.05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30
	0.01	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55
8	0.05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05
	0.01	4.74	5.63	6.20	6.63	6.96	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03
9	0.05	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87
	0.01	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.32	7.49	7.65
10	0.05	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72
	0.01	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21	7.36
11	0.05	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61
	0.01	4.39	5.14	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99	7.13
12	0.05	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51
	0.01	4.32	5.04	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81	6.94
13	0.05	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43
	0.01	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67	6.79
14	0.05	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36
	0.01	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54	6.66
15	0.05	3.01	3.67	4.08	4.37	4.60	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31
	0.01	4.17	4.83	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44	6.55
16	0.05	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26
	0.01	4.13	4.78	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35	6.46

v ₂ l	α l	v ₁									
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0.05	51.96	53.20	54.33	55.36	56.32	57.22	58.04	58.83	59.56	
	0.01	260.0	266.2	271.8	277.0	281.8	286.3	290.4	294.3	298.0	
2	0.05	14.75	15.08	15.38	15.65	15.91	16.14	16.37	16.57	16.77	
	0.01	33.40	34.13	34.81	35.43	36.00	36.53	37.03	37.50	37.95	
3	0.05	9.95	10.15	10.35	10.53	10.69	10.84	10.98	11.11	11.24	
	0.01	17.53	17.89	18.22	18.52	18.81	19.07	19.32	19.55	19.77	
4	0.05	8.21	8.37	8.52	8.66	8.79	8.91	9.03	9.13	9.23	
	0.01	12.84	13.09	13.32	13.53	13.73	13.91	14.08	14.24	14.40	
5	0.05	7.32	7.47	7.60	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21	
	0.01	10.70	10.89	11.08	11.24	11.40	11.55	11.68	11.81	11.93	
6	0.05	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59	
	0.01	9.49	9.65	9.81	9.95	10.08	10.21	10.32	10.43	10.54	
7	0.05	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.09	7.17	
	0.01	8.71	8.86	9.00	9.12	9.24	9.35	9.46	9.55	9.65	
8	0.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87	
	0.01	8.18	8.31	8.44	8.55	8.66	8.76	8.85	8.94	9.03	
9	0.05	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64	
	0.01	7.78	7.91	8.03	8.13	8.23	8.32	8.41	8.49	8.57	
10	0.05	5.83	5.93	6.03	6.11	6.20	6.27	6.34	6.40	6.47	
	0.01	7.48	7.60	7.71	7.81	7.91	7.99	8.07	8.15	8.22	
11	0.05	5.71	5.81	5.90	5.99	6.06	6.14	6.20	6.26	6.33	
	0.01	7.25	7.36	7.46	7.56	7.65	7.73	7.81	7.88	7.95	
12	0.05	5.62	5.71	5.80	5.88	5.95	6.03	6.09	6.15	6.21	
	0.01	7.06	7.17	7.26	7.36	7.44	7.52	7.59	7.66	7.73	
13	0.05	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	6.00	6.05	6.11	
	0.01	6.90	7.01	7.10	7.19	7.27	7.34	7.42	7.48	7.55	
14	0.05	5.46	5.55	5.64	5.72	5.79	5.85	5.92	5.97	6.03	
	0.01	6.77	6.87	6.96	7.05	7.12	7.20	7.27	7.33	7.39	
15	0.05	5.40	5.49	5.58	5.65	5.72	5.79	5.85	5.90	5.96	
	0.01	6.66	6.76	6.84	6.93	7.00	7.07	7.14	7.20	7.26	
16	0.05	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.72	5.79	5.84	5.90	
	0.01	6.56	6.66	6.74	6.82	6.90	6.97	7.03	7.09	7.15	

v_2 i	α i	v_1									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	0.05	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.71	4.86	4.99	5.11	5.21
	0.01	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27	6.38
18	0.05	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17
	0.01	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.08	6.20	6.31
19	0.05	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14
	0.01	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14	6.25
20	0.05	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11
	0.01	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09	6.19
24	0.05	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01
	0.01	3.96	4.54	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92	6.02
30	0.05	2.89	3.49	3.84	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.83	4.92
	0.01	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.55	5.65	5.76	5.85
40	0.05	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82
	0.01	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.27	5.39	5.50	5.60	5.69
60	0.05	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73
	0.01	3.76	4.28	4.60	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45	5.53
120	0.05	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	4.36	4.48	4.56	4.64
	0.01	3.70	4.10	4.50	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.30	5.38
∞	0.05	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55
	0.01	3.64	4.12	4.40	4.60	4.76	4.88	4.99	5.08	5.16	5.23

