

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto del vermicompost en un suelo contaminado
con hidrocarburos y crecimiento de rabanito
(*Raphanus sativus* L.), Daniel A. Carrión,
Pasco - 2021**

Wendy Ruth Espíritu Canchari
Lourdes Guerreros Gutierrez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Elizabeth Guisella Machuca Manrique

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio de investigación fue un proceso de entrega, constante dedicación, esfuerzo y sacrificio en equipo, esenciales para cumplir con esta meta, es por lo que agradecemos infinitamente a nuestro Padre Celestial, por ser el soporte y bendición en todo ese trayecto. Además, queremos expresar en los siguientes párrafos nuestros agradecimientos a instituciones y personas quienes formaron parte importante para culminar satisfactoriamente esta investigación.

Queremos empezar agradeciendo al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (Pronabec) por darnos la gran oportunidad de alcanzar nuestros sueños y hacerlos realidad, permitiéndonos acceder a una educación superior de calidad.

A la Universidad Continental y a los distinguidos docentes que fueron partícipes en el proceso de nuestro aprendizaje, que con valores, conocimientos, experiencias y sabidurías fortalecieron nuestra formación profesional durante los 5 años de estudio.

Al laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, de la Universidad Nacional Agraria La Molina y de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por brindarnos el servicio para el análisis de HTP y el análisis fisicoquímico de suelos.

A la Ing. Elizabeth Guisella Machuca Manrique, asesora de esta investigación por haber depositado su confianza en nosotras, direccionar el trabajo, por su porte de conocimientos, revisión detallada, orientación desde el inicio de esta investigación y desarrollo. También, agradecemos al Ing. Andrés Alberto Azabache Leyton por su paciencia en aclararnos todas nuestras dudas, brindarnos sugerencias, por su acompañamiento y tiempo dedicado en todas las fases de la elaboración de la tesis.

Por último, un especial reconocimiento merece el Sr. César Espíritu B. por brindarnos el servicio de movilidad en la salida a campo, compra de materiales necesarios, ayudarnos con la recolección y manejo de muestras. De igual modo, a Jhojan Espíritu C. por sus recomendaciones y apoyo durante el trabajo experimental. Y en general a la ayuda de nuestros familiares.

A todos los mencionados, nuestros sinceros agradecimientos.

DEDICATORIA

A mis padres Vicente y Rufina, por siempre apoyarme, por enseñarme el valor de la humildad. A mis hermanas, hermanos, cuñados y cuñadas por sus palabras de aliento y admiración; a mi mejor amiga Wendy, por sus consejos académicos, emocionales y cómplice de muchas aventuras.

Lourdes

Este trabajo se lo dedico a Dios, quien es mi guía, mi fortaleza y mi protector, y por darme una familia maravillosa. A mi padre César Espíritu Barreto y a mi madre Cila Canchari Sánchez, por su amor inmenso, su apoyo incondicional, por cada uno de sus consejos, por enseñarme a valorar lo que tengo y a superar cualquier obstáculo, porque ellos son mis pilares fundamentales y mi mayor motivación para seguir adelante y nunca rendirme. A mis hermanos por su gran cariño, partícipes de muchas alegrías compartidas. A mi abuelito, mis tíos y a los que creyeron en mí. Los amo.

Wendy

ÍNDICE

Asesor	ii
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria	v
Índice.....	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	xvi
CAPÍTULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	18
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	18
1.1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.1.2 Formulación del problema	21
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo general	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
1.3 Justificación e importancia.....	23
1.4 Hipótesis.....	24
1.4.1 Hipótesis general.....	24
1.4.2 Hipótesis específicas	24
1.4.3 Descripción de variables	25
1.4.3.1 Operacionalización de variables.....	26
CAPÍTULO II.....	27
MARCO TEÓRICO	27
2.1 Antecedentes de la investigación	27
2.1.1 Artículos científicos.....	27
2.1.2 Tesis nacionales e internacionales.....	32
2.2 Bases teóricas.....	37
2.2.1 Suelo	37
2.2.1.1 Importancia del suelo.....	38
2.2.1.2 Indicadores de la calidad del suelo.....	39

2.2.1.3 Tierras por capacidad de uso mayor	42
2.2.1.4 Suelo agrícola.....	42
2.2.1.5 Contaminación de suelos	43
2.2.1.6 Disponibilidad de contaminantes en el suelo	44
2.2.2 Hidrocarburos	44
2.2.2.1 Clasificación de los hidrocarburos	45
2.2.2.2 Hidrocarburos del petróleo	45
2.2.2.3 Hidrocarburos en el Perú.....	46
2.2.2.4 Comportamiento de los hidrocarburos en el suelo	46
2.2.3 Impacto de los hidrocarburos sobre el ambiente	48
2.2.4 Remediación biológica de suelos contaminados por hidrocarburos	51
2.2.4.1 Vermicompost.....	52
2.2.4.2 Efectos del vermicompost en el suelo	53
2.2.4.3 Efectos del vermicompost en la planta	54
2.2.5 Rábano (<i>Raphanus sativus L.</i>)	54
2.2.5.1 Clasificación taxonómica	54
2.2.5.2. Clasificación morfológica	55
2.2.6. Marco legal	55
2.3. Modelo teórico de la investigación	56
2.4 Definición de términos básicos	57
CAPÍTULO III	59
METODOLOGÍA	59
3.1 Metodología y alcance de la investigación	59
3.1.1 Método de investigación	59
3.1.1.1 Método general o teórico de la investigación.....	59
3.1.1.2 Método específico de la investigación	60
3.1.2 Alcances de la investigación.....	63
3.2 Diseño de la investigación	63
3.2.1 Tipo de diseño de experimentación	64
3.3 Población y muestra	75
3.4 Técnica e instrumentos de recolección de muestras.....	76
3.4.1 Técnica de recolección de datos	76
3.4.2 Instrumentos.....	76
3.4.3 Técnicas de análisis de datos.....	77

CAPÍTULO IV.....	78
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	78
4.1.1 Resultados del análisis inicial.....	78
4.1.2 Contenido final de hidrocarburos totales de petróleo	78
4.1.3 Características fisicoquímicas del suelo.....	79
4.1.4 Resultados del crecimiento del rabanito.....	85
4.2. Prueba de hipótesis.....	88
4.2.1 Hipótesis específica 1.....	88
4.2.2 Hipótesis específica 2.....	90
4.2.3 Hipótesis específica 3.....	109
4.3 Discusión de resultados	116
4.3.1 Vermicompost y contenido de HTP	116
4.3.2 Vermicompost y propiedades fisicoquímicas del suelo	119
4.3.3 Vermicompost y el crecimiento del rabanito.....	127
Conclusiones.....	131
Recomendaciones.....	133
Lista de referencias	134
Anexos	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	26
Tabla 2. Efectos esperables en el suelo en diferentes intervalos de pH	41
Tabla 3. Composición del crudo de petróleo	46
Tabla 4. Clasificación taxonómica del rabanito	54
Tabla 5. Características del <i>Raphanus Sativus</i> L.....	55
Tabla 6. Resultado análisis de parámetros fisicoquímicos del vermicompost..	60
Tabla 7. Características fisicoquímicas del suelo de Yanahuanca.....	62
Tabla 8. Tratamientos de investigación.....	63
Tabla 9. Profundidad de muestreo	66
Tabla 10. Proporciones de mezcla según tratamiento	68
Tabla 11. Parámetros y métodos analizados en laboratorio	77
Tabla 12. Resultados del contenido de (TPH) en dos muestras de suelo.....	78
Tabla 13. Resultados del contenido de (TPH) en 15 muestras de suelo.....	79
Tabla 14. Resultados de pH del suelo.....	79
Tabla 15. Resultados del análisis de CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	80
Tabla 16. Resultados del análisis de CaCO_3 (%)	80
Tabla 17. Resultados del análisis de MO (%).....	81
Tabla 18. Resultados del análisis de P (ppm)	81
Tabla 19. Resultados del análisis de K (ppm)	82
Tabla 20. Resultados del análisis CIC ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	82
Tabla 21. Resultados del análisis Ca^{+2} ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	83
Tabla 22. Resultados del análisis de Mg^{+2} ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$).....	83
Tabla 23. Resultados del análisis de K^+ ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$).....	83
Tabla 24. Resultados del análisis Na^+ ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	84
Tabla 25. Resultados del análisis de la DAP ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	84
Tabla 26. Resultados del análisis de porosidad total (%).....	85
Tabla 27. Resultados del análisis de CC (%)	85
Tabla 28. Resultados de altura (cm) de la planta de rabanito	86
Tabla 29. Resultados longitud de la raíz (cm) de la planta de rabanito.....	86
Tabla 30. Resultados del peso seco aéreo de la planta de rabanito (g).....	87
Tabla 31. Resultados del peso seco de la raíz de la planta de rabanito (g)	87

Tabla 32. Prueba de normalidad (S - W) de TPH.....	88
Tabla 33. Análisis de variancia del contenido de hidrocarburos (mg.kg ⁻¹).....	88
Tabla 34. Prueba de normalidad (S - W) para pH del suelo.....	90
Tabla 35. Prueba de normalidad (S - W) para la CE (dS.m ⁻¹)	92
Tabla 36. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido CaCO ₃ (%).....	93
Tabla 37. Análisis de variancia del contenido de CaCO ₃ (%).....	93
Tabla 38. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido MO (%)	94
Tabla 39. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido de P (%).....	96
Tabla 40. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido de K (ppm).....	97
Tabla 41. Prueba de normalidad (S - W) para la CIC (meq.100g ⁻¹)	98
Tabla 42. Prueba de normalidad (S - W) para el Ca ⁺² (meq.100g ⁻¹)	99
Tabla 43. Análisis de variancia del contenido de Ca ⁺² (meq.100 g ⁻¹)	100
Tabla 44. Prueba de normalidad (Shapiro - Wilks) para el Mg ⁺² (meq.100g ⁻¹).....	101
Tabla 45. Análisis de variancia del contenido de Mg ⁺² (meq.100 g ⁻¹).....	101
Tabla 46. Prueba de normalidad (S - W) para el K ⁺ (meq.100g ⁻¹).....	103
Tabla 47. Análisis de variancia del contenido de K ⁺ (meq.100 g ⁻¹)	103
Tabla 48. Prueba de normalidad (S - W) para el Na ⁺ (meq.100g ⁻¹).....	104
Tabla 49. Prueba de normalidad (S - W) para la DAP (Mg.m ⁻³)	106
Tabla 50. Prueba de normalidad (S - W) para la PT (%).....	107
Tabla 51. Análisis de variancia de la PT (%).....	107
Tabla 52. Prueba de normalidad (S - W) para la CC (%)	108
Tabla 53. Prueba de normalidad (S - W) para la altura de la planta (cm)	110
Tabla 54. Análisis de variancia de altura de la planta	110
Tabla 55. Prueba de normalidad (S - W) para la longitud radicular (cm).....	111
Tabla 56. Análisis de variancia de la longitud radicular de la planta	111
Tabla 57. Prueba normalidad (S - W) para el peso seco aéreo (g)	113
Tabla 58. Prueba de normalidad (S - W) para el peso seco de la raíz.....	114
Tabla 59. Análisis de variancia de peso seco de la raíz.....	114
Tabla 60. Datos recopilados después de la cosecha - peso de la planta de rabanito	185
Tabla 61. Datos recopilados después de la cosecha - altura y longitud del rabanito	185
Tabla 62. Contenido de petróleo y vermicompost	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del suelo.....	38
Figura 2. Servicios ambientales del suelo – Atlas Global de Biodiversidad	39
Figura 3. Microcolonias presentes en el suelo	42
Figura 4. Mapa nacional de superficie agrícola del Perú.....	43
Figura 5. Distribución tetraédrica del hidrocarburo	45
Figura 6. Distribución de pasivos por derrames de hidrocarburo	46
Figura 7. Desarrollo del <i>Raphanus sativus</i> L.....	55
Figura 8. Modelo teórico de la investigación	56
Figura 9. Composición de humus de lombriz - comparación de valores	61
Figura 10. Diseño completamente aleatorizado	64
Figura 11. Método de Zig-Zag para la obtención de muestras	65
Figura 12. Croquis experimental	69
Figura 13. Establecimiento y conducción experimental.....	72
Figura 14. Envío de muestras al laboratorio.....	74
Figura 15. Mapa de lugar de estudio	75
Figura 16. Ubicación de puntos de muestreo	76
Figura 17. Concentración de HTP al final del experimento en 5 tratamientos..	89
Figura 18. El pH del suelo en los 5 tratamientos	91
Figura 19. Conductividad eléctrica del suelo en los 5 tratamientos.....	92
Figura 20. Contenido de CaCO_3 en los 5 tratamientos.....	94
Figura 21. Contenido de materia orgánica en los 5 tratamientos	95
Figura 22. Contenido de fósforo disponible en los 5 tratamientos.....	96
Figura 23. Contenido de potasio disponible en los 5 tratamientos	97
Figura 24. Capacidad de intercambio catiónico en los 5 tratamientos	99
Figura 25. Contenido de Ca^{+2} en los 5 tratamientos	100
Figura 26. Contenido de Mg^{+2} en los 5 tratamientos	102
Figura 27. Contenido de K^+ en los 5 tratamientos	103
Figura 28. Contenido de Na^+ en los 5 tratamientos.....	105
Figura 29. Densidad aparente del suelo en los 5 tratamientos.....	106
Figura 30. Capacidad de campo en los 5 tratamientos	108
Figura 31. Altura de la planta de rabanito en los 5 tratamientos	110
Figura 32. Longitud de la parte radicular del rabanito en los 5 tratamientos ..	112

Figura 33. Peso seco aéreo de la planta de rabanito en los 5 tratamientos...	113
Figura 34. Peso seco de la parte radicular del rabanito en los 5 tratamientos	115
Figura 35. Recolección de muestras de suelo agrícola.....	147
Figura 36. Secado de muestra de suelo al aire libre	147
Figura 37. Tamizado de toda la muestra de suelo agrícola.....	147
Figura 38. Muestra de suelo tamizado	148
Figura 39. Preparación de muestras para enviar - pesado de suelo	148
Figura 40. Preparación de muestras para enviar - medición de petróleo	148
Figura 41. Preparación de muestras para enviar - mezcla.....	149
Figura 42. Preparación de muestras para enviar - se agrega agua	149
Figura 43. Muestras listas para enviar	149
Figura 44. Rotulado de maceteros según sus tratamientos	150
Figura 45. Pesado del suelo agrícola en cada macetero	150
Figura 46. Maceteros preparados con suelo agrícola	150
Figura 47. Medición de petróleo e incorporación en maceteros (-T5)	151
Figura 48. Adición de VC en los maceteros (T4 y T5) peso de 20%	151
Figura 49. Se agrega agua para alcanzar la capacidad de campo	151
Figura 50. Siembra de rabanito (<i>Raphanus sativus</i> L.)	152
Figura 51. Riego.....	152
Figura 52. Proceso de crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus</i> L.)	153
Figura 53. Desahije de las plantas (plantas/ macetero)	154
Figura 54. Rotulación de bolsas Ziploc y bolsas de papel Kraft	155
Figura 55. Cosecha y limpieza de la raíz en agua.....	155
Figura 56. Colocación de plantas en bolsas de papel Kraft	156
Figura 57. Pesado del total de plantas de cada UE (Biomasa fresca)	156
Figura 58. Corte parte aérea de la parte radicular.....	157
Figura 59. Peso total de la parte aérea de cada UE (Biomasa fresca).....	157
Figura 60. Peso total de la raíz de cada UE (B. fresca)	158
Figura 61. Medición de altura y longitud.....	158
Figura 62. Peso – materia seca.....	158
Figura 63. Peso total de la parte aérea de cada UE (Materia seca).....	159
Figura 64. Peso total de la raíz de cada UE (Materia seca)	159
Figura 65. Secado de suelo.....	159
Figura 66. Preparación de muestras para enviar	160

Figura 67. Muestras de suelo para enviar analizar.....	160
Figura 68. Muestras empaque cajas listas para enviar a 3 laboratorios.....	160
Figura 69. Efectos de los hidrocarburos.....	161
Figura 70. La energía que consume el Perú	189
Figura 71. Actividad o tipo de producción según provincias.....	189
Figura 72. Método de análisis - etapa de campo.....	190
Figura 73. Método de análisis - Etapa de gabinete	190
Figura 74. Derrames de petróleo en América Latina	191
Figura 75. Sitios contaminados en tierras indígenas.....	191
Figura 76. Derrame de petróleo en Amazonía afecta a miles de personas....	192
Figura 77. Derrames de petróleo incalculables	192
Figura 78. El precio del petróleo en la Amazonia	193

RESUMEN

Durante los meses de marzo a mayo de 2021, se realizó el presente ensayo en la región Pasco, distrito de Yanahuanca, con el objetivo de determinar el contenido de TPH, propiedades físico – químicas del suelo y crecimiento de rabanito, en un suelo agrícola contaminado artificialmente con petróleo en una dosis de 3% y 6%, al cual se le agregó 20% de vermicompost. La metodología de investigación usada fue el hipotético deductivo con un nivel explicativo. Los tratamientos fueron 5, el primero, un suelo con 3% de petróleo, el segundo con 6% de petróleo, el tercero con 3% de petróleo más 20% de vermicompost, el cuarto con 6% de petróleo más 20% de vermicompost y el quinto de control, dispuestos en un diseño experimental completamente aleatorizado, con 3 repeticiones. Los resultados mostraron una disminución de 30.56% y 7.75% de TPH en los tratamientos con 3% y 6% de petróleo, respectivamente, debido a la aplicación de vermicompost. El uso de la enmienda orgánica disminuyó el pH, el carbonato de calcio y la densidad aparente del suelo, incrementó la materia orgánica, el contenido de P, K, CIC, y cationes cambiabiles; asimismo, influyó de manera favorable en el desarrollo de la planta de *Raphanus sativus L.* evidenciándose en la altura de planta, longitud de raíz, peso seco radicular y aérea de la planta de rabanito. Se recomienda aplicar vermicompost a un suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo, debido a la mejora de propiedades del suelo, remoción de TPH y mejor crecimiento del rabanito.

Palabras clave: contaminación de suelo, derrame de hidrocarburos, petróleo, propiedades fisicoquímicas del suelo, rabanito (*Raphanus sativus L.*), vermicompost, remoción de TPH

ABSTRACT

During the months of March to May 2021, the present test was carried out in the Pasco region, Yanahuanca district, with the objective of determining the content of TPH, physical-chemical properties of the soil and radish growth, in an agricultural soil artificially contaminated with petroleum in a dose of 3% and 6%, to which 20% of vermicompost was added. The methodology used in the research was the hypothetical deductive with an explanatory level. The treatments were 5, the first, a soil with 3% oil, the second with 6% oil, the third with 3% oil plus 20% vermicompost, the fourth with 6% oil plus 20% vermicompost and the fifth control, arranged in a completely randomized experimental design, with 3 repetitions. The results showed a decrease of 30.56% and 7.75% of TPH in the treatments with 3% and 6% petroleum, respectively, due to the application of vermicompost. The use of organic amendment decreased the pH, the calcium carbonate and the apparent density of the soil, increased the organic matter, the content of P, K, CEC, and changeable cations; Likewise, it also positively influenced the development of the *Raphanus sativus L.* plant, evidencing itself in the plant height, root length, root and aerial dry weight of the radish plant. It is recommended to apply vermicompost to a soil contaminated with petroleum hydrocarbons, due to the improvement of soil properties, removal of TPH and better growth of radish.

Keywords: oil, oil spill, radish (*Raphanus sativus L.*), soil contamination, soil physicochemical properties, TPH removal, vermicompost

INTRODUCCIÓN

La necesidad de recursos energéticos a nivel mundial tiene en el petróleo a una de sus principales fuentes, así como a sus derivados. Sus componentes son empleados en las diferentes industrias químicas y petroquímicas como materias primas básicas, utilizados ampliamente alrededor del mundo (1).

El uso de hidrocarburos como consecuencia de su demanda se ha expandido acelerando sus actividades productivas y su industrialización, siendo consideradas una de las principales causas que más contaminan el suelo, por ejemplo, se tienen los derrames accidentales en medios de transporte, en el procesamiento de sus derivados, en maquinaria, etc. Afectando de forma directa la calidad del suelo. Esto crea la necesidad de encontrar herramientas o técnicas que permitan biodegradar o incrementar la biodegradación de este tipo de compuestos (1).

En el ecosistema, los hidrocarburos son eliminados del suelo por diferentes procesos como: drenaje superficial, percolación, volatilización y biodegradación; habiéndose enfatizado en los últimos años el desarrollo de los métodos biológicos para la recuperación de suelos contaminados. Estos métodos en general son procesos de biorremediación y tienen como sustento el aprovechamiento de las capacidades de biodegradación natural (2).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son compuestos orgánicos que constituyen una fracción del petróleo (3). Los suelos contaminados con petróleo tienen mezclas complejas de hidrocarburos incluyendo los HAP de bajo peso molecular (BPM) que son de fácil degradación, como el antraceno, naftaleno y fenantreno; y los de alto peso molecular (APM) (4).

Cuando los PAH se depositan sobre las partículas del suelo, se unen a estas, dependiendo del tipo de suelo y sus propiedades, por lo tanto, la adsorción gobierna su movilidad, disminuyendo su disponibilidad, representando un

desafío para la biorremediación, dado que estos compuestos son secuestrados progresivamente y no pueden ser asimilados fácilmente por los microorganismos (5).

Una de las alternativas sustentables es la aplicación de enmiendas orgánicas cuya práctica es tecnológicamente eficiente y de bajo costo para la rehabilitación de suelos. Estas tecnologías proporcionan al suelo un sustrato de carbono como fuente de energía para los microorganismos, favoreciendo así la actividad y el crecimiento de las poblaciones microbianas del suelo, potenciando la capacidad de degradación de los hidrocarburos y favoreciendo el crecimiento vegetal, mejorando así la calidad del suelo (2).

En este estudio se describe en el capítulo 1 los temas que serán objeto de estudio, la formulación del problema, a través de la necesidad de plantear una técnica de biorremediación utilizando una enmienda orgánica para evaluar su efecto en un suelo con hidrocarburos, también se presentan los objetivos, la justificación y la importancia, junto con una descripción de las hipótesis y variables que guiaron este estudio.

El segundo capítulo detalla los antecedentes, la base teórica y las definiciones terminológicas relacionadas con el tema de investigación.

El tercer capítulo detalla la metodología, el alcance y diseño del estudio, la población y la muestra, las técnicas de recopilación de datos y las herramientas utilizadas para lograr los objetivos de este estudio.

El cuarto capítulo presenta los resultados, el análisis y la discusión de resultados en detalle.

Finalmente se presentan las conclusiones de la investigación, algunas, recomendaciones, lista de referencias y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

La contaminación de suelos es una problemática mundial, que se produce cuando surge un desequilibrio, es el resultado de la adición de cualquier sustancia al ambiente, causando efectos adversos en el recurso natural suelo, principalmente por actividades antropogénicas, hoy en día la contaminación del suelo es considerada como la tercera amenaza para las funciones del suelo en Europa, la cuarta en África y la quinta en Latinoamérica, afectando el agua, el aire, la producción de alimentos y el equilibrio de nuestros ecosistemas (6).

En Australia se han identificado 80 000 lugares cuyos suelos están contaminados, en China se ha identificado que el 16% de sus suelos están contaminados, en Europa y en los Balcanes occidentales existen 3 000 000 lugares contaminados, Estados Unidos cuenta con 1 300 localidades que aparecen como prioridades nacionales, debido a su elevada contaminación de suelos (7).

Según un informe realizado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) las principales

causas y amenazas de la degradación de los suelos se debe principalmente a la extracción de recursos naturales y actividades antropogénicas, destacando que los hidrocarburos son uno de los principales contaminantes del suelo, estos compuestos se acumulan en el suelo, debido a su persistencia e hidrofobicidad, permaneciendo durante tiempos prolongados en el suelo, un ejemplo de ello son los HAP al ser componentes de los COP (contaminantes orgánicos persistentes) que se diseminan posteriormente en el suelo y sedimentos (6).

La extracción de hidrocarburos se ha incrementado, debido a que hoy por hoy la demanda de hidrocarburos genera una dependencia en la sociedad, puesto que está presente en todas las actividades industriales, es por ello que ha sido más frecuente el transporte de este producto, generando así continuos derrames (hundimiento de buques, ruptura de oleoductos, descontrol en instalaciones petroleras, etc.) de manera voluntaria o involuntaria en cantidades elevadas sobre el suelo provocando o aportando a la contaminación del suelo (8).

La investigación sobre el impacto de Shell, reveló que durante las décadas de extracción de petróleo en Nigeria, se vertió 2 100 millones de litros de crudo solo en el delta del Níger, el impacto fue severo, afectando también a Ejama-Ebubu en 250 000 hectáreas de cultivo, las consecuencias de estos daños ambientales graves han ocasionado un deterioro en los recursos naturales, se ha destruido la fertilidad de suelos y con ello la pérdida de ingresos derivados de la agricultura, dejando finalmente secuelas en la salud (9). El golfo de México también se ha visto afectado, con el derrame de BP *Deepwater Horizon* en el año 2010, que impactó directamente al agua, flora, fauna, dejando suelos inutilizables durante años (10).

En el Perú según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) mediante la Dirección de Asuntos Ambientales de Hidrocarburos, existen 3 457 pasivos ambientales registrados en el subsector de hidrocarburos (11), cuya procedencia son instalaciones o pozos en estado de

abandonado, suelos contaminados por efluentes, derrames o restos de residuo por actividades generadas por un operador de hidrocarburos que haya cesado sus actividades. Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) identificó 4 084 pasivos ambientales ocasionados por derrames de hidrocarburos en una supervisión realizada en el periodo del 2013 al 2017, de los cuales, 169 se encuentran en un nivel de riesgo alto, 2 601 se encuentran en un nivel de riesgo medio y 1 314 en un nivel de riesgo bajo (12).

Entre los años 2000 a 2019, se evidenció 474 vertimientos ocurridos en el Oleoducto Norperuano en la Amazonía peruana, donde se registraron más de 2000 sitios impactados, afectando en gran parte campos de cultivo, el evento más significativo fue el vertimiento de miles de barriles de petróleo en el año 2014 en la Amazonía peruana, llegando a las localidades de San Francisco, Santa Rosa, Nueva Esperanza y Cuninico, en la región Loreto, afectando viviendas y terrenos dedicados a la agricultura (13), es por eso, ya en el 2018, el diario El País (14), señaló que el derrame de petróleo fue declarado emergencia ambiental debido a que las zonas afectadas no se recuperan, y dejan secuelas en casi 400 comunidades, donde incluso los pobladores comentan que las cosechas ya no son buenas, quedan a medio crecer, se pudren de raíz y mueren.

Los derrames o accidentes de hidrocarburos han traído consecuencias año tras año al Perú, y cada vez hay más suelos contaminados, no productivos y de mala calidad. Dado que, estos derrames de hidrocarburos contaminan el ambiente por medio de filtraciones accidentales o deliberadas, generando una toxicidad directa a la biodiversidad y a las propiedades del suelo, generando efectos adversos sobre la pérdida de fertilidad, calidad del suelo y en el desarrollo de las plantas (15), incluso inhibiendo la germinación.

La región Pasco no es ajena a esta problemática, incluso es considerada la ciudad más contaminada del país, y no solamente en agua, aire, sino también en suelo, según el enfoque de Derecho – 2020, donde

se menciona que, producto de los derrames y las ineficientes medidas de mitigación, han causado la alteración de las propiedades del suelo, infertilidad en suelos agrícolas, erosión, etc. Por ello, en los informes emitidos por OEFA señala una serie de incumplimientos de las normas. En los últimos años, se han registrado 156 pasivos ambientales mineros y por derrames de hidrocarburos, en varios distritos de Cerro de Pasco, también en la provincia de Daniel A. Carrión – Yanahuanca, así determinó incluso el (Prodes), por otro lado, según la gobernatura regional de Pasco, informó que, la acción primordial en este lugar es la actividad agrícola, donde prevalece el cultivo de papas nativas con 36.78% y 61.22% son cultivos de maíz, zanahoria, olluco y hortalizas, estos suelos agrícolas estarían siendo afectados a consecuencia de los derrames de hidrocarburos y la calidad productiva de estos cultivos serían cada vez más deficientes (16).

Por lo expuesto anteriormente, los derrames o accidentes de hidrocarburos en el Perú son inevitables, por eso la contaminación de suelos va ganado más terreno y va dejándolos inutilizables durante periodos de tiempos prolongados o permanentes, ya que muy pocas veces son recuperados. La investigación para comprender cómo la aplicación de enmiendas orgánicas afecta los suelos agrícolas contaminados con hidrocarburos y cómo esto afecta la reducción de hidrocarburos, las propiedades fisicoquímicas del suelo y el crecimiento de las plantas, esto es importante porque a través de estos resultados, se pueden establecer escenarios que mitiguen o incluso prevengan los efectos de la contaminación por hidrocarburos. Este trabajo de investigación se plantea en el suelo agrícola de la localidad de Daniel Alcides Carrión en Pasco.

1.1.2 Formulación del problema

A. Problema general

¿Cuál es el efecto del vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco - 2021?

B. Problemas específicos

¿Cuál es el efecto del vermicompost en el contenido de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) en un suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco - 2021?

¿Cuál es el efecto del vermicompost en las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con hidrocarburos en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco - 2021?

¿Cuál es el efecto del vermicompost aplicado a un suelo contaminado con hidrocarburos en el crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco - 2021?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el efecto del vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco – 2021.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar el contenido de TPH, después de la aplicación de vermicompost, en un suelo contaminado con hidrocarburos, de Daniel A. Carrión, Pasco.

Determinar el efecto del vermicompost en las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con hidrocarburos en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.

Determinar el efecto de la aplicación del vermicompost en el crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en un suelo contaminado con hidrocarburos, en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación académica

La contaminación del suelo por hidrocarburos es un problema creciente que ha ocasionado efectos drásticos y severos, los derrames de hidrocarburos hoy en día se consideran emergencias ambientales debido a los riesgos que generan, este problema está llevando al desarrollo de tecnologías para la remediación de los ambientes contaminados y su recuperación.

Los efectos del vermicompost aplicado a una superficie contaminada con hidrocarburos y la utilización del rabanito (*Raphanus sativus L.*) como indicador propuesto en esta investigación, apoyarán nuevos modelos teóricos y prácticos, restauración de la calidad del suelo, sirviendo como punto de partida para nuevas investigaciones, puesto que en el Perú existen una gran cantidad de suelos contaminados por hidrocarburos.

1.3.2 Justificación ambiental

El valor del contenido de hidrocarburos en la superficie afecta el crecimiento de las plantas, que es necesario conocer, para prever medidas de remediación y evitar impactos sobre la vegetación y el medio ambiente. Así también, la recuperación de la calidad del suelo de los sitios contaminados por compuestos orgánicos e inorgánicos, deben destacar por la utilización de materiales orgánicos ecológicamente amigables con el ambiente. El uso del vermicompost y el rabanito constituye un componente categórico para regular múltiples métodos afines con la fertilidad y calidad del suelo por sistema de implementación limpio y ecológico al no generar residuos tóxicos o peligrosos para el ecosistema.

1.3.3 Justificación económica

Existen diferentes formas de restaurar la calidad del suelo contaminado con hidrocarburos, pero este estudio se caracteriza por el bajo costo, el fácil acceso a la vermicomposta y el uso de plantas nativas de la zona tal es el caso del rabanito y, al lograr esta investigación, cobra

importancia para el Perú, ya que existen gran cantidad de sitios contaminados por hidrocarburos que necesitan ser remediados.

1.3.4 Importancia

El uso del vermicompostaje y la promoción del uso de rábanos para conocer el impacto de su crecimiento constituyen alternativas mejoradas a las propiedades de los suelos contaminados con hidrocarburos, de ahí la importancia de probar y proponer alternativas a la descontaminación o descubrir posibles plantas para reducir la contaminación para mejorar las principales propiedades del suelo para aumentar la concentración de contaminantes orgánicos en el suelo.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

H_a = el vermicompost disminuye la concentración de hidrocarburos e incrementa el crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en un suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco – 2021.

H_0 = el vermicompost no disminuye la concentración de hidrocarburos y no incrementa el crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en un suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco - 2021.

1.4.2 Hipótesis específicas

H_1 = el vermicompost disminuye la concentración de TPH en el suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.

H_2 = el vermicompost mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con hidrocarburos, de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.

H_3 = el vermicompost incrementa el crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en un suelo contaminado con hidrocarburos de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.

1.4.3 Descripción de variables

a) Variables independientes

- Vermicompost

Indicador:

- Dosis de vermicompost

b) Variables dependientes

- Contenido de hidrocarburos

Indicador:

- mg.kg⁻¹ de TPH

- Propiedades fisicoquímicas del suelo

Indicadores:

Propiedades físicas:

- Densidad aparente (mg.m⁻³)
- Porosidad Total (%)
- Capacidad de campo (%)

Propiedades químicas:

- pH
- Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹)
- Carbonatos (%)
- Materia orgánica (%)
- Fósforo disponible (ppm)
- Potasio disponible (ppm)
- Capacidad de intercambio catiónico (meq.100g⁻¹)
- Catones cambiables (meq.100g⁻¹)

- Crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus* L.)

Indicadores:

- Altura de la parte aérea (cm)
- Longitud de la raíz (cm)
- Materia seca de la parte aérea (g)
- Materia seca de la raíz (g)

1.4.3.1 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Tipo	Variables	Definición	Indicadores	Unidad de medida
Independiente	x = vermicompost	Residuos digestivos especialmente utilizados para convertir residuos orgánicos (17).	Dosis de vermicompost	%
	Y1 = hidrocarburos en el suelo	Compuestos orgánicos constituidos por carbono e hidrógeno. Mayormente se extraen de combustibles fósiles, en especial el petróleo (18).	Hidrocarburos totales de petróleo	mg.kg ⁻¹
Dependientes	Y2 = propiedades fisicoquímicas del suelo	Físicas: propiedades que enfocan los sólidos del suelo y los espacios porosos entre partículas del suelo (19).	Densidad aparente	mg.m ⁻³
			Porosidad total	%
			Capacidad de campo	%
		Químicas: propiedades basadas en su composición química y el grado de explotación agrícola, que sirven de diagnóstico de origen y parámetros ambientales y son indicadores muy sensitivas de su uso. Las más importantes son el grado de acidez, la capacidad de intercambio iónico, importantes en la nutrición de las plantas (19).	pH	Unidad
			Carbonatos	%
			Conductividad eléctrica	dS.m ⁻¹
			Materia orgánica	%
			P disponible	ppm
			K disponible	ppm
			Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g
Y3 = crecimiento de rabanito	Biomasa acumulada de la planta que puede ser medida por materia seca, crecimiento de raíz, altura de planta y peso total de biomasa. Es el resultado del incremento irreversible en dimensión de órganos o individuos con el tiempo.	Altura de la parte aérea	cm	
		Longitud de la raíz		
		Materia seca de la parte aérea		
		Materia seca de la raíz	g	

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Artículos científicos

En el artículo "*Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions*", el objetivo fue "la evaluación de los cambios en la bioactividad, la porosidad y la contracción de la superficie en suelos contaminados con hidrocarburos", para ello se utilizó un suelo franco arcilloso contaminado con pH 7.8, mientras que para el control fue libre de contaminación. Se lograron cuatro muestras de suelo y estas se dividieron en 5 submuestras que recolectaron aleatoriamente en 20 cm de profundidad, luego se trituró y tamizó a 2 mm y se secó al aire libre para el análisis fisicoquímico y biológico. A través del método Kjeldhal se determinó la conductividad eléctrica y el pH, la determinación de biomasa microbiana C por extracción por fumigación, mientras que, para determinar la deshidrogenasa se tomó 1 g de suelo, estos fueron estimulados por hidrocarburos. Obteniendo como resultado que la porosidad aumentó a comparación con el suelo control, además, se presentó un aumento de las grietas de 100 a 200 μm . Se concluye que la contaminación aumenta la actividad bioquímica y microbiana, pero la mineralización del contaminante fue baja por la complejidad química de

hidrocarburos. El artículo aporta un dato importante sobre el efecto del hidrocarburo en el suelo, incrementa grietas, aumenta la porosidad total y que a su vez reduce la eficiencia para el uso, disminuyendo así el aforo de conservación de líquido (20).

En el artículo científico “*Recuperación de un suelo contaminado por una mezcla de hidrocarburos*”, cuyos objetivos fueron “biorremediar el suelo contaminado por 10 000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediar con *S. vulgare* inoculado el *A. niger* y *P. chrysogenum*”. Usando arcilla de un área agrícola, el suelo se contaminó con 100 000 ppm de ARA, se disolvió en detergente durante 30 días y luego se bioestimuló con solución mineral que fue logrado mediante extracción de Soxhlet, después de esta se fitorremedió a través de la siembra *S. vulgare*, adaptado en una madera en descomposición, ya que tiene la capacidad de degradar lignina. Obteniendo como resultado una reducción desde 10 000 ppm hasta 3 400 ppm de ARA en 120 días, en la fenología *S. vulgare* potenciada con *A. niger* y *P. chrysogenum* se logró una altura de planta de 29.2 cm y en longitud radical de 17.0 cm, el *vulgare* sin inocular regado con agua en suelo sin aceite residual automotriz como control absoluto es distinto, pues obtuvo 20.0 cm de altura y 8.5 cm de longitud de raíz. La relevancia del artículo radica en el aporte de información sobre la metodología usada basada en la biorremediación y fitorremediación, además sirve como referencia a la investigación sobre la comparación del ARA con la norma mexicana (límite máximo de TPH para suelo agrícola) no lo hace por fracciones sino de manera general (21).

En la investigación “*Influencia de la Eisenia foetida y de sustratos orgánicos como agentes bioestimulantes en la biodegradación de un suelo contaminado con petróleo pesado*”, cuyo objetivo fue “la evaluación de procesos de biorremediación de humus líquido, estiércol de caballo y especímenes de *E. foetida* para reducir los niveles de contaminación por hidrocarburos en suelos de Morichal, Monagas”, en las muestras iniciales se evaluaron las propiedades fisicoquímicas del suelo, posteriormente se pesó 15 kg de suelo blanqueado al que se le agregó 850 g de crudo de

Merey, utilizando 7 recipientes de polietileno, uno con suelo contaminado (testigo), estiércol equino y suelo contaminado (3 réplicas), humus líquido y suelo contaminado (3 réplicas), y suelo contaminado, 15 ejemplares de *Eisenia foetida* y estiércol equino (3 réplicas); concluyendo que *Eisenia foetida* (5.58 ± 0.02)% a (2.54 ± 0.02)% y estiércol equino (5.58 ± 0.02)% a (3.47 ± 0.02)% presentaron un alto porcentaje de remoción, descontaminando el suelo impactado. El trabajo aporta un método para la biorremediación, utilizando agentes bioestimulantes para acelerar la degradación del petróleo, un dato relevante es la adición de crudo Merey al suelo para luego tratar con sustratos orgánicos, para la investigación se realizó un procedimiento similar (22).

En el artículo científico "*Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (Eisenia fetida)*", se plantea como objetivo "evaluar el resultado de los microbios nativos, lombrices de tierra y enmienda orgánica en suelos contaminados". Para ello se utilizó un suelo franco arenoso con retención de agua a 68% y con pH 6.6, se tomó el suelo aleatoriamente para un total de 30 muestras y fue tamizado a 5 mm, el suelo estaba contaminado con 100 mg fenantreno (Phen), 500 mg antraceno (Anth) y 50 mg benzopireno (Bap) y se controlaron por 70 días. Obteniendo como consecuencia un incremento en la separación de PAH con presencia de las lombrices con Phen al 99%, Anth con 91% y Bap con 16% y luego se dispersó en comparación con 94%, 42% y 3% en biosólido y la enmienda orgánica. Relevancia del artículo, evalúa el efecto de tres medios y ayuda a ver la eficiencia de las lombrices para acelerar la eliminación de hidrocarburos en el suelo en comparación con otros sustratos (23).

El artículo científico "*Evaluación de humus de lombriz y estiércol bovino en la producción de rábano (Raphanus sativus L.) en condiciones de organopónico*", en el huerto intensivo de la granja agropecuaria Alfredo Álvarez Mola del municipio Sibanicú. Tuvo como objetivo "evaluar el uso de fertilizantes orgánicos aplicados en formulaciones líquidas y sólidas en

el cultivo de rábano”, para ello se realizó un diseño Cuadrado Latino con canteros divididos en 5 partes, en total hubo 5 canteros con 28 m² cada uno. La investigación fue ejecutada con 5 tratamientos: testigo, 3 kg/m² de estiércol bovino en suelo (ES), 1 kg/m² de humus de lombriz en suelo (HS), 1/10 de disolución acuosa de estiércol de bovino (EL) y 1/10 de disolución acuosa de humus de lombriz (HL). Se evaluaron 50 plantas de cada tratamiento en el que se midieron los índices fisiológicos de la planta en un periodo de 5 meses. Los resultados obtenidos muestran que los valores del T5 (HL) alcanzaron mayor rendimiento y peso de plantas, en cuanto al diámetro ecuatorial y polar no hubo diferencias significativas en los últimos cuatro tratamientos. De acuerdo a los resultados se concluye que los mejores valores de producción y rendimiento del rábano se encuentran en el T5 (HL). El estudio brinda información sobre el beneficio del uso de humus de lombriz como fertilizante para el rabanito, demostrando que favorece la fisiología de la planta (24).

En el artículo científico “*Uso de humus de lombriz para la biorremediación de suelo mezclados con ripios de perforación impregnados con crudo pesado*”, tuvo por objetivo “evaluar el humus de lombriz como acondicionador orgánico en la biorremediación”. El estudio consta de 8 tratamientos, para ello se recolectó el suelo y el ripio del Estado Monagas, luego se añadió crudo pesado al ripio y se diluyó, después se emplearon tres dosis de humus de lombriz (8, 12 y 16%). Posteriormente, se evaluó la respiración basal con el método de la trampa de NaOH 0.2 N, la actividad de la enzima deshidrogenasa con el método de Casida y el potencial tóxico del material biotratado por un ensayo de fitotoxicidad con semillas de *Lactuca sativa* durante 120 días. Los resultados muestran que el uso de humus de lombriz no disminuye significativamente el contenido de aceite y grasa con relación al T1. La respiración basal fue significativamente mayor que el T1; por el contrario, la actividad de la enzima deshidrogenasa incrementó en los tratamientos con HL. Conforme a los resultados, se concluye que el humus de lombriz no mejoró los suelos contaminados con hidrocarburos debido a las mezclas suelo-desecho mostraron ser más tóxicas. El artículo brinda una

metodología para el análisis y discusión de resultados, ya que para el desarrollo del experimento se impregnó al ripio crudo de petróleo y se adicionó humus de lombriz, pero realza el efecto tóxico en la planta (25).

En el artículo científico "*Parámetros biológicos de la restauración de suelos contaminados por petróleo crudo*", cuyo objetivo fue "determinar parámetros de microflora, fauna y rábanos del suelo para establecer la eficacia de descontaminación de Fluvisol afectado por crudo". Para el estudio se extrajo suelo descontaminado por Fluvisol, pero que tenía concentraciones de TPH (21 691 a 29 871 mg.kg⁻¹) correspondiente al suelo restaurado (SR) y aparte se extrajo suelo aledaño al lugar impactado para el testigo (ST), se tuvo un DCA con arreglo factorial 4x3 (tipo de suelo y época del año) con cuatro repeticiones cada tratamiento, haciendo un total de 48 unidades experimentales. Se evaluó 7 variables del suelo, 5 de la microflora y 7 de la planta, además se calculó el índice de impacto ecotoxicológico (IIE). Los análisis indican que existe diferencias entre ST y SR, este último debido a los TPH causó mortandad del 92% de las plantas, afectó la densidad de la fauna, ya que hubo registro de conchas muertas; la época que tuvo mayor efecto tóxico de TPH fue en la sequía, la altura del rábano disminuyó 4.1 veces en relación al que creció en el ST, la disminución del follaje fue hasta 318 veces, además que no se formó bulbo. Se concluye de acuerdo a los datos analizados, que el SR aún sigue contaminado y no hubo eficacia en la descontaminación de un fluvisol. El estudio aporta información como antecedente de los resultados obtenidos sobre las variables analizadas en suelo y en la planta de rabanito, que se usará dentro de la discusión de resultados para esta investigación (26).

El artículo "*Efectos sobre el cultivo de rábano rojo (Raphanus sativus, L) de tres fertilizantes orgánicos*", tuvo como objetivo "la evaluación de la composición química y el potencial agrícola de 3 fertilizantes orgánicos utilizados en la agricultura". Para el desarrollo de la investigación se usó 3 tipos de fertilizantes: compost de elaboración propio (CP), compost comercial (CC) y humus de lombriz (HL); para cada

fertilizante hubo 4 dosis de aplicación: 0% sin fertilización (control), 25% (3 kg/m²), 50% (6 kg/m²) y 100% (12 kg/m²), y dos repeticiones cada uno, haciendo un total de 24 tratamientos que ocupó 1 m² cada uno, ahí se midió el incremento, progreso y elaboración del rábano. El HL tuvo una humedad elevada con alto contenido de N, pero insuficiente contenido de P; mientras que el CP mantuvo macronutrientes de manera equilibrada, sin embargo, el CC tuvo bajo contenido de N. En los datos obtenidos en cuanto al área foliar, longitud de tallo y longitud de raíz resultaron mejor en el compost propio con 100% de dosis, pero también se reflejan valores máximos para el humus de lombriz con 50% de dosis, mientras que para el compost comercial fue bajo. Concluyendo que el CP es el más conveniente para su uso en agricultura, ya que mostró mejores resultados con la dosis 100%, respecto al CC y HL, mas este último presenta valores medios superiores con el 50% de dosis. A la investigación aporta información sobre las dosis óptimas de aplicación de fertilizantes para el cultivo de rabanito, además sirvió para comparar los resultados en cuanto al desarrollo de la planta (27).

2.1.2 Tesis nacionales e internacionales

En la tesis "*Evaluación del cultivo de rábano chino (Raphanus sativus L.) con la aplicación de compost y humus de lombriz a dos densidades de siembra bajo condiciones atemperadas en la zona Achumani, municipio de La Paz*", realizado en la Universidad Mayor de San Andrés. El estudio presentó un diseño experimental completamente al azar bifactorial, donde tuvo dos niveles: factor "A" 2 densidades de siembra (10 cm y 15 cm) y factor "B" 3 abonos orgánicos (testigo, humus de lombriz y compost); estableciendo 6 tratamientos en un terreno de 35.36 m² en total, donde se analizaron las variables agronómicas y variables de las propiedades del suelo. Resultando que el humus de lombriz influye en emerger más rápido la planta del rábano, presentó una altura de 20.61 cm; un diámetro de raíz en el T3 (3.52 cm) y T6 (3.51 cm) que fue superior de todos, con un peso de raíz de 64.74 g y un mayor número de hojas en el T6, sin embargo, la evaluación de propiedades del suelo como el intercambio catiónico, la materia orgánica y el nitrógeno

total, se manifestaron con valores significativamente altos en el T3, T5 y T6. En conclusión, los mejores resultados en cuanto a densidades fueron aquellos tratamientos con 15 cm de distancia entre plantas y el humus de lombriz como mejor abono orgánico para el cultivo de rabanito chino, cabe destacar que fue el T6 el más viable económicamente. La investigación aporta información importante sobre la aplicación de humus de lombriz y compost en el cultivo de rábano, indicando que el primero resulta mejor y tiene mejores resultados en cuanto a la emergencia, altura del rábano, diámetro y peso de la raíz, adicionalmente recomienda el cultivo oportuno de rábano antes del desarrollo floral (28).

En la tesis *“Biorremediación de los suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de la estación de Secoya, utilizando un consorcio bacteriano aerobio a escala de laboratorio”*, formuló como objetivo la “aplicación de bacterias aerobias en el suelo contaminado con hidrocarburo”. Para lo cual se determinó 71 muestras de 726 g aproximadamente, por cada tratamiento hubo 9 muestras compuestas de 1 kg con 3 réplicas mediante la técnica de bioaumentación, se ejecutó la determinación microbiológica y fisicoquímica del territorio corrompido, al finalizar el análisis se obtuvieron 10 cepas de bacterias, se inoculó para dosificar en el suelo contaminado, para esto se dividió en tres tratamientos, para TA se aplicó 500 ml, TB 500 ml más 30% de MO y en TC no se aplicó MO ni se inoculó. Obteniendo como resultado que ha logrado degradar TB con 86%, siendo el mejor y mayor en cuanto a la remoción de TPH en 52 días. Relevancia, sobre el uso de la metodología para biorremediar el suelo, donde se demuestra la eficiencia del uso de materia orgánica y el papel importante que realizan las bacterias aerobias, quienes contribuyen a tener un mejor resultado en cuanto a la remoción de TPH (29).

En la tesis *“Efecto de hidrocarburos en las propiedades fisicoquímicas de suelo arcilloso”*, cuyo objetivo fue “analizar el impacto que produce el diésel, gasolina y combustóleo, sobre las propiedades fisicoquímicas”. Los parámetros evaluados fueron textura, CE, pH, MO,

densidad aparente y porosidad. La muestra del suelo ha sido preparada en 5 concentraciones para cada contaminante, desde 100 mg/kg hasta la última concentración que fue 150 000 mg/kg de gasolina, en igual cantidad fue también para diésel y combustóleo, cada muestra con 425 g de suelo y 75 g de hidrocarburos, para mezclar se usó *Shaker Sieve* a lo largo de 2 h. Obteniendo como resultado que la gasolina no genera cambios fisicoquímicos, a comparación del diésel que sí genera un cambio en el contenido de MO y arcilla, pero sin modificar la textura. Mientras que a 150 000 mg/kg de combustóleo se evidencia una modificación de la textura, aumentó de la MO, disminución de la porosidad; pH y densidad aparente. La investigación es relevante porque permite conocer a detalle el comportamiento de los hidrocarburos a diferentes concentraciones y su consecuencia en las características fisicoquímicas del suelo, sobre todo en la consideración de 3 productos de hidrocarburos, que hacen variar de manera diferente al suelo (30).

En la tesis "*Evaluación de la eficiencia de tres procesos de biorremediación en suelos contaminados con petróleo, mediante la determinación de la concentración letal 50 (CL50) en la lombriz californiana, Eisenia foetida (Lombricidae)*", se tuvo como objetivo analizar la capacidad de reducir el petróleo del suelo. Para este tratamiento extrajeron suelo del horizonte A en un total de 60 kg. La consistencia se desarrolló por el procedimiento picnómetro y para determinar el CL50 realizaron un bioensayo, esto fue aplicado antes de realizar la biorremediación mediante el "método de análisis de *probit*". Obteniendo como resultado la reducción de CL a través de mortalidad de lombrices, la bioaumentación logró mejores resultados a comparación de bioestimulación y la bioatenuación presenta menor eficiencia, ya que depende de factores externos. La tesis brinda aporte teórico y métodos de análisis, pero algo relevante es la simulación de un derrame de petróleo que tuvo que realizar para la investigación, repercutiendo en este estudio (31).

En la tesis “*Evaluación de dosis de caldo de humus de lombriz bajo dos sustratos (sólido y líquido) para la producción de espinaca (Spinacea oleracea L.) en ambiente protegido*”, tuvo como objetivo “evaluar humus de lombriz roja californiana en labranza de espinaca en sustrato líquido y sólido”. Para el sustrato sólido se preparó 5 kg (dosis I) y 4.5 kg (dosis II) con 3 repeticiones y dos tratamientos más un testigo, para sustrato líquido 8 kg de humus (dosis I) y dos tratamientos más un testigo. Obteniendo como resultado que el mayor rendimiento fue del sustrato sólido en T1 con 0.86 kg/m², mientras con el sustrato líquido fue menor con 0.12 kg/m² en T4. En cuanto a las variables agronómicas presentan alta significancia en su tratamiento con sustrato sólido a comparación que el sustrato líquido, que no presenta ninguna significancia en sus tratamientos. Al estudio de investigación aporta al brindar información en su marco teórico, en la metodología y además en sus resultados (32).

En la tesis “*Caracterización de suelos afectados por derrame de hidrocarburos en el centro poblado Nueva Esperanza, distrito de Nieva, Amazonas, Perú, 2018*”. Realizado con el objetivo de “caracterizar mediante el análisis fisicoquímico, determinar los TPH y (COV), en los suelos contaminados por derrame de petróleo, tramo II Oleoducto Norperuano; valorar el contenido del plomo y estimar el volumen de suelo contaminado”, como primer proceso fue reconocer el lugar de investigación, luego se muestreó el suelo de acuerdo con la normativa del Decreto Supremo N.º 002-2013-MINAM, según los estudios de modelos superficiales y profundidad son inferiores al ECA de suelos. La tesis brinda información sobre las características de los suelos afectados por los derrames de hidrocarburos, aclara y describe la situación actual, además servirá como antecedentes y base teórica sobre los derrames de petróleo sucedidos en el Oleoducto Norperuano (33).

En la tesis “*Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo Ucayali, Perú, 2018*”, el objetivo fue “la determinación de la efectividad de la remediación de suelos utilizando humus de lombriz en suelos contaminados con petróleo

crudo”, se realizó un estudio experimental con un diseño plenamente al azar, que consistió en la realización de 4 tratamientos en el que se adicionaron diferentes dosis de humus de lombriz (al primer tratamiento no se adicionó, al segundo se adicionó 10 kg, al tercero se adicionó 20 kg y el cuarto se adicionó 30 kg), asumieron 3 repeticiones por tratamiento, haciendo un total de 12 celdas experimentales, cada celda poseía un área de 1 m², una profundidad de 20 cm, que contenía 200 kg de suelo mezclado con 1 galón de petróleo crudo cada celda, posteriormente, cada semana se midió la temperatura y el suelo fue removido con una pala por un periodo de 4 meses, concluyendo que el uso del material orgánico logró reducir la presencia del contenido de petróleo en suelos contaminados con estas sustancias, la dosis que mostró mayor porcentaje de reducción o degradación de petróleo en el suelo fue el tercer tratamiento en el que se utilizaron 20 kg de HL, disminuyendo así en un 86.74% de mg de petróleo presente en el suelo. La tesis aporta con base teórica y una metodología adecuada para analizar el efecto de humus en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, los cuales fueron utilizados en la presente investigación. La metodología presenta lo siguiente (34):

Para el desarrollo de la metodología experimental aplicó el diseño DCA y la caracterización de suelo en laboratorio, se realizó antes de simular la contaminación con crudo de petróleo y después de ser aplicado, se analizó también el humus de lombriz antes del experimento y los HTP en tres momentos.

Se realizó un análisis de varianza para saber la presencia de HTP a los 12 días, 2 meses y 4 meses.

En la tesis *“Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) a partir del precompost orgánico, para la mejora de un suelo degradado y su verificación en el cultivo de rabanito (Raphanus sativus) en la localidad de la esperanza – Huánuco 2018”*, el objetivo fue “evaluar la eficiencia del humus de lombriz como fertilizante orgánico para

mejorar suelos degradados”. Se utilizó una metodología tipo mixto y para el diseño experimental se trabajó con 4 tratamientos y tres repeticiones en 12 parcelas del vivero “La Casona”. Primero se elaboró el precompost en 4 pilas (1 m x 2 m x 0.2 m), después de un mes y medio se añadieron lombrices, luego de 2 meses se aplicó al suelo degradado durante un mes y se mandó a analizar. En los resultados, la aplicación de humus de lombriz en suelos degradados mejoró la textura de franco arcilloso a franco, la materia orgánica tuvo valores mayores a 2 en los tratamientos con HL, donde sobresalió el último tratamiento (60 t/ha) con 3.63% MO; el pH ácido (4.66) inicial mejoró a un rango alcalino y en cuanto a los parámetros fisicoquímicos pasó de baja a media interpretación. El humus de lombriz es un abono orgánico eficaz en suelos degradados, ya que tuvo resultados significativos, mejorando el pH, MO y la estructura del suelo, además de poseer macronutrientes y micronutrientes, favoreciendo al desarrollo del rabanito, por ello, el mejor resultado del crecimiento vegetativo fue en el T2 (40 t/ha). El estudio aporta una información relevante en la metodología usada sobre la mejora de las propiedades de un suelo degradado mediante el humus de lombriz, y hace de conocimiento que este otorga líquidos y carbohidratos a la planta, asimismo, serán de gran ayuda para el presente trabajo de investigación algunas referencias que realizaron durante el desarrollo experimental y el análisis de datos (35).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelo

Es un medio natural, dinámico y no renovable, cuya función es fundamental, indispensable e irremplazable para la vida en el planeta, puesto que alberga el desarrollo de los seres vivos (plantas, animales y el hombre (36).

Es un sistema estructurado, ubicado en la parte superior de la corteza terrestre y compuesta por minerales (arena, limo y arcilla), materia orgánica, microorganismos, animales y vegetales, aire y agua, que han sido formados a través del tiempo y por interacción del clima, flora, fauna, topografía y materiales parentales como la rocas y minerales originarios

que se establecieron por un intercambio continuo mediante procesos físicos, químicos y biológicos, manteniendo un equilibrio dinámico (36).

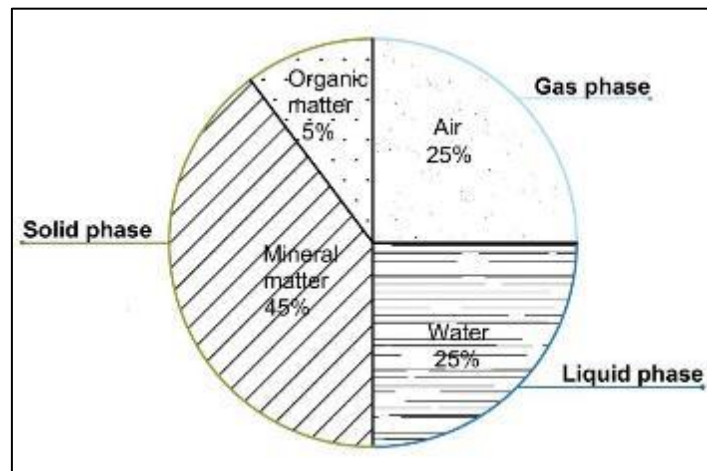


Figura 1. Componentes del suelo (36)

2.2.1.1 Importancia del suelo

La vida del planeta depende de este recurso, su rol es principal en la sostenibilidad, soporte y regulación de los ecosistemas, además de ello desarrolla múltiples funciones esenciales entre ellos alberga el progreso de la agronomía y actividades como la ganadería, infraestructura, industria (37), dentro de las funciones que desarrolla el suelo están:

Funciones ecológicas (37)

- Productivas, es provisión de nutrimentos, agua y aire a las plantas.
- Hidrológicas, protegiendo y almacenando el flujo de agua superficial y subterránea, siendo esencial en el ciclo hidrológico.
- Medioambientales, debido a su amplitud de filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar los compuestos tóxicos con la finalidad de resguardar los atributos del agua y la calidad del aire.
- Biológicas, alberga el hábitat de organismos.
- Biogeoquímicas, ya que almacena y posibilita el ciclo biogeoquímico de nutrientes esenciales como el carbono (C), nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P) y la degradación de materia orgánica.

Funciones relacionadas a las actividades antrópicas (37)

- Es base para el soporte de las infraestructuras humanas y socioeconómicas.
- Abasto de materias primas y suplemento de agua, arcilla, arena, grava y minerales.
- Conserva la herencia cultural con el fin de preservar la humanidad y la historia de la tierra, así la creación de conocimiento, valor educacional y recreativo.

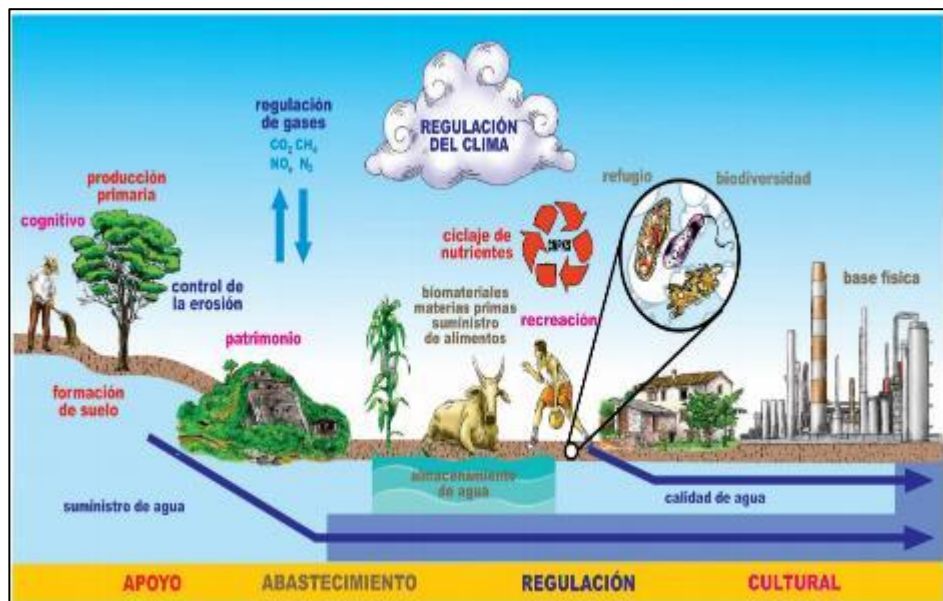


Figura 2. Servicios ambientales del suelo – Atlas Global de Biodiversidad (37)

2.2.1.2 Indicadores de calidad del suelo

Conocidos también como variables son instrumentos de análisis que sirven para evaluar la condición del suelo, como propiedades físicas, químicas y biológicas o los procesos que ocurren en el suelo, permitiendo analizar e identificar los impactos de las intervenciones antropogénicas para después establecer si la utilización de este recurso es llevadera (19).

Propiedades físicas

Reflejan cómo el suelo puede tener situaciones para el progreso de las plantas, de lo contrario la limitación crea una deficiencia en el crecimiento de las raíces y la emergencia (19).

- **Textura:** determinada por el porcentaje de arcilla, limo y arena, que influye en la capacidad de retención de agua, minerales y la capacidad de intercambio catiónico.
- **Color:** permite asumir ciertas propiedades del suelo como los indicadores de fertilidad (concentración de minerales, materia orgánica y humedad).
- **Densidad aparente:** se entiende como la masa por unidad de volumen, este último ocupa la muestra en el campo.
- **Porosidad:** indica el porcentaje de volumen no ocupado por partículas, que permite la movilidad del agua, nutrientes, aire y gases que son retenidos por las fuerzas capilares del suelo, mejorando el enraizamiento de la planta. El suelo arenoso se caracteriza por tener macroporos, pero retiene muy poca agua, en tanto el suelo arcilloso posee microporos y tiene buena retención del agua.
- **Capacidad de campo:** es la humedad retenida por los contornos del suelo húmedo, que en realidad ha dejado de drenar en el suelo seco.

Propiedades químicas

Tiene que ver con la relación suelo-planta, nutrientes y microorganismos.

- **Materia orgánica:** define la fertilidad del suelo; promueve el proceso químico y biológico en el suelo, grado de erosión y productividad del suelo.
- **pH:** define la actividad química y biológica ejerciendo la asimilación de nutrientes en el suelo y planta, indica si el suelo es ácido o alcalino y depende de la concentración del ion H^+ en el suelo (19).

Efectos esperables para diferentes intervalos de pH, se muestra a continuación (38).

Tabla 2. Efectos esperables en el suelo en diferentes intervalos de pH

pH	Evaluación	Efectos esperables
< 4.5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido	Probable toxicidad por Al ³⁺ y Mn ²⁺
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido	Exceso: Fe, Cu, Mn, Co, Zn. Deficiencia: N, K, Ca, Mg, P, Mo, S. Suelos sin carbonato de calcio. Actividad bacteriana escasa.
5.6 – 6.0	Medianamente ácido	Rango adecuado para la mayoría de cultivos
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6.6 – 7.3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos
7.4 – 7.8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO ₃
7.9 – 8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de B y P. Deficiencia creciente de: Fe, Cu, Mn, Co, Zn. Suelos calizos. Clorosis férrica que se debe al HCO ₃ ⁻
8.5 – 9.0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, el pH alto podría deberse al MgCO ₃ , si no hay sodio intercambiable.
9.1 – 10	Alcalino	Presencia de carbonato sódico.
>10	Fuertemente alcalino	PSI > 15. Movilidad de P como Na ₃ PO ₄ . Actividad microbiana escasa. Poca disponibilidad de micronutrientes, a excepción del Mo.

Nota: tomada del Portal Biblioteca INIA (38)

- **Capacidad de intercambio catiónico:** indicador de la habilidad del suelo a la retención de cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na²⁺, Al³⁺ y H⁺), disponibles a un determinado pH, siendo esencial para la fertilidad del suelo y potencial productivo.
- **Conductividad eléctrica:** mide la concentración de sales solubles en el suelo. Define la actividad vegetal y microbiana permitiendo la factibilidad y desarrollo de la planta (19).
- **P, N y K:** nutrientes disponibles para la flora, siendo indicador de eficacia y feracidad ambiental (19).

Propiedades biológicas

Indica la abundancia de micro y macroorganismos, bacterias, lombrices, hongos, nemátodos anélidos y artrópodos (37).

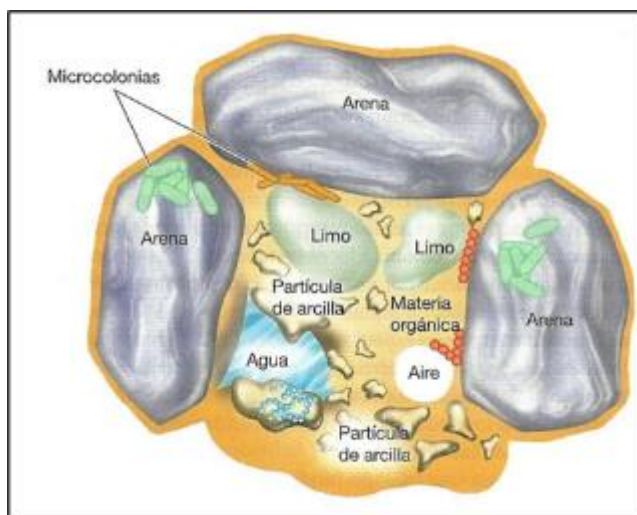


Figura 3. Microcolonias presentes en el suelo (36)

2.2.1.3 Tierras por capacidad de uso mayor

Referido al mejor aprovechamiento en cuanto a uso de suelo. En todo el territorio peruano, el suelo para cultivos en limpio también denominado transitorios (son suelos de mayor calidad para la agricultura, ideal para cultivos diversificados) tiene una extensión de solo el 3.8% y cultivos permanentes (especialmente frutales) el 2.1%, siendo así muy escasos, estos dos grupos conforman el potencial agrícola a nivel nacional; el suelo para pasto que son aptos para el desarrollo agropecuario ocupan una superficie del 14%, mientras que el suelo para producción forestal (aprovechan recursos maderables y no maderables del bosque) y protección (sirve para conservar el equilibrio ecológico) ocupan mayor superficie nacional con el 38% y 42%, y son considerados los más extensos (39).

2.2.1.4 Suelo agrícola

Es un recurso esencial para la actividad agrícola, que permita el desarrollo y favorezca el crecimiento de cultivos, estos suelos están compuestos por agua (35%), materia orgánica (1% -

5%) y se caracterizan por ser ricos en nutrientes como nitratos, fósforo, potasio, entre otros; además de ser un suelo fértil (40). Mediante la Resolución Ministerial N.º 0322 – 2020 – MIDAGRI se oficializó el mapa de la figura 4, elaborado primero con imágenes satelitales RapidEye en 2017 por Piader y Aider que después en el 2018 se actualizó con IS Sentinel-2 y Google Earth, presentando un nivel de detalle de áreas con fines agrícolas según departamentos, provincias y distritos. Este mapa fue realizado con el propósito de identificar diferentes usos del suelo, en especial cultivos transitorios y permanentes. El Perú totaliza 11.6 millones de hectáreas a nivel nacional en cuanto a superficie agrícola (41).



Figura 4. Mapa nacional de superficie agrícola del Perú (41)

2.2.1.5 Contaminación de suelos

Es la introducción o presencia de compuestos químicos en el suelo, alterar o destruir las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo, normalmente son provenientes de actividades antropogénicas, en elevadas concentraciones estos compuestos tóxicos son perjudiciales para la salud humana, calidad y uso del suelo, induciendo a la reducción de su capacidad

productiva, fertilidad y aprovechamiento del suelo, en otras palabras, la presencia de estos compuestos aceleran la degradación del suelo (6).

La contaminación del suelo se da por medio de dos orígenes, la primera de origen puntual que se caracteriza por ser causada por un evento específico y en un lugar determinado, siendo los contaminantes fáciles de identificar, la segunda de origen difusa es una contaminación que logra propagarse por áreas muy extensas, ya que los contaminantes se transportan a través del suelo, aire y agua por lo que es difícil de analizar, rastrear y delimitar (6).

2.2.1.6 Disponibilidad de contaminantes en el suelo

La disponibilidad o toxicidad de los contaminantes que están en los suelos para los organismos vivos mediante la absorción y adsorción, dependen de su concentración y movilización, que se pueden encontrar fácilmente solubles, intercambiables o en forma de carbonatos asociados a los óxidos de hierro, aluminio y manganeso, unidos a la materia orgánica, formando sulfuros o parte de los minerales de la arcilla, para después ser tóxicos para los organismos vivos que se encuentran dentro de la fracción disponible del suelo (42).

Los elementos influyentes en la biodisponibilidad de los contaminantes se ligan a las características de los organismos (hábitat, morfología, fisiología, ciclo de vida), las propiedades del suelo (composición, materia orgánica, pH, CIC), las propiedades fisicoquímicas del contaminante (estereoquímica, solubilidad del agua, presión de vapor) y las condiciones ambientales (6).

2.2.2 Hidrocarburos

Están desarrollados solo por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H), cuya distribución atómica está constituida por un andamio de

partículas de C, donde los átomos de H se fusionan y forman la peana organizada habitual de los demás combinados orgánicos (18).

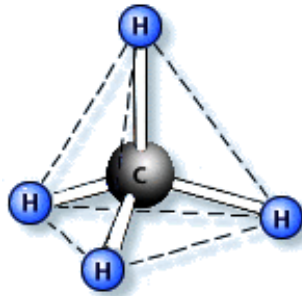


Figura 5. Distribución tetraédrica del hidrocarburo (18)

2.2.2.1 Clasificación de los hidrocarburos

Están formados por cadenas lineales, cíclicas o ramificadas, que podrían ser de un átomo hasta miles de átomos, mientras mayor sea el contenido de C en relación al H es mayor la cantidad de productos pesados que poseen los hidrocarburos, es por eso que los hidrocarburos se clasifican por familia: hidrocarburos alifáticos (estos compuestos derivan principalmente del petróleo, se obtiene por medio del craqueo y destilación), hidrocarburos aromáticos (se obtienen de la hulla y el petróleo), asfáltenos y resinas.

2.2.2.2 Hidrocarburos del petróleo

Es una mezcla confusa de sustancias formadas por la degradación y mutación de despojos orgánicos de plantas y animales fosilizadas durante siglos bajo la superficie terrestre (36), estando bajo la acción bacteriana y catalítica de algunos compuestos inorgánicos. Por lo tanto, el aceite contiene una gran cantidad de hidrocarburos (43).

De acuerdo con las diferentes cantidades de elementos químicos representados en la tabla 3, se determinan las características particulares como el color, viscosidad o densidad, resultando líquidos viscosos de color verde, amarillo, marrón o

negro. Así mismo, dependiendo a la estructura de hidrocarburos y número de átomos de carbono que integran el petróleo, se obtiene materia prima como: gasolina, combustibles, diésel, solventes, lubricantes y parafinas, que se encuentran en una mezcla de estos hidrocarburos, que van desde los líquidos más livianos hasta los sólidos (37).

Tabla 3. Composición del crudo de petróleo

Porcentaje	Composición elemental
84 – 87	C
11 – 14	H
0 – 8	S
0 – 4	O, N metales como vanadio y níquel

Nota: tomada de Determinación de la toxicidad en suelos contaminados por hidrocarburos (44)

2.2.2.3 Hidrocarburos en el Perú

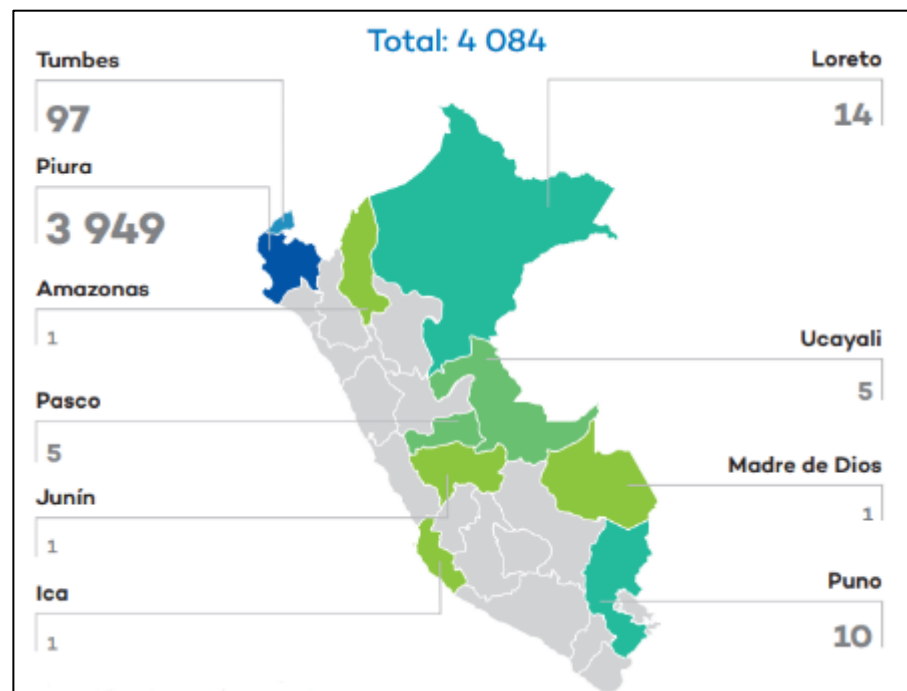


Figura 6. Distribución de pasivos por derrames de hidrocarburo (12)

2.2.2.4 Comportamiento de los hidrocarburos en el suelo

El comportamiento de los hidrocarburos en el suelo es muy variable, ya que muchos de estos compuestos dependen de diversos factores como el vertido, composición química del

producto, densidad, solubilidad, viscosidad, persistencia y biodisponibilidad (45).

Los hidrocarburos intemperizados en el suelo dependen de la adsorción y absorción entre las partículas del suelo por interacciones fisicoquímicas (43). La adsorción es el proceso en el cual las moléculas se extraen de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase generalmente sólida, cuando se da este proceso, las moléculas orgánicas interactúan en el interior o exterior con las partículas del suelo mediante interacciones electrostáticas, fuerzas de Van der Waals o por puentes de hidrógenos, en cambio, la absorción es el proceso donde las moléculas de una fase interpenetran casi uniformemente en los de otra fase formándose una solución, que consiste en que los hidrocarburos se encuentran con la materia orgánica asociada a los procesos de polimerización, formando mayor complejidad química (43).

El vertido de hidrocarburos mediante la dispersión en el suelo origina una serie de cambios progresivos en las características fisicoquímicas y biológicas en el suelo, que se atribuyen a los procesos de (34).