v_2 i	α i	v_1									
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	
17	0.05	5.31	5.39	5.47	5.55	5.61	5.68	5.74	5.79	5.84	
	0.01	6.48	6.57	6.66	6.73	6.80	6.87	6.94	7.00	7.05	
18	0.05	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79	
	0.01	6.41	6.50	6.58	6.65	6.72	6.79	6.85	6.91	6.96	
19	0.05	5.23	5.32	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75	
	0.01	6.34	6.43	6.51	6.58	6.65	6.72	6.78	6.84	6.89	
20	0.05	5.20	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71	
	0.01	6.29	6.37	6.45	6.52	6.59	6.65	6.71	6.76	6.82	
24	0.05	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.50	5.54	5.59	
	0.01	6.11	6.19	6.26	6.33	6.39	6.45	6.51	6.56	6.61	
30	0.05	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.48	
	0.01	5.93	6.01	6.08	6.14	6.20	6.26	6.31	6.36	6.41	
40	0.05	4.91	4.98	5.05	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36	
	0.01	5.77	5.84	5.90	5.96	6.02	6.07	6.12	6.17	6.21	
60	0.05	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.16	5.20	5.24	
	0.01	5.60	5.67	5.73	5.79	5.84	5.89	5.93	5.98	6.02	
120	0.05	4.72	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.05	5.09	5.13	
	0.01	5.44	5.51	5.56	5.61	5.66	5.71	5.75	5.79	5.83	
∞	0.05	4.62	4.68	4.74	4.80	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01	
	0.01	5.29	5.35	5.40	5.45	5.49	5.54	5.57	5.61	5.65	

Apéndice 4

Resultados de laboratorio de la reducción de hidrocarburos de petróleo (fracción C₁₀- C₂₈)



INFORME DE ENSAYO N° 113908-2020

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
DOMICILIO LEGAL : Av. Universitaria, Paturpampa-Huancavelica
SOLICITADO POR : Bach. MUÑOZ ALEJO, Ida Melicia.
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUANCAMELICA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2020-04-04
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2020-04-04
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.
(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C₁₀-C₂₈).

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2020-04-04	
Hora de inicio de muestreo (h)	17:13	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	C1	
Código del Laboratorio	17071318	
Ensayos	Unidades	Resultados
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾	mg/kg	2255

(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C₁₀-C₂₈).

Lima, 12 de abril del 2020


 Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

INFORME DE ENSAYO N° 113909-2020

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
 DOMICILIO LEGAL : Av. Universitaria, Paturpampa-Huancavelica
 SOLICITADO POR : Bach. MUÑOZ ALEJO, Ida Melicia.
 REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
 PROCEDENCIA : HUANCAMELICA
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2020-04-04
 FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2020-04-04
 MUESTREO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo
Análisis de suelo, Caracterización

II. RESULTADOS:

Parámetro	Unidad	Suelo	
pH	-	7,6	
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	0,72	
CaCO ₃	g kg ⁻¹	46,0	
Materia Orgánica	g kg ⁻¹	1,6	
P disponible	mg kg ⁻¹	1,2	
K disponible	mg kg ⁻¹	56	
Análisis Mecánico	Arena (A)	g kg ⁻¹	400
	Limo (L)	g kg ⁻¹	430
	Arcilla (Ar)	g kg ⁻¹	18/06/1900
Clase Textural*	-	Franco	
CIC medida	cmolc kg ⁻¹	10,88	
CIC efectiva	cmolc kg ⁻¹	10,88	
Cationes Intercambiables	Ca ⁺²	cmolc kg ⁻¹	8,97
	Mg ⁺²	cmolc kg ⁻¹	1,40
	K ⁺	cmolc kg ⁻¹	0,29
	Na ⁺	cmolc kg ⁻¹	0,23
	Al ⁺³ + H ⁺	cmolc kg ⁻¹	0,00
Saturación de Bases	%	100	
Acidez cambiante	%	0	

Lima, 12 de abril del 2020



Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

INFORME DE ENSAYO N° 123950-2020

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
DOMICILIO LEGAL : Av. Universitaria, Paturpampa-Huancavelica
SOLICITADO POR : Bach. ACUÑA SEDANO, Celedonia.
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUANCAMELICA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2020-05-04
FECHA DE INICIO DE ENSAYO S : 2020-05-04
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28).

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de muestreo	04/05/2020	04/05/2020	04/05/2020	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:35	11:35	11:40	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	T1	T2	T3	
Código del Laboratorio	1807671	1807672	1807673	
Ensayos	Unidades	Resultados		
Hidrocarburos totales de petróleo -	mg/kg	2064	1906	1754
TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾		2022	1905	1749
		2020	1903	1753

Lima, 10 de mayo del 2020



Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

INFORME DE ENSAYO N° 123961-2020

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
DOMICILIO LEGAL : Av. Universitaria, Paturpampa-Huancavelica
SOLICITADO POR : Bach. MUÑOZ ALEJO, Ida Melicia.
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUANCAMELICA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2020-06-03
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2020-06-03
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28).