- **Evaporación:** afecta la composición del hidrocarburo derramado, creciendo su viscosidad y densidad reduciendo así su toxicidad del hidrocarburo y a la vez permitiendo fijar el destino del hidrocarburo.
- **Disolución:** se da cuando el hidrocarburo se disuelve a los alrededores del derrame en relación al volumen de la columna de agua, es de largo plazo, ya que depende de la composición del hidrocarburo.
- **Oxidación:** inicia al contacto de los hidrocarburos con el oxígeno atmosférico, contribuyendo a la descomposición del compuesto derramado, la radiación ultravioleta también produce la oxidación fotoquímica (42).

- **Emulsificación:** consiste cuando el hidrocarburo absorbe agua y forma emulsiones de agua en hidrocarburos, quedando partículas de suspensión, creciendo el volumen del contaminante, es un proceso lento y dependen del tipo de bacterias que se encuentran dentro de la emulsión.
- **Sedimentación:** inicia cuando el hidrocarburo se intemperiza, incrementando su densidad u ocurre con la adhesión de partículas de hidrocarburo.
- **Biodegradación:** inicia cuando el hidrocarburo desaparece del medio ambiente, gracias a la presencia de hongos, bacterias y otros microorganismos, que utilizan los hidrocarburos como alimento (15).

2.2.3 Impacto de los hidrocarburos sobre el ambiente

Los derrames de hidrocarburos en forma de productos del petróleo sobre el suelo y el agua han sido problemas desde que se descubrió como una fuente de combustible. Ellos pueden tener un efecto devastador sobre la biota de un ambiente. Los derrames de petróleo y los residuos descargados dentro del mar desde las refinerías, fábricas o barcos contienen compuestos venenosos que constituyen un peligro potencial para las plantas y animales. Los venenos pueden pasar mediante la cadena alimenticia de un área y pueden eventualmente ser consumidos por los humanos (46).

El petróleo es una mezcla de diferentes compuestos químicos tales como bifenilos policlorados (BPC), elementos traza (ET), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), que poseen efectos dañinos sobre la calidad de vida. Los HAP son de mayor interés el cual se debe a su toxicidad y tendencia a la bioacumulación. Esto es debido al hecho que son poco solubles en agua, pero en aceites y grasas son muy solubles (6).

Por supuesto, la solubilidad de los compuestos aromáticos en agua disminuye con el incremento del peso molecular. Por lo tanto, debido a su

hidrofobicidad, los HAP permanecen en un ambiente acuático en la superficie o adsorbidos a la superficie de sedimentos como el suelo y forman un reservorio (6).

Basado en la estructura y mecanismo de activación, muchos HAP exhiben propiedades mutagénicas, tumorígenas y cancerígenas (6). En el suelo, ellos pueden también adherirse a la materia orgánica, y disminuyen su disponibilidad para los microorganismos, plantas o lixiviación (3).

a. Suelo

Los componentes que perturban el suelo contaminado con hidrocarburos dependen del volumen del contaminante, la viscosidad del hidrocarburo, los factores climáticos y la composición del suelo, el contacto del suelo con los hidrocarburos se da por un proceso de lixiviación, el cual dependen básicamente de la textura del suelo y la solubilidad del hidrocarburo, quedando gran parte de los hidrocarburos en el suelo, de manera que ejerce efectos adversos y altera el equilibrio natural (37).

Los hidrocarburos suelen producir un efecto de hidrofobicidad en el suelo reduciendo la tasa de infiltración, reduce la disponibilidad del oxígeno (O) e intercambio gaseoso con la atmósfera, la permeabilidad del suelo debido a que la presencia de hidrocarburos afecta la porosidad del suelo, por ende, su densidad aparente, reduce la CIC, incrementa la concentración de materia orgánica creando un riesgo ecotóxico para los microorganismos y plantas (30).

En un suelo contaminado con compuestos químicos orgánicos, no puede subestimarse la importancia de la comprensión de las propiedades fisicoquímicas de los materiales superficiales y subsuperficiales. Sus características juegan un rol crítico, en: (i) determinar el potencial para la migración del contaminante, incluyendo la distribución horizontal y vertical de los contaminantes; (ii) alterando la toxicidad de los contaminantes; y

(iii) en el planeamiento e implementación de un programa de remediación (47).

b. Planta

Los efectos de los hidrocarburos son tóxicos siendo mayormente subletales para la planta evidenciándose en el crecimiento, desarrollo y la fotosíntesis de la planta, que varían de acuerdo con la composición y concentración del hidrocarburo, pero también del tipo de planta (48).

Cuando ocurren los derrames estos compuestos cubren las hojas y otras partes de la planta provocando una sofocación, es decir, los estomas de la planta se cierran impidiendo el intercambio de gases afectando la actividad fotosintética, debido a que la presencia de hidrocarburos deja de producir oxígeno (O) y la producción de ácido sulfúrico (H₂S) matando las raíces de la planta, cuando las raíces u hojas absorben moléculas de hidrocarburo, estas penetran en las células y rompen la membrana que las protege, impidiendo la fijación de nitrógeno (N), por lo tanto la asociación en la *Rhizobia* (48).

c. Semillas

Cuando los hidrocarburos logran ingresar a las semillas provocan clorosis e inhiben la germinación de la semilla, al contacto con los hidrocarburos estas alteran las reacciones metabólicas matando el embrión de la semilla por toxicidad directa o aguda (48).

d. Salud humana

Los hidrocarburos presentan una toxicidad para el ser humano, que podría llegar a la intoxicación por medio de la aspiración, ingesta o contacto, la aspiración causa una lesión directa de los capilares y el tejido pulmonar, la ingesta de hidrocarburos puede afectar los pulmones, aparato gastrointestinal y sistema nervioso, mientras el contacto causa irritación y picores en la piel (49).

Se conoce que la exposición a largo plazo de compuestos de hidrocarburos, tales como benceno (un aditivo común de la gasolina) o benzopireno, incrementan el riesgo de cáncer (47).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) proporciona una relación completa de 16 HAP específicos: acenaftileno, antraceno, benzoantraceno, benzofluorantenok, acenafteno, benzopireno, benzoperileno, criseno, fluoranteno, dibenzoantraceno, fluoreno, indenopireno, naftaleno, benzofluorantenob, fenantreno y pireno; estos están dentro de los 126 contaminantes prioritarios y cinco de ellos están dentro de las veinticinco sustancias peligrosas consideradas que poseen la amenaza potencial más significativa a la salud humana (50).

2.2.4 Remediación biológica de suelos contaminados con hidrocarburos

La biorremediación es una de las opciones más viables para remediar suelos contaminados por compuestos orgánicos e inorgánicos considerados perjudiciales para la salud ambiental. Esta tecnología es un proceso definido como el uso de microorganismos o plantas para detoxificar o remover xenobióticos orgánicos e inorgánicos del ambiente (51). Es una opción de remediación que ofrece una solución tecnológica verde al problema de contaminación de hidrocarburos. La principal ventaja de la biorremediación es su reducido costo comparado a técnicas convencionales. Además de su rentabilidad es una permanente solución, que puede conducir a una completa mineralización del contaminante (51).

Se ha reportado que la bioestimulación con microorganismos indígenas e inorgánicos introduce nutrientes adicionales dentro de un ecosistema contaminado e incrementa la población de microorganismos indígenas (51). Se ha investigado la remoción de hidrocarburos usando glucosa, estiércol, biosólidos, aserrín y compost como bioestimulantes (48).

Los biosólidos son una fuente de nutrientes para las lombrices de tierra en el vermicompostaje y contiene microorganismos que deben acelerar la remoción de hidrocarburos. La liberación de nutrientes de biosólidos es lenta, por lo tanto, reducen la posible pérdida y de esa manera la contaminación del ambiente (48).

Una de las maneras de degradar la contaminación por hidrocarburos se da mediante la población microbiana, estableciéndose como un proceso principal de descontaminación natural, el cual se puede mejorar o acelerar aplicando tecnologías de biorremediación (52).

La biorremediación usa una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos (hongos, plantas, bacterias, etc.) para degradar, eliminar o convertir compuestos orgánicos tóxicos en metabolitos inofensivos o menos tóxicos. El objetivo general de los diversos sistemas es convertir compuestos contaminantes en agua, dióxido de carbono, biomasa o masa celular, y gases o sustancias inorgánicas (52).

Por otro lado, Celeste y otros mencionan que “el aceite contiene una variedad de compuestos y es un sustrato ideal para evaluar el potencial de degradación de las comunidades microbianas y otros organismos vivos como las lombrices de tierra” (52).

Por otro lado, aquellos suelos contaminados contienen más microorganismos, aunque reducida diversidad microbiana que los suelos no contaminados, se puede utilizar el compostaje bioestimulador; en esta estrategia de biorremediación a veces se forman montones y deben humedecerse y mezclarse regularmente con bioestimulantes para promover la actividad microbiana (52).

2.2.4.1 Vermicompost

También llamado humus de lombriz, excreta de lombriz y lombricompost, es estiércol de lombriz, especialmente usado para convertir desechos orgánicos (compost, estiércol descompuesto,

vegetales, etc.) mediante la transformación bioquímica y microbiológica en el paso por el tracto intestinal (17). Las lombrices son responsables de la fragmentación del sustrato, estimulando los procesos de mineralización y humificación (53). El vermicompost es considerado un fertilizante ecológico y económico, de color pardo oscuro, de aspecto esponjoso, una densidad volumétrica ligera (0.5-0.7 gr/cm³), los cuales son muy necesarios para el suelo y el desarrollo de las plantas, puesto que posee 2 billones de bacterias (suministra el medio adecuado) por gramo de humus, mejorando las propiedades del suelo (54). Las lombrices son los organismos más importantes en el suelo y ecosistema productivo, debido a su capacidad de descomposición y transformación de nutrientes, entre otros más (55).

2.2.4.2 Efectos del vermicompost en el suelo

El resultado del humus de lombriz en las propiedades fisicoquímicas y biológicas vivificando el suelo al tener las siguientes características (54):

- Sujetan alto porcentaje de ácidos fúlvicos y húmicos, cediendo nutrientes asimilables, mejorando las propiedades químicas del suelo.
- Aporta una alta carga microbiana restaurando la actividad biológica del suelo.
- Mejora la estructura del suelo favoreciendo la aireación, permeabilidad, así como disminuye la compactación del suelo incrementando la capacidad de almacenar nutrientes y retener agua, necesarios para el buen desarrollo de la planta.
- Su pH se relaciona al desarrollo y mantenimiento de la microflora y microfauna del suelo.
- Incrementa la disponibilidad de P y N en el suelo.

2.2.4.3 Efectos del vermicompost en la planta

El efecto del humus de lombriz es directamente asimilable por las plantas teniendo efectos positivos en las siguientes características (56).

- Contribuye y acelera al proceso de crecimiento vegetativo en plantas alcanzando a sobrevivir a estreses ambientales prolongados y creciendo adecuadamente luego de ser plantadas.
- Aporta nitrógeno (N) incrementando el crecimiento de hojas y tallos de color verde resistiendo a la presencia de plagas (54).
- Aporta fósforo (P) formando raíces y resistiendo a sequías.
- Aporta potasio (K) permitiendo el buen desarrollo de la planta.

2.2.5 Rábano (*Raphanus sativus* L.)

Especie de planta herbácea, de género *Raphanus* y de la familia crucíferas su origen es de los países asiáticos, se conoce como una planta de rápido crecimiento, en un tiempo de 45 días llega a su madurez comercial. Se puede sembrar en cualquier estación del año, ya que su adaptación agroecológica es de 1500 a 3500 m s. n. m., se desarrolla en zonas de clima templado, hasta el frío seco o frío húmedo, son muy sensibles a la insuficiencia de agua especialmente después de sembrar, durante su desarrollo es necesario mantener la humedad hasta la etapa de desarrollo de raíces y su ramificación (57).

2.2.5.1 Clasificación taxonómica

Tabla 4. *Clasificación taxonómica del rabanito*

Dominio	Vegetal
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Brassicales</i>
Familia	<i>Cruciferae</i>
Género	<i>Raphanus</i>
Especie	<i>sativus</i>
Nombre científico	<i>Raphanus sativus</i> L.

2.2.5.2. Clasificación morfológica

Tabla 5. Características del Rabanito.

Características agronómicas	
Días hasta el inicio de germinación	5 – 7 días
Días hasta el desarrollo de plántula y raíz	35 días
Días hasta maduración e inicio de cosecha	45 - 70 días

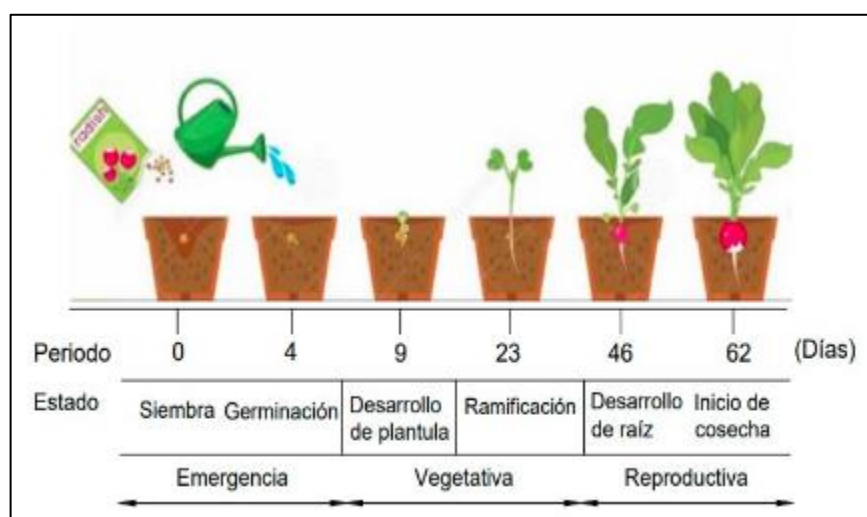


Figura 7. Desarrollo del *Raphanus sativus* L.

2.2.6. Marco legal

- Constitución Política del Perú, 1993
- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611 modificada por D.L. N°1055)
- Ley que modifica la Ley 26221, Ley Orgánica de Hidrocarburos
- D.S. N° 039-2014-EM, modificada por el D.S. N° 005-2021-EM. Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos.
- D.S. N° 012-2017-MINAM Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados.
- Guía para muestreo de suelos en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.
- Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en Sitios Contaminados y la Guía para elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012
- D.S. N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

2.3. Modelo teórico de la investigación

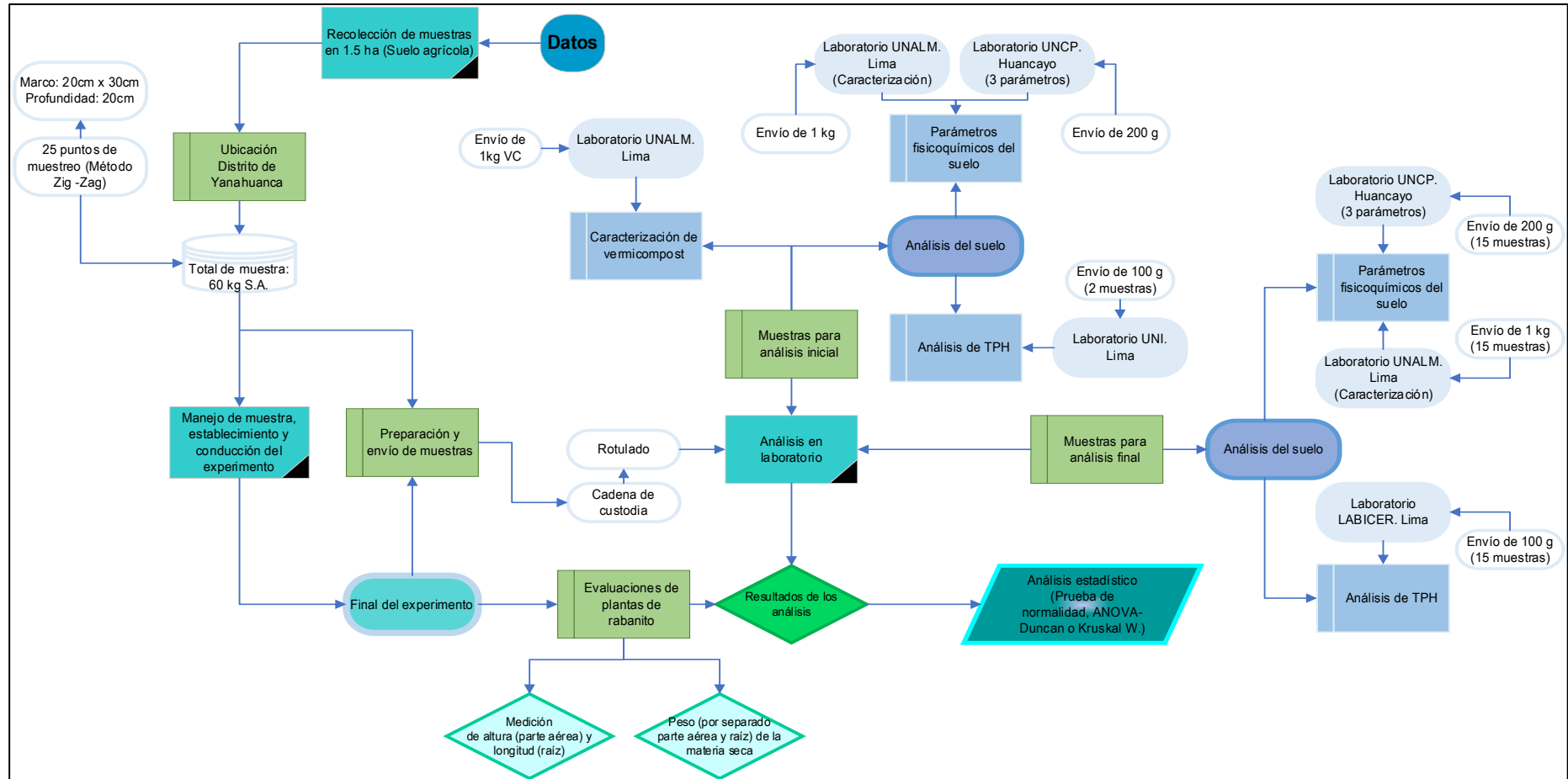


Figura 8. Modelo teórico de la investigación

2.4 Definición de términos básicos

- **Suelo contaminado:** cuyas propiedades químicas, han sido alteradas de forma negativa ante la presencia de sustancias contaminantes generado por la actividad humana (58).
- **Clorosis:** se considera como la falta de hierro y nitrógeno en las plantas, provocando la defoliación completa de las hojas de la planta, normalmente este proceso se da por la contaminación por CO₂, mostrar un color amarilleo en las hojas, más conocido como clorosis férrica (59).
- **El petróleo:** líquido viscoso de color amarillo, verde, marrón o negro, y está formado por diferentes hidrocarburos, constituidos por átomos de C e H, así como porciones de N, S, O y algunos metales (60).
- **Fitorremediación:** es una técnica en la restauración de suelo, que implica en disminuir o eliminar contaminantes que alteran la calidad de suelo, aprovechando la capacidad de especies vegetales, tales como fitoextracción, fitovolatilización, rizofiltración y otros (61).
- **Fitotóxico:** expresión que se emplea para describir el grado de efecto tóxico producido por sustancias sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas inhibiendo el crecimiento o siendo letales para las plantas (62).
- **Fuerzas de Van der Waals:** fuerzas atractivas o repulsivas entre distintas moléculas ocasionadas por un enlace intermolecular o por la interacción electrostática de iones con las moléculas neutras (63).
- **Hidrocarburos:** son compuestos formados por átomos de hidrógeno y carbono y química orgánica, formado por átomos de carbono donde unen los átomos de hidrogeno (36).
- **Hidrocarburos totales de petróleo:** clasificado como contaminante orgánico, que puede ser de origen natural o antropogénico y una mezcla de compuestos químicos de hidrógeno y carbono (36).
- **Hidrofobicidad:** es una propiedad en el suelo, que retrasa la infiltración del agua durante periodos de tiempo, esto sucede cuando la molécula no interacciona con las moléculas de agua ni por puentes de hidrógeno ni mediante ion-dipolo, un ejemplo son los hidrocarburos saturados (64).

- **Indicador:** es una característica, que se puede medir y observar para mostrar los cambios que está haciendo un grupo hacia el logro de una meta específica (65).
- **Materia seca (MS):** se entiende como el peso total de un alimento menos su contenido de agua; expresada en porcentaje (66).
- **Suelo agrícola:** apto para la producción de labores, el progreso ganadero y está compuesto de minerales donde hay retención de la humedad y microorganismo (40). También son suelos dedicados a forrajes y pastos, incluyen tierras que mantienen un hábitat (40).
- **Taxonomía:** se define una forma de clasificar a los seres vivos y organizar información como género, especies, órdenes, etc. (32).
- **Toxicidad:** es toda sustancia que posee la capacidad de causar efectos adversos a los organismos vivos al ingresar en contacto con él, y esta una relación dosis-respuesta (32).
- **Vermicompost:** alternativa de bajo costo mediante la bio-oxidación y descomposición de residuos orgánicos por la actividad de los microorganismos y las lombrices, del que se obtiene el humus (32).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Metodología y alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

3.1.1.1 Método general o teórico de la investigación

El método a utilizar en la presente investigación es el hipotético-deductivo, debido a que la teoría precede de hechos, tales como la observación de un fenómeno a estudiar, mediante la creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno seguido por la deducción de consecuencias o proposiciones, el cual se somete a la verificación o comparación para establecer si hay o no relación con los hechos, a través de la experiencia, en base a esas comparaciones se puede rechazar o revisar la teoría, o bien aceptarla provisionalmente (67).

Esta investigación formula la siguiente hipótesis, el vermicompost disminuye la concentración de hidrocarburos e incrementa el crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*), en un suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco – 2021.

3.1.1.2 Método específico de la investigación

Método de análisis

El estudio utiliza este método, ya que las muestras de suelo obtenidas en una parcela del distrito de Yanahuanca, Pasco; fueron analizadas por sus propiedades fisicoquímicas (LASPAF) y el contenido de TPH referidos a dos muestras contaminados (LABICER) al inicio del experimento donde también se realizó el análisis de caracterización del vermicompost (LASPAF) y al final del experimento se analizaron el contenido de TPH y propiedades fisicoquímicas del suelo para cada tratamiento, en los mismos laboratorios. Después de obtener los resultados del laboratorio, se realiza el procesamiento en la etapa de gabinete, para luego interpretarlas con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

- **Caracterización del vermicompost**

Las características fisicoquímicas del análisis del vermicompost, por el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), muestran los siguientes resultados.

Tabla 6. Resultado del análisis de parámetros fisicoquímicos del vermicompost

Parámetros	Unidad	Resultado	Interpretación
pH	Und. pH	7.65	Óptimo
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	12.00	Muy alto
Materia orgánica (MO)	%	32.28	Óptimo
Nitrógeno (N)	%	2.01	Óptimo
Oxido de fósforo (P ₂ O ₅)	%	2.25	Óptimo
Oxido de potasio (K ₂ O)	%	1.36	Óptimo
Oxido de calcio (CaO)	%	8.05	Óptimo
Oxido de magnesio (MgO))	%	1.16	Alto
Contenido de humedad (Hd)	%	39.73	Alto
Sodio (Na)	%	0.18	Alto

Nota: informe de análisis de materia orgánica (UNALM)

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del vermicompost o humus de lombriz utilizado como fuente de enmienda orgánica en el presente experimento fueron comparados con los valores que establece el Ministerio de Agricultura y Riego (68) y los valores que establece la guía de la FAO (69).

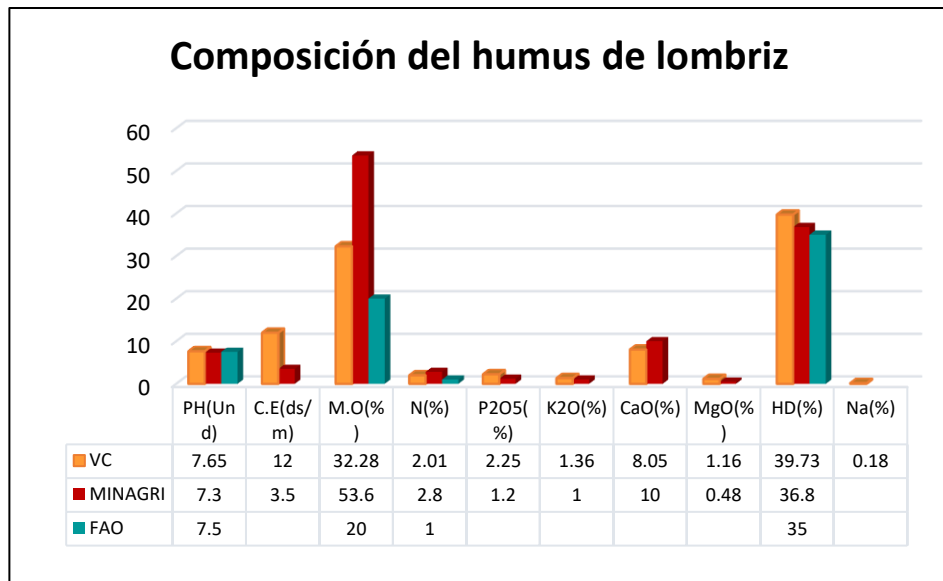


Figura 9. Composición de humus de lombriz - comparación de valores

De acuerdo con las características de la composición química del humus de lombriz que establece el Ministerio de Agricultura, los valores del humus de lombriz utilizado en este proyecto fluctúan dentro del promedio de composición química. El pH se encuentra en un rango óptimo de 7, la materia orgánica se encuentra con un porcentaje ligeramente bajo de 32.28% en comparación con los valores que presenta el MINAGRI, pero óptimo con respecto al otro valor que presenta la FAO, el nitrógeno es de 2.01% que se encuentra dentro del rango óptimo, así como también los valores de fósforo, potasio y calcio, respectivamente en comparación con la segunda referencia, la humedad se encuentra dentro del nivel óptimo con un valor de 39.73%, la conductividad eléctrica y el sodio posee un valor de 12.00 dS/m y 0.18% evidenciando un gran contenido de sales (moderadamente salino).

- **Características fisicoquímicas del suelo**

Las tipologías fisicoquímicas obtenidas del análisis ejecutado por la UNALM y 3 parámetros analizados por el laboratorio UNCP, de la muestra que fue extraída del total recolectado (60 kg) de suelo agrícola antes de ser contaminado con petróleo.

Tabla 7. Características fisicoquímicas del suelo de Yanahuanca

Características	Resultados
Textura:	
Arena	54.00%
Limo	33.00%
Arcilla	13.00%
Clase textural	Franco arenoso
Densidad aparente	1.08 Mg.m ⁻³
Porosidad total	40.54 %
Capacidad de campo	51.08 %
Carbonatos	8.45 %
pH	6.45
Conductividad eléctrica	0.70 dS/m
Materia orgánica	11.78 %
Fósforo	2.5 ppm
Potasio	115 ppm
Capacidad de Intercambio catiónica efectiva	20.48 meq.100 g ⁻¹
Cationes cambiables:	
Calcio	11.51 meq.100 g ⁻¹
Magnesio	8.60 meq.100 g ⁻¹
Potasio	0.29 meq.100 g ⁻¹
Sodio	0.09 meq.100 g ⁻¹
Hidrógeno más aluminio	0.00 meq.100 g ⁻¹
Saturación de bases	100 %

Nota: tomada del informe de LASPAF (UNALM) y LASAP (UNCP)

En la tabla 7 se aprecia que el suelo agrícola de Yanahuanca tiene un pH ligeramente ácido, pero al estar cercano a los valores del rango neutro, permite la disponibilidad de nutrientes; en el caso del potasio tiene una calificación media (K = 100-240 ppm). La densidad aparente, la capacidad de campo y la porosidad total se encuentran dentro de los límites normales.

La baja conductividad eléctrica indica que es un suelo ideal para la producción de cualquier cultivo, porque no presenta un problema de salinidad, así como también el alto contenido de materia orgánica y la alta concentración de carbonatos (CaCO₃ = 5-15%) permiten el óptimo desarrollo de planta, por otro lado, el bajo fósforo disponible sugiere la necesidad de incrementar ese valor.

El suelo presenta una textura moderadamente gruesa, porque contiene más del 50% de arena, por tanto, permite un buen drenaje. La capacidad de intercambio catiónico de 20.48 meq/100g indica un nivel moderadamente alto de retención de nutrientes

(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca⁺, Na⁺, H⁺ Al³⁺) siendo esenciales para las plantas, en cuanto a los cationes cambiabiles predomina el calcio, además, no hay presencia de aluminio e hidrogeniones en el suelo, lo cual es bueno.

3.1.2 Alcances de la investigación

A. Tipo de investigación

Es aplicada, ya que apoya la investigación empírica y práctica, caracterizada por utilizar el conocimiento existente para encontrar soluciones a los problemas identificados, en lugar de desarrollar teorías que expliquen la realidad, sino buscar intervenciones para definir estrategias de solución (70).

El estudio aplica la información de bases teóricas del comportamiento de una enmienda orgánica, el vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y evaluar las propiedades fisicoquímico del suelo, contenido de hidrocarburos y crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*).

B. Nivel de investigación

Es explicativo, ya que tiene como finalidad explicar de qué manera el vermicompost afecta en el contenido de TPH, propiedades fisicoquímicas del suelo y crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus L.*) (71).

3.2 Diseño de la investigación

Se plantea un diseño experimental con 5 tratamientos y tres repeticiones, presentando un total de 15 unidades experimentales.

Tabla 8. Tratamientos de investigación

N.º	Descripción	Clave
1	Suelo contaminado con hidrocarburos (3%)	SCP_3
2	Suelo contaminado con hidrocarburos (6%)	SCP_6
3	Suelo contaminado con hidrocarburos (3%) + vermicompost (20%)	SCP_3+VC_20
4	Suelo contaminado con hidrocarburos (6%) + vermicompost (20%)	SCP_6+VC_20
5	Testigo	T

3.2.1 Tipo de diseño de experimentación

Los tratamientos se programaron utilizando un diseño completamente al azar (DCA), donde el modelo lineal aditivo utilizado fue:

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

γ_{ik} = cualquier observación del experimento

μ = media poblacional

τ_i = efecto del i-ésimo nivel del factor A

ε_{ijo} = error experimental

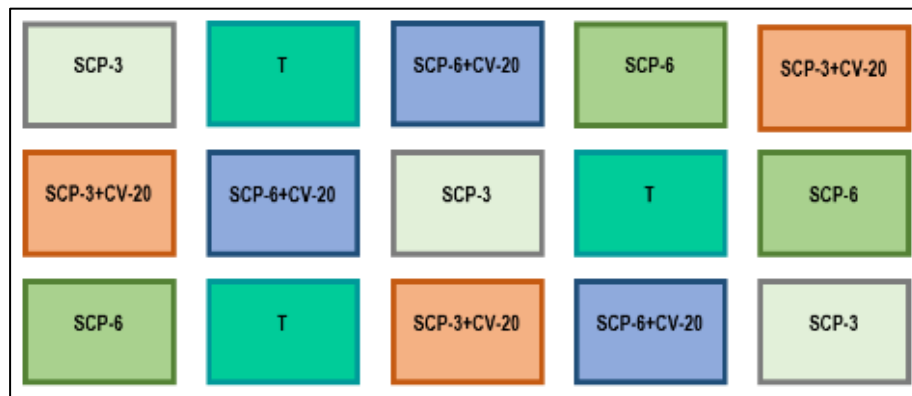


Figura 10. Diseño completamente aleatorizado

Etapa de campo

Elección del lugar: teniendo como referencia el estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Daniel A. Carrión, realizado por el Gobierno Regional de Pasco, existe mayor superficie agrícola de 2 898.71 hectáreas en el distrito de Yanahuanca, que tiene un sistema bajo riego de 218.64 hectáreas, de modo que durante cualquier época del año se puede sembrar, aparte que la actividad principal en la provincia es la agricultura, donde prevalece el cultivo de papas nativas, cultivos de maíz, zanahoria, olluco y hortalizas.

- a. Delimitación del área:** se delimitó un área homogénea de una hectárea en promedio sin presencia de cultivo en el distrito de Yanahuanca, se eligió este lugar por criterio a conveniencia, además por ser usados para cultivos como hortalizas, tubérculos y otros.
- b. Muestreo de suelo agrícola:** se sabe que el suelo no tiene antecedentes de contaminación por hidrocarburos, solamente es un suelo agrícola, por lo tanto, se hizo el muestreo como tal (cabe resaltar que para la investigación o experimento se agregó el petróleo al suelo agrícola). Para ello, se identificaron 25 puntos de muestreo equidistantes en el área de estudio utilizando el método de Zig-Zag (58), como muestra la figura 11.

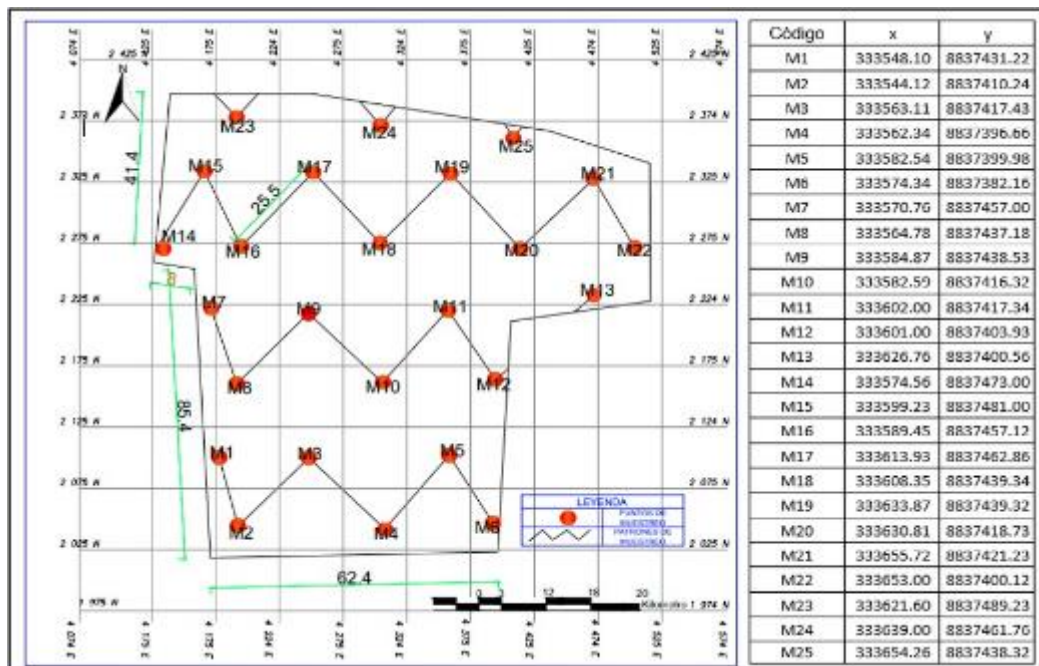


Figura 11. Método de Zig-Zag para la obtención de muestras

Respecto a la profundidad de muestreo se empleó la técnica para muestras superficiales, de acuerdo al uso para suelos agrícolas como se observa en la tabla 9, así pues, se marcó un área de 20x30 cm y se cavó hasta una profundidad de 20 cm, luego, se extrajo una porción de suelo de cada punto de muestreo, obteniendo un total de 60 kg de suelo agrícola del perímetro delimitado, previo a cavar se limpió por encima, eliminando cualquier producto no deseable, el procedimiento se realizó de acuerdo a la Guía para muestreo de suelos del MINAM (58).

Tabla 9. Profundidad de muestreo

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo agrícola	0 – 30 cm (1) 30 – 60 cm
Suelo residencial / parques	0 – 10 cm (2) 10 – 30 cm (3)
Suelo comercial / industrial / extractivo	0 – 10 cm (2)

Nota: tomada de la “Guía para muestreo de suelos” (58)

c. Manejo de muestra: los 60 kg de suelo agrícola se trasladaron al lugar de experimentación, para después realizar el secado al aire libre por dos días, ser reducidas y posteriormente tamizar.

d. Se compró 8 kg de vermicompost del Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA, Huancayo.

e. Elección y compra de semilla: se eligió el rabanito (*Raphanus sativus* L.) por ser una de las hortalizas que son cultivables en corto tiempo, a parte que es uno de los productos que se produce en el distrito de Yanahuanca, por eso se compró la semilla de rabanito en las tiendas del distrito.

f. Compra de petróleo: se consiguió 4 litros de petróleo en el grifo Soto E.I.R.L. ubicado en el distrito de Yanahuanca. Conforme a su ficha de seguridad, el petróleo está compuesto por una mezcla compleja de hidrocarburos, que consta de (C9-C30) carbonos y ésteres monoalquílicos de cadena larga, ver anexo 2.

g. Envío de muestras al laboratorio para análisis inicial.

• **Análisis de caracterización del vermicompost**

Se cogió una muestra de 1 kg de vermicompost comprado en el INIA y se colocó en una bolsa ziploc rotulado y se envió para el análisis de caracterización al laboratorio de la UNALM.

Por otro lado, una vez conseguida la muestra de suelo agrícola, se separó 1.4 kg de suelo tamizado y a la vez se dividió en 4 cantidades (100 g – 100 g – 1 kg – 200 g) como se especifica en las siguientes líneas:

- **Análisis de hidrocarburos totales de petróleo**

Se colocó 100 g de suelo agrícola (suelo contaminado con 3% de petróleo) en una bolsa ziploc rotulado y por separado en otra bolsa se colocó los 100 g (suelo contaminado con 6% de petróleo), los cuales se enviaron al laboratorio de la UNI para el análisis de hidrocarburos totales de petróleo.

- **Análisis de parámetros fisicoquímicos del suelo**

Se colocó 1 kg de suelo agrícola en una bolsa ziploc rotulado y se envió al laboratorio de la UNALM para el análisis de parámetros fisicoquímicos del suelo.

Se colocó 200 g de suelo agrícola en una bolsa ziploc rotulado y se envió al laboratorio de la UNCP, para el análisis de 3 parámetros del suelo.

h. Establecimiento y conducción del experimento

El experimento se llevó a cabo en el distrito de Yanahuanca, provincia de Daniel A. Carrión de la región Pasco, que presenta una altitud de 3184 msnm ubicado en las coordenadas UTM (334136.18 m E y 8839884.24 m S), con dirección en el Jr. 27 de noviembre.

- **Preparación de la muestra**

La muestra de 60 kg de suelo agrícola se tamizó usando una rejilla de 2 mm obteniendo un compuesto uniforme y listo para ser pesado.

Primero se rotuló los 15 maceteros de PVC según el tratamiento y las repeticiones, luego se pesó 3.5 kg de suelo agrícola y se colocó en cada macetero la misma cantidad.

Se midieron 105 ml de petróleo que equivale al 3%, y 210 ml que corresponde al 6%, que se echaron dentro de las macetas según los tratamientos en estudio, se mezcló y se dejó reposar durante 48 horas.

Para alcanzar la capacidad de campo del suelo que fue de 51.083%, se añadió 1 788 ml de agua de caño (agua potable) en los 15 maceteros, los cuales se dejaron en reposo por 48 horas para lograr que el agua infiltre en el suelo. Pero antes de lo descrito, se colocó e incorporó el 20% de vermicompost en la superficie del suelo agrícola correspondientes al tercer y cuarto tratamiento.

*Se entiende al 20% de vermicompost en relación a la masa del suelo.

Tabla 10. Proporciones de mezcla según tratamiento

Tratamiento	Suelo agrícola (g)	Petróleo (ml)	Vermicompost (g)
T1	3500	105	0
T2	3500	210	0
T3	3500	105	700*
T4	3500	210	700*
T5	3500	0	0



Figura 12. Croquis experimental

- **Sembrado de la semilla de rabanito**

Después de haber transcurrido el tiempo previsto para alcanzar la capacidad de campo, se realizó el sembrío el día 14 de febrero y para ello se colocó 9 semillas de rabanito en cada maceta, a una distancia de 5 cm entre ellas y una profundidad de 2 cm.

- **Riego**

A partir del sembrado, se inició a regar interdiario para mantener la humedad al 80% de su CC en las 15 unidades experimentales.

- **Desahije**

Después de 30 días de haber sembrado, fue necesario realizar la homogenización del número de plantas por maceta para tener muestras más representativas, con ese fin, se procedió a sacar 4 plantas de cada macetero con ayuda de una pinza, dejando las plantas de rabanito más desarrolladas, quedando finalmente 5 plantas por macetero.

- **Seguimiento y monitoreo**

Durante el desarrollo del experimento se mantuvo en condiciones adecuadas, cuidando de cualquier aparición de plagas u otro que pueda poner en riesgo el crecimiento de plantas y comprometer el buen trabajo experimental.

- **Cosecha**

Trascurrido un tiempo de 62 días después del sembrío, se sacaron cuidadosamente las 5 plantas de rabanito de cada unidad experimental, se enjuagó la parte radicular de cada planta en un recipiente con agua para quitar los residuos de tierra, se hizo secar y se colocó en bolsas de papel *Kraft* previamente rotulados, a fin de evitar alguna confusión, para después realizar las mediciones respectivas.

Primero, se pesó el total de rabanitos que contenía cada macetero, luego, se cortó la parte aérea de la parte radicular y nuevamente se pesó

por separado el total que contenía cada macetero. Seguidamente, se midió la altura de la parte aérea usando una regla de 30 cm. Asimismo, se midió la longitud de la raíz en las 15 unidades experimentales. Finalmente, se dejó secar al aire libre por 5 días tanto la parte aérea y radicular de cada tratamiento, para posteriormente pesar la materia seca.

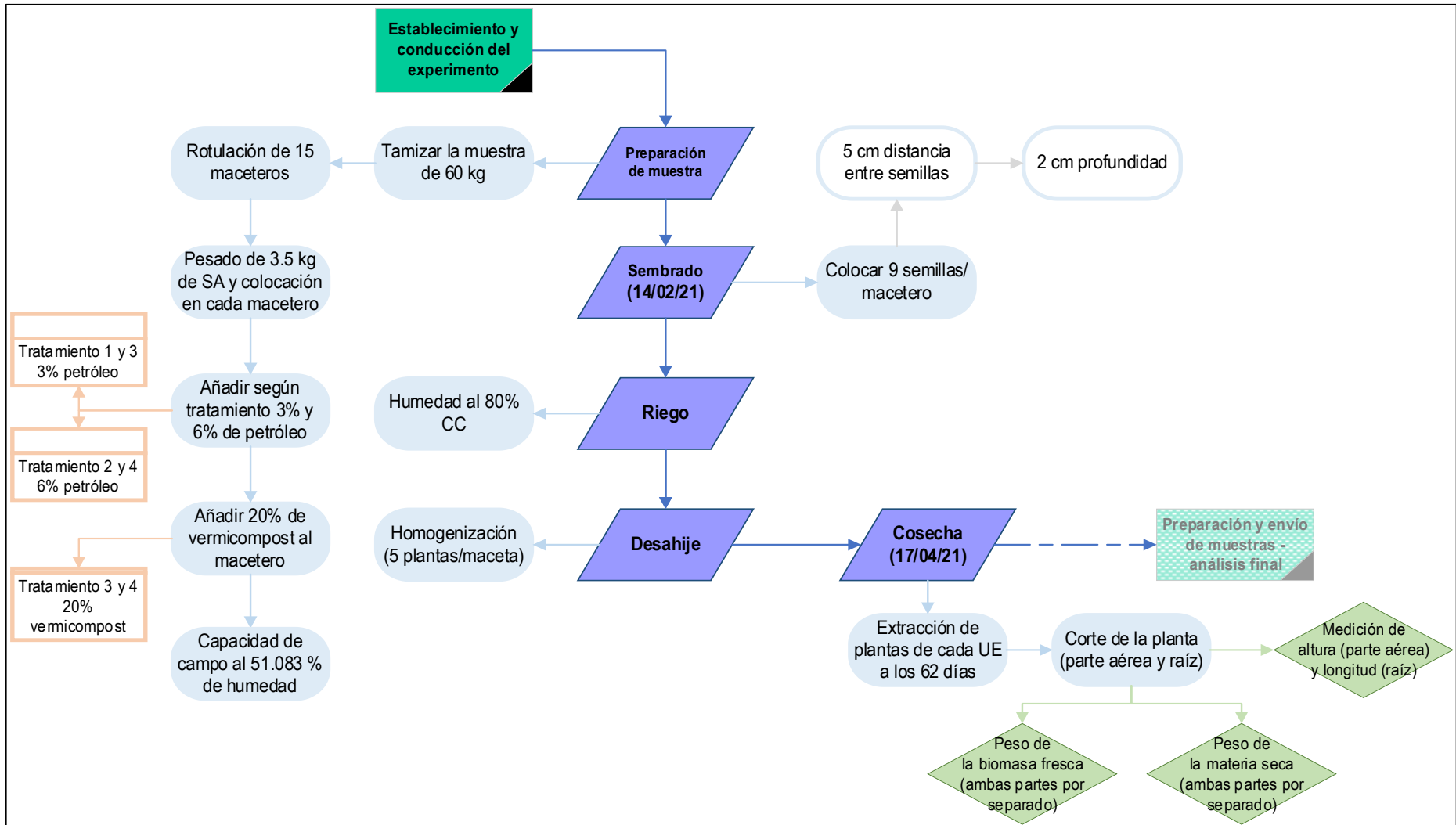


Figura 13. Establecimiento y conducción experimental

i. Preparación y envío de muestras de suelo, análisis final

Se dejó el suelo al aire libre para el secado, después se cogió una muestra homogénea y en 15 bolsas ziploc respectivamente rotulados se colocaron 100 g de muestra de suelo de cada unidad experimental, los cuales se enviaron al laboratorio de la UNI para el análisis de TPH, aparte se colocó 1 kg de suelo de cada unidad, estas muestras se enviaron al laboratorio de la UNALM para el análisis de parámetros fisicoquímicos del suelo, así mismo se envió 200 g de suelo de cada tratamiento, al laboratorio de la UNCP para el análisis de 3 parámetros del suelo.

- Análisis de hidrocarburos totales de petróleo

Se analizaron los TPH en 15 muestras de suelo en el laboratorio de la UNI, Lima.

- Análisis de parámetros fisicoquímicos del suelo

Se analizaron los parámetros fisicoquímicos de las 15 muestras de suelo en el laboratorio de la UNALM, Lima.

Se analizaron 3 parámetros en 15 muestras de suelo en el laboratorio de la UNCP, Huancayo.

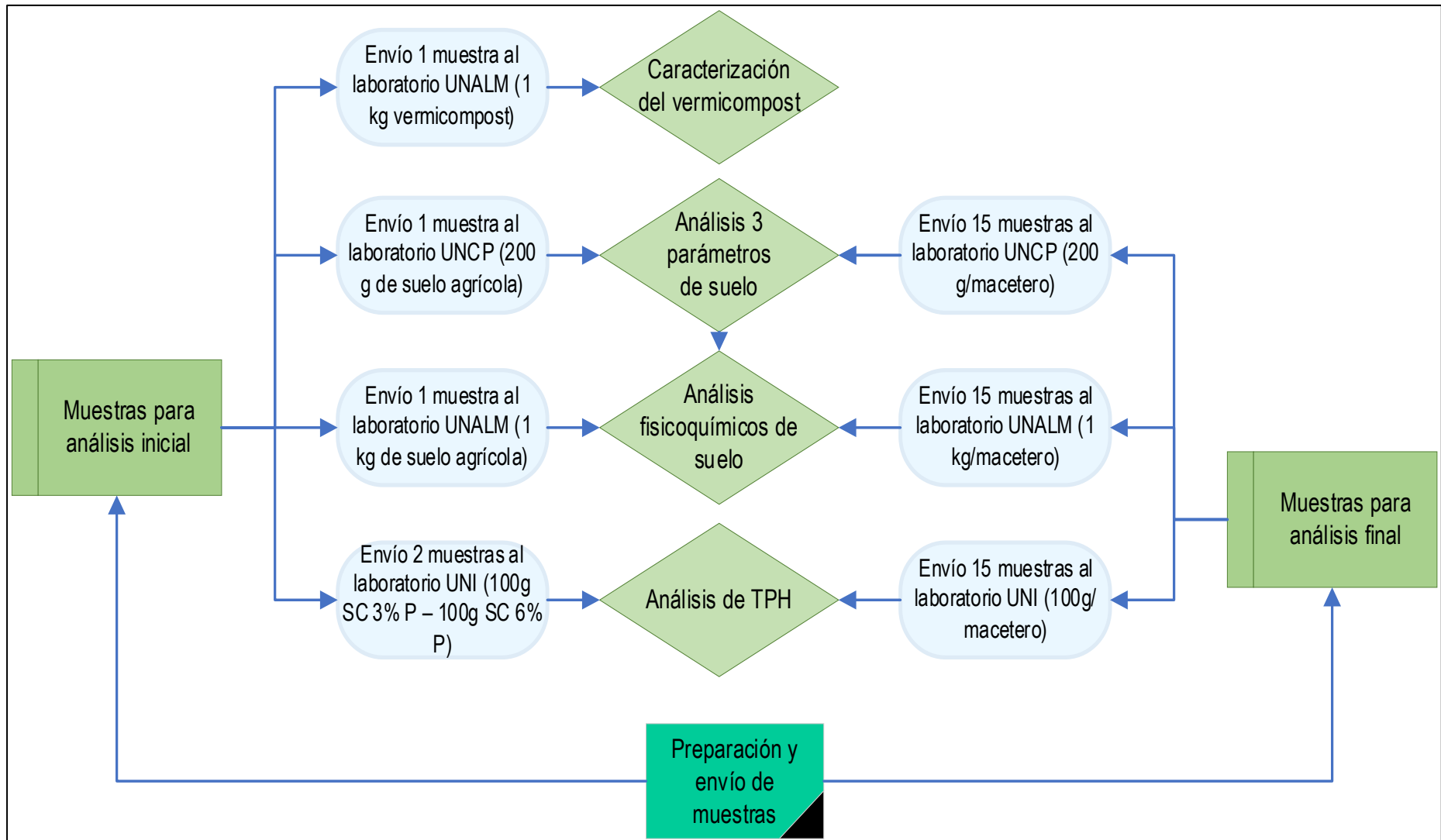


Figura 14. Envío de muestras al laboratorio

Etapa de gabinete

- a. Los resultados del análisis inicial de TPH en el suelo se comparan con la norma técnica mexicana.
- a. Procesamiento e interpretación de datos.
- b. Elaboración del informe final del proyecto de investigación.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población está conformada por el suelo de la parcela agrícola delimitada y seleccionada en el distrito de Yanahuanca, provincia de Daniel A. Carrión, en un área aproximada de 1.5 h.

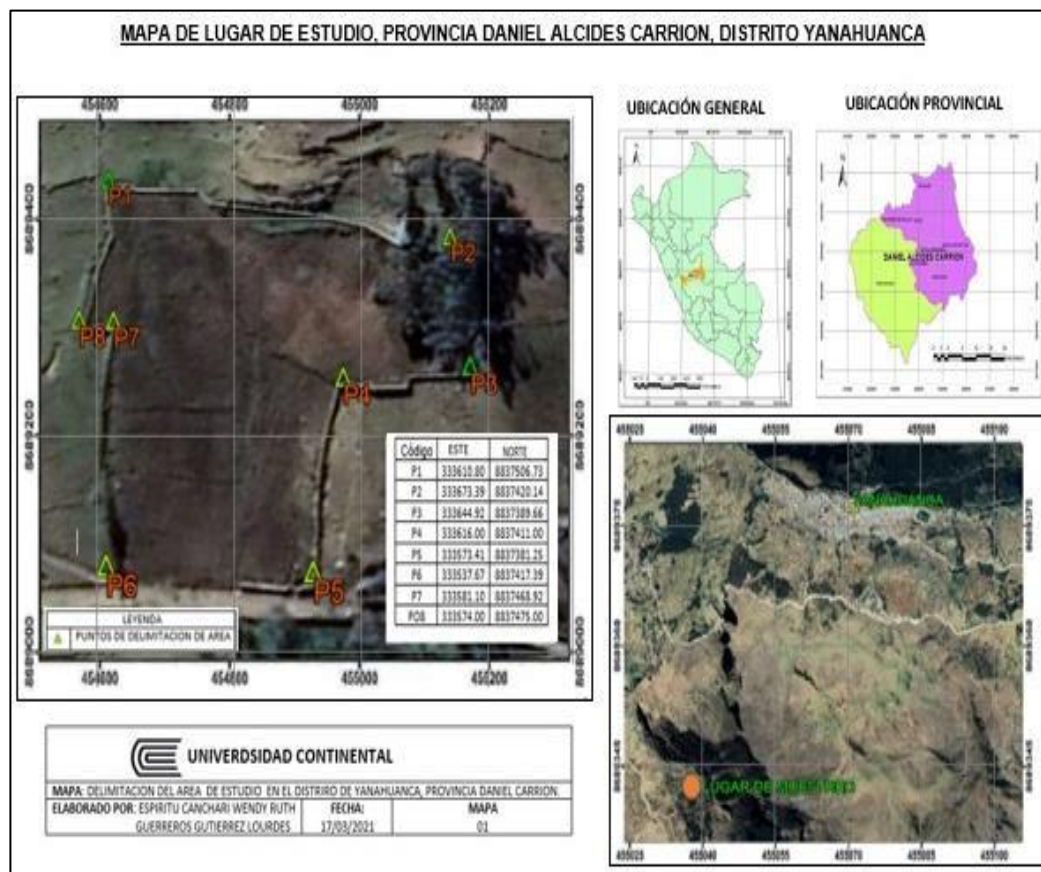


Figura 15. Mapa de lugar de estudio

3.3.2 Muestra

La muestra de suelo se obtuvo de la parcela previamente delimitada, en 25 puntos distribuidos en Zig-Zag, de la capa superficial de suelo, para totalizar un peso total de 60 kg aproximadamente.

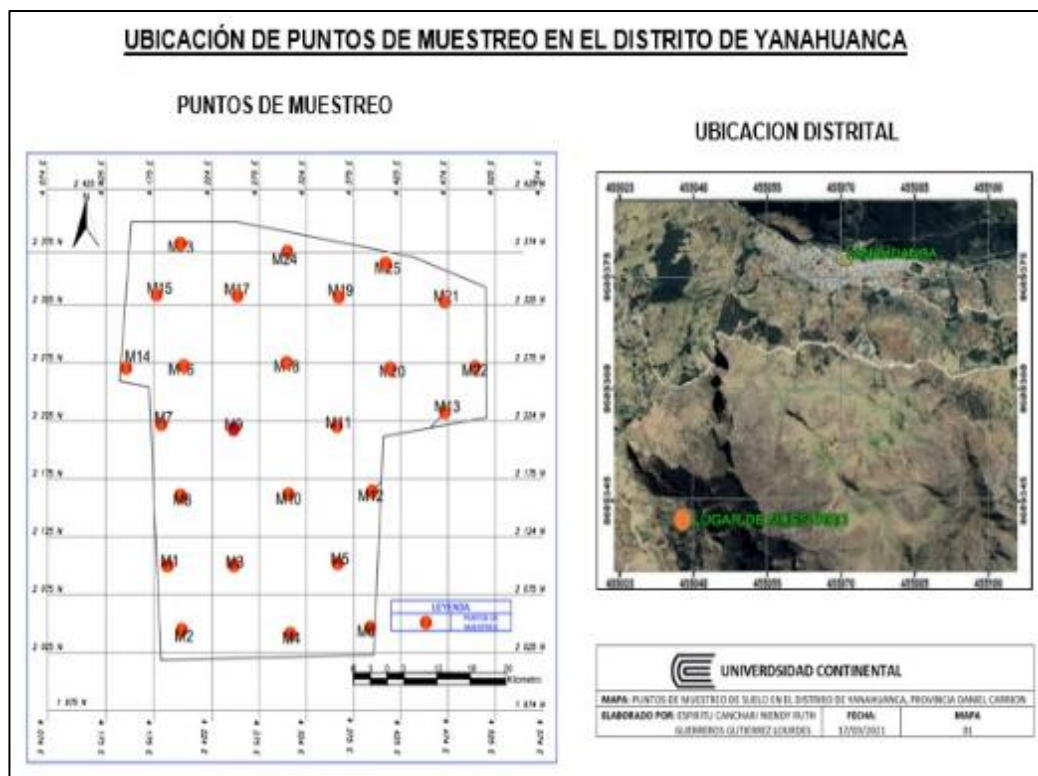


Figura 16. Ubicación de puntos de muestreo

3.4 Técnica e instrumentos de recolección de muestras

3.4.1 Técnica de recolección de datos

La técnica que se utilizó en el proyecto de investigación fue la observación y el análisis, los resultados obtenidos se sistematizaron para después ser evaluadas. Por otro lado, para obtener la muestra, se empleó la técnica de muestreo al azar “Zig-Zag” donde se llevó a cabo la excavación en cada punto de muestreo, hasta obtener 60 kg de suelo agrícola.

3.4.2 Instrumentos

- Cámara digital
- Balanza digital
- GPS
- Un cuadernillo de apuntes (cuaderno de campo)
- Equipo de ultrasonido. Winsd. WUC-D10H, método EPA 3550 C.

Tabla 11. Parámetros y métodos analizados en laboratorio

Parámetro	Método	Unidad
Textura	Triángulo textural	Clase textural
Arena	Bouyoucos	%
Limo	Bouyoucos	%
Arcilla	Bouyoucos	%
Densidad aparente	Probeta	Mg.m ⁻³
Porosidad total	Probeta	%
Capacidad de campo	Gravimétrico	%
Carbonatos	Gasovolumétrico	%
pH	Potenciómetro	Unidad
Conductividad eléctrica	Conductómetro	dS.m ⁻¹
Materia orgánica	Walkley - Black	%
Fósforo	Olsen modificado	ppm
Potasio	Acetato de amonio	ppm
Capacidad de Intercambio Catiónico	Acetato de amonio	meq.100 g ⁻¹
Cationes cambiables:		
Calcio	Acetato de amonio	meq.100 g ⁻¹
Magnesio	Acetato de amonio	meq.100 g ⁻¹
Potasio	Acetato de amonio	meq.100 g ⁻¹
Sodio	Acetato de amonio	meq.100 g ⁻¹
Hidrógeno más aluminio	Yuan	meq.100 g ⁻¹
Saturación de bases	Cálculo	%

Nota: tomada del informe LASPAF

3.4.3 Técnicas de análisis de datos

Una vez obtenidos los datos, se sistematizaron en tablas, según los tratamientos, primero se comprobó su distribución normal para luego utilizar el análisis correspondiente ANOVA y Duncan si tenían una distribución normal, en caso contrario se usó Kruskal Wallis en los siguientes programas:

- Hoja de cálculo de Excel
- SPSS

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1 Resultados del análisis inicial

- Resultados del análisis de hidrocarburos totales de petróleo

La concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) realizado por el laboratorio LABICER antes del experimento en dos muestras de suelo (suelo contaminado con 3% y 6% de petróleo), muestran los siguientes resultados.

Tabla 12. Resultados del contenido de (TPH) en dos muestras de suelo

Resultado inicial	Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)
Suelo contaminado con 3% de petróleo	14774.951 mg/kg
suelo contaminado con 6% de petróleo	22723.875 mg/kg

Nota: tomada del informe LABICER

El contenido de hidrocarburos es alto, ya que además superó el Límite Máximo Permisible de la legislación mexicana, que indica el valor de 4400 ppm; ambas muestras analizadas superan en más de 3 veces y más de cinco veces lo reportado en la referencia utilizada, para cada tratamiento, respectivamente.

4.1.2 Contenido final de hidrocarburos totales de petróleo

- Resultados del análisis de hidrocarburos totales de petróleo

La concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) realizado por el laboratorio LABICER, al finalizar el tratamiento experimental en quince muestras de suelo (cada macetero), se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 13. Resultados del contenido de (TPH) en 15 muestras de suelo

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	14249.54	10517.96	13085.40	12617.63
T2: HCS (6%)	21216.76	21960.78	21498.47	21558.67
T3: HCS (3%) + VC (20%)	9523.34	11321.89	9932.82	10259.35
T4: HCS (6%) + VC (20%)	20772.67	20325.14	21791.28	20963.03
T5: testigo	1997.20	1646.73	1171.86	1605.26

Nota: tomada del informe LABICER

El contenido de TPH fue alto en los tratamientos donde se aplicó 3% y 6% de petróleo, disminuyendo cuando a estos tratamientos se les aplicó VC (20%). El suelo sin aplicación de petróleo tuvo la menor cantidad de TPH.

4.1.3 Características fisicoquímicas del suelo

Las características fisicoquímicas del suelo se obtuvieron del análisis de las muestras de cada unidad experimental al finalizar el tratamiento, en los laboratorios de la UNALM (LASPAF) y UNCP (LASAP).

A. pH

- Resultados del análisis de pH del suelo

Tabla 14. Resultados de pH del suelo

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	7.37	7.45	7.48	7.43
T2: HCS (6%)	7.41	7.37	7.41	7.40
T3: HCS (3%) + VC (20%)	7.32	7.28	7.12	7.24
T4: HCS (6%) + VC (20%)	7.37	6.95	7.12	7.15
T5: testigo	6.83	6.45	6.41	6.56

Nota: tomada del informe LASPAF

Tabla 14, el pH del suelo fue más alto en los tratamientos donde se agregó petróleo (T1 a T2), respecto al tratamiento 5, donde no se agregó petróleo. Entre los tratamientos con petróleo, los valores ligeramente más

bajos se observaron en los tratamientos con vermicompost (T3 y T4), respecto a los tratamientos sin vermicompost (T1 y T2), siendo calificados como ligeramente alcalinos.

B. La conductividad eléctrica (CE)

- Resultados del análisis de CE del suelo

Tabla 15. Resultados del análisis de CE ($dS.m^{-1}$)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3 %)	0.30	0.31	0.32	0.31
T2: HCS (6 %)	0.31	0.31	0.30	0.31
T3: HCS (3 %) + VC (20%)	0.88	0.90	1.13	0.97
T4: HCS (6 %) + VC (20%)	1.04	0.80	0.72	0.85
T5: testigo	1.03	2.90	3.33	2.42

Nota: tomada del informe LASPAF

La CE disminuyó en los tratamientos donde se agregó petróleo (T1 a T2), respecto al tratamiento, no se agregó petróleo (T5). Esta variación no fue significativa, ya que no se salinizó el suelo ($CE < 4 dS.m^{-1}$). Los datos se presentan en la tabla 15.

C. Carbonato de calcio ($CaCO_3$)

- Resultados de carbonato de calcio

Tabla 16. Resultados del análisis de $CaCO_3$ (%)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	21.20	23.05	21.40	21.88
T2: HCS (10%)	21.40	21.15	23.35	21.97
T3: HCS (3%) + VC (20%)	14.70	5.25	9.00	9.65
T4: HCS (6%) + VC (20%)	10.35	3.20	7.75	7.10
T5: testigo	12.95	8.75	7.15	9.62

Nota: tomada del informe LASPAF

La cantidad de $CaCO_3$ fue alta con los tratamientos donde se aplicó petróleo (T1 y T2) y disminuyó cuando se aplicó VC a los tratamientos con petróleo (T3 y T4), el T5 tuvo cantidades similares a los tratamientos con vermicompost. Estos valores, en suelo se consideran altos ($CaCO_3$: 5 - 15%) a muy altos ($CaCO_3 > 15\%$).

D. Materia orgánica (MO)

- Resultados de MO

Tabla 17. Resultados del análisis de MO (%)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	5.96	4.28	5.96	5.40
T2: HCS (10%)	5.62	6.09	5.82	5.84
T3: HCS (3%) + VC (20%)	11.65	16.34	16.20	14.73
T4: HCS (6%) + VC (20%)	18.48	17.14	18.21	17.94
T5: testigo	10.18	11.65	14.46	12.10

Nota: tomada del informe LASPAF

La materia orgánica del suelo fue más alta con la aplicación de VC (20%), debido al incremento de carbono orgánico, respecto al T5 (testigo) y a los tratamientos que se les agregó petróleo (T1 y T2). Los datos se presentan en la tabla 17.

E. Contenido de fósforo (P)

- Resultados de contenido de fósforo

Tabla 18. Resultados del análisis de P (ppm)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	7.40	5.80	6.00	6.40
T2: HCS (10%)	7.00	7.20	7.70	7.30
T3: HCS (3%) + VC (20%)	116.20	33.80	33.40	61.13
T4: HCS (6%) + VC (20%)	74.70	27.30	26.50	42.83
T5: testigo	3.70	3.40	3.80	3.63

Nota: tomada del informe LASPAF

Tabla 18, el contenido de fósforo es menor en el testigo (T5 = 3.63 ppm), pero se observa un ligero aumento en los tratamientos contaminados con petróleo (T1 = 6.40 ppm y T2 = 7.30 ppm), más en los que se aplicó vermicompost, tienen un alto contenido de P (T3 = 61.13 ppm y T4 = 42.83 ppm), los valores son bien marcados a diferencia de los demás tratamientos.

F. Contenido de potasio (K)

- Resultados del contenido de potasio (K)

Tabla 19. Resultados del análisis de K (ppm)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	87	85	82	84.67
T2: HCS (10%)	83	83	84	83.33
T3: HCS (3%) + VC (20%)	852	1142	998	997.33
T4: HCS (6%) + VC (20%)	1030	992	808	943.33
T5: testigo	105	135	127	122.33

Nota: tomada del informe LASPAF

El contenido de potasio es bajo en el tratamiento 1 y 2 con 84.67 ppm y 83.33 ppm, mientras el testigo está dentro de la clasificación media con 122.33 ppm, pero el T3 y T4 tienen un contenido alto de K, ya que están por encima de 240 ppm.

G. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

- Resultados de la CIC

Tabla 20. Resultados del análisis CIC (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	10.88	12.96	13.92	12.59
T2: HCS (10%)	13.60	12.64	12.96	13.07
T3: HCS (3%) + VC (20%)	21.44	23.36	21.44	22.08
T4: HCS (6%) + VC (20%)	21.12	21.28	20.80	21.07
T5: testigo	20.00	22.72	22.24	21.65

Nota: tomada del informe LASPAF

Se observa en la tabla 20, que en los tratamientos (T1 y T2) disminuyó la CIC causado por la presencia de HCS (3% y 6%), mientras que, en los tratamientos contaminados, pero que emplearon vermicompost mantuvo y reguló el valor similar del CIC en relación al T5 (21.65 meq.100g⁻¹).

H. Contenido de calcio cambiante (Ca⁺²)

- Resultados del contenido de calcio cambiante (Ca⁺²)

Tabla 21. Resultados del análisis Ca^{+2} (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	7.70	7.46	9.19	8.12
T2: HCS (6%)	7.90	9.51	10.27	9.23
T3: HCS (3%) + VC (20%)	16.57	12.09	10.33	13.00
T4: HCS (6%) + VC (20%)	11.28	10.17	11.76	11.07
T5: testigo	11.92	13.02	12.16	12.37

Nota: tomada del informe LASPAF

El contenido de calcio cambiante disminuye en el T1 (8.12 meq.100g⁻¹) y T2 (9.23 meq.100g⁻¹), a diferencia del T3 (13.00 meq.100g⁻¹) y T4 (11.07 meq.100g⁻¹) que mantuvieron un contenido similar al testigo (12.37 meq.100g⁻¹).

I. Contenido de magnesio cambiante (Mg⁺²)

- Resultados del contenido de magnesio cambiante (Mg⁺²)

Tabla 22. Resultados del análisis de Mg⁺² (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	2.90	5.22	4.37	4.16
T2: HCS (10%)	5.42	2.87	2.50	3.60
T3: HCS (3%) + VC (20%)	2.43	8.17	8.42	6.34
T4: HCS (6%) + VC (20%)	6.92	8.17	6.37	7.15
T5: testigo	7.68	9.15	9.60	8.81

Nota: tomada del informe LASPAF

En cuanto al contenido de magnesio cambiante, en todos los tratamientos se observa una disminución en comparación con el último tratamiento, pero el T3 y T4 tienen valores ligeramente bajos de 6.34 meq.100g⁻¹ y 7.15 meq.100g⁻¹, pero los dos primeros tratamientos tienen valores más bajos (4.16 y 3.60 meq.100g⁻¹).

J. Contenido de potasio cambiante (K⁺)

- Resultados de la cantidad de potasio cambiante (K⁺)

Tabla 23. Resultados del análisis de K⁺ (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	0.18	0.20	0.25	0.21
T2: HCS (10%)	0.19	0.17	0.10	0.15
T3: HCS (3%) + VC (20%)	2.08	2.62	2.30	2.33
T4: HCS (6%) + VC (20%)	2.48	2.52	2.30	2.43
T5: testigo	0.29	0.33	0.30	0.31

Nota: tomada del informe LASPAF

Tabla 23, muestra los resultados de la cantidad de potasio cambiante, el mayor valor obtenido fue en los tratamientos T3 con 2.33 meq.100g⁻¹ y T4 con 2.43 meq.100g⁻¹, los cuales superaron al testigo, mientras que los tratamientos 1 y 2 disminuyeron por el efecto del petróleo presente en el suelo.

K. Contenido de sodio cambiante (Na⁺)

- Resultados de la cantidad de sodio cambiante (Na⁺)

Tabla 24. Resultados del análisis Na⁺ (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	0.10	0.09	0.12	0.10
T2: HCS (10%)	0.09	0.10	0.09	0.09
T3: HCS (3%) + VC (20%)	0.36	0.49	0.40	0.42
T4: HCS (6%) + VC (20%)	0.44	0.43	0.37	0.41
T5: testigo	0.11	0.23	0.17	0.17

Nota: tomada del informe LASPAF

El comportamiento de la cantidad de sodio cambiante es menor en el T1 y T2, mientras en el T3 y T4 se observan valores de 0.42 meq.100g⁻¹ y 0.41 meq.100g⁻¹, los cuales presentan un incremento en comparación al testigo.

L. Densidad aparente del suelo (DAP)

- Resultados de densidad aparente (DAP)

Tabla 25. Resultados del análisis de la DAP (mg.m⁻³)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	1.35	1.39	1.41	1.38
T2: HCS (10%)	1.41	1.36	1.39	1.39
T3: HCS (3%) + VC (20%)	1.01	0.92	0.94	0.96
T4: HCS (6%) + VC (20%)	0.93	0.92	0.92	0.92
T5: testigo	1.05	0.94	0.92	0.97

Nota: tomada del informe LASAP

La tabla 25 muestra que la densidad aparente en el T1 y T2 es de 1.38 mg.m⁻³ y 1.39 mg.m⁻³, valores que se incrementaron por los HCS presentes en el suelo, mientras tanto los tratamientos 3 y 4 que también fueron contaminados con petróleo y se les agregó el VC (20%) mantuvieron los valores a nivel del tratamiento 5 que fue de 0.97 mg.m⁻³.

M. Porosidad total del suelo (PT)

- Resultados de la PT del suelo

Tabla 26. Resultados del análisis de porosidad total (%)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	40.54	43.06	36.62	40.07
T2: HCS (6%)	56.34	45.76	38.89	47.00
T3: HCS (3%) + VC (20%)	43.04	49.43	40.00	44.16
T4: HCS (6%) + VC (20%)	46.67	36.78	48.68	44.04
T5: testigo	39.47	37.65	44.83	40.65

Nota: tomada del informe LASAP

Tabla 26, se observan los resultados del análisis de porosidad total. Existe un ligero incremento en los tratamientos con VC y T2 (contaminado con 6% petróleo) respecto al T1 y T5, estos dos últimos mantuvieron un valor similar que fue de 40.07% y 40.65%.

N. Capacidad de campo del suelo (CC)

- Resultados de la capacidad de campo (CC)

Tabla 27. Resultados del análisis de CC (%)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	30.462	27.991	28.846	29.10
T2: HCS (10%)	30.485	31.721	33.191	31.80
T3: HCS (3%) + VC (20%)	39.421	52.199	44.387	45.34
T4: HCS (6%) + VC (20%)	37.387	36.732	59.290	44.47
T5: testigo	33.583	47.064	47.660	42.77

Nota: tomada del informe LASAP

Los resultados muestran que la capacidad de campo disminuyó en el T1 (29.10%) y T2 (31.80%) en comparación con el T5 que obtuvo un valor de 42.77%, mientras que en los tratamientos contaminados con petróleo a quienes se les aplicó VC, obtuvieron un ligero incremento de 2.57% para el T3 y 1.7% para T4.

4.1.4 Resultados del crecimiento del rabanito (*Raphanus sativus L.*)

Como resultado del experimento de acuerdo al Diseño Completamente Aleatorio (DCA), se realizó la medición de las variables

de crecimiento al final del experimento, es decir, después de 62 días de desarrollo de la planta de rabanito.

A. Altura de la planta

- Resultados de altura de la planta de rabanito

En la tabla 28 se muestra el promedio de la altura de 5 plantas de rabanito (*Raphanus sativus L.*) que había en cada macetero.

Tabla 28. Resultados de altura (cm) de la planta de rabanito

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	2.28	2.02	1.98	2.09
T2: HCS (6%)	1.80	1.84	1.86	1.83
T3: HCS (3%) + VC (20%)	13.72	11.96	13.52	13.07
T4: HCS (6%) + VC (20%)	11.10	11.20	10.18	10.83
T5: testigo	12.78	11.32	12.32	12.14

Nota: tomada de los datos obtenidos en la medición que se realizó

En cuanto a la altura de la planta de rabanito, se observa que los tratamientos 1 y 2 presentaron los valores más bajos con 2.09 cm y 1.83 cm en comparación con los demás tratamientos que obtuvieron valores similares mayores a los 10 cm, pero el que sobresalió fue el T3 con 13.07 cm.

B. Longitud de la raíz

- Resultados de la longitud de la parte radicular

Los resultados muestran el promedio de la longitud radicular de 5 plantas de rabanito (*Raphanus sativus L.*) que había en cada macetero.

Tabla 29. Resultados longitud de la raíz (cm) de la planta de rabanito

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	6.44	4.18	3.74	4.79
T2: HCS (6%)	3.76	2.58	2.18	2.84
T3: HCS (3%) + VC (20%)	13.80	16.90	14.44	15.05
T4: HCS (6%) + VC (20%)	14.56	14.12	15.90	14.86
T5: testigo	11.36	11.00	11.96	11.44

Nota: tomada de los datos obtenidos en la medición que se realizó

La tabla 29 muestra los resultados concernientes a la longitud de la raíz del rabanito, donde el T1 (4.79 cm) y T2 (2.84 cm) presentaron valores más bajos respecto al tratamiento 5 con 11.44 cm, sin embargo,

los tratamientos de T3 y T4 fueron superiores al resto, sobresaliendo aún más el T3 con un valor de 15.05 cm.

C. Peso seco de la planta – parte aérea

- Resultados del peso seco aéreo

Los resultados muestran el peso total aéreo (5 plantas de rabanito) que había en cada macetero.

Tabla 30. Resultados del peso seco aéreo de la planta de rabanito (g)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	1.50	0.60	1.0	1.03
T2: HCS (6%)	0.50	0.30	0.60	0.47
T3: HCS (3%) + VC (20%)	10.00	10.00	9.00	9.67
T4: HCS (6%) + VC (20%)	7.00	9.00	8.00	8.00
T5: testigo	13.00	10.00	13.00	12.00

Nota: tomada de los datos obtenidos en la medición que se realizó

La materia seca del rabanito (parte aérea) fue mayor en el testigo, ya que obtuvo un valor de 12.00 g, pero fue menor en los dos primeros tratamientos, solo lograron pesar 1.03 g en T1 y 0.47 g en T2, mientras en los tratamientos donde se aplicó VC alcanzó 9.67 g y 8.00 g.

D. Peso seco de la planta – raíz

- Resultados del peso seco radicular

Los resultados muestran el peso total de la raíz (5 plantas) que había en cada macetero.