II. RESULTADO S:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de muestreo	03/06/2020	03/06/2020	03/06/2020	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:30	10:35	10:40	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	T4	T5	T6	
Código del Laboratorio	1807674	1807675	1807676	
Ensayos	Unidades	Resultados		
Hidrocarburos totales de petróleo -	mg/kg	1495	1202	1065
TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾		1492	1200	1059
		1490	1205	1061

(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28).

Lima, 14 de junio del 2020



Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

INFORME DE ENSAYO N° 123968-2020

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
DOMICILIO LEGAL : Av. Universitaria, Paturpampa-Huancavelica
SOLICITADO POR : Bach. ACUÑA SEDANO, Celedonia.
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : HUANCAMELICA
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2020-07-03
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2020-07-03
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾	EPA 8015 C, Rev 3. Nonhalogenated Organics by Gas Chromatography. 2007	1.79	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28).

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de muestreo	03/07/2020	03/07/2020	03/07/2020	
Hora de inicio de muestreo (h)	11:00	11:05	11:10	
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	
Código del Cliente	T7	T8	T9	
Código del Laboratorio	1807677	1807678	1807679	
Ensayos	Unidades	Resultados		
Hidrocarburos totales de petróleo - TPH DRO (C ₁₀ -C ₂₈) ⁽¹⁾	mg/kg	873	708	651
		876	702	655
		871	703	650

(1) Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28).

Lima, 14 de julio del 2020



Quím. Belbeth Y. Fajardo León
 C.Q.P. N° 648
 Asesor Técnico Químico

Apéndice 5

Validación del instrumento

Certificado

 **INACAL**
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación a:

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Av. Naciones Unidas N° 1565, Urb. Chacra Ríos Norte, distrito de Cercado de Lima, departamento de Lima.

Con base en la norma
NTP-ISO/IEC 17025 2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo

Fecha de Renovación: 25 de marzo de 2021
Fecha de Vencimiento: 24 de marzo de 2025

 Firmado digitalmente por RODRIGUEZ ALEGRIA Alejandra FAU
20690283015 soft
Fecha: 2021-03-26 14:44:02
Motivo: Soy el Autor del Documento

ALEJANDRA RODRIGUEZ ALEGRIA
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 10135-2921-INACAL
Contrato N° : N° 012 2021/INACAL/DA
Registro N° : LE-947

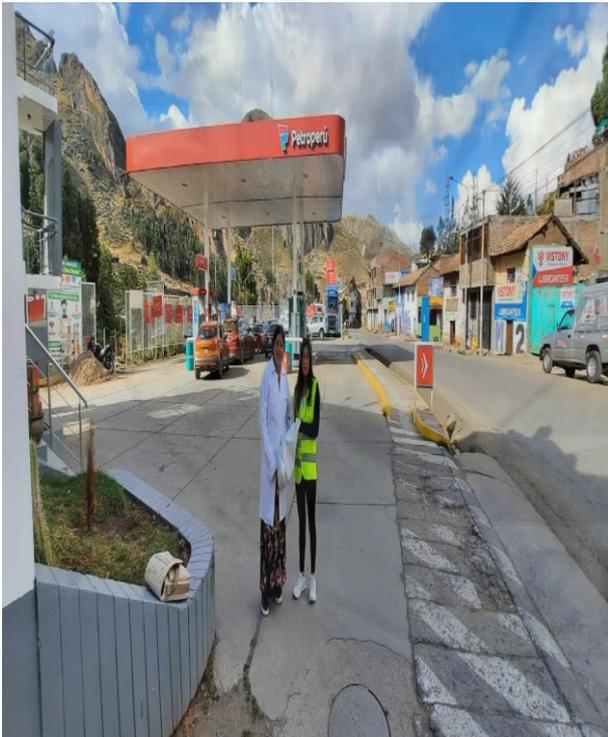
Fecha de emisión: 26 de marzo de 2021

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y queda de noticiarse todo que el alcance puede estar sujeto a modificaciones, notificaciones actualizativas y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion o por los canales al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL se encuentra afiliada al Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MRA) de los American Accreditation Cooperation (IAAC) e Internacional Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Apéndice 6

Recolección de muestras de suelo contaminado con hidrocarburos



Apéndice 7

Acondicionamiento del lugar para realizar el estudio del suelo contaminado con hidrocarburos



Apéndice 8

Inoculación de la Lombriz Roja Californiana, a las camas con suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo



Apéndice 9

Control de la temperatura en el lugar de estudio



Apéndice 10

Recojo de la muestra para el análisis de laboratorio