Tabla 31. Resultados del peso seco de la raíz de la planta de rabanito (g)

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: HCS (3%)	0.50	0.50	0.50	0.50
T2: HCS (6%)	0.10	0.20	0.30	0.20
T3: HCS (3%) + VC (20%)	55.00	24.00	35.00	38.00
T4: HCS (6%) + VC (20%)	19.00	21.00	22.00	20.67
T5: testigo	20.00	18.00	29.00	22.33

Nota: tomada de los datos obtenidos en la medición que se realizó

El más alto peso seco radicular del rabanito se obtuvo en el tercer tratamiento con 38 g, seguido del testigo con 22.33 g y el cuarto tratamiento con 20.67 g, por el contrario, los dos primeros tratamientos

resultaron con valores muy bajos que no superan el peso de 1 g, estos tratamientos fueron contaminados con petróleo en un 3% y 6%.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1 Hipótesis específica 1

Se planteó la siguiente hipótesis, “el vermicompost disminuye la concentración de TPH en el suelo con petróleo de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021”.

- Prueba de Normalidad

Para verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen una distribución normal se aplicó la prueba de Shapiro - Wilks y se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: la población está distribuida normalmente.

Ha: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 32. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido de TPH en el suelo

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	12617.63	1909.26	0.95	0.591
T2: HCS (6%)	21558.67	375.65	0.98	0.739
T3: HCS (3%) + VC (20%)	10259.35	942.69	0.91	0.417
T4: HCS (6%) + VC (20%)	20963.03	751.38	0.95	0.576
T5: testigo	1605.26	414.23	0.99	0.834

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LABICER

De acuerdo a la significancia del P-valor obtenido en los 5 tratamientos, como puede visualizarse en la tabla 32, los datos siguen una distribución normal por ser mayor que 0.05 ($\alpha = 0.05$), de manera que se acepta la Ho y se realiza el análisis de varianza.

- Prueba de ANOVA

Tabla 33. Análisis de variancia del contenido de hidrocarburos ($mg.kg^{-1}$)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	820064845.56	4	205016211.39	189.44	<0.0001
Error	10822436.15	10	1082243.61		
Total	830887281.71	14			
S = 1040.31			$\bar{x} = 13400.79$		CV = 7.76 %

Según el análisis de varianza, la fuente de tratamientos presenta alta significación estadística (p valor <0.0001), indicando que los tratamientos tienen diferente contenido de TPH, debido al vermicompost aplicado que disminuyó la concentración en el suelo. Seguidamente se realizó la prueba de Duncan para comparar el promedio de tratamientos.

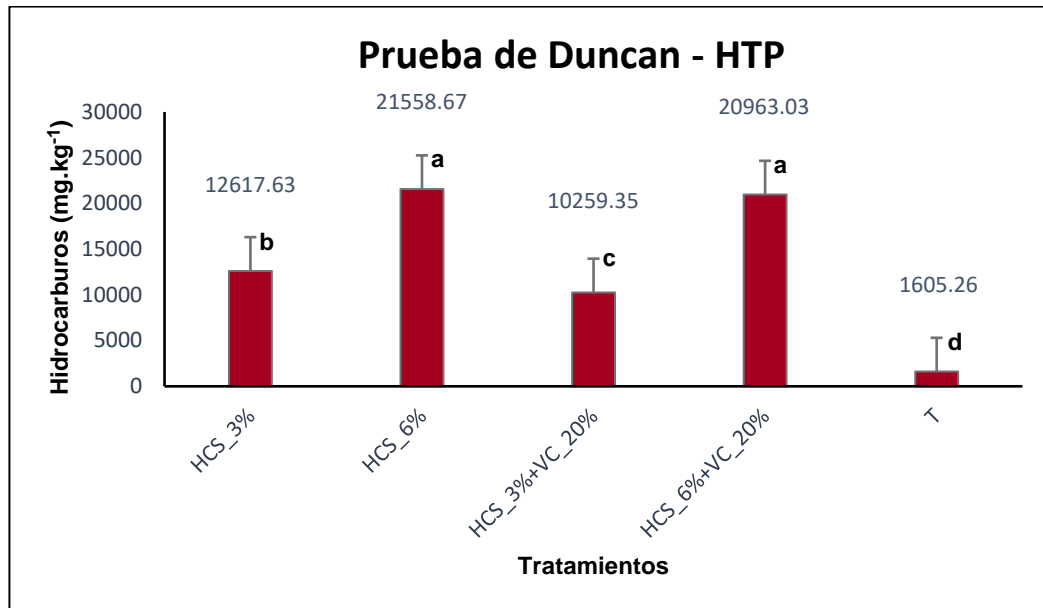


Figura 17. Concentración de HTP al final del experimento en 5 tratamientos

La figura 17 muestra que hay diferencias significativas entre los tratamientos, se sabe que el suelo fue contaminado con el 3% y 6% de petróleo; el primer y tercer tratamiento contenían la misma cantidad de contaminante, pero al finalizar el experimento se observa en la figura 17 que existe una clara significación de “b” a “c”, la concentración de HCS del tratamiento con 3% (1217.63 mg.kg⁻¹) disminuye significativamente cuando se le aplica 20% de VC (HCS = 10259.35 mg.kg⁻¹).

La comparación de la concentración de hidrocarburos inicial y final muestra una disminución del contenido de TPH, siendo el tercer tratamiento con 3% de TPH y vermicompost el que logró disminuir significativamente la concentración del contaminante, superando a los demás tratamientos. Esto se atribuye a que el vermicompost estimula la actividad microbial, que es la responsable de la degradación de TPH (72).

Cuando la concentración es alta (SCH_6 y SCH_6_VC), el efecto del vermicompost no es significativo, debido posiblemente a la alta concentración del contaminante.

Este resultado indica que la dosis de vermicompost influye de manera positiva en la degradación de HCS, es por lo que se concluye con la validación de la hipótesis planteada “el vermicompost disminuye la concentración de TPH en el suelo con petróleo de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco”.

4.2.2 Hipótesis específica 2

Entonces, en el presente proyecto se plantea si “el vermicompost mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con hidrocarburos, de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021”.

Para poder comprobar la hipótesis planteada se realizó el análisis dependiendo de la prueba de normalidad, considerándose un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) en los parámetros de: pH, CE, carbonatos, MO, fósforo disponible, potasio disponible, CIC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , densidad aparente, porosidad total y capacidad de campo del suelo.

E. pH

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H_0 : la población está distribuida normalmente.

H_a : la población no está distribuida normalmente.

Tabla 34. Prueba de normalidad (S - W) para pH del suelo

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	7.433	0.057	0.936	0.5122
T2: HCS (6%)	7.397	0.023	0.750	<0.0001
T3: HCS (3%) + VC (20%)	7.240	0.106	0.893	0.3614
T4: HCS (6%) + VC (20%)	7.147	0.211	0.988	0.7914
T5: testigo	6.563	0.232	0.821	0.1652

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

En el segundo tratamiento se observa que p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$), es por lo que se rechaza la H_0 y se concluye que los datos de la población no siguen una distribución normal. Se realizó, entonces, la prueba de Kruskal Wallis.

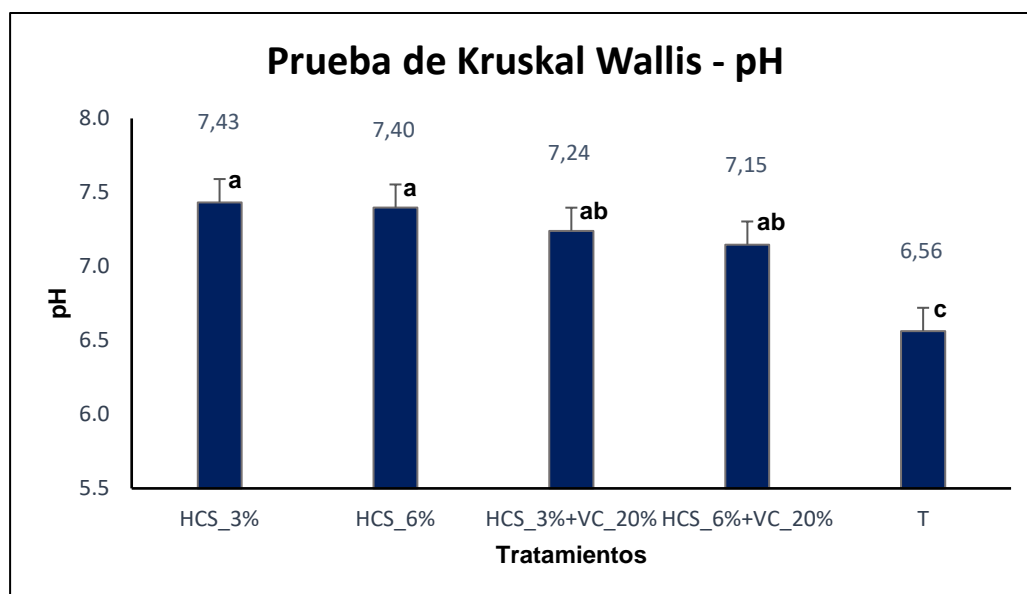


Figura 18. El pH del suelo en los 5 tratamientos

La prueba de Kruskal Wallis obtiene un nivel de significancia de “a”, “b” y “c” afirmando que el pH en cada uno de los tratamientos es diferente a la media del pH de todos los tratamientos, ya que existen diferencias significativas entre los 5 tratamientos, con este resultado se afirma que la aplicación de vermicompost influye en el pH del suelo regulando a un nivel cercano a neutro, de esa manera, sumando para el aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas en los T3 y T4.

F. Conductividad eléctrica

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H_0 : la población está distribuida normalmente.

H_a : la población no está distribuida normalmente.

Tabla 35. Prueba de normalidad (S - W) para la CE ($dS.m^{-1}$)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	0.310	0.010	1.000	>0.9999
T2: HCS (6%)	0.307	0.006	0.750	<0.0001
T3: HCS (3%) + VC (20%)	0.970	0.139	0.810	0.1389
T4: HCS (6%) + VC (20%)	0.853	0.167	0.923	0.4628
T5: testigo	2.420	1.223	0.884	0.3340

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en el segundo tratamiento, se rechaza la H_0 y se concluye que los datos de la población no siguen una distribución normal.

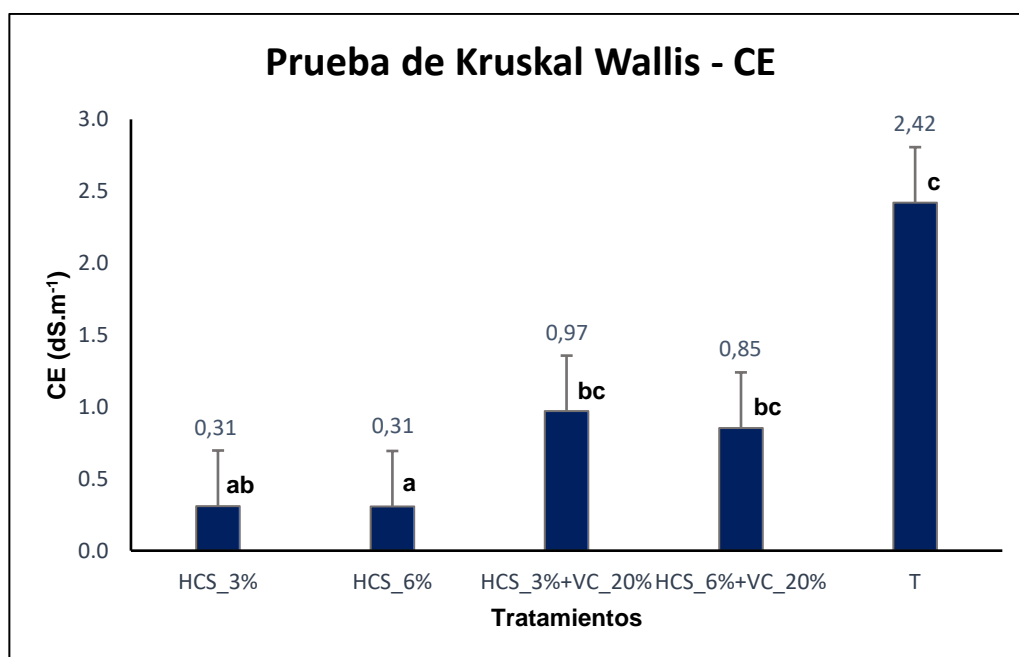


Figura 19. Conductividad eléctrica del suelo en los 5 tratamientos

De acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis para la CE del suelo al final del experimento, indica que al menos una de las medianas de población difiere de las demás respecto a los tratamientos. En la figura 19 se muestra que la CE del suelo se incrementó significativamente con la aplicación de VC en T3 y T4 respecto al T1 y T2, este incremento se encuentra en el rango bajo calificado como muy ligeramente salino.

En efecto la aplicación de vermicompost reguló la cantidad de sales en el suelo estableciendo un buen rendimiento para los cultivos.

G. Carbonato de calcio (CaCO₃)

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 36. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido CaCO₃ (%)

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	21.883	1.015	0.830	0.1888
T2: HCS (6%)	21.967	1.205	0.834	0.2004
T3: HCS (3%) + VC (20%)	9.650	4.758	0.986	0.7731
T4: HCS (6%) + VC (20%)	7.100	3.619	0.976	0.6993
T5: testigo	9.617	2.996	0.937	0.5160

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es mayor que 0.05 en todos los tratamientos, se acepta la H₀ y se concluye que los datos de la población siguen una distribución normal.

- Prueba de hipótesis – ANOVA

Tabla 37. Análisis de variancia del contenido de CaCO₃ (%)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	634.054	4	158.514	16.793	0.0002
Error	94.390	10	9.439		
Total	728.444	14			
S = 3.072		$\bar{x} = 14.043$		CV = 21.877 %	

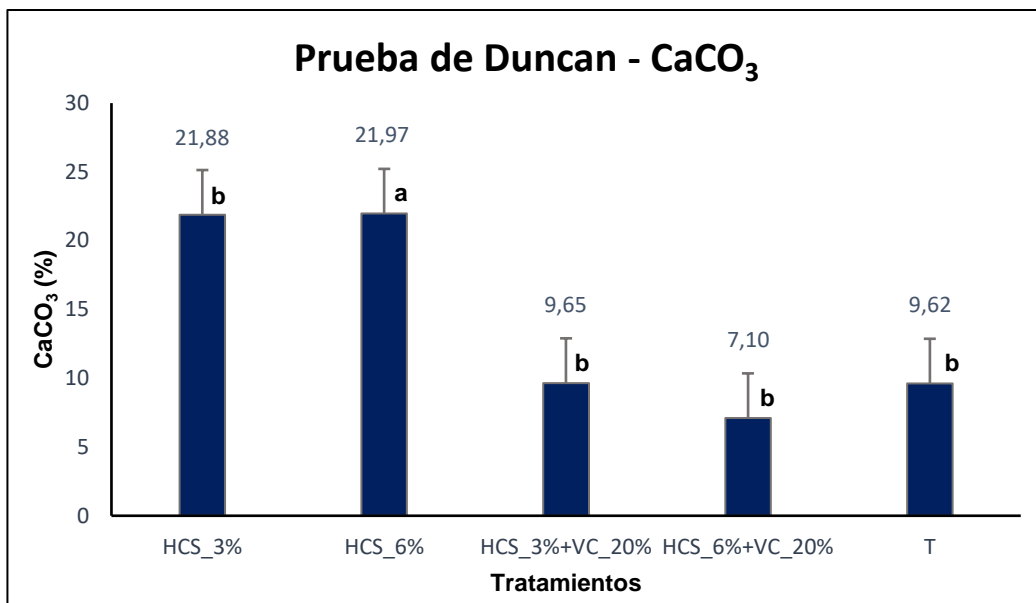


Figura 20. Contenido de CaCO₃ en los 5 tratamientos

La prueba de ANOVA afirma que el nivel de carbonado de calcio es diferente entre los 5 tratamientos, ya que el p-valor es menor a 0.05, atestiguando que la aplicación de las dosis de vermicompost sí afectó el porcentaje de CaCO₃ de manera positiva, debido a que se obtiene un nivel de significancia de “a” y “b” en la prueba de Duncan, hay una clara diferencia significativa de los dos primeros tratamientos respecto a los demás.

H. Materia orgánica

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 38. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido MO (%)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	5.400	0.970	0.750	<0.0001
T2: HCS (6%)	5.843	0.236	0.993	0.8349
T3: HCS (3%) + VC (20%)	14.730	2.668	0.772	0.0493
T4: HCS (6%) + VC (20%)	17.943	0.709	0.894	0.3638
T5: testigo	12.097	2.175	0.968	0.6593

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos uno de los tratamientos ($T1 = <0.0001$), se rechaza la H_0 y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal.

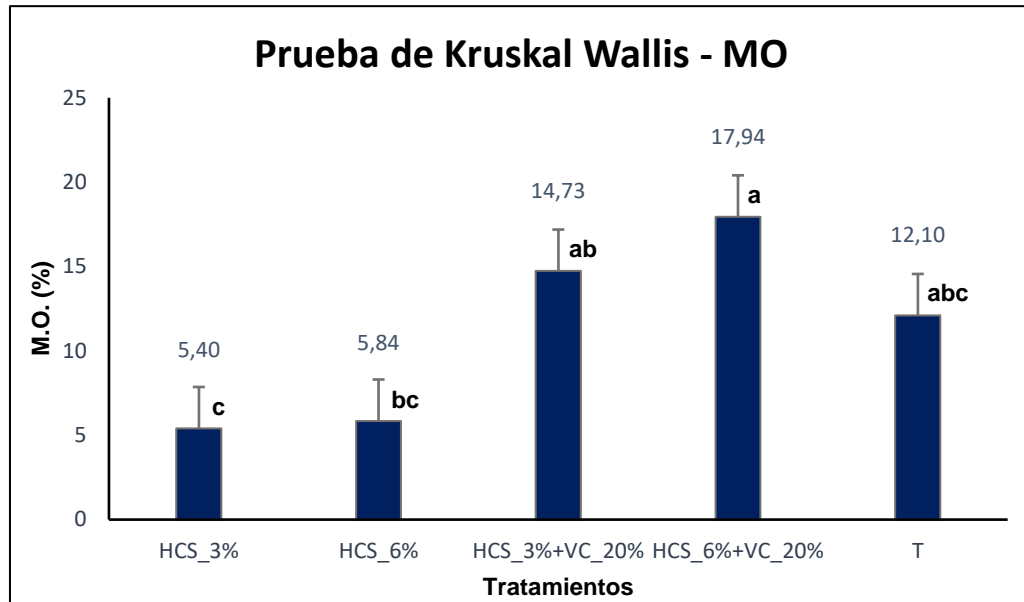


Figura 21. Contenido de MO en los 5 tratamientos

La prueba Kruskal Wallis indica que existen diferencias significativas entre los 5 tratamientos, se observa en la figura 21 un mayor incremento de MO en el T3 y T4, los cuales son significativos en comparación con los tratamientos 1 y 2 que estuvieron contaminados con petróleo, atestiguando que la aplicación de las dosis de vermicompost sí afectó el contenido de MO de manera positiva.

I. Fósforo disponible

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H_0 : la población está distribuida normalmente.

H_a : la población no está distribuida normalmente.

Tabla 39. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido de P (%)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	6,400	0,872	0,842	0,2190
T2: HCS (6%)	7,300	0,361	0,942	0,5351
T3: HCS (3%) + VC (20%)	61,133	47,690	0,754	0,0078
T4: HCS (6%) + VC (20%)	42,833	27,600	0,762	0,0270
T5: testigo	3,633	0,208	0,923	0,4628

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en el tratamiento 3, se rechaza la H_0 porque los datos de la población no tienen una distribución normal.

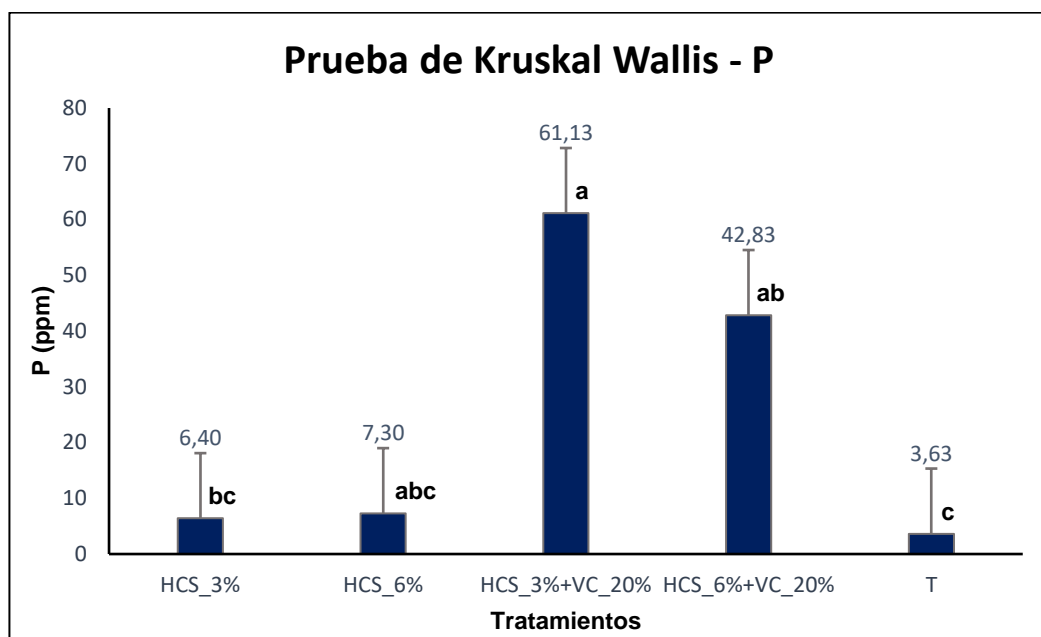


Figura 22. Contenido de fósforo disponible en los 5 tratamientos

La prueba de Kruskal Wallis evidencia que hay diferencias significativas en los 5 tratamientos, ya que muestra a aquellos con vermicompost (3 y 4) contaminados con hidrocarburos que presentaron una mayor concentración de P en solución, significativamente superior a los tratamientos sin vermicompost y al testigo.

La figura 22 muestra que la aplicación de la dosis de VC sí afectó el aumento del contenido de fósforo disponible en el suelo.

J. Potasio disponible

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 40. Prueba de normalidad (S - W) para el contenido de K⁺ (ppm)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	84.667	2.517	0.987	0.7806
T2: HCS (6%)	83.333	0.577	0.750	<0.0001
T3: HCS (3%) + VC (20%)	997.333	145.001	1.000	0.9919
T4: HCS (6%) + VC (20%)	943.333	118.732	0.874	0.3058
T5: testigo	122.333	15.535	0.932	0.4973

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos uno de los tratamientos (T2 = <0.0001), se rechaza la H₀ y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal.

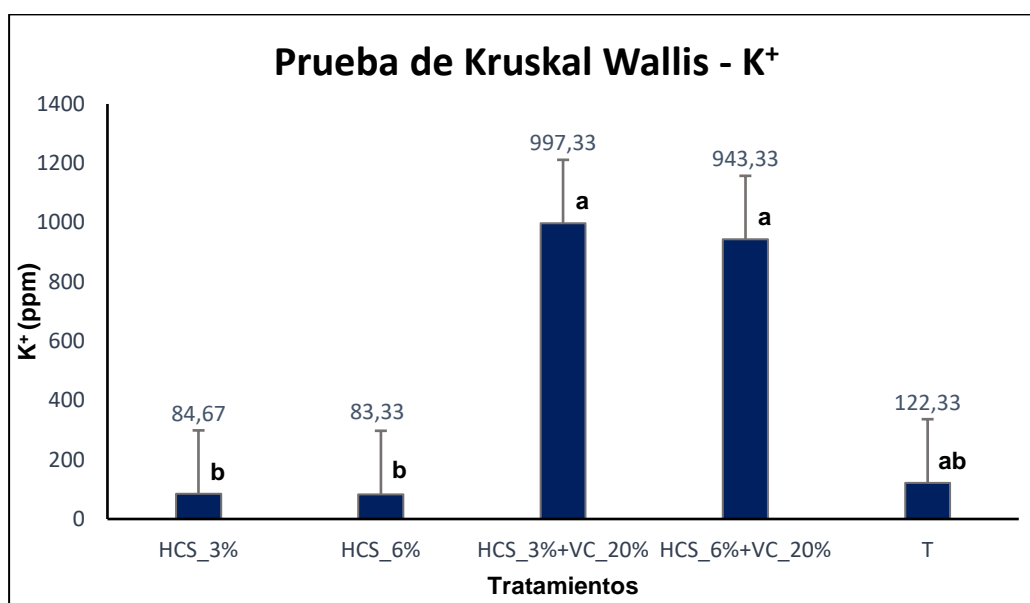


Figura 23. Contenido de potasio disponible en los 5 tratamientos

En la prueba de Kruskal Wallis se obtiene un nivel de significancia de "a" y "b" indicando que hay diferencias significativas entre los 5 tratamientos, ya que mostró una superioridad estadística significativa de

los tratamientos de suelos contaminados con 3% y 6% de hidrocarburos, a los cuales se les agregó vermicompost, respecto a los tratamientos de suelos contaminados donde no se aplicó esta enmienda orgánica, incluyendo al testigo, la dosis de vermicompost incrementó el contenido de potasio disponible en el suelo, estando en una calificación de nivel alto.

K. Capacidad de intercambio catiónico

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 41. Prueba de normalidad (S - W) para la CIC (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	12.587	1.554	0.957	0.5985
T2: HCS (10%)	13.067	0.489	0.964	0.6394
T3: HCS (3%) + VC (20%)	22.080	1.109	0.750	<0.0001
T4: HCS (6%) + VC (20%)	21.067	0.244	0.964	0.6394
T5: testigo	21.653	1.452	0.878	0.3151

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos uno de los tratamientos (T3 = <0.0001), se rechaza H₀ y se concluye que los datos de la población no tienen una distribución normal.

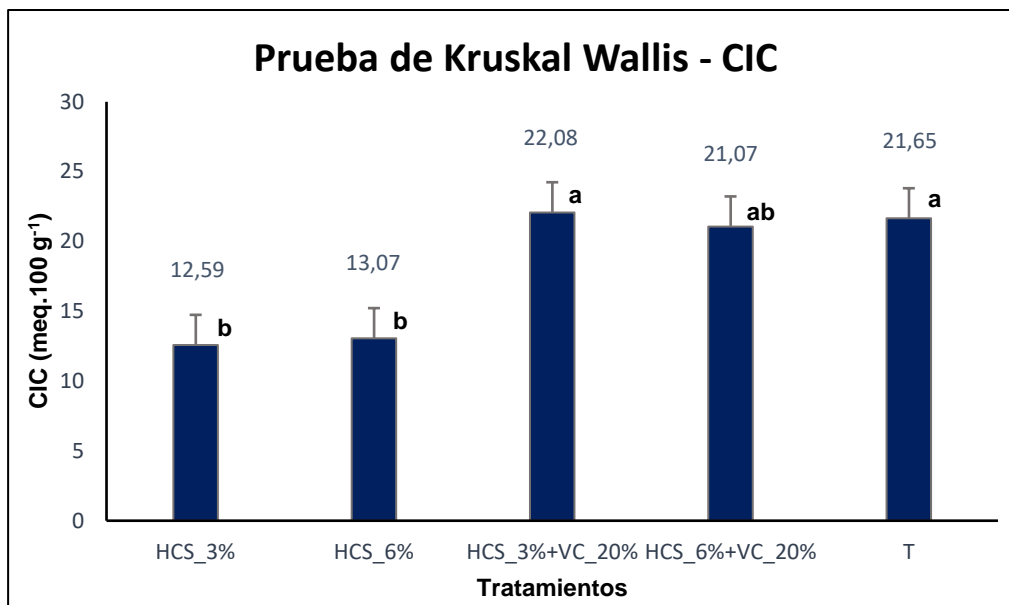


Figura 24. Capacidad de intercambio catiónico en los 5 tratamientos

En la prueba de Kruskal Wallis indica que hay diferencias significativas en los tratamientos, atestiguando que la aplicación de la dosis de vermicompost incrementó el contenido de CIC, lo que se atribuye a la mayor cantidad de cargas eléctricas que presenta la materia orgánica que se agregó al suelo y ello afecta de manera significativa el potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes.

L. Calcio cambiabile

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 42. Prueba de normalidad (S - W) para el Ca⁺² (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	8.117	0.937	0.852	0.2453
T2: HCS (6%)	9.227	1.210	0.959	0.6078
T3: HCS (3%) + VC (20%)	12.997	3.217	0.940	0.5280
T4: HCS (6%) + VC (20%)	11.070	0.816	0.950	0.5695
T5: testigo	12.367	0.578	0.904	0.3977

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

comparación con los tratamientos de suelos contaminados con petróleo, sin vermicompost, debido a que el material orgánico incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo y permite la adsorción de calcio y otros iones (73).

M. Magnesio cambiabile

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 44. Prueba de normalidad (Shapiro - Wilks) para el Mg⁺² (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	4.163	1.174	0.977	0.7048
T2: HCS (6%)	3.597	1.590	0.843	0.2232
T3: HCS (3%) + VC (20%)	6.340	3.388	0.781	0.0708
T4: HCS (6%) + VC (20%)	7.153	0.922	0.952	0.5766
T5: testigo	8.810	1.004	0.914	0.4302

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es mayor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en todos los tratamientos, se acepta H₀ y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, tienen una distribución normal.

- Análisis ANOVA

Tabla 45. Análisis de variancia del contenido de Mg⁺² (meq.100 g⁻¹)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	55.471	4	13.868	4.021	0.0338
Error	34.492	10	3.449		
Total	89.963	14			
S = 1.857		$\bar{x} =$	6.013		CV = 30.888 %

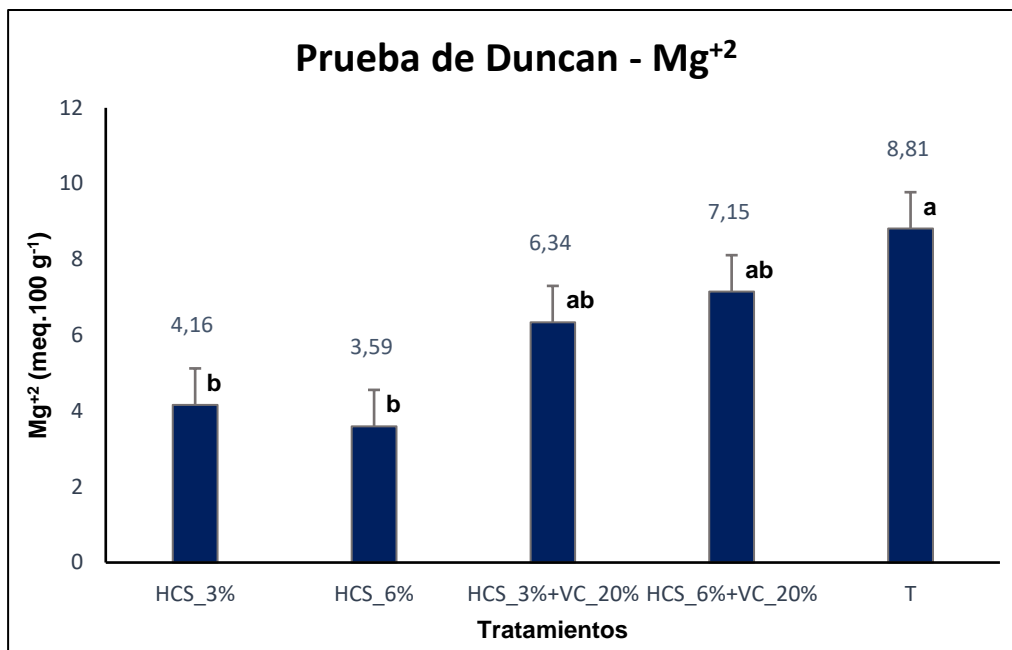


Figura 26. Contenido de Mg²⁺ en los 5 tratamientos

En la figura 26 se obtiene un p-valor de 0.0338, que es menor a 0.05; de forma que se afirma que el nivel de magnesio cambiante es diferente entre los 5 tratamientos.

La prueba de Duncan para los tratamientos en el contenido de magnesio cambiante se obtuvo en un nivel de significancia de “a” y “b” para la mayoría de los tratamientos, mostró que los suelos contaminados con hidrocarburos, que recibieron vermicompost presentaron superioridad significativa respecto a los tratamientos sin vermicompost, debido al efecto de la enmienda orgánica en incrementar el poder adsorbente del suelo para cationes, principalmente (54).

N. Potasio cambiante

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 46. Prueba de normalidad (S - W) para el K⁺ (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	0.210	0.036	0.942	0.5351
T2: HCS (6%)	0.153	0.047	0.907	0.4070
T3: HCS (3%) + VC (20%)	2.333	0.272	0.989	0.7961
T4: HCS (6%) + VC (20%)	2.433	0.117	0.881	0.3245
T5: testigo	0.307	0.021	0.923	0.4628

Nota: procesado en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es mayor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en todos los tratamientos, se acepta Ho y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, tienen una distribución normal.

- Análisis ANOVA

Tabla 47. Análisis de variancia del contenido de K⁺ (meq.100 g⁻¹)

F. de V.	S. C.	G. L.	C. M.	Fc.	p-valor
Tratamientos	16.847	4	4.212	230.321	<0.0001
Error	0.183	10	0.018		
Total	17.030	14			

S = 0.134

$\bar{x} = 1.087$

CV = 12.437 %

Según el análisis de variancia del contenido de potasio cambiante se observó significación estadística en la fuente de variación de tratamientos (p valor < 0.05), indicando que los tratamientos tienen diferente contenido de este elemento catiónico.

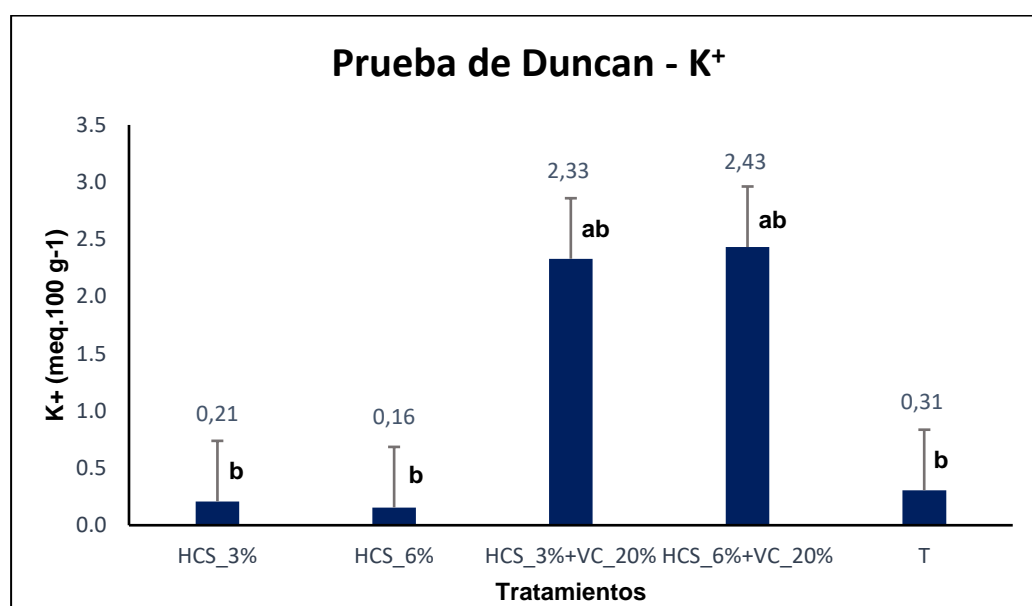


Figura 27. Contenido de K⁺ en los 5 tratamientos

La prueba de Duncan para el contenido de potasio cambiabile tiene un nivel de significancia de “a” y “b”, de esa formase afirma que el potasio cambiabile es diferente en todos los tratamientos. Existe diferencia significativa en los tratamientos con vermicompost respecto al T1 y T2, quienes no recibieron VC. La enmienda orgánica influye en el contenido de K⁺ debido al efecto en incrementar la capacidad de cambio del suelo y favorecer la adsorción de cationes (73).

O. Sodio cambiabile

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 48. Prueba de normalidad (S - W) para el Na⁺ (meq.100g⁻¹)

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	0.103	0.015	0.964	0.6394
T2: HCS (6%)	0.093	0.006	0.750	<0.0001
T3: HCS (3%) + VC (20%)	0.417	0.067	0.953	0.5813
T4: HCS (6%) + VC (20%)	0.413	0.038	0.855	0.2519
T5: testigo	0.170	0.060	1.000	>0.9999

Nota: procesada en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASPAF

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos un tratamiento (T2 = <0.0001), se rechaza H₀ y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal.

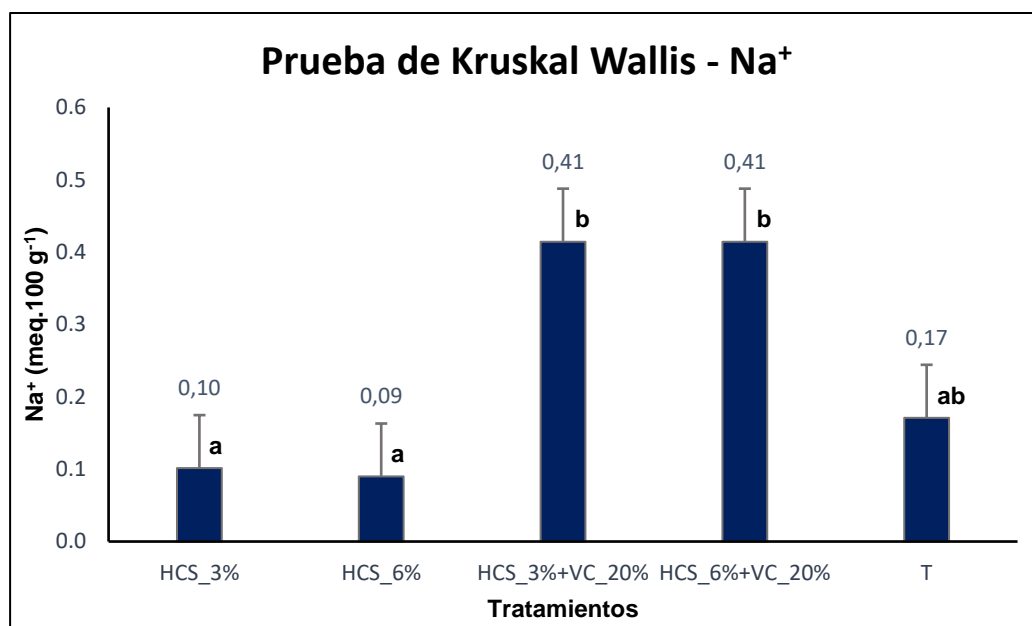


Figura 28. Contenido de Na⁺ en los 5 tratamientos

La prueba de Kruskal Wallis demuestra que hay diferencias significativas en los tratamientos (a y b). Se visualiza en la figura 28 un alto contenido de sodio en los tratamientos T3 y T4, esto es debido al incremento de la capacidad adsorbente del suelo, que se da gracias a la presencia de la enmienda orgánica (50), con la ventaja que el sodio presente en este suelo tuvo en general valores bajos, que no incrementarían el porcentaje de sodio intercambiable en estos suelos. El resultado indica que la aplicación de VC afecta el contenido de Na⁺ en el suelo.

P. Densidad aparente

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 49. Prueba de normalidad (S - W) para la DAP ($mg.m^{-3}$)

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	1.383	0.031	0.964	0.6394
T2: HCS (10%)	1.387	0.025	0.987	0.7806
T3: HCS (3%) + VC (20%)	0.957	0.047	0.907	0.4070
T4: HCS (6%) + VC (20%)	0.923	0.006	0.750	<0.0001
T5: testigo	0.970	0.070	0.862	0.2714

Nota: procesada en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASAP

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos un tratamiento (T4 = <0.0001), se rechaza H_0 y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal.

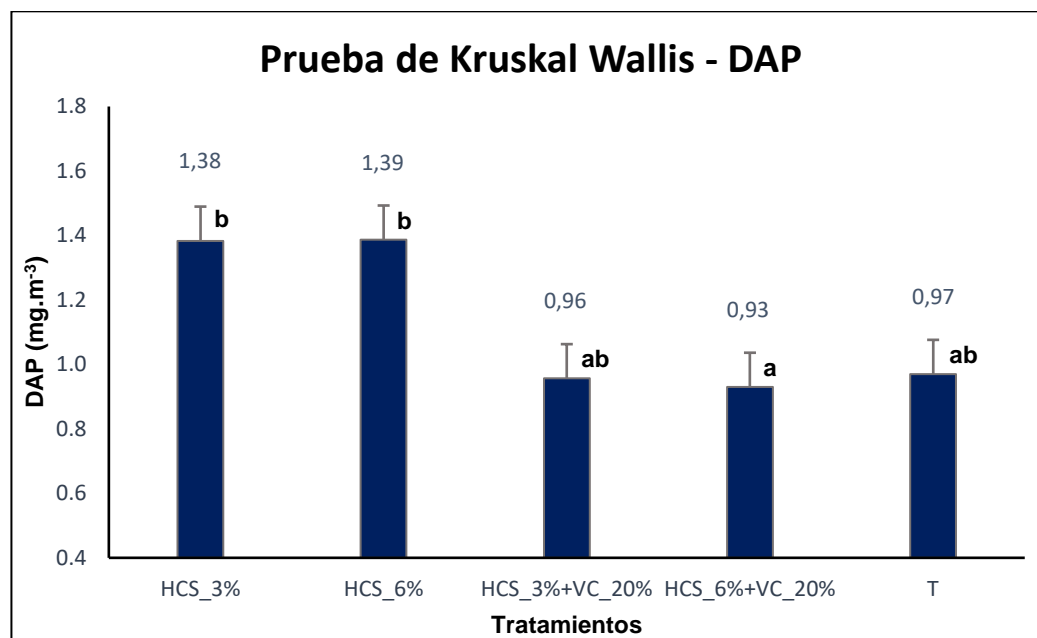


Figura 29. Densidad aparente del suelo en los 5 tratamientos

De acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a densidad aparente, se observa que los tratamientos que recibieron vermicompost disminuyeron su densidad aparente, debido al incremento de volumen del suelo, y efecto beneficioso en otras propiedades físicas como porosidad y permeabilidad (55), facilitando la labranza y poseer mejores condiciones para la retención de humedad. Este resultado indica que la aplicación de VC influye en la densidad aparente en el suelo.

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 52. Prueba de normalidad (S - W) para la CC (%)

Tratamiento	Media	D.E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	29.100	1.255	0.969	0.6614
T2: HCS (6%)	31.799	1.355	0.998	0.9054
T3: HCS (3%) + VC (20%)	45.336	6.442	0.984	0.7563
T4: HCS (6%) + VC (20%)	44.470	12.839	0.772	0.0480
T5: testigo	42.769	7.961	0.782	0.0714

Nota: procesada en SPSS a partir de los datos obtenidos por el LASAP

Como p-valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos uno de los tratamientos (T4 = 0.0480), se acepta H₀ y se concluye que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal.

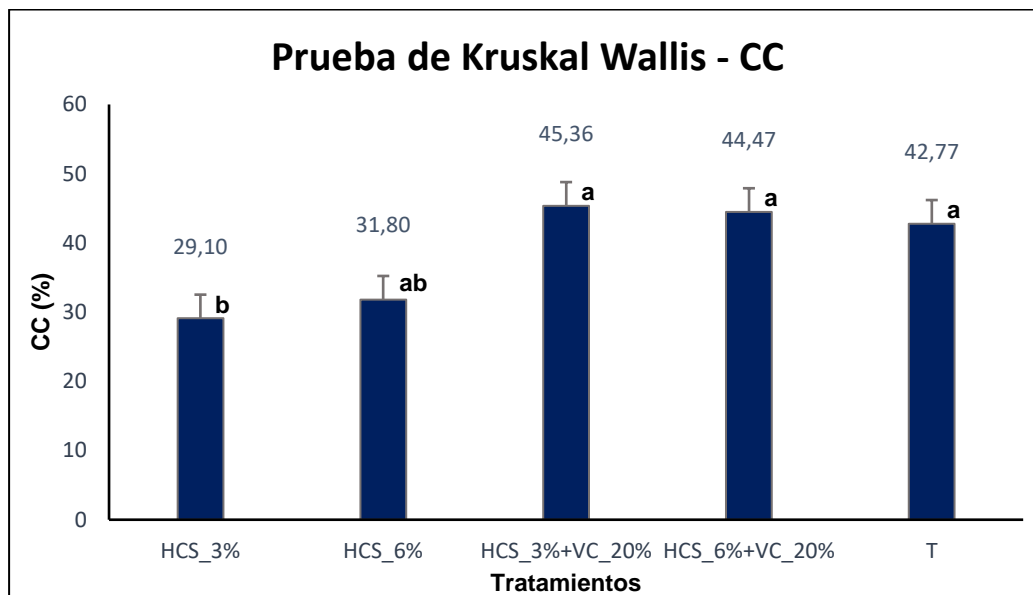


Figura 30. Capacidad de campo en los 5 tratamientos

Los niveles de significación de la prueba de Kruskal Wallis son "a" y "b", indicando diferencias significativas entre tratamientos. La retención de humedad a nivel de capacidad de campo mostró que los tratamientos 3 y 4, donde se aplicaron vermicompost, superaron estadísticamente a los

tratamientos donde no se les agregó este material orgánico, debido principalmente a la mayor adsorción de moléculas de agua por el incremento de cargas eléctricas negativas que posee la enmienda orgánica (32). Con este resultado se afirma que la dosis de VC empleado en los suelos contaminados con petróleo sí influyeron en la capacidad de campo.

Tal como muestra el análisis de cada parámetro, se puede observar que hubo una mejora en la mayoría de las propiedades del suelo, por ello se concluye validando la hipótesis planteada que “el vermicompost sí mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con hidrocarburos, de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco”.

4.2.3 Hipótesis específica 3

En el proyecto se plantea si “el vermicompost incrementa el desarrollo del rabanito, en un suelo contaminado con hidrocarburos, de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021”.

Para comprobar la hipótesis planeada se realizó el análisis dependiendo de la prueba de normalidad, considerando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) en las variables de: altura, longitud, peso seco de la parte aérea y peso seco de la parte radicular de la planta de rabanito.

S. Altura de la planta

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

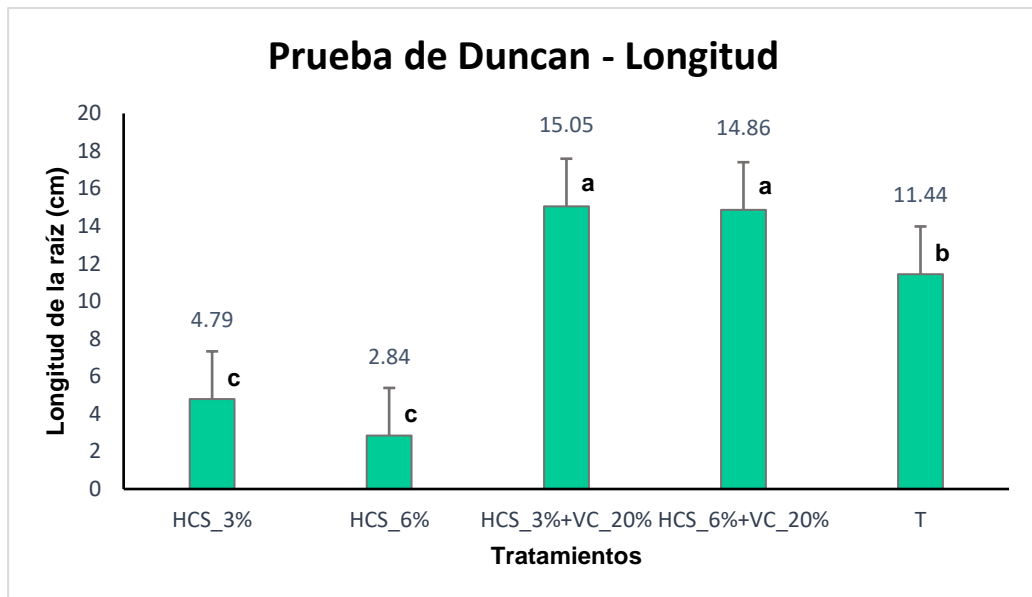


Figura 32. Longitud de la parte radicular del rabanito en los 5 tratamientos

En el análisis de varianza el p-valor es 0.0001 menor que 0.05; indicando que la longitud de la raíz de rabanito es diferente entre los tratamientos y en la prueba de Duncan, la longitud de la raíz en el testigo es significativamente diferente de los demás tratamientos, los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos con vermicompost, los cuales presentaron igual significancia “a” mostrando un efecto positivo debido al mejoramiento de las propiedades del suelo al aplicarse esta enmienda orgánica y la liberación de nutrientes después de su mineralización (54), y el efecto limitante de los hidrocarburos en el crecimiento de la raíz de rabanito.

U. Peso seco de la planta – parte aérea

- Prueba de normalidad

Se procede a verificar si los datos de la población de donde proviene la muestra tienen distribución normal y se plantea la siguiente hipótesis:

H₀: la población está distribuida normalmente.

H_a: la población no está distribuida normalmente.

Tabla 57. Prueba normalidad (S - W) para el peso seco aéreo (g)

Tratamiento	Media	D. E.	W*	p-valor
T1: HCS (3%)	1.03	0.45	1.00	0.877
T2: HCS (10%)	0.47	0.15	0.96	0.639
T3: HCS (3%) + VC (20%)	9.67	0.58	0.75	<0.0001
T4: HCS (6%) + VC (20%)	8.00	1.00	1.00	>0.999
T5: testigo	12.00	1.73	0.75	<0.0001

Nota: procesada en SPSS de los datos obtenidos en la medición que se realizó

Como p- valor es menor que 0.05 ($\alpha = 0.05$) en al menos uno de los tratamientos (T4 = 0.0480), se acepta H_0 , concluyendo que los datos de la población, de donde proviene la muestra, no tienen una distribución normal.

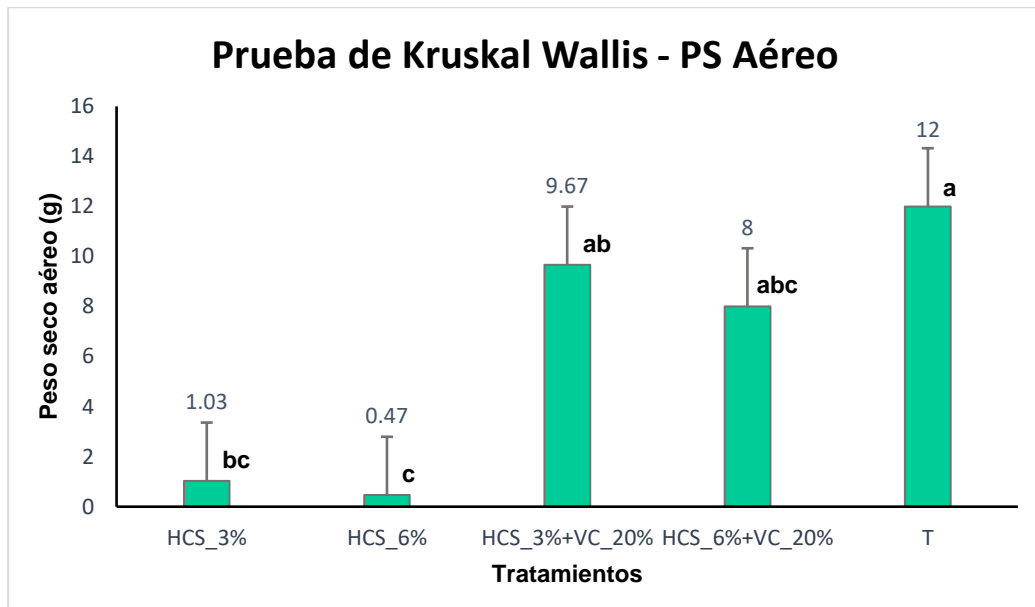


Figura 33. Peso seco aéreo de la planta de rabanito en los 5 tratamientos

En la prueba de Kruskal Wallis se obtiene un nivel de significancia de “a”, “b” y “c” indicando que el peso seco aéreo del rabanito es diferente en todos los tratamientos, se evidenció estadísticamente que, en los tratamientos contaminados con hidrocarburos, a los que se aplicó vermicompost tienen superioridad significativa respecto a los tratamientos sin vermicompost, debido al efecto de la enmienda orgánica.

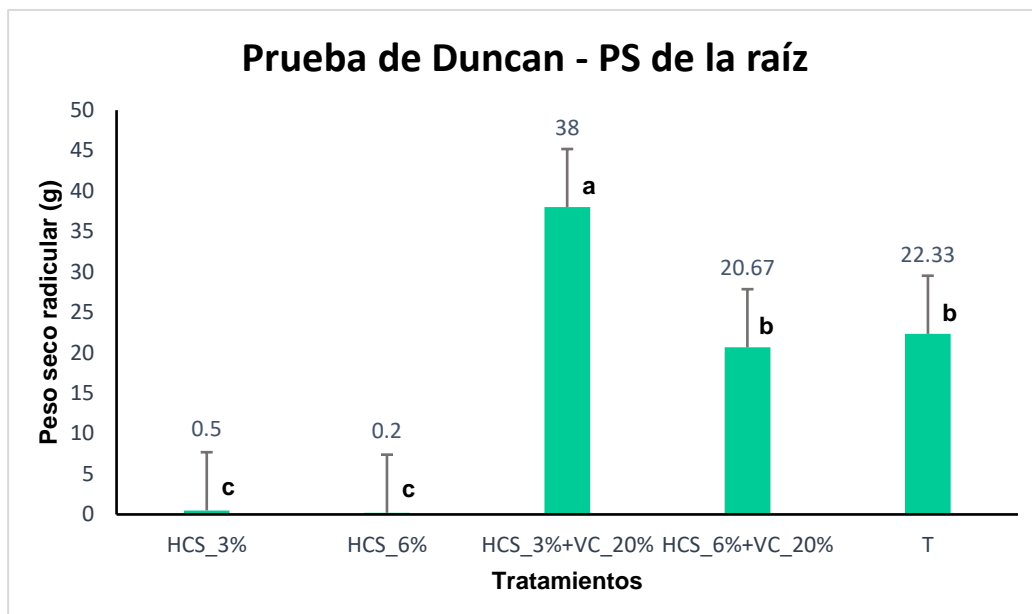


Figura 34. Peso seco de la parte radicular del rabanito en los 5 tratamientos

El p-valor del análisis de varianza es 0.0005 menor que 0.05; afirmando que el peso seco radicular es diferente entre los tratamientos, además, en la prueba Duncan existe una diferenciación notoria de los 3 últimos tratamientos con respecto al T1 y T2. Se evidencia un mejor valor obtenido en el T3, la cual tenía vermicompost, debido al mayor crecimiento de las plántulas de rabanito y acumulación de materia seca vegetal.

Tal como muestran las tablas y figuras, se puede observar que hubo un mejor desarrollo de la planta de rabanito en cuanto a altura, longitud, peso seco aéreo y radicular, en los tratamientos donde se adicionaron la dosis de vermicompost. Por lo tanto, se ha validado la hipótesis planteada que “el vermicompost incrementa el desarrollo del rabanito, en un suelo contaminado con hidrocarburos, de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco”.

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 Vermicompost y contenido de HTP

El contenido de TPH disminuyó significativamente en los suelos contaminados con hidrocarburos, debido a la aplicación de vermicompost, observándose una disminución del 30.56% ($\% \text{ Disminución TPH} = (\text{TPH inicial} - \text{TPH final}) / (\text{TPH inicial}) * 100$) en el suelo contaminado con 3% de petróleo y 7.75% en el suelo contaminado con 6% de petróleo. El resultado se debe a que el vermicompost estimula e incrementa la actividad microbial, la cual favorece la mineralización, absorción y asimilación del TPH por sus vías digestivas (74), ya que utilizan el petróleo como fuente energía y carbono (75). Cabe resaltar que el contenido de hidrocarburos que fue degradado corresponde en gran parte a (C9-C30) carbonos.

Que gracias a la acción conjunta de las lombrices y los microorganismos dan inicio a la bio-oxidación, degradación y estabilización de los TPH, mediante una fase activa donde fragmentan y acondicionan el contaminante y los sustratos, ya que actúan como facilitadores clave para la transformación y descomposición del contaminante y una segunda fase de maduración, donde las lombrices y las poblaciones microbianas se desplazan hacia capas nuevas con contaminante fresco que se encargan de la degradación de hidrocarburos más complejos (76). Pero antes que la actividad microbial comience a descomponer los HCS existe un tiempo de retardo posterior a un derrame, lo cual está relacionado a la toxicidad inicial de fracciones volátiles en los primeros días y conforme transcurre el tiempo se dan cambios progresivos en el suelo reduciendo la contaminación en menor proporción.

Mientras tanto en el artículo (21) indica que la implementación de dos alternativas para biorremediar hidrocarburos (biorremediación y fitorremediación), mediante una recuperación variable-respuesta, alcanzó buenos resultados, logró disminuir más del 90% de ARA. La diferencia con el presente estudio está en el método usado y el poco tiempo que estuvo el suelo en contacto con la enmienda (62 días). Ya que la velocidad

para lograr eliminar en un corto o largo tiempo depende de la concentración y complejidad de los hidrocarburos, por otro lado, el efecto del vermicompost en un suelo contaminado se debe que aparte del alto contenido en minerales esenciales prioriza acciones ecológicas (21). Existen evidencias experimentales, incluso Vizuite y otros utilizaron la técnica de biorremediación usando un bioproducto basado en bacterias, donde prueba que los niveles de nutrientes inciden en la composición de microorganismos degradadores, y que a su vez afecta la tasa de degradación de los contaminantes. Por ello, se debe priorizar el empleo de un material orgánico en el suelo, bioestimar primero para crear condiciones donde exista la fuente de carbono necesaria para que los organismos puedan llevar a cabo todas las funciones metabólicas y de esa forma degradar los contaminantes (77; 31).

Según Viñas (5) indica que al aplicar la enmienda orgánica se considera un proceso natural de descontaminación a través de la actividad microbiana, lo cual se acelera y mejora en presencia del VC, la mayoría de los organismos oxidan el petróleo (hidrocarburo como carbono y el O₂ como receptor de electrones), que al final son modificados en CO₂, H₂O, energía o masa microbiana. Este mecanismo también ha sido descrito por Celeste y otros (52) ya que, en su investigación, los microorganismos hallados en el vermicompost según los géneros encontrados son: *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp, *Micrococcus* sp, *Vibrio* sp, y dos géneros no identificados que hacen más efectiva la degradación del contaminante.

Además, de la fracción 2 de hidrocarburos, la cadena (C₁₀-C₂₀) son degradables eficazmente por los microorganismos del suelo, pero los (>C₂₀) debido a su baja solubilidad y alto peso molecular son más difíciles en degradarse (5). Similar a lo que menciona Díaz (36) que para suelos contaminados con hidrocarburos de fracción media (diésel), se recomienda el uso de biorremediación por la acción aeróbica. Sin embargo, aquellos de fracción más liviana pueden ser tratados mediante tecnologías de extracción de vapor o *sparging*, ya que se volatilizan fácilmente y para los más pesados necesitan una técnica más capaz,

aunque también es eficaz la biorremediación, pero con técnicas mejoradas, porque estos productos demoran mucho más tiempo en biodegradarse. En el metabolismo aerobio, primero se produce la oxidación, después pasa a formar parte del hidrocarburo un átomo de oxígeno, resultando ácido carboxílico para facilitar el comienzo del metabolismo degradador. Por otro lado, Rodríguez considera tener en cuenta el tipo de solución a utilizar, de los que suponen una solución temporal entre aquellos que modifican el contaminante a productos inocuos e incluso lo eliminan, como resultado de este último es también el uso de vermicompost porque crea un efecto homeostático en presencia de contaminación, neutralizando aquellos compuestos orgánico tóxicos, manteniendo un ambiente interno estable (34), pero además la importancia de la actividad microbial, la cual es caracterizada por su potencial metabolismo biodegradador sobre aquellas soluciones con métodos fisicoquímicos, que aparte del alto costo aun siendo más rápidas y afectivas en la degradación del contaminante, modifican las características del suelo, alteran o eliminan el microbiota autóctono y afecta los compartimientos ambientales, de esta forma concuerda con Rodríguez (34). Asimismo, el vermicompost contiene macroorganismos con gran capacidad de tolerancia a ambientes adversos, por ejemplo, en un suelo contaminado con petróleo es segura la detoxificación, además que es amigable, económica y cumple con los criterios de sostenibilidad para remover químicos orgánicos e inorgánicos que están en el medio. Aunque esta presenta limitaciones en cuanto al tiempo necesario para lograr una aceptable biodegradación.

La adición de humus de lombriz en el tratamiento 4 solo tiene una disminución del 7%, debido a que la actividad metabolizadora se muestre ligeramente deprimido por la aplicación de estos nutrientes, el cual concuerda con estos resultados (36). Es importante el control de la adición de nutrientes, puesto que una excedencia o falta de estos impide y hace ineficiente el proceso metabólico microbial y no logran degradar el carbono ni parte de compuestos que están en el petróleo (43). Por todo lo

mencionado, se corrobora que el VC disminuye la concentración de HTP en el suelo.

4.3.2 Vermicompost y propiedades fisicoquímicas del suelo

El pH en el suelo del experimento sí tiene una diferencia significativa en los 5 tratamientos, en los T3 y T4 el pH presenta un rango neutro ideal para el aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas, mientras que el pH es ligeramente alcalino en el T1 y T3; de forma opuesta se tiene datos en el último tratamiento, pues hay un pH levemente ácido de 6.56. Similar a lo reportado por Martínez y López (30) donde indican que el pH no tuvo variación significativa (menor a 1) en presencia de hidrocarburos, en dosis de 100 a 150 000 mg.kg⁻¹ de gasolina, diésel o combustóleo, los efectos resultantes son mínimos. Por otro lado, Díaz (36) afirma que el pH afecta el “proceso de transporte de sustancia por medio de la membrana celular, el equilibrio de las actividades enzimáticas de los microorganismos”. Varios estudios (79) coinciden y afirman que en el pH neutro existe mejor actividad microbial para la mineralización de hidrocarburos y demuestran que tienen las tasas máximas de biodegradación, observaron que el pH óptimo se situaba entre 7.07 y 7.25, rango donde se encuentra el pH de los T3 y T4 donde se usaron vermicompost. En la figura 6 se muestran que los dos primeros tratamientos tienen un pH de 7.4 y 7.43; los cuales tienen un incremento respecto al tratamiento de control y son significativamente diferentes, debido a que están contaminados con petróleo. Por otro lado, la tesis realizada por Visuete (77) explica que el pH en el rango de 6 a 8 tiene mayor incidencia y favorece el crecimiento microbial, ya que logran un buen desarrollo en valor neutro. Viñas (5) menciona además que el pH también afecta a la solubilización y adsorción/absorción de los iones y contaminantes. En pH alcalino son más solubles las formas aniónicas y en pH ácido las catiónicas (80).

En la tesis presentada por Celeste et al. (52) reportan un valor muy alto en cuanto a CE (9.00 mmhos/cm), esto indica que el suelo tiene abundantes sales minerales, se considera que este parámetro es

relacionado con la presencia de iones en el suelo, además define la actividad microbiana y vegetal. Según Callupe (44) recomienda que la CE en el suelo sea baja, menor a 1 dS.m^{-1} (1+5 v/v). Mientras que Martínez y López (30), en sus resultados obtenidos no tiene variación significativa de la conductividad eléctrica ($0.5\text{-}1.2 \text{ dS.m}^{-1}$) variación irregular en presencia de los hidrocarburos a concentraciones diferentes, debido a que los hidrocarburos no impiden la solubilización de sales presentes en el suelo. La CE del suelo se incrementó significativamente con la aplicación de vermicompost (T3 y T4) en el suelo contaminado con hidrocarburos, lo cual se puede atribuir a la solubilización de sales provocada por la enmienda orgánica, que incrementó las sales solubles. Indicando que ese incremento de conductividad eléctrica del suelo fue dentro del rango de baja conductividad (4 dS.m^{-1}).

La cantidad de carbonato de calcio se incrementó significativamente en el suelo contaminado con hidrocarburos y fue más notoria en el segundo tratamiento contaminado con el 6% de petróleo. Mientras en los tratamientos donde se usaron el vermicompost no presentaron cambios significativos, los valores lograron mantenerse con niveles cercanos al control. Según FAO, considera como suelos calcáreos aquellos que tienen más de 15% de carbonato de calcio en el suelo y que estos necesitan un laboreo profundo para romper el horizonte petrocálcico e implementar un sistema de drenaje que sea eficiente, ya que un porcentaje alto de carbonatos influye de manera negativa en la absorción de P, Fe, Cu o Zn y en el desarrollo de la planta (formación de raíz), ya que generalmente estos suelos tienen bajo contenido de MO y nitrógeno (73). Por otro lado, la presencia de los carbonatos en los T3 y T4 tuvo las funciones básicas de dar un mejor soporte a la estructura física a la planta, por medio de la proporción de una mejor sincronía con el aire de la atmósfera y las temperaturas compatibles con la fisiología del cultivo, facilitando y reteniendo la disponibilidad de agua y proporcionando mayor parte de nutrientes (Ca, Mg, Na y P) esenciales para la planta, es por ello que los cultivos de rabanito fueron los que mostraron un mejor desarrollo en su crecimiento. Además, según Bustamante indica que el humus de

lombriz constituye un neutralizador en los suelos, esto se debe a que los gusanos secretan una sustancia llamada carbonato de calcio, que neutraliza el ácido de la comida (73).

El contenido de materia orgánica del suelo se incrementó significativamente en el suelo contaminado, al cual se le agregó vermicompost, alcanzando valores de 14.739% (tratamiento 3) y 17.943% (tratamiento 4), considerados altos, lo cual se imputa a la dosis del 20% de la enmienda orgánica agregada al suelo, y que aumentó el contenido de carbono, mejorando las funciones del suelo. Según Velásquez (35) la aplicación del vermicompost es favorable, ya que contiene 60% de materia orgánica, de manera que retribuye al suelo degradado. Semejante al estudio reportado por Mamani (28) donde obtuvo resultados con porcentajes altos de MO en los tratamientos donde aplicaron el humus de lombriz. Así mismo, según lo mencionado por Rodríguez (34), dentro de sus resultados logrados, la MO fue uno de los parámetros que presentó variación, existiendo un incremento de 1.08% en presencia de crudo de petróleo donde fue añadido humus respecto al suelo inicial que fue de 2.16%. Se evidencia la efectividad del uso de humus de lombriz que explicaría el incremento de la materia orgánica con un 3.08% respecto al suelo inicial que poseía 2.16%. Además, la MO y las arcillas son capaces de absorber o retener cationes, ya que se pueden comportar como iones de carga negativa, entonces cuanto mayor sea la capacidad de retener los elementos necesarios, aumentará la fertilidad del suelo, esto según Jara (33).

El contenido de P en el suelo contaminado con hidrocarburos a los cuales se les aplicó 3% de petróleo + vermicompost (tratamiento 3) y 6% de petróleo + vermicompost (tratamiento 4), presentaron concentraciones de 61.133 ppm y 42.833 ppm, atribuible al incremento de este nutriente presente en el vermicompost y a la mayor disponibilidad en el suelo, causada por la enmienda orgánica, que favorece la mineralización del P orgánico por incremento de la actividad microbial (53). Según Díaz (36) explica que existe un desequilibrio en el suelo (Niveles altos de C y niveles

bajos de nutrientes inorgánicos), luego de un evento de contaminación por hidrocarburos, es por lo que confirman que el fósforo tiene un papel clave en el proceso de biodegradación (biosintetizar proteínas, metabolitos primarios, entre otros; así como estimular el crecimiento y actividad microbial) en el suelo. Se evidencia en el presente estudio, el carbonato de calcio tiene un alto contenido en los T1 y T2 y que a su vez presentan bajos niveles de fósforo en los mismos tratamientos, afirmando que en suelos calcáreos usualmente hay escasez de fósforo, esto según lo mencionado por la FAO (81). En cambio, un exceso de fósforo puede originar deficiencias como el Zn y Fe. Por el contrario, en mención a la investigación de Rodríguez (34) presenta como resultado de la aplicación de hidrocarburos en el suelo, cambios en sus características fisicoquímicas, en cuanto al fósforo el contenido aumentó en un 8.876 ppm respecto al suelo inicial sin contaminar, cabe resaltar que el suelo utilizado para dicha investigación tenía un pH ácido y bajo porcentaje de MO, los cuales influyeron en el incremento de P al ser contaminados. Así lo indica Andrades (82) que un buen nivel de MO favorece la asimilación del P. Según Borgues, uno de los 3 principales nutrientes que las plantas necesitan para desarrollarse es el fósforo, puesto que interfiere en la fotosíntesis, transportando nutrientes y transmitiendo energía, el cual se evidencia durante toda la parte experimental de los T3 y T4, esto porque el fósforo de las enmiendas orgánicas reaccionó rápidamente, ya que está enlazado a minerales del suelo y su movilidad lenta en el suelo (83).

El contenido de potasio en el suelo contaminado al cual se le agregó vermicompost incrementó significativamente de valores bajos (<100 ppm) en suelos contaminados sin la enmienda orgánica a valores altos (>240 ppm) en suelos con la enmienda orgánica. El efecto en el tratamiento 3 y 4 con respecto al contenido de potasio se debe principalmente a la adición de vermicompost. Esto es causado por la descomposición orgánica en el suelo debido a la mayor actividad microbial y la liberación de K disponible. De acuerdo a los resultados de Blanco (32) indica que el humus de lombriz contiene hasta 2.5 veces más el contenido de potasio en comparación con el estiércol bovino, 25 veces más P y 4

veces más N. Como también afirma que un alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos aumenta la reabsorción de los minerales (P, N, K, Fe, Mg, otros más) que están en el suelo. Si bien conforme se incrementa el contenido de humus de lombriz van aumentando los valores de K, así lo afirma Hidalgo (84). Pero también depende del material parental (33). Se debe tener en cuenta que a más contenido de arcilla es menor el contenido de potasio disponible, un exceso de K puede causar riegos de clorosis (82).

La capacidad de intercambio catiónico experimentó un incremento desde valores moderadamente altos (12-20 meq.100g⁻¹) en suelos contaminados con hidrocarburos sin vermicompost, a valores altos (> 20 meq.100g⁻¹) en los tratamientos con suelos contaminados con hidrocarburos a los que se aplicó vermicompost presentando alta habilidad del suelo de retener nutrientes. Esto se debió al aporte de la materia orgánica que poseía una favorable cantidad de materia orgánica, pero también al suelo utilizado en esta investigación (tabla 7) suelos de alta fertilidad. Según FAO, las arcillas y la materia orgánica son las principales intercambiadoras en propiedades coloidales, si es arenosa limita la habilidad de retener los nutrientes. Pero el vermicompost actúa como un regulador coloidal (44), ya que puede llegar a formar agregados adecuados en el suelo (aglutina suelo arenoso–afloja suelo arcilloso) definiendo los sitios que están disponibles para almacenar cationes que a su vez son protegidos y evitan las pérdidas en caso exista procesos de lixiviación. En la investigación de Martínez y López (30) identifican una variación irregular en los valores de CIC que los relaciona con el efecto de adsorción de los hidrocarburos y las interacciones electrostáticas, pero que presenta una disminución a concentraciones de hidrocarburos mayores a 20 000 mg/kg contaminado con diésel respecto al suelo sin contaminar. Incluso Zamora, Ramos y Arias llegan a concluir que la contaminación con hidrocarburos disminuye la CIC del suelo, en sus resultados que presente el estudio, los tratamientos uno y dos mostraron una disminución significativa respecto al último tratamiento en el que concuerda también con Zamora et al. (85) que lo relacionan a la

interferencia de hidrocarburos en los sitios de intercambio de cationes; mientras aquellos donde se aplicaron vermicompost mantienen valores referenciales al control, efecto que se debe al uso del material orgánico que actúa como favorecedora del estado nutricional del suelo (44), los cationes absorbidos pueden ser intercambiados por los de solución suelo, incluso Garrido (86) menciona que la CIC es capaz de adsorber otros iones, ya sea de residuos de elementos pesados, amoníaco, etc.

Los cationes cambiabiles en el suelo se incrementaron significativamente en los tratamientos de suelos contaminados a los que se les agregó vermicompost, debido a la mayor CIC que aporta la materia orgánica, a su vez incrementa la adsorción de calcio, magnesio, potasio y sodio (87). Según Callupe, la CIC de un suelo puede ser satisfecha mediante los cationes de hidrogeno, o bien por Ca, K, Na y Mg, que se conocen como bases cambiabiles, cuando estas bases son las absorbidas en las micelas coloidales, se dice que el suelo está saturado de bases (44). Mientras que Atacho y otros, indican que el vermicompost aporta nutrientes al suelo (nitrógeno, potasio, fósforo), mejora su calidad fisicoquímica y biológica. Por otro lado, Duran y Henríquez menciona que, debido al aporte de cationes básicos, existe un desplazamiento y disminución del aluminio de la micela coloidal, mejorando la capacidad buffer del suelo y su efecto en la disminución de la acidez (88), con referente a lo mencionado en el presente estudio no hay presencia de aluminio según los resultados obtenidos.

La densidad aparente del suelo contaminado con petróleo a la dosis de 3% y 6%, aumentó significativamente respecto a los mismos tratamientos, pero con vermicompost. Estos resultados estarían relacionados fundamentalmente al contenido de dosis de humus de lombriz quien aportó materia orgánica, favoreciendo el desarrollo de las raíces para posteriormente permitir que se mejoren los valores de densidad del suelo, influyendo en la aireación o circulación de O₂. Además, una variación de la densidad aparente también se asocia con las prácticas de manejo, así lo explica Salamanca et al. (89) en su artículo de

investigación. Según FAO señala, si la densidad de un suelo es alto indica que está compacto, tal como se evidenció en el T1 y T2, determinando un ambiente deficiente limitando el crecimiento y desarrollo de raíces debido a su poca aireación y una baja infiltración de agua. Se determinó (30) el efecto de 3 diferentes hidrocarburos a diferentes concentraciones sobre las propiedades del suelo, respecto a la densidad aparente presenta variaciones mínimas, resultados no influyentes por el contenido de hidrocarburos (100 a $150\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ello se debe a que en suelos arcillosos se conservan los espacios porosos, no usaron ningún material orgánico o bioestimulante. Varios autores señalan a la densidad aparente como una medida de la estructura del suelo, Delgado (90) utilizó como enmienda la gallinaza ($10\ \text{t/h}$), el cual provocó una disminución significativa de DAP ($1.24\ \text{mg}/\text{m}^3$), incremento de MO, la porosidad total, además mejoró significativamente la retención de agua. A comparación del uso de fertilizantes que tiene una DAP de $1.36\ \text{mg}/\text{m}^3$. La adición de vermicompost incrementó proporcionalmente la retención de humedad y el porcentaje de espacio poroso, reduciendo la densidad aparente. Como también mencionan Salamanca et al. (89) que cuando aumenta la DAP se incrementa a su vez la compactación en el suelo. Ya que la DAP es afectada por la materia orgánica (espacio poroso y partículas sólidas), ya que cuando se ve un incremento del espacio poroso y la materia orgánica, disminuye la densidad aparente y viceversa. Se observó que la densidad manifiesta una disminución cuando hay presencia de humus de lombriz (28).

En los resultados obtenidos, los valores de porosidad total no presentan una diferencia significativa, por lo general (44) los suelos ricos en materia orgánica mejoran las condiciones de aireación, infiltración, drenaje y evita su compactación. Asimismo, Mamani (28) e Hidalgo et al. (84) reafirman que, conforme se adiciona el contenido de vermicompost incrementa el porcentaje de espacio poroso y disminuye la DAP. En la investigación de Rodríguez (34) presenta valores similares al presente estudio, en el caso de porosidad total tiene una ligera variación, entendiéndose que el empleo de humus de lombriz en suelos

contaminados con hidrocarburos no fue significativo. Así Delgado (90) y Ríos (55) indican que la actividad de las lombrices por lo general promueve la aireación y porosidad, por ejemplo, mediante la formación de madrigueras y el desplazamiento que realizan las lombrices. Sin embargo, se tienen mejores resultados cuando los suelos tienen una estructura pobre, información que apoya los resultados obtenidos en esta investigación. Mientras en la investigación de Martínez y López (30) se menciona que la porosidad total no tiene una variación significativa en el suelo contaminado con diésel. Pero, aquellos contaminados con gasolina a $150\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, el parámetro disminuye a 7.14% respecto a 44.39% en suelos no contaminados, esto es debido a la disminución a la densidad real.

La capacidad de campo disminuyó significativamente en los tratamientos contaminados con el 3% y 6% de petróleo, mientras que el resto de los tratamientos mantienen el nivel de porcentaje de CC mayor a 40%, siendo el tercer tratamiento superior a todos con 45.336% seguido del cuarto tratamiento con 44.470%. Delgado (90) indica que el uso de enmiendas orgánicas mejora las propiedades del suelo, pero no presenta diferencias entre los dos sistemas empleados (fertilizantes minerales y orgánicos) en cuanto a capacidad de campo. Se evidencia un incremento de CC conforme aumenta el material orgánico (91). Generalmente los suelos arenosos tienen una capacidad de campo de 5% a 16% (91). Pero según Curasi y Luque (92) señalan, a un rango de 12% a 20% corresponde a media baja CC, indicando un suelo con baja capacidad de retener agua, por el contrario, un exceso de humedad provoca mayor compactación del suelo. Los tratamientos donde se aplicaron el vermicompost incluso el T5 mantienen una humedad en óptimas condiciones que permite el buen desarrollo de los macro y microorganismos. Por otro lado, Viñas (5) menciona en sus resultados que en un 40% y 60% de CC se logra un porcentaje de biodegradación del 20-22% de TPH, siendo superiores a los demás tratamientos que solo lograron degradar un 14% de TPH con el 20% y 75% de capacidad de campo, pero al 5% CC no hubo degradación de TPH. Se destaca que a

un 40% de CC se logra una importante disminución de hidrocarburos totales y además de HAP (3 y 4 anillos), biodegradados por la población autóctona del suelo.

Es así como el vermicompost impacta de manera positiva en la mejora del suelo, puesto que es capaz de estabilizar el pH, incrementar los contenidos de P y K, siendo buena fuente de nutrientes, mejorando así el ambiente en general de un suelo contaminado, para que después se produzca la actividad degradante, por parte de las lombrices y los microorganismos. Ello coincide con lo mencionado por Martínez y López (30).

Asimismo, Yolmar (93) indica que la actividad de las lombrices favorece condiciones de aireación, infiltración de agua y el transporte de solutos, incrementando la tasa de degradación, descomposición y mineralización de la MO del suelo y el ciclo de nutrientes. Además, Atacho y otros indican que el humus mejora su calidad física, química y biológica (88). Donde se corrobora que el VC mejora significativamente las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con hidrocarburos.

4.3.3 Vermicompost y el crecimiento del rabanito

En cuanto a la altura de la planta de rabanito es evidente la superioridad significativa en los tratamientos de suelos contaminados con hidrocarburos donde se adicionaron el vermicompost, incluyendo el T control de los valores son mayores a 10 cm respecto a valores de 2.09 y 1.83 cm en suelos contaminados sin VC. Resultados que se atribuyen al efecto de la enmienda orgánica en la descontaminación del suelo con hidrocarburos y favorece el crecimiento de las plantas, similar a lo reportado en la investigación donde se aplicó fitorremediación a suelos contaminados por hidrocarburos y se concluyó que el humus de lombriz ayudó al desarrollo del girasol, teniendo mayor altura y peso seco en relación a otros tratamientos (94). Así mismo, Mamani (28) concluye que la altura de planta fue mayor significativamente en aquellos tratamientos donde se aplicaron humus de lombriz (20.61 cm), indicando ser una

variable fisiológica que se tiene gracias a la acumulación de nutrientes en el tallo, por ello es necesario que los factores como humedad y la disponibilidad de nutrientes sean óptimas, permitiendo el buen desarrollo de la planta. Por otro lado, Blanco (32) aplicó un material orgánico en diferentes estados, es decir, un sustrato líquido y otro sólido en la producción de espinaca, se registra mayor altura de planta en el sustrato sólido con 16.29 cm y 6.86 cm con sustrato líquido. Lo que significa que existe mayor absorción de nutrientes en el sustrato sólido, pero también influye el porcentaje de diferentes NPK. Una información importante es también lo que menciona Carrasco et al., sobre el nitrógeno y el fósforo que incrementa el desarrollo de la altura de planta en ambientes donde existe mayor humedad en el suelo, este último parámetro también favorece la síntesis de compuestos orgánicos (95). El contenido de fósforo es alto en los tratamientos 3 y 4 lo que explica mejores resultados de altura de planta en dichos tratamientos.

Para la longitud de raíz de la planta, el pH en el rango neutro incide en la velocidad de mineralización y de humificación, influyen además en el desarrollo de las plantas (44). Concordante con ello, los resultados fueron superior significativamente en T3 y T4, el rango óptimo de pH permitió la disponibilidad de nutrientes, por otro lado, también se debe al contenido de fósforo el cual fue superior a 42 ppm en los tratamientos con VC, el cual favoreció del desarrollo de la raíz de rabanito en los mismos tratamientos. La tesis de Mamani (28) concuerda con lo mencionado, en su investigación aplicó compost y humus de lombriz para la siembra de rabanito, los resultados que lograron en cuanto a longitud de raíz es que el tratamiento con humus de lombriz presentó 14.90 cm, con el compost 13.51 cm y 12.81 cm de longitud de raíz en el testigo, valores que se debe a los nutrientes que se encuentra en cada bioestimulante orgánico, pero que resultó mejor el uso de humus de lombriz, de esa manera se corrobora la eficiencia VC en la longitud de raíz del rabanito.

En cuanto al tercer indicador de la planta, Hidalgo y otros (84) mencionan en sus resultados que los valores más altos de peso seco

aéreo de parchita se presentaron en los sustratos con vermicompost, sin embargo, entre los tratamientos de fertilización ninguno logró ser mayor al testigo. Se demuestra que el VC crea un efecto positivo sobre el desarrollo aéreo de plantas de rabanito en el presente estudio. Según Borges, este mejor desarrollo podría atribuirse al efecto que tuvo el humus de lombriz en la planta, acelerando el crecimiento y desarrollo del cultivo interfiriendo en la producción de hojas por su suplencia de micronutrientes como el potasio (K) y fósforo (P) contribuyendo directamente en su desarrollo vegetal incrementando el crecimiento de hojas y tallos (56). Blanco (32) señala que el potasio es útil para lograr una gran cantidad de producto y elevar su calidad, pues la planta es más resistente. Además, Callupe (44) indica que el rabanito es más tolerante al contenido de hidrocarburos en comparación con la lechuga y cebolla. En la investigación de Hildebrando (96), menciona que la planta de maíz no logra desarrollarse a una concentración de 21.81 g de TPH/kg en el suelo, en los demás tratamientos obtuvo mayor altura de planta, mayor peso seco radicular y foliar, cuando se adicionaron conjuntamente estiércol más aserrín y hay bajo desarrollo de las variables cuando se emplean por separado.

En cuanto a la materia seca radicular de la planta, Sotelo y Téllez (97) mencionan que esta variable contiene la materia mineral y orgánica, el cual es pesado. En la prueba de Duncan (figura 33) se obtiene alta significancia en el T3 correspondiente a la evaluación del peso seco radicular y a su vez superior a los demás tratamientos gracias al uso del material orgánico, se establecen 3 niveles diferentes, en un segundo nivel el T4 con 20.67 g y T5 con 22.33 g, en un tercer nivel el T1 y T2 con 0,5 g siendo los valores más bajos en cuanto a peso seco radicular, esto se debe al efecto del hidrocarburo presente en el suelo. Otro punto es el contenido de P que está presente en el humus de lombriz en forma de sustancias orgánicas estimulando el crecimiento de la planta favoreciendo al desarrollo de la raíz, que concuerda con lo referido por Rincón et al. (98). Mientras tanto Fleitas et al. (24) dedujeron que la aplicación de enmiendas orgánicas permite tener un mejor desarrollo del sistema

radicular y de su morfología en general. Con lo descrito se evidencia la efectividad del VC en el peso seco radicular.

El crecimiento de rabanito se incrementó significativamente en los tratamientos de suelos contaminados, a los cuales se les agregó vermicompost, como resultado del incremento de MO, mineralización y liberación de nutrientes que beneficiaron para la altura de la planta, la longitud de la raíz, la materia seca de la raíz y la materia seca aérea. Estos resultados son similares a lo reportado en el trabajo de investigación donde se aplicó humus de lombriz en condiciones organopónicas para rabanito, por ello concluyó que el humus de lombriz favorece la fisiología del rábano (24).

Según FAO, los resultados se podrían atribuir que el humus de lombriz posee nutrientes y qué producto de la actividad microbial (excretas, mucus y galerías) incrementa el crecimiento de la planta, ya que favorece la disponibilidad de agua, oxígeno y nutrientes (74), por ejemplo, el P estimula el crecimiento de la raíz y las hojas del rabanito, la presencia de K fue decisiva para que las raíces y tallos sean fuertes. Así mismo se tiene una alta capacidad de CIC, el cual permitió almacenar nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ para la nutrición de plantas (33). La presencia de carbonatos mejoró la fijación de N de la planta del rabanito, el cual se evidenció en los T3 y T4 mostrando mejor producción de hojas, ello es importante en el desarrollo de la planta, puesto que es un componente de los aminoácidos que son unidades estructurales de las proteínas vegetales, un componente en la molécula constituyente de la clorofila que permite la fotosíntesis. En el presente proyecto se deduce que la aplicación de vermicompost sí afectó el crecimiento durante los 62 días de desarrollo del rabanito tal como se muestra en las cuatro variables evaluadas, tienen un comportamiento similar. Corroborando que el uso de la enmienda orgánica incrementa el crecimiento de la planta de rabanito.

CONCLUSIONES

1. El contenido de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) disminuyó en 30.56% en el suelo contaminado con 3% de petróleo, a 7.75% en el suelo contaminado con 6% de petróleo, respecto a sus concentraciones iniciales, que fueron 14774.951 y 22723.875 mg/kg.
2. El vermicompost tiene efectos positivos en cuanto a la mejora de las propiedades fisicoquímicas en un suelo contaminado con hidrocarburos. Los cuales variaron de la siguiente manera en las propiedades físicas, debido a la aplicación de vermicompost:
 - 2.1. La densidad aparente disminuyó significativamente, de 1.383 a 0.957 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en el tratamiento con 3 % de petróleo, y de 1.387 a 0.923 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en el tratamiento con 6% de petróleo.
 - 2.2. La capacidad de campo incrementó significativamente en el tratamiento con 3% de petróleo, de 29.100% a 45.336%; mientras que en el tratamiento con 6% de petróleo, incrementó de 31.799% a 44.4750%.
 - 2.3. No se observaron diferencias significativas en la porosidad total del suelo.
3. Las propiedades químicas de los suelos contaminados con hidrocarburos variaron de la siguiente manera, debido a la aplicación de vermicompost:
 - 3.1. El pH disminuyó significativamente, de 7.433 a 7.24 en el suelo con 3% de petróleo y de 7.397 a 7.147 en el suelo con 6% de petróleo.
 - 3.2. La conductividad eléctrica se incrementó significativamente en los tratamientos con vermicompost, pero dentro de los rangos normales de salinidad, que son menores de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.
 - 3.3. El carbonato de calcio disminuyó significativamente, de 21.883% a 9.65% en el tratamiento 1 y de 21.967% a 7.100% en el tratamiento 2.
 - 3.4. El contenido de materia orgánica se incrementó significativamente, de 5.400% a 14.739% en el suelo con 3% de petróleo y de 5.843% a 17.943% en el suelo con 6% de petróleo.
 - 3.5. La cantidad de fósforo disponible en el suelo contaminado con 3% de petróleo se incrementó significativamente, de 6.400 ppm a 61.133 ppm;

mientras que en el suelo contaminado con 6% se incrementó de 7.300 ppm a 42.833 ppm.

3.6. El potasio disponible se incrementó significativamente, de 86.667 a 997.333 ppm en el suelo con 3% de petróleo y de 83.333 a 943.333 ppm en el suelo con 6% de petróleo.

3.7. La capacidad de intercambio catiónico aumentó significativamente, de 12.587 a 22.080 meq/100 g en el tratamiento con 3% de petróleo y de 13.067 a 21.067 meq/100 g en el tratamiento con 6% de petróleo.

3.8. Los cationes cambiabiles de calcio, magnesio, potasio y sodio, se incrementaron significativamente en los suelos contaminados, debido al incremento de la capacidad de intercambio catiónico y al incremento de su solubilidad.

4. La aplicación de vermicompost incrementa significativamente el crecimiento del rabanito en suelos contaminados con hidrocarburos, ya que influye positivamente en su desarrollo, demostrando una mayor altura de la planta, longitud de la raíz y materia seca de la parte aérea y radicular en los tratamientos donde se emplearon esta enmienda orgánica. El crecimiento del rabanito fue afectado de la siguiente manera:

4.1. La altura de planta se incrementó, de 2.09 a 13.07 cm en el tratamiento con 3% de petróleo, y de 1.83 a 10.83 cm en el tratamiento con 6% de petróleo.

4.2. La longitud de raíz se incrementó significativamente, de 4.79 cm a 15.05 cm y de 2.84 cm a 14.86 cm, en los tratamientos con 3% y 6% de petróleo, respectivamente.

4.3. La materia seca aérea incrementó significativamente, de 1.03 a 9.67 g en el tratamiento con 3% de petróleo, y de 0.47 g a 8.00 g en el tratamiento con 6% de petróleo.

4.4. La materia seca de la raíz se incrementó significativamente, de 0.50 g a 38.00 g y de 0.50 g a 20.67 g en los tratamientos con 3% y 6% de petróleo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aplicar vermicompost a suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo para removerlos, debido a la disminución del contenido de TPH, su efecto en la mejora de las propiedades del suelo y además por ser una tecnología de fácil manejo y bajo costo.
2. Realizar ensayos en suelos contaminados con hidrocarburos, utilizando diferentes dosis de vermicompost, con fines de calcular la dosis que maximiza la remoción de hidrocarburos.
3. Aplicar otras enmiendas orgánicas a suelos contaminados con hidrocarburos para evaluar la fuente que remueve mayor cantidad de hidrocarburos.
4. Se recomienda evaluar la conductividad eléctrica que posee el humus de lombriz previo a su utilización y a su posterior aplicación al suelo, puesto que los efectos del alto contenido de sales redujeron las mejoras en las propiedades del suelo y restringiendo su potencial remediador en suelos contaminados.
5. En suelos de textura gruesa o suelos arenosos sería recomendable evaluar el tipo de sistema de riego, ya que es necesario aplicar dosis muy bajas de agua en cada riego y una mayor frecuencia de aplicación de nutrientes para no perderlos por lixiviación.
6. Sembrar vegetales, junto con vermicompost en suelos contaminados con hidrocarburos, con fines de revegetación.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **VÁSQUEZ CORDANO, Arturo.** *La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: el Segmento Upstream del Sector Petrolero.* Lima : s.n., enero de 2005, Oficina de estudios económicos OSINERG.
2. **TRUJILLO TORO, María Alejandra y RAMÍREZ QUIRAMA, Juan Fernando.** *Bioremediation in soil contaminated with hydrocarbons in Colombia.* 2, Colombia : Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2012, Vol. 3.
3. **AGUDO, Antonio.** *Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) Acercamiento a su problemática como riesgo laboral.* España : Instituto Catalán de Oncología, 2010, MCA-UGT, Secretaria de Salud Laboral y Medio Ambiente.
4. **CASTRO VARELA, Gustavo.** *Informe final de diseño del monitoreo frente a derrames de hidrocarburos.* Quillota. Chile : Prasa, 2007.
5. **VIÑAS CANALS, Marc.** *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica.* Departament de Microbiologia. Barcelona : Universidad de Barcelona, 2005.
6. **RODRÍGUEZ EUGENIO, N., MCLAUGHLIN, M. y PENNOCK, D.** *Soil Pollution: A Hidden Reality.* Roma : FAO - Food and agriculture organization of the united nations, 2019. ISBN: 978-92-5-130505-8.
7. **KOUROUS, George.** Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea] 2 de mayo de 2018. [Citado el: 18 de octubre de 2019.]
<http://www.fao.org/news/story/es/item/1127218/icode/>.
8. **LIRA SEGURA, J.** Flujo vehicular creció 7.1% en abril a nivel nacional. [En línea] Diario Gestión, 20 de junio de 2018. [Citado el: 28 de enero de 2021.]
<https://gestion.pe/economia/flujo-vehicular-crecio-7-1-abril-nivel-nacional-236416-noticia/>.
9. **PIGRAU, Antoni y CARDESA SALZMANN, Antonio.** *Acciones entrelazadas contra daños ambientales graves: el impacto de Shell en Nigeria.* Nigeria : Derecho PUCP, 2013. 2 17-240.

10. **ALONSO, Judith.** Derrames de petróleo en América Latina: el Golfo de México solo fue el comienzo. [En línea] América Latina, 7 de mayo de 2020. <https://www.dw.com/es/derrames-de-petr%C3%B3leo-en-am%C3%A9rica-latina-el-golfo-de-m%C3%A9xico-solo-fue-el-comienzo/a-53364260>.
11. **Ministerio de Energía y Minas.** Hidrocarburos, Dirección de Asuntos Ambientales. [En línea] 2017. [Citado el: 19 de octubre de 2019.] http://www.minem.gob.pe/_sector.php?idSector=22.
12. **Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.** Memoria Institucional OEFA 2017. [En línea] 2018. <http://repositorio.oefa.gob.pe/handle/123456789/91>.
13. **PRAELI SIERRA, Yvette.** Mongabay Latam. *Nuevo informe indica que más de 400 derrames de petróleo afectaron la Amazonía Peruana.* [En línea] Periodismo ambiental independiente, 27 de agosto de 2020.
14. **FOWKS, Jacqueline.** Los afectados por derrames de petróleo en la Amazonía peruana tienen metales pesados en el cuerpo. *El País.* EL PAIS S. L., 2018.
15. **VELÁSQUEZ ARIAS, J.** *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación.* 1, Casanare: Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2017, Vol. 8.
16. **Visión compartida.** *Incumplen empresas mineras y de hidrocarburos la normativa ambiental.* Cerro de Pasco: s.n., 30 de enero de 2015, Visión Compartida.
17. **JULCA OTINIANO, A., MENESES FLORIÁN, L. y BELLO AMEZ, S.** *La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura.* Lima: Idesia, 2006, Vol. 21, págs. 49-61.
18. **ALDABE, S., ARAMENDIA, P. y BONAZZOLA, C.** *QUÍMICA 2: Química en acción.* Buenos Aires: Colihue, 2004. ISBN: 950-581-344-9.
19. **BAUTISTA CRUZ, A., y otros.** *La calidad del suelo y sus indicadores.* 2, Oaxaca - México: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente - Ecosistemas, 2004, Vol. 13. 1697-2473.
20. **CARAVACA, F. y ROLDAN, A.** *Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid*

- Mediterranean conditions*. 1-2, Spain : ScienceDirect - Elsevier, 2003, Vol. 117. 0016-7061.
21. **RICO CERDA, José Luis, y otros.** *Recuperación de un suelo contaminado por una mezcla de hidrocarburos*. 2, México : s.n., 2020, Journal of the Selva Andina Research Society, Vol. 11, págs. 75-83.
 22. **FERNÁNDEZ, C., y otros.** *Influencia de la Eisenia foetida y de sustratos orgánicos como agentes bioestimulantes en la biodegradación de un suelo contaminado con petróleo pesado*. 5, Venezuela : Información Tecnológica, 2009, Vol. 20, págs. 19-30.
 23. **CONTRERAS RAMOS, Silvia, ALVAREZ BERNAL, Dioselina y DENDOOVEN, Luc.** *Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (Eisenia fetida)*. 7, México : Elsevier Ltd. All rights reserved, 16 de Mayo de 2008, ScienceDirect, Vol. 40, págs. 1954-1959. 0038-0717.
 24. **FLEITAS, Mario, BENITEZ, Talhita y CASTILLO, Rafael.** *Evaluación de humus de lombriz y estiércol bovino en la producción de rábano (Raphanus sativus L.) en condiciones de organopónico*. Cuba : s.n., 2013, Revista científica Pakamuros, Vol. 1.
 25. **BORGES MARTINEZ, José, COLOMBO, Pedro y HERNANDEZ VALENCIA, Ismael.** *Uso de humus de lombriz para la biorremediación de suelos mezclados con ripios de perforación impregnados con crudo pesado*. 2, Venezuela : UVC, Diciembre de 2014, Acta biológica Venezuela, Vol. 34, págs. 153-165.
 26. **TRUJILLO NARCIA, Antonio, y otros.** *Parámetros biológicos de la restauración de suelos contaminados por petróleo crudo*. 2, México : s.n., 2014, Ecosistemas y recursos agropecuarios, Vol. 1. 2007-9028.
 27. **GÓMEZ GRANDE, P. y PEREZ SARMENTERO, J.** *Efectos sobre el cultivo de rábano rojo (Raphanus sativus, L) de tres fertilizantes orgánicos*. Madrid : s.n., 2008, Universidad Politécnica de Madrid.
 28. **MAMANI ALIAGA, Roxana.** *Evaluación del cultivo de rábano chino (Raphanus sativus L.) con la aplicación de compost y humus de lombriz a dos densidades de siembra bajo condiciones atemperadas en la zona Achumani, Municipio de la Paz*. Bolivia : UMSA, 2015. Tesis.

29. **RODRÍGUEZ OCHOA, Erika Paola.** *Biorremediación de los suelos contaminados con hidrocarburos provenientes de la estación de Secoya, utilizando un consorcio bacteriano aerobio a escala de laboratorio.* Ecuador : s.n., 2018. Tesis.
30. **MARTÍNEZ, Víctor E. y M., LÓPEZ S.** *Efecto de hidrocarburos en las propiedades fisicoquímicas de suelo arcilloso.* Chapingo : Terra Latinoamericana, 2001. págs. 9-17, Tesis.
31. **ORTEGA ORJUELA, Ivonne Andrea y QUIROGA DÍAZ, Nicolás Andrés.** *Evaluación de la eficiencia de tres procesos de biorremediación en suelos contaminados con petróleo, mediante la determinación de la concentración letal 50 (CL50) en la lombriz californiana, Eisenia foetida (Lombricidae).* Universidad Santo Tomas. Bogotá : s.n., 2019. Tesis.
32. **BLANCO ARGUEDAS, Jamila Beatriz.** *Evaluación de dosis de caldo de humus de lombriz bajo dos sustratos (sólido y líquido) para la producción de espinaca (Spinacea oleracea L.) en ambiente protegido.* Universidad Mayor de San Andrés. La Paz - Bolivia : s.n., 2019. Tesis.
33. **JARA VILCA, Rocío.** *Caracterización de suelos afectados por derrame de hidrocarburos en el centro poblado Nueva Esperanza, distrito de Nieva, Amazonas, Perú, 2018.* Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas : s.n., 2019. Tesis.
34. **RODRIGUEZ BERNA, P.** *Efecto del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminado con crudo de petróleo Ucayali, Perú.* Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa : s.n., 2018. Tesis.
35. **VELÁSQUEZ CAYETANO, Henry Cristian.** *Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) a partir del precompost orgánico, para la mejora de un suelo degradado y su verificación en el cultivo de rabanito (Raphanus sativus) en la localidad de la esperanza – Huánuco 2018.* Universidad de Huánuco. Huánuco : s.n., 2019. Tesis.
36. **DÍAZ DÍAZ, Javiera Fernanda.** *Biorremediación de suelos contaminados por petróleo.* Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar - José Miguel Carrera : s.n., 2019.
37. **MARTÍNEZ , Froylán, y otros.** *El suelo y el petróleo: estudio de caso de biorremediación en pasivo ambiental de Papantía.* México : Instituto de Ecología A. C., 2018. pág. 30. 978-607-7579-80-9.

38. **SADZAWKA, R.** Portal biblioteca INIA. *Química farmacéutica*. [En línea] Tierra adentro.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/5629/NR23500.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
39. **MENDIOLA, Brack.** La zonificación ecológica económica potencial de los suelos. *Midagri*. [En línea] Ministerio de Agricultura y Riego, 2015.
<https://www.midagri.gob.pe/portal/43-sector-agrario/suelo>.
40. **BEMBIBRE, Cecilia.** Definición de suelo agrícola. [En línea] Definición ABC, febrero de 2011. <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/suelo-agricola.php>.
41. **TENORIO CALDERÓN, Federico.** R. M. N.º 0322 - 2020 - MIDAGRI - Oficializan el mapa Nacional de Superficie Agrícola del Perú. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. [En línea] El Peruano, 24 de diciembre de 2020.
<https://noticia.educacionenred.pe/2020/12/rm-0322-2020-midagri-oficializan-mapa-nacional-superficie-agricola-peru-214814.html>.
42. **XIONG, J.** *Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (Paulownia fortunei)*. Sevilla: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla - IRNAS, 2015.
43. **JIMÉNEZ HERNÁNDEZ, Verónica.** *Desarrollo de una metodología mediante acoplamiento de bioaumentación, bioestimulación y bioventeo para la remediación de un suelo costero contaminado con hidrocarburos intemperizados*. CIATEC. Guanajuato, México: Revista internacional de contaminación ambiental, 2018.
44. **CALLUPE VARGAS, Natalie Juana.** *Determinación de la toxicidad en suelos contaminados por hidrocarburos mediante bioensayos con semillas de luchuga (Lactuca sativa L.), cebolla (Allium cepa L.) y rabanito (Raphanus sativus L.)*. Huánuco, Facultad de recursos naturales renovables. Escuela profesional de ingeniería ambiental. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2018.
45. **Gobierno de España.** Ministerio para la Transición Ecológica. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de octubre de 2019.]

https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/impacto_ambiental.aspx.

46. **CASTRO VARELA, Gustavo.** *Diseño Monitoreo Frente Derrames de Hidrocarburos.* Quillota : Gobierno de Chile, 2007.
47. **CHOURIO, Hawaian.** *Hidrocarburos aromáticos alogenados - Hidrocarburos poliaromáticos - Isocianatos - Cetonas.* Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. s.l. : Universidad de Zulia, 2020.
48. **MUÑOZ VITOR, Jim Maycol y PACHECO MIRANDA, Mabel.** *Colonias bacterianas presentese en el estiércol de gallinas blancas de la cepa leghrn responsables de la biodegradación de petróleo en suelos contaminados.* Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Wiener. Lima : s.n., 2017.
49. **BORRAS CARNERO, G.** Efectos de los hidrocarburos en la salud humana. *Blog dedicado al medio ambiente y los recursos naturales.* [En línea] 7 de mayo de 2011. [Citado el: 18 de octubre de 2019.] <http://econatural-sva.blogspot.com/2011/05/efectos-de-los-hidrocarburos-en-la.html>.
50. **VILLAR NAVARRO, María.** *Determinación y distribución de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el tratamiento de lodos de EDAR.* Facultad de Química, Universidad de Sevilla. Sevilla : s.n., 2004.
51. **MARTÍNEZ SEPÚLVEDA, José Alejandro, y otros.** *Remediación de suelos contaminados: fundamentos y casos de estudio.* Bogotá : Universidad EAN, 2019.
52. **CELESTE FERNÁNDEZ, María, LLOBREGAT, Henry y BONNIE, Sien.** *Influencia de la Eusenia foetida y de sustratos orgánicos como agentes bioestimulantes en la biodegradación de un suelo contaminado con petróleo pesado.* 5, Carabobo : Información tecnológica, 2009, Vol. 20, págs. 19-30. 0718-0764.
53. **MUNIVE CERRÓN, Rubén Víctor.** *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de stevia y fitorremediación.* Ingeniería y ciencias ambientales. Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018.
54. **CUTIPA CHURA, Z.** *Efecto de excreta de lombriz y biol vs. fertilizantes químicos sobre rendimiento y calidad de tubérculos de papa nativa*

- (*Solanum tuberosum spp andigena*). Especialidad agroecología. Puno : Universidad Nacional del Altiplano - Puno, 2007.
55. **RÍOS, Yolmar.** *Importancia de las lombrices en la agricultura.* s.l. : Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.
 56. **BORGES, J., y otros.** *Efecto de la fertilización foliar con humus líquido de lombriz durante el aviveramiento de la morera (*Morus alba L.*).* 3, San Felipe : Bioagro, 2014, Vol. 26. 1316-3361.
 57. **SÁNCHEZ GUTIÉRREZ, Fredd Oliver.** *Evaluación de la eficiencia de un biofertilizante de residuos orgánicos en relación a otras fuentes de fertilización en el desarrollo del cultivo de Rábano (*Raphanus sativus L.*).* Lima : Universidad Peruana Unión, 2018.
 58. **Ministerio del Ambiente.** *Guía para muestreo de suelos.* Lima, Dirección general de calidad ambiental. San Isidro : El Peruano, 2014.
 59. **RIVERA ORTÍZ, Patricio, CASTRO MEZA, Blanca y DE LA GARZA REQUENA, Francisco.** *Clorosis férrica en cítricos y fertilización foliar.* 1, Victoria, Tamaulipas, México : Tierra latinoamericana, 2009, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Vol. 27.
 60. **Madrid Innova - Repsol YPF - Comunidad de Madrid.** El petróleo. *El recorrido de la energía.* [En línea] 2002. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>.
 61. **NUÑEZ LÓPEZ, Roberto Aurelio, y otros.** *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.* México : Biotecnología y biología molecular, 2004.
 62. **KROGMEIER, M. J., MCCARTY, G. W. y BREMNER, J. M.** *Phytotoxicity of foliar-applied urea.* 21, USA : Proceedings of the National Academy of Sciences, 1989, Vol. 86.
 63. **LIFSHITZ, L. D. LANDAU, E. M.** *Electrodynamics of Continuous Media.* Oxford : Pergamon, 1984. ISBN: 978-00-08-030275-1.
 64. **CUEVAS BECERRA, J.** *Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos.* 2, Santiago de Chile : R.C.Suelo Nutr. Veg, 2006, Vol. 6, págs. 13-27. 0718-2791.
 65. **JANSEN, H.** Indicadores. [En línea] ONU MUJERES, 31 de octubre de 2010. <https://www.endvawnow.org/es/articles/336-indicadores.html>.

66. **INIA.** Ficha técnica 34. *Determinación de la materia seca de una pastura.* [En línea] <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11189/1/Ficha-tecnica-34-Determinacion-de-MS-de-una-pastura.pdf>.
67. **RODRÍGUEZ JIMÉNEZ, A. y PÉREZ JACINTO, A.** *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento.* 82, Bogotá : Revista Escuela de Administración de Negocios [en línea], 2017, págs. 179-200.
68. **Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA.** *Manual Técnico “Lombricultura a techo a dos aguas”.* Lambayaque : Minagri, 2013.
69. **ROMAN, Pilar, MARTÍNEZ, María y PANTOJA, Alberto.** *La lombricultura.* Santiago de Chile : FAO, 2013.
70. **VARGAS CORDERO, Z. R.** *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia.* 1, San Pedro : Educación, 2009, Vol. 33, págs. 155-165.
71. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, P.** *Metodología de la investigación.* Mexico D. F. : McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-607-15-0291-9.
72. **MARTÍNEZ PRADO, Adriana, y otros.** *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes.* 3, México : Revista internacional de contaminación ambiental, 2011, Vol. 27. 0188-4999.
73. **BUSTAMANTE CARRIÓN, Manuel Enrique.** *Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo en un cultivo de maíz del distrito de Orcotuna, Concepción - 2016.* Junín. Huancayo : Universidad Continental, 2018.
74. **HERNÁNDEZ CASTELLOS, Benito.** *Uso de lombrices de tierra en la remediación de suelos contaminados por Hidrocarburos.* Universidad Veracruzana. s.l. : Instituto de Biotecnología y Ecología, 2013.
75. **BACA LLONTOP, Katty Yesenia.** *Eficiencia de la bioaugmentación y bioestimulación en la biodegradación de petróleo por bacterias nativas, provincia de Talara, región Piura.* Trujillo : s.n., 2019.
76. **GÓMEZ BRANDÓN, María, y otros.** *Papel de las lombrices de tierra en la degradación del bagazo de uva: efectos sobre las características químicas y la microflora en las primeras etapas del proceso.* 2, México : Acta zoológica mexicana, Enero de 2010, Vol. 26. 2448-8445.

77. **VIZUETE GARCÍA, Ricardo Abel, y otros.** *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos.* 1, 2020, Revista Lasallista de Investigación, Vol. 17.
78. **MARTÍNEZ BORGES, José, COLOMBO, Pedro y HERNÁNDEZ VALENCIA, Ismael.** *Uso de humus de lombriz para la biorremediación de suelos mezclados con ripios de perforación impregnados con crudo pesado.* 2, Venezuela : Acta biológica venezolana, 2014, Vol. 34. 153-165.
79. **MEDHA, Joshi y SUNGGYU, Lee.** *Efecto de las enmiendas de oxígeno y el pH del suelo en la biorremediación de suelos contaminados industrialmente.* [ed.] Departamento de ingeniería química. 3, s.l. : Universidad de Akron, 16 de Mayo de 2007, Vol. 18.
80. **SHARPLEY, Andrew.** *Effect of soil pH on cation and anion solubility.* s.l. : Communications in Soil Science and plant analysis, 2008, Vol. 22, págs. 827-841.
81. **FAO.** *El manejo de suelos calcáreos.* s.l. : Portal soil.
82. **ANDRADES, Marisol.** Material didáctico: Agricultura y alimentación. *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen.* [En línea] 2014. 978-84-695-9286-1.
83. **AZABACHE LEYTÓN, A.** *EDAFOLOGIA.* Huancayo : Universidad Continental, 2013.
84. **HIDALGO LOGGIODICE, Pablo Ricardo, SINDONI VIELMA, María y MARÍN, Carlos.** *Evaluación de sustratos a base de vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (Passiflora edulis v. flavicarpa) en vivero.* 1, Aragua : Revista UDO Agrícola, 2009, Vol. 9, págs. 126-135.
85. **ZAMORA, Alejandra, RAMOS, Jesús y ARIAS, Marianela.** *Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana.* 1, Caracas : Bioagro, 2012, Vol. 24, págs. 5-12. 1316-3361.
86. **GARRIDO VALERO, Soledad.** *Interpretación de análisis de suelos.* [ed.] Secretaría general de estructuras agrarias. s.l. : Ministerio de agricultura pesca y alimentación, Vol. 5.
87. **Intagri S. C.** *La capacidad de intercambio catiónico del suelo.* 2021.

88. **ATACHO, Pierina, y otros.** *Uso de soluciones de vermicompost para la biorremediación de un suelo ácido en la sierra de San Luis - Venezuela.* s.l. : Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", 21 de abril de 2017, A.S.A. 2343-6115.
89. **SALAMANCA JIMÉNEZ, Alveiro y SADEGHIAN KHALAJABADI, Siavosh.** *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana.* 4, Chinchiná, Caldas : Centro nacional de investigación de café - Cenicafé, 2005, Vol. 56, págs. 381-397.
90. **DELGADO LONGOÑO, Diana María.** *Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica.* 17, Santiago de Cali : Lámpsakas, 1 de Noviembre de 2017, págs. 77-82. 2145-4086.
91. **CANTERO FLORES, Anabel, y otros.** *Composta elaborada con residuos verdes como mejorador de un suelo urbano.* 2, Ciudad de Mexico : Ingeniería agrícola y biosistemas, 2016, Vol. 8. 2007-4026.
92. **LUQUE SONCCO, Mayra y CURASI RAFAEL, Mayra.** *Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz.* Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela profesional de ingeniería ambiental. Juliaca : Universidad Peruana Unión, 2019.
93. **YOLMAR RÍOS, S.** *Importancia de la lombrices en la agricultura.* s.l. : Sistemas integrdos de producción con no rumiantes.
94. **BUENDIA RIOS, Hildebrando, y otros.** *Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo.* Lima : UNMSM, 2014.
95. **CARRASCO NINA, Karen Eloiza, CHILON CAMACHO, Eduardo y MENA HERRERA, Carlos.** *Efecto de tres niveles de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de espinaca (Spinacea oleracea L.) en el Centro Experimental Cota Cota.* 1, La Paz : Revista de investigación e innovación agropecuaria y de recursos naturales, 2018, Vol. 5, págs. 79-88. 2409-1618.
96. **HILDEBRANDO BUENDÍA, R.** *Bioremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol.* 30, Lima : Instituto de investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, 17 de Julio de 2013, Vol. 15, págs. 123-130.

- 97. SOTELO REYES, Marvin Gustavo y TÉLLEZ PÁRAMO, Joge Alberto.** *Efecto de distintos porcentajes de humus de lombriz, compost y suelo, como sustrato en la producción de plántulas de café (Coffea arabica L) variedad caturra.* Facultad de agronomía. Departamento de producción vegetal. Managua, Nicaragua : Universidad Nacional Agraria, 2007.
- 98. RINCON, J, GALLARDO, Y y LEAL, M.** *Efecto de la relación calcio:fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium (willd).* 2, Barquisimeto : Bioagro, 2003, Vol. 15.
- 99. PERÚPETRO.** Precio del petróleo y producción nacional. *Petróleo y gas despues del COVID 19.* [En línea] 23 de Junio de 2020. https://www.perupetro.com.pe/wps/wcm/connect/corporativo/0d7954bd-3721-450d-8628-ce05c0df69ae/PERUPETRO+PERU+ENERGIA_OG+after+COVID_JUN232020+%282%29.pdf?MOD=AJPERES.
- 100. GOBIERNO REGIONAL PASCO.** *Plan vial departamental participativo de Pasco 2010 - 2019.* Gerencia regional de planeamiento, presupuesto y acondicionamiento territorial. Cerro de Pasco : Gobierno Regional Pasco, 2010. pág. 46.
- 101. CARRILLO ROJAS, Jorge.** Pluspetrol Norte anuncia su liquidación y abandona recuperación de sitios contaminados em tierras indígenas. [En línea] OJO PÚBLICO, 21 de 12 de 2020. <https://ojo-publico.com/2352/pluspetrol-norte-busca-liquidarse-y-no-recuperar-sitios-contaminados>.
- 102. CAPILLO, Geraldo.** Derrame de petróleo en Amazonía afecta a miles de personas. [En línea] Expreso, 02 de 11 de 2020. <https://www.expreso.com.pe/actualidad/derrame-de-petroleo-en-amazonia-afecta-a-miles-de-personas/>
- 103. DE LA TORRE, Karen.** Los derrames de petróleo crónicos e incalculables en las costas de Piura y Tumbes. [En línea] RPP - Mongabay Latam, 07 de 11 de 2019. <https://rpp.pe/blog/mongabay/los-derrames-de-petroleo-cronicos-e-incalculables-en-las-costas-de-piura-y-tumbes-noticia-1228622>.
- 104. Agencia EFE.** Riesgos ambientales. *El precio del petróleo en la Amazonia: cientos de derrames de petróleo.* [En línea] El Espectador, 15 de 08 de

2020. <https://www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/el-precio-del-petroleo-en-la-amazonia-cientos-de-derrames-de-petroleo/>

ANEXOS

Anexo 1
Panel fotográfico



Figura 35. Recolección de muestras de suelo agrícola



Figura 36. Secado de muestra de suelo al aire libre



Figura 37. Tamizado de toda la muestra de suelo agrícola



Figura 38. Muestra de suelo tamizado



Figura 39. Preparación de muestras para enviar - pesado de suelo



Figura 40. Preparación de muestras para enviar – medición de petróleo



Figura 41. Preparación de muestras para enviar – mezcla



Figura 42. Preparación de muestras para enviar - se agrega agua



Figura 43. Muestras listas para enviar



Figura 44. Rotulado de maceteros según sus tratamientos



Figura 45. Pesado del suelo agrícola en cada macetero



Figura 46. Maceteros preparados con suelo agrícola



Figura 47. Medición de petróleo e incorporación en maceteros (-T5)



Figura 48. Adición de VC en los maceteros (T4 y T5) peso de 20%



Figura 49. Se agrega agua para alcanzar la capacidad de campo



Figura 50. Siembra de rabanito (*Raphanus sativus* L.)



Figura 51. Riego



Figura 52. Proceso de crecimiento de rabanito (*Raphanus sativus* L.)



Figura 53. Desahije de las plantas (plantas/ macetero)



Figura 54. Rotulación de bolsas Ziploc y bolsas de papel Kraft



Figura 55. Cosecha y limpieza de la raíz en agua



Figura 56. Colocación de plantas en bolsas de papel Kraft



Figura 57. Pesado del total de plantas de cada UE (Biomasa fresca)

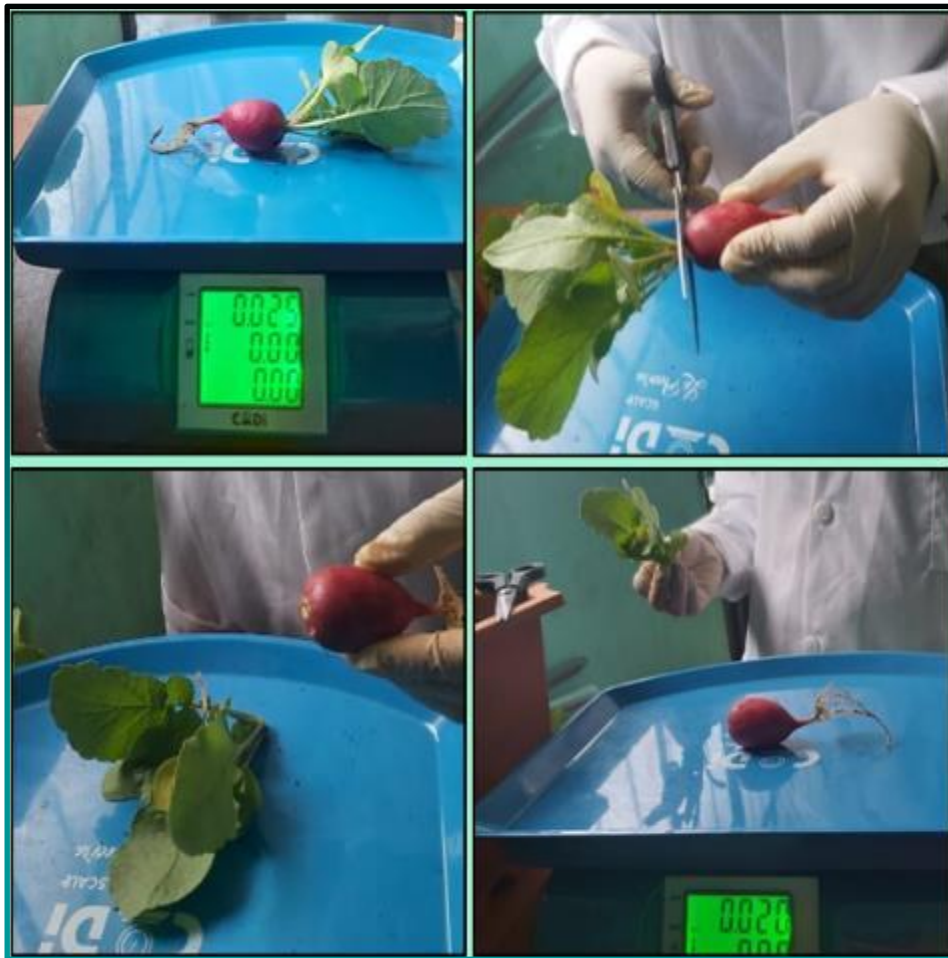


Figura 58. Corte parte aérea de la parte radicular



Figura 59. Peso total de la parte aérea de cada UE (Biomasa fresca)



Figura 60. Peso total de la raíz de cada UE (B. fresca)



Figura 61. Medición de altura y longitud



Figura 62. Peso – materia seca



Figura 63. Peso total de la parte aérea de cada UE (Materia seca)



Figura 64. Peso total de la raíz de cada UE (Materia seca)



Figura 65. Secado de suelo



Figura 66. Preparación de muestras para enviar



Figura 67. Muestras de suelo para enviar analizar



Figura 68. Muestras empaque cajas listas para enviar a 3 laboratorios



Figura 69. Efectos de los hidrocarburos

Anexo 2

Ficha de seguridad



Ficha de Datos de Seguridad

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO E INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

1.1 NOMBRE DEL PRODUCTO	: DIESEL B5 S-50
1.2 SINÓNIMOS	: Combustible Diesel.
1.3 USO RECOMENDADO	: Combustible para motores Diesel y sistemas de generación de energía.
1.4 DATOS DEL PROVEEDOR	
Empresa	: Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.
Dirección	: Av. Enrique Canaval Moreyra 150, Lima 27 - Perú
Teléfonos	: (01)614-5000, (01)630-4000, (01)630-4079 0800 77 155
Portal Empresarial	: http://www.petroperu.com.pe
Correo electrónico	: servcliente@petroperu.com.pe
1.5 TELÉFONO DE EMERGENCIA	: (01) 614-5000, anexo 11444, celular 944-944-667 Horario de atención: 24 horas.

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

2.1 CLASIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O MEZCLA

2.1.1 Peligros físicos

Líquido inflamable: Categoría 3

2.1.2 Peligros para la salud

Peligro por aspiración: Categoría 1

Corrosión/Iritación cutánea: Categoría 2

Toxicidad aguda por inhalación: Categoría 4

Carcinogenicidad: Categoría 2

Toxicidad específica en órganos diana: Categoría 2

2.1.3 Peligros para el ambiente

Peligro para el ambiente acuático: Categoría 2

2.2 ELEMENTOS DE LAS ETIQUETAS

2.2.1 Pictograma



Palabra de advertencia: Peligro

2.2.2 Códigos de indicación de peligros

H226: Líquidos y vapores inflamables.

H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

H315: Provoca irritación cutánea.

Ficha de Datos de Seguridad

H332: Nocivo en caso de inhalación.
H351: Se sospecha que provoca cáncer.
H373: Puede provocar daño en los órganos tras explosiones prolongadas o repetidas.
H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

2.2.3 Códigos de consejos de prudencia

Prevención

P210: Mantener alejado del calor, de superficies caliente, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.

P261: Evitar respirar polvos/humos/gases/nieblas/vapores/aerosoles.

P280: Usar guantes, ropa de protección, equipos de protección, para los ojos, la cara, los oídos.

Intervención

P301+P310: EN CASO DE INGESTIÓN: llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o un médico.

P331: No provocar el vómito.

Eliminación

P501: Eliminar el contenido/recipiente conforme a la reglamentación local.

2.3 OTROS PELIGROS

No indicados.

3. COMPOSICIÓN

El Diesel B5 S-50 presenta un contenido máximo de 50 mg/Kg (ppm) de azufre y está constituido por una mezcla de:

Componentes	% Vol.
Diesel N°2: Mezcla compleja de hidrocarburos, cuya composición consta de cadenas carbonadas que contienen entre 9 y 30 carbonos (C9-C30) aprox.	95
Biodiesel (B100): Se compone principalmente de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (FAME: Mín. 96.5% Masa).	5

4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos: Lavar con abundante agua por aprox. 15 minutos.

Contacto con la piel: Lavar el área afectada con agua y jabón. Quitar la ropa contaminada lo antes posible y lavarla antes de un nuevo uso o desechar de ser necesario.

Inhalación: Trasladar inmediatamente a la persona afectada hacia un ambiente con aire fresco. Administrar respiración artificial o resucitación cardiopulmonar de ser necesario.

Ingestión: Actuar con rapidez. No inducir al vómito a fin de evitar que el producto ingrese a los pulmones por aspiración. Mantener en reposo a la persona afectada.

4.2 SÍNTOMAS Y EFECTOS MAS IMPORTANTES

Contacto con los ojos: Irritación, conjuntivitis si la exposición es prolongada.

Anexo 3

Informe de análisis

Resultados del análisis de vermicompost



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : WENDY RUTH ESPÍRITU CANCHARI
PROCEDENCIA : PASCO/ DANIEL ALCIDES CARRIÓN/ YANAHUANCA
MUESTRA DE : VERMICOMPOST
REFERENCIA : H.R. 74202
BOLETA : 4532
FECHA : 18/05/2021

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
242	VC	7.65	12.00	32.28	2.01	2.25	1.36

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
242	VC	8.05	1.16	39.73	0.18



B. La Torre Martínez
Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Resultados del análisis de hidrocarburos totales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 0419 – 21 – LABICER

- 1. DATOS DEL SOLICITANTE**
- 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
1.2 D.N.I. : 72953983
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
- 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
- 4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
- 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
4.5 CÓDIGO : ANÁLISIS INICIAL / SCP_3
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
- 7. EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido, Wisd, WUC-D10H
- 8. RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	14774.951	EPA 3550 C

- 9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI




M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable del análisis
Jefe de Laboratorio
CCP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0420 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZÓN SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : ANÁLISIS INICIAL / SCP_8
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wsd, WJC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	22723.675	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante de servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UNI



Cc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CQP 202

El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la preparación de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0421 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANALISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANA-HUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T1-I / SCP_3
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido, Wsd, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	14249.541	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Ulano Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UNI



M. Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 COP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0422 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZÓN SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T1-II / SCP_3
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wsd, WJC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	10517.960	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


 Bach. Jesús Utano Reyes
 Analista Químico
 LABICER –UNI



 M.Sc. Dilia Achá de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0423 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZÓN SOCIAL : WENDY ESPIRITU GANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBURS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T1-III / SCP_3
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21,6 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido: Wsd, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	13085.398	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante de servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Ulano Reyes
 Analista Químico
 LABICER –UNI



M. Sc. Otilia Adria de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0424 – 21 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T2-1/SCP_8
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C, Humedad relativa: 66 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido, Wisd, WJC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	21216.756	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra presentada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Royes
 Analista Químico
 LABICER – UNI

Msc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CCP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0425 - 21 - LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZÓN SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES GARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T2-II / SCP_6
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wist, WJC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/Kg de muestra)	21900.784	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra presentada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Ulano Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UNI



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CCP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0426 - 21 - LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZÓN SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES GARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T2-11 / SCP_6
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wisd, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	2'438.468	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UN



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CCP 202

El laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0427 – 21 – LABICER**

- 1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72353963
- 2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
- 3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
- 4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T3-I/ SCP_3+VC_20
- 5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
- 6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
- 7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wisc, WUC-D1GH
- 8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	9523.337	EPA 3550 C

- 9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante al servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable del análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 202


(*) El Laboratorio no es responsable del muestreo ni de la procedencia de la muestra

**INFORME TÉCNICO N° 0428 – 21 – LABICER**

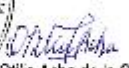
1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953863
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T3-II / SCP_3+VC_20
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C, Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido, Wisd, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	11321.894	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI




M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable del análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0430 – 21 – LABICER

- 1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
- 2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
- 3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
- 4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T4-1/ SCP_8-VC_20
- 5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
- 6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
- 7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wsd, WUC-D10H
- 8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	20772.673	EPA 3550 C

- 9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER - UNI

M.Sc. Orieta Acha de la Cruz
Responsable del análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 202

*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0429 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZÓN SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953863
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T8-II / SCP_3+VC_20
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Wisd, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	9932.623	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER - UNI



M.Sc. Otilia Acha de la Cruz
Responsable del análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0431 – 21 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU GANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCION : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T4-II / SCP_6+VC_20
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido, Wsd, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	20325.141	EPA 3650 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante de servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Ulano Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UNI



M.Sc. Otilia Peña de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CCP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del material ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO N° 0432 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T4-III / SCP_8-VC_20
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C, Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido, Wsc, WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	21791.283	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


 Bacri, Jesús Utano Reyes
 Analista Químico
 LABICER – UNI



 M. Sc. Otilia Acuña de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CQP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza de la muestra ni de la procedencia de la muestra.

**INFORME TÉCNICO N° 0433 – 21 – LABICER**

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T5-1/T
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonido. Msd. WUC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	1997.204	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Litano Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UNI



M.Sc. Ofelia Achta de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CQP 202

(*) El laboratorio no es responsable de muestras ni de la procedencia de la muestra.



INFORME TÉCNICO Nº 0434 – 21 – LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHARI
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T5-11/T
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 63 %
7. EQUIPO UTILIZADO : Equipo de ultrasonido: Wisd. WUC-D10H
8. RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	1646.728	EPA 3560 C

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
 Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Jesús Utano Reyes
 Analista Químico
 LABICER – UNI

M. Sc. Graciela de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefe de Laboratorio
 CCP 202

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.




INFORME TÉCNICO N° 0435 – 21 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 RAZON SOCIAL : WENDY ESPIRITU CANCHAR
 - 1.2 D.N.I. : 72953963
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / 04 / 2021
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 27 / 04 / 2021
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 30 / 04 / 2021
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE SUELO
 - 4.2 DEPARTAMENTO : PASCO
 - 4.3 PROVINCIA : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 - 4.4 DISTRITO : YANAHUANCA
 - 4.5 CÓDIGO : T5-III-T
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.8 °C; Humedad relativa: 82 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Equipo de ultrasonico. Wied, WJC-D10H
8. **RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Hidrocarburos totales de petróleo (mg HTP/ Kg de muestra)	1171,605	EPA 3550 C

9. **VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**
 Los resultados de este Informe Técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


 Eadir Jesús Utrero Reyes
 Analista Químico
 LABICER - UNI




 Otilia Achá de la Cruz
 Responsable del análisis
 Jefa de Laboratorio
 CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza de muestras ni de la procedencia de la muestra.

Resultados del análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : WENDY RUTH ESPÍRITU CANCHARI

Departamento : PASCO

Distrito : YANAHUANCA

Referencia : H.R. 74201-040C-21

Bolt.: 4532

Provincia : DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Predio :

Fecha : 28/05/2021

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
3132	T1-I	7.37	0.30	21.20	5.96	7.4	87	34	45	21	Fr.	10.88	7.70	2.90	0.18	0.10	0.00	10.88	10.88	100
3133	T1-II	7.45	0.31	23.05	4.28	5.8	85	32	45	23	Fr.	12.96	7.46	5.22	0.20	0.09	0.00	12.96	12.96	100
3134	T1-III	7.48	0.32	21.40	5.96	6.0	82	34	45	21	Fr.	13.92	9.19	4.37	0.25	0.12	0.00	13.92	13.92	100
3135	T2-I	7.41	0.31	21.40	5.62	7.0	83	34	45	21	Fr.	13.60	7.90	5.42	0.19	0.09	0.00	13.60	13.60	100
3136	T2-II	7.37	0.31	21.15	6.09	7.2	83	34	45	21	Fr.	12.64	9.51	2.87	0.17	0.10	0.00	12.64	12.64	100
3137	T2-III	7.41	0.30	23.35	5.82	7.7	84	34	45	21	Fr.	12.96	10.27	2.50	0.10	0.09	0.00	12.96	12.96	100
3138	T3-I	7.32	0.88	14.70	11.65	116.2	852	56	31	13	Fr.A	21.44	16.57	2.43	2.08	0.36	0.00	21.44	21.44	100
3139	T3-II	7.28	0.90	5.25	16.34	33.8	1142	64	27	9	Fr.A	23.36	12.09	8.17	2.62	0.49	0.00	23.36	23.36	100
3140	T3-III	7.12	1.13	9.00	16.20	33.4	998	58	31	11	Fr.A	21.44	10.33	8.42	2.30	0.40	0.00	21.44	21.44	100
3141	T4-I	7.37	1.04	10.35	18.48	74.7	1030	58	29	13	Fr.A	21.12	11.28	6.92	2.48	0.44	0.00	21.12	21.12	100
3142	T4-II	6.95	0.80	3.20	17.14	27.3	992	64	23	13	Fr.A	21.28	10.17	8.17	2.52	0.43	0.00	21.28	21.28	100
3143	T4-III	7.12	0.72	7.75	18.21	26.5	808	64	27	9	Fr.A	20.80	11.76	6.37	2.30	0.37	0.00	20.80	20.80	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



B. Braulio
Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946-505-254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : WENDY RUTH ESPÍRITU CANCHARI

Departamento : PASCO
 Distrito : YANAHUANCA
 Referencia : H.R. 74201-040C-21

Bolt.: 4532

Provincia : DANIEL ALCIDES CARRIÓN
 Predio :
 Fecha : 28/05/2021

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
3144	T5-I	6.83	1.03	12.95	10.18	3.7	105	56	31	13	Fr.A.	20.00	11.92	7.68	0.29	0.11	0.00	20.00	20.00	100
3145	T5-II	6.45	2.90	8.75	11.65	3.4	135	60	29	11	Fr.A.	22.72	13.02	9.15	0.33	0.23	0.00	22.72	22.72	100
3146	T5-III	6.41	3.33	7.15	14.46	3.8	127	58	31	11	Fr.A.	22.24	12.16	9.60	0.30	0.17	0.00	22.24	22.24	100
3147	Análisis inicial	6.45	0.70	8.45	11.78	2.5	115	54	33	13	Fr.A.	20.48	11.51	8.60	0.29	0.09	0.00	20.48	20.48	100

A = Arena ; A Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



B. Brulio
Ing. Brulio La Torre Martínez
 Jefe del Laboratorio

Resultados del análisis físico del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS (LASAP)



ANÁLISIS DE SUELO

Nº: 007-2021

Solicitante : ESPIRITU CANCHARI, Wendy Ruth
Lugar : Daniel Alcides Carrión
Provincia : Daniel Alcides Carrión
Departamento : Pasco
Fecha Emisión : 06 - 06 - 2021

Nº	MUESTRA	Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	Densidad Real (Mg.m ⁻³)	Porosidad Total (%)	Capacidad de Campo (%)
1	INICIAL	1,08	1,82	40,54	51,083
2	T1 - I	1,35	2,27	40,54	30,462
3	T1 - II	1,39	2,44	43,06	27,991
4	T1 - III	1,41	2,22	36,62	28,846
5	T2 - I	1,41	3,23	56,34	30,485
6	T2 - II	1,36	2,50	45,76	31,721
7	T2 - III	1,39	2,27	38,89	33,191
8	T3 - I	1,01	1,78	43,04	39,421
9	T3 - II	0,92	1,82	49,43	52,199
10	T3 - III	0,94	1,57	40,00	44,467
11	T4 - I	0,93	1,75	46,67	37,387
12	T4 - II	0,92	1,45	36,78	36,732
13	T4 - III	0,92	1,79	48,68	59,290
14	T5 - I	1,05	1,74	39,47	33,583
15	T5 - II	0,94	1,51	37,65	47,064
16	T5 - III	0,92	1,67	44,83	47,660

Dr. Andrés Alberto Azabache Leytón
Jefe LASAP-AG-UNCP

Dirección: Carretera Central Huancayo-Jauja, km 34. Distrito El Mantaro.

Anexo 4

Cuadros de datos originales

Tabla 60. *Datos recopilados después de la cosecha - peso de la planta de rabanito*

Tratamiento	Repetición	Biomasa fresca			Materia seca		
		Peso parte aérea	Peso de la raíz	Peso total	Peso parte aérea	Peso de la raíz	Peso total
T1	I	2	1	3	1.5	0.5	2
	II	0.8	1	1.8	0.6	0.5	1.1
	III	1.5	1	2.5	1	0.5	1.5
T2	I	1	0.5	1.5	0.5	0.1	0.6
	II	0.5	0.3	0.8	0.3	0.2	0.5
	III	0.7	0.5	1.2	0.6	0.3	0.9
T3	I	18	62	80	10	55	65
	II	16	42	58	10	24	34
	III	17	48	65	9	35	44
T4	I	14	34	48	7	19	26
	II	15	37	52	9	21	30
	III	14	32	46	8	22	30
T5	I	18	44	62	13	20	33
	II	16	39	55	10	18	28
	III	20	46	66	13	29	42

Tabla 61. *Datos recopilados después de la cosecha - altura y longitud del rabanito*

Tratamientos	Plantas de rabanito	Altura de la parte aérea (cm)			Longitud de la raíz (cm)		
		Repetición			Repetición		
		I	II	III	I	II	III
T1	P1	3.4	2.5	1.5	6	3.6	4.3
	P2	2.5	2.2	2.1	6.3	3.3	5.5
	P3	2.1	1.6	2.1	6.8	3.1	2.8
	P4	1.9	2	2.2	6.8	5.8	3
	P5	1.5	1.8	2	6.3	5.1	3.1
T2	P1	1.5	1.7	2.3	4.6	2.6	3
	P2	2	1.9	2.1	3.8	5	2.5
	P3	1.7	2	1.8	3.4	2.4	2.2
	P4	1.8	1.5	1.5	3	1.4	1.5
	P5	2	2.1	1.6	4	1.5	1.7
T3	P1	13.2	13.2	14.3	14.5	19	14.8
	P2	15.4	12.4	15.4	13.4	18.6	13.3
	P3	15	13.2	12	12.6	17.5	14
	P4	11.4	11	13.1	16.1	14.4	16.2
	P5	13.6	10	12.8	12.4	15	13.9
T4	P1	12.2	14	11	15.3	17.2	16.2
	P2	12.4	11.2	10	12.4	11.5	15.4

	P3	11.6	10.4	8.1	15.3	11.6	16
	P4	10.4	10.6	10.6	14.3	16	12.4
	P5	8.9	9.8	11.2	15.5	14.3	19.5
T5	P1	13.2	12.5	13.2	13.5	15.4	10.5
	P2	11.5	10.8	12.8	12.6	7	12.8
	P3	16.2	12.3	13.1	12.4	11.5	12.3
	P4	12.6	10.9	12.3	10.1	10.2	12
	P5	10.4	10.1	10.2	8.2	10.9	12.2

Tabla 62. Contenido de petróleo y vermicompost

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	3%P	3%P	3%P
	0%VC	0%VC	0%VC
2	6%P	6%P	6%P
	0%VC	0%VC	0%VC
3	3%P	3%P	3%P
	20%VC	20%VC	20%VC
4	6%P	6%P	6%P
	20%VC	20%VC	20%VC
5	0%P	0%P	0%P
	0%VC	0%VC	0%VC

Matriz de consistencia

Título: Efecto del vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), Daniel A. Carrión, Pasco-2021					
Autores(as): Wendy Ruth Espíritu Canchari; Lourdes Guerreros Gutiérrez				Facultad de Ingeniería	
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología de investigación
General	General	General	Independiente		
¿Cuál es el efecto del vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021?	Determinar el efecto del vermicompost en un suelo contaminado con hidrocarburos y crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021	El vermicompost disminuye la concentración de hidrocarburos e incrementa el crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), en un suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021.	Vermicompost	Dosis de vermicompost	<p>Método de investigación: hipotético-deductivo</p> <p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo</p>
Específicos	Específicos	Específicos	Dependiente		
¿Cuál es el efecto del vermicompost en el contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) en un suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021?	Determinar el contenido de TPH, después de la aplicación de vermicompost, en un suelo contaminado con hidrocarburos, de Daniel A. Carrión, Pasco.	El vermicompost disminuye la concentración de TPH en el suelo contaminado de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.	Contenido de Hidrocarburos	Hidrocarburos totales de petróleo	<p>Diseño de la investigación: Diseño completamente aleatorizado</p> <p>Población: suelo de la parcela agrícola delimitada del distrito de Yanahuanca, en un área aproximada de 1.5 ha.</p>
¿Cuál es el efecto del vermicompost en las propiedades físico - químicas de un suelo contaminado con hidrocarburos en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021?	Determinar el efecto del vermicompost en las propiedades físico - químicas de un suelo contaminado con hidrocarburos en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.	El vermicompost mejora significativamente las propiedades físico - químicas de un suelo contaminado con hidrocarburos, de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.	Propiedades físico - químicas del suelo	Densidad aparente Porosidad total Capacidad de campo pH Carbonatos Conductividad eléctrica P disponible K disponible Capacidad de intercambio catiónico Cationes cambiables	<p>Muestra: Parcela delimitada, en 25 puntos distribuidos en Zig-Zag, para totalizar un peso total de 60 kg.</p> <p>Técnica Observación y análisis</p>

<p>¿Cuál es el efecto del vermicompost aplicado a un suelo contaminado con hidrocarburos en el crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco-2021?</p>	<p>Determinar el efecto de la aplicación del vermicompost en el crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), en un suelo contaminado con hidrocarburos, en la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.</p>	<p>El vermicompost incrementa el crecimiento de rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>), en un suelo contaminado con hidrocarburos de la provincia de Daniel A. Carrión, Pasco.</p>	<p>Crecimiento de Rabanito (<i>Raphanus sativus L.</i>)</p>	<p>Altura de la parte aérea Longitud de la raíz Materia seca de la parte aérea Materia seca de la raíz</p>
--	---	---	---	---

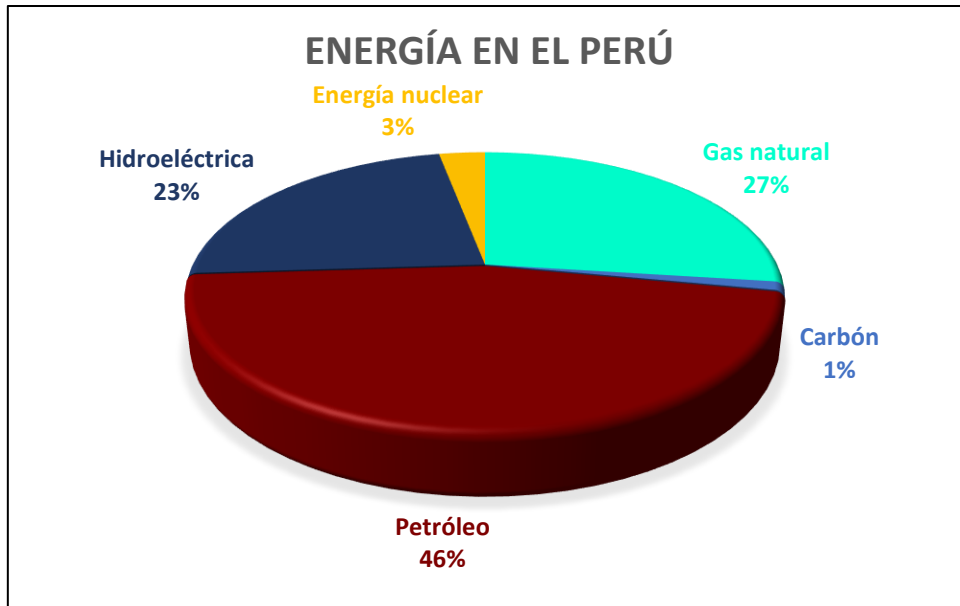


Figura 70. La energía que consume el Perú (99)

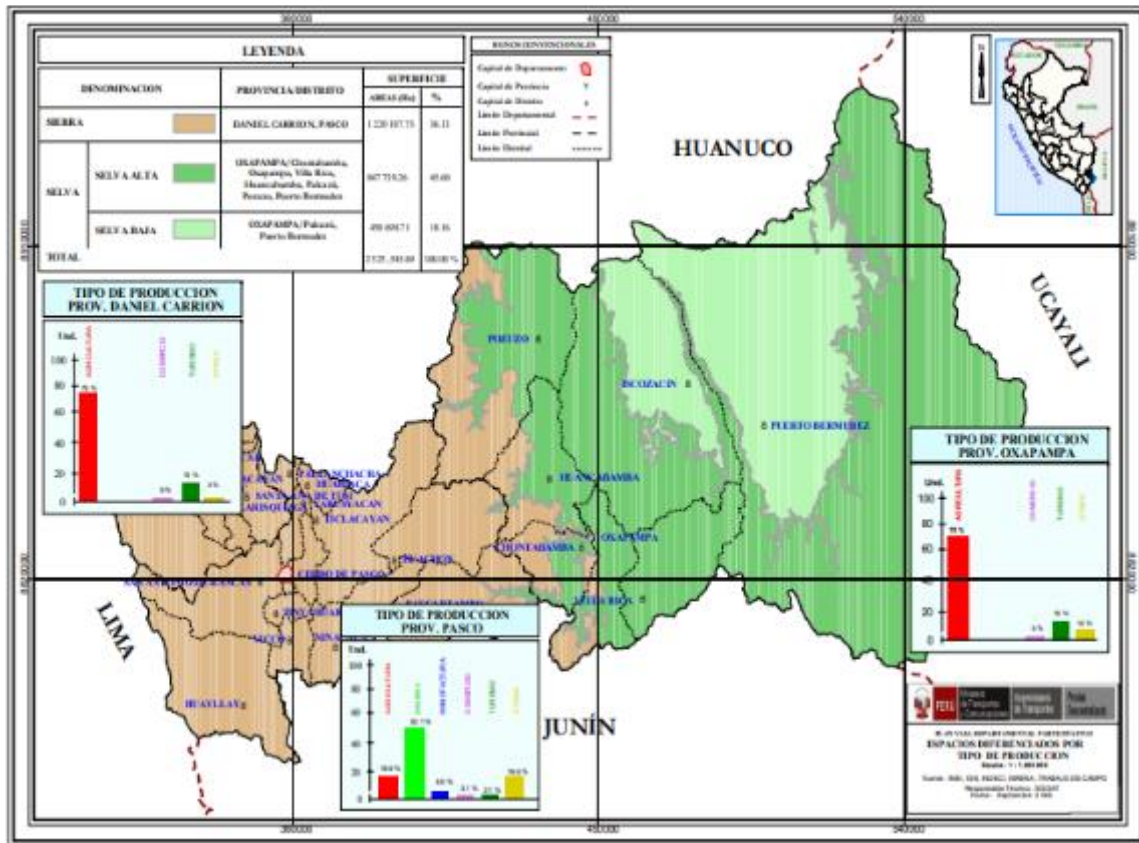


Figura 71. Actividad o tipo de producción según provincias (100)

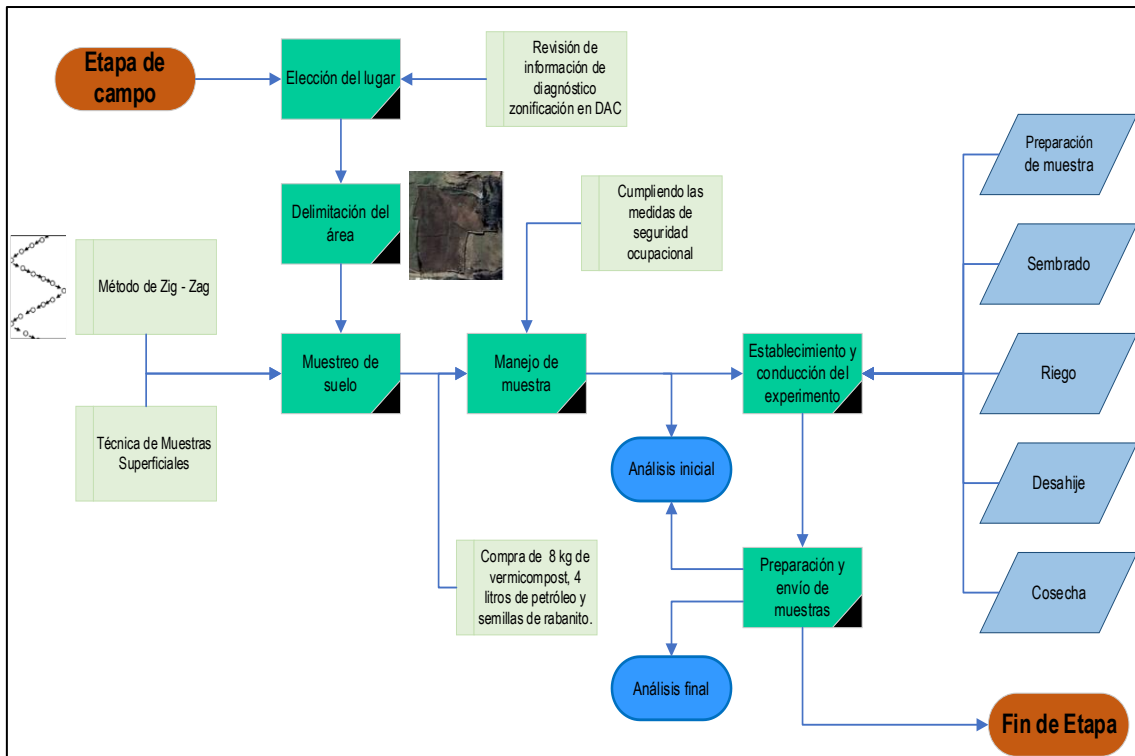


Figura 72. Método de análisis - etapa de campo

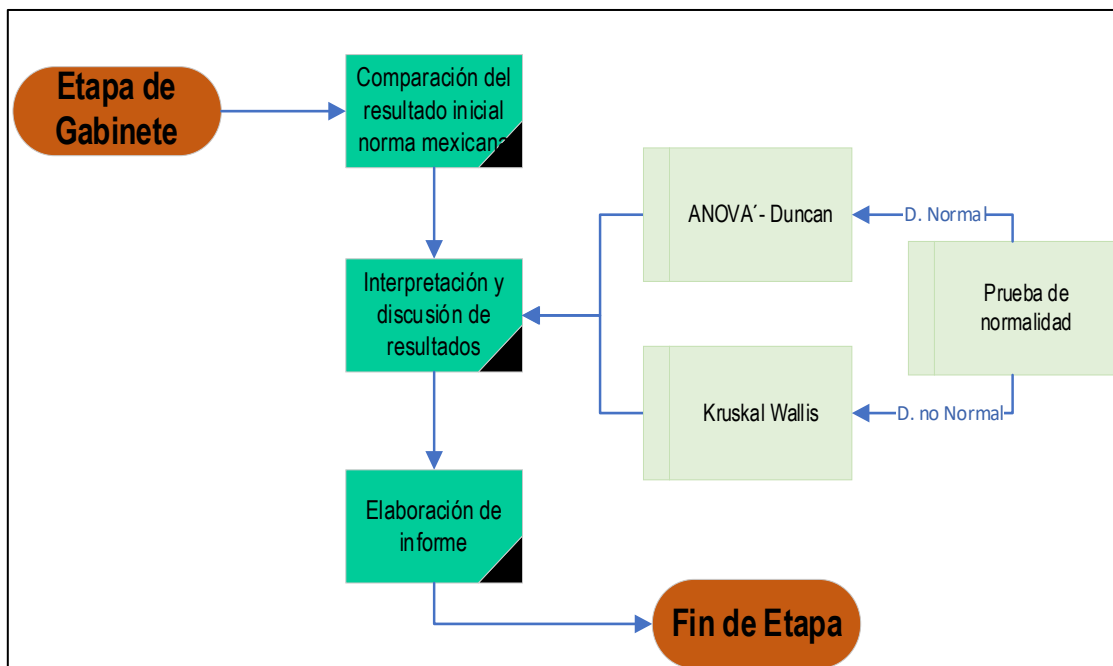


Figura 73. Método de análisis - Etapa de gabinete

Anexo 5

Noticias sobre derrames de hidrocarburos



Figura 74. Derrames de petróleo en América Latina (10)



Figura 75. Sitios contaminados en tierras indígenas (101)



Figura 76. Derrame de petróleo en Amazonía afecta a miles de personas (102)



Figura 77. Derrames de petróleo incalculables (103)



Figura 78. Derrames de petróleo en la Amazonia (104)